



Canarias

CONGRESO INTERNACIONAL REHABILITACION DEL PATRIMONIO ARQUITECTONICO Y EDIFICACION

Del 13 al 18 Julio'92

POENCIAS TOMO I



COMISION CANARIA PARA LA COMEMORACION
Y CENTENARIO DEL DESCUBRIMIENTO DE AMERICA



I CONGRESO INTERNACIONAL
REHABILITACION DEL PATRIMONIO
ARQUITECTONICO Y EDIFICACION

I CONGRESO INTERNACIONAL
REHABILITACION DEL PATRIMONIO
ARQUITECTONICO Y EDIFICACION

PONENCIAS
TOMO I

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
LAS PALMAS DE G. CANARIA
N.º Documento 136237
N.º Copia 690645

ISLAS CANARIAS
1992



Presidente:
MIGUEL ÁNGEL FERNÁNDEZ MATRÁN

Secretario:
OSWALDO BRITO GONZÁLEZ

Vocales:
NINA AVRAMIDOU
JORGE O. GAZANEO
JULIÁN ESTEBAN CHAPAPRIA
MANUEL FERNÁNDEZ CÁNOVAS
MARCOS BRITO GUTIÉRREZ

Imprime:
NUEVA GRAFICA S.A.L.
Eduardo de Roo, 29
Tel. (922) 65 46 56
La Cuesta de Arguijón (La Laguna)
Tenerife, Canarias.

Depósito Legal TF 954/1992

INDICE

ANALISIS Y DIAGNOSTICO DE DAÑOS EN LA IGLESIA DE SAN AGUSTIN DE VALENCIA. <i>Eugenio Abdilla Muedra- J. Monfort Leonart V. Montoliú Soler- M. Rechea Alberola.....</i>	<i>13</i>
ESTUDIO DE LAS CAUSAS DE LOS DAÑOS Y ANALISIS DE SOLUCIONES EN LA CAPILLA DE LA COMUNION DE LA IGLESIA DE SANTA MARIA DE ELCHE. <i>Eugenio Abdilla Muedra- José Monfort Leonart -Manuel Rechea Aiberola:.....</i>	<i>19</i>
DIAGNOSIS SISTEMATIZADA. <i>Francesc Xavier Casanovas I. Boixereu.....</i>	<i>25</i>
STUDY AND DESIGN FOR THE RESTORATION OF THE BASILICA OF ST. FRANCIS IN ASSISI. <i>Giorgio Crocci- G. Carluccio- L. Zilberstein.....</i>	<i>31</i>
MONITORING AND STRUCTURAL ANALYSIS FOR THE ESTORATION OF THE BASILICA OF S. CARLO IN ROME. <i>Giorgio Crocci- G. Carluccio- R. M. Viola- L. Bordi.....</i>	<i>38</i>
PROYECTO DE INTERVENCION GLOBAL EN LA ALCAZABA Y RECINTO MURADO DE ALMERIA. <i>D. Ramón de Torres López.....</i>	<i>43</i>
LA RESTAURACION Y REHABILITACION DEL ANTIGUO CLAUSTRO CONVENTUAL DE MADRE DE DIOS DE SEVILLA. EL COLOR COMO VALOR AÑADIDO A LA ARQUITECTURA. <i>D. Francisco Granero Martín.....</i>	<i>46</i>
RESTAURACION DEL PALACIO DE ALARCON DE XATIVA Y REUTILIZACION PARA JUZGADOS. <i>Dña. Cristina Grau.....</i>	<i>51</i>
DETERIORATION AND RECONSTRUCTION OF CASTLE- GARDEN KIOSK BUILDING IN BUDAPEST. <i>Dña. Elizabeth Kovacs.....</i>	<i>56</i>
ASPECTOS ESTRUCTURALES EN LA SOPORTACION DE NUEVAS INSTALACIONES EN EDIFICIOS REHABILITADOS. <i>D. A. Arnedo Pena.....</i>	<i>58</i>
ESTUDIO DE LA RECUPERACION DE LAS DEFORMACIONES DE PIEZAS LINEALES DE HORMIGON ARMADO SOMETIDAS A FLEXION. APLICACION A LAS INTERVENCIONES SOBRE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO. <i>D. J. Benlloch Marco- Bernardo Pereperez Ventura- E. Barbera- G. González- J. M. Fran- Valcuende- R. Pastor.....</i>	<i>61</i>
METODOLOGIA Y PAUTAS DE RESCATE DE ESTRUCTURAS DE MAXIMO RIESGO DE HORMIGON ARMADO DEL PERIODO DE 1930 a 1940 EN LA REPUBLICA ARGENTINA. <i>D. Juan María Cardoni.....</i>	<i>65</i>
SHEAR STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE BEAMS. <i>Dña. Regina Helena Ferreira De Souza.....</i>	<i>72</i>

EL RECRECIDO CON HORMIGON COMO TECNICA DE INTERVENCION EN FORJADOS METALICOS.	
<i>D. J. Fran Bretones- B Pereperez Ventura-E. Barberá Ortega- J. Benlloch Marco- G. González Pérez - M. Valcuende Paya- R Pastor Villa.</i>	79
INFLUENCIA DE LA APERTURA DE CALAS EN PIEZAS LINEALES DE HORMIGON ARMADO SOBRE SU DEFORMABILIDAD.	
<i>D. G. González Pérez-E. Barberá- B. Pereperez- J. M. Fran -J. Benlloch-M. Valcuende- R. Pastor.</i>	86
INFLUENCIA DE CIERTOS REVESTIMIENTOS DE LAS ARMADURAS Y DEL MATERIAL DE REPOSICION DEL RECUBRIMIENTO DE HORMIGON SOBRE LA ADHERENCIA HORMIGON- ARMADURAS PASIVAS.	
<i>D. A. Martínez Boquera- B. Pereperez-E. Barbera- J. Benlloch- J. M. Fran- G. González.</i>	91
ANCLAJE DE ARMADURAS DE ACERO EN HORMIGON ENDURECIDO CON MORTERO EPOXI Y MORTERO DE BASE DE RETRACCION COMPENSADA.	
<i>D. R Vera Soriano-B. Pereperez- E. Barbera-J. Benlloch- G. González- J. M. Fran.</i>	95
THE CHROMATIC ALTERATION OF COLOURED LIMESTONES: THE "BOTTICINO STONE" (BRESCIA- ITALY).	
<i>D. G. Alessandrini- R. Bugini- L. Toniolo.</i>	100
ESTUDIO FISICO- QUIMICO, MINERALOGICO Y TECNOLOGICO DE ARCILLAS CERAMICAS DE LA ISLA DE GRAN CANARIA.	
<i>Dña. Ana María Alloza Moreno.</i>	103
THE RELIEF OF MATERIALS OF THE MOLE VANVITELLIANA OF ANCONA.	
<i>D. Rodolfo Antonucci.</i>	111
LA CONSERVACION DE LA PIEDRA DE LA FACHADA DEL ANTIGUO HOSPICIO PROVINCIAL DE OVIEDO.	
<i>Dña. R. M. Esbert- C. M. Grossi- J. Ordaz- F. J. Alonso. L. Ruiz- R Marcos.</i>	118
ESTUDIO DIAGNOSTICO DE DETERIORO DE LAS PIEDRAS DE LA FACHADA DEL ANTIGUO HOSPICIO PROVINCIAL DE OVIEDO.	
<i>Dña. R. M. Esbert- J. Ordaz- F. J. Alonso- L. M. Suarez del Río.</i>	123
APLICACION DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS AL ESTUDIO DE LAS ALTERACIONES DE LA PIEDRA EN LA PORTADA PRINCIPAL DEL PALACIO DE SAN TELMO EN SEVILLA.	
<i>Dña: Gracia Gómez de Terreros- Manuel Alcalde.</i>	127
COMPORTAMIENTO DE LA ARENISCA DE VILLAMAYOR (SALAMANCA). TRATADA CON UN HIDROFUEGO.	
<i>D. F. Madruga- J. Saavedra- M. T. Martín Patino.</i>	132
ALTERACIONES MICROCLIMATICAS PRODUCIDAS EN LOS MONUMENTOS POR LAS TRANSFORMACIONES HISTORICAS Y URBANAS EN LA CIUDAD DE VALENCIA: IGLESIA DE LOS SANTOS JUANES.	
<i>D. A. Mas Tomás- V. Galván Llopis- L. Alonso Matilla- E. Gil. Benso.</i>	136
VIEWS OF RECOVERY AND VALORISATION OF THE FORTIFIED TOWN WALLS OF VERONA.	
<i>D. Fiorenzo Meneghelli.</i>	140

ANALISIS DE LA DEGRADACION DEL ILUSTRE COLEGIO DE PALMA DE MALLORCA (ESPAÑA) PARA SU RESTAURACION. <i>F. Mingarro-R. Fort- M. C. López Azcona.</i>	148
EL MARMOL DE MACAEL (ALMERIA) EN LOS MONUMENTOS HISTORICOS DE GRANADA. (ESPAÑA). <i>U. Zezza- E. Sebastián Pardo.</i>	153
CARACTERIZACION MICROQUIMICA DE LOS MATERIALES PETREOS EMPLEADOS EN LA CATEDRAL DE GRANADA, (ESPAÑA). <i>Miguel Angel Bello López.</i>	161
RECOVERY OF TOWN AFTER 23.11.80 A EARTHQUAKE IN IRPINIA (ITALY). <i>Ingg. E. Arcch. C. Badaloni- A. Cherubini- A. Di Benedetto- R. Mariotti- V. Savi.</i>	163
ASSESSMENT OF INTERVENTION TECHNIQUES FOR SEISMIC STRENGTHENING OF MASONRY BUILDINGS. <i>Filitsa V. Karantoni- Michael N. Fardis.</i>	174
SETTLEMENT MONITORING. MATHEMATICAL DATA TREATMENT. <i>Manuel Rechea- Luisa Basset.</i>	181
SISTEMAS TRADICIONALES DE CONSOLIDACION EN MEXICO <i>María Margarita Segarra Lagunes</i>	184
SIMULACION DE PATOLOGIAS OBSERVADAS EN MONUMENTOS. EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS DE PROTECCION. <i>Rosario Villegas Sánchez- R. Vale Parapar- M. Alcalde Moreno.</i>	191
REGALCE MEDIANTE "JET-GROUTING" DE LA IGLESIA DE LA MILAGROSA (HUELVA), Y EL CONTROL DE LOS MOVIMIENTOS DURANTE LA EJECUCION DE LOS MISMOS. <i>Francisco Vallejo Osorno- P. Sola Casado- José M. Conde- Salazar Gómez.</i>	197
ARQUITECTURA DE TIERRA EN EL ALBAYZIN DE GRANADA. <i>Ignacio Valverde Espinosa - Fco. J. Gallego Roca- J. M. López Osorio.</i>	204
ESTUDIO DE LA DEGRADACION DE LA MURALLA DE TARRAGONA, SECTOR PORTAL DE SANT ANTONI. <i>M. Vendrell- Sanz, M. García- Valles, E. Cid. J. Molera.</i>	210
STUDIES TO EVALUATE THE ORIGIN OF CRAKS AND FAILURES IN THE HISTORY OF COLOSSEUM IN ROME. <i>Giorgio Crocci- G. Carluccio- L. Zilberstain.</i>	214
METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DE LAS MANIFESTACIONES PATOLOGICAS QUE AFECTAN A LOS INMUEBLES DEL ENSANCHE DE 1987 DE VALENCIA (ESPAÑA). <i>J. M. Fran Bretones- E. Barbera J. - Benlloch- G. González- M. Valcuende- R. pastor.</i>	220
ESTUDIOS PREVIOS Y ANALISIS DE PATOLOGIA EN EN MONUMENTO DE MORELLA. <i>F. Gómez Lopera- J. J. Alonso Pascual.</i>	225
DIAGNOSTICO CONSTRUCTIVO DE FACHADAS DE MADRID. <i>Juan Monjo Carrión.</i>	229

PROPUESTA METODOLOGICA PARA EL DIAGNOSTICO DE ALTERACIONES POR CAUSAS BIOTICAS DE LA MADERA MEDIANTE ULTRASONIDOS.	
<i>Liliana Palala Pérez- V. Galván Llopis- V. Monzo. Hurtado.....</i>	<i>243</i>
PATOLOGIAS CONSTRUCTIVAS EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE MAR DE PLATA: ARGENTINA UN CASO PILOTO.	
<i>Rubén Omar Montero.....</i>	<i>252</i>
EXAMEN ANALITICO DE LAS PINTURAS MURALES DEL PALACIO DE SANTA BARBARA DE VALENCIA	
<i>María Teresa Doménech Carbó- Salvador Muñoz Viñas.....</i>	<i>258</i>
CARACTERIZACION DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACION DE CLORUROS DE PINTURAS PARA HORMIGON.	
<i>A. M. García- C. Alonso- C. Andrade.....</i>	<i>265</i>
RESTAURACION DE LAS PINTURAS MURALES Y ATERSONADOS DEL PALACIO DE SANTA BARBARA DE VALENCIA. (ESPAÑA).	
<i>M. del Carmen Pérez García- P. Roig Picazo.....</i>	<i>273</i>
STAINED GLASS CONSERVATION: INNOVATIVE RESEARCH AND NEW MATERIALS.	
<i>H. Romich- D. R. Fuchs.....</i>	<i>277</i>
PROBLEMATICA DE LA DEGRADACION DE VIDRIERAS Y ALTERNATIVAS PLANTEADAS.	
<i>Juan Rubio Alonso- F. Morales- J. L. Oteor.....</i>	<i>281</i>
GLASS SENSORS: A EUROPEAN STUDY TO ESTIMATE THEEFFECTIVENESS OF PROTECTIVE GLAZINGS AT DIFFERENTCATHEDRALS.	
<i>J. Leibner- D. R. Fuchs.....</i>	<i>285</i>
TEORIA Y PROYECTO. LA RECONSTRUCCION DE SANTA CRUZ EN MEDINA DE RIOSECO.	
<i>J. Ignacio Linazasoro.....</i>	<i>291</i>
INTERVENCIONES EN SISTEMAS CONSTRUTIVOS TRADICIONALES E INSTALACIONES.	
<i>Miguel Angel Odrizozola Odrizozola.....</i>	<i>293</i>
REFUERZO DE LAS PLANTAS SUPERIORES DEL TEATRO COLON DE LA CORUÑA.	
<i>Juan Pérez Varcacel- F. Escrig- G. Vaamonde J. Nuñez Sal.....</i>	<i>298</i>
STABILITY OF TILTED BUILDINGS.	
<i>Manuel Rechea- Luisa Basset.....</i>	<i>303</i>
ESTUDIOS REALIZADOS EN LA CATEDRAL DE TOLEDO CON VISTAS A SU RESTAURACION Y A LA CONSOLIDACION DE SUS MATERIALES PETREOS.	
<i>F. Mingarro- M. C. López de Azcona- M. A. García del Cura - S. Ordoñez- J. P. Calvo- R. Fort- M. Bustillos- A. M. Alonso Z.....</i>	<i>306</i>
IN SITU - INVESTIGATIONS STRUCTURAL ANALYSIS AND STRENGTHENING OF A STONE MASONRY BELL TOWER.	
<i>Claudio Modena- Pier Paolo Rossi.....</i>	<i>310</i>

TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO SOBRE LOS MATERIALES QUE CONFORMAN LAS FABRICAS DE LA MURALLA DE IBIZA, BALEARES; COMO ESTUDIO PREVIO DE RESTAURACION.	
<i>Juan M. Valiente Scier- Inmaculada Oliver Faubel</i>	318
RISING DAMP IN THE MANSORY WALLS: THE HYGROMETRIC BEHAVIOUR OF SOME TRADITIONAL BUILDING MATERIALS.	
<i>Giorgio Raffellini- G. F. Cellai- F. de Lorenzi</i>	324
LA PIEDRA FRANCA (BIOCALCARENITA) EN LA CONSTRUCCION DE MONUMENTOS HISTORICOS DE GRANADA.(ESPAÑA).	
<i>E. Sebastián Pardo- U. Zezza- C. Rodríguez Navarro- M. J. de la Torre -C. Cardell</i>	328
THE ROLE OF NO2 IN THE HETEROGENEUS OXIDATION OF SO2 ON A CaCO3 PROTOTYPE SURFACE.	
<i>Franco de Santis- Ivo Allegrini</i>	337
CARBONACEOUS AEROSOLS AND BUILDING DETERIORATION.	
<i>R. Spurny Kvetoslav</i>	340
APROXIMACION A LA FISICO- QUIMICA DE LA ALTERACION DE LOSMATERIALES PETREOS DE LA CATEDRAL DE TOLEDO.	
<i>Angel La Iglesia- M. A. García del Cura- S. Ordoñez</i>	344
RESISTENCIA A LA PENETRACION DE CLORUROS EN CAMARA DE NIEBLA SALINA DE MORTEROS DE REPARACION EN BASE DE CEMENTO PORTLAND.	
<i>A. Nepomuceno- Carmen Andrade</i>	351
PRACTICAS USUALES Y POCO RECOMENDABLES PARA LA PROTECCION EXTERIOR DE LAS INSTALACIONES DE ACERO- GALVANIZADO.	
<i>J. Rodríguez Montero- J. M. Ruiz Sanchez- J. A. González Fernández- J. Ribera Utrillo</i>	357
CONTRIBUCCION AL ESTUDIO DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGON DE EDIFICACION MEDIANTE LA MEDIDA DE LA VELOCIDAD DE CORROSION DESUS ARMADURAS.	
<i>Jesús Rodríguez- Luis M. Ortega- Aurora . M García</i>	362
A BUILDING REHABILITATION EXPERT SYSTEM AS A TUTORIAL TOOL.	
<i>Isabella Amirante- Ernesto Burattini</i>	366
AN EXPERT SYSTEM FOR THE DIAGNOSIS OF STRUCTURAL DAMAGES IN MASONRY BUILDINGS.	
<i>Rodolfo Antonucci- S. Possati- L. Spalazzi</i>	371
PROCESOS DE RESTAURACION DE CLAVES DE BOVEDA GOTICAS.	
<i>Juan Bassegoda Nonell</i>	375
LAS TECNICAS BIOCLIMATICAS APLICADAS A LA REHABILITACION DE EDIFICIOS.	
<i>Cesar Bedoya Frutos- F. J. Neila González- Raquel Puente García</i>	380
REHABILITACION Y REVITALIZACION DE ARAMUNT VELL.	
<i>Francesc Xavier Casanovas I Boixereu</i>	383
EXISTING BUILDINGS PROJECT: INFORMATION MANAGEMENT	
<i>G. Caterina- E. Attianese_ V. Fiore- D. Francese - D. Nicoletti- A. Petrai- M. R. Pinlo</i>	390

LA RECUPERACION DE TECNOLOGIAS TRADICIONALES EN LA RESTAURACION ARQUITECTONICA Y ARQUEOLOGICA.	
<i>Stefano Gizzi</i>	393
ESTUDIO TECNOLOGICO DE LOS ESCAGRAFIADOS DE " EL SALVADOR " ENTOLEDO. (ESPAÑA).	
<i>M. C. López Azcona- Alonso Zarza, A. M. - F. Mingarro</i>	399
NAFLION. THE IMAGE OF THE TOWN- PROPOSALS FOR PROTECTION.	
<i>Helen Maistrou</i>	403
CONSIDERACIONES ACERCA DEL METODO FOTOGRAMETRICO COMO TECNICA PARA EL LEVANTAMIENTO DE EDIFICIOS Y MONUMENTOS.	
<i>P. Navarro Esteve- M. Galindez Hdez- A. San Juan Hdez Pérez- P. Romero López- T. Morant de Diego</i>	408
ESTUDIOS PREVIOS EN LA RESTAURACION Y REHABILITACION DE EDIFICIOS: LA TOMA DE DATOS PARA LA DEFINICION GEOMETRICA DE LA ACTUACION.	
<i>Ildelfonso Torreño Gómez- F. López Rodríguez- Ventura Rodríguez R.- Pascual Ubeda- José L. Moreira S.</i>	412
CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LAS INCLUSIONES DE SILLERIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS MUROS DE MAMPOSTERIA ORDINARIA.	
<i>José María Izquierdo Bernaldo de Quirós</i>	429

ANALISIS Y DIAGNOSTICO DE DAÑOS EN LA IGLESIA DE SAN AGUSTIN DE VALENCIA

e. Abdilla Muedra, J. Monfort Lleonart, V. Montoliu Soler, y M. Rechea Alberola.
Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Valencia.

SUMARIO

Con motivo de la construcción de un aparcamiento subterráneo en la Plaza de San Agustín, frente a la iglesia del mismo nombre, se realizó un estudio para controlar la influencia de los trabajos en el comportamiento de la iglesia, que sufre un deterioro importante. En esta ponencia se recogen, en parte, las conclusiones de este trabajo.

SUMMARY

Because an underground parking construction in St. Agustín Square, next to the Church of St. Agustín, a set of displacement measurements were made, to control the influence of the construction in the Church building, which was very much deteriorated before construction began. This paper gives, partly, the conclusions of this job.

PALABRAS CLAVE: Asiento, Bóveda, Contrafuerte, Desplome, Empuje, Grieta.

INTRODUCCION

En la Plaza de San Agustín de Valencia, frente a la iglesia del mismo nombre, se ha concluido recientemente la construcción de un aparcamiento subterráneo cuyos muros de contención quedaban escasamente a 4m. de una de las fachadas de la iglesia.

La Consellería de Cultura, Educación y Ciencia de la Generalitat Valenciana, encargó a los firmantes de esta ponencia el control de la influencia de los trabajos de construcción sobre la iglesia, en la que previamente se apreciaba un deterioro importante.

La primera fase de estos trabajos de control, consistió en la elaboración de un informe inicial sobre el estado de la iglesia, para detectar sus causas; un resumen de los trabajos y las conclusiones obtenidas de este estudio inicial, constituyen el contenido de esta ponencia, puesto que de ahí se pueden apreciar las disfunciones que puede originar la modificación formal de una tipología, realizada sobre una estructura característica de otra tipología. No se hace mención aquí al resto de los trabajos de control realizados en fase de ejecución de la obra, por considerar que carecen de interés fuera de su objetivo específico.

CARACTERISTICAS Y RESEÑA HISTORICA

No existen datos exactos sobre la fundación del convento de San Agustín, adosado al cual se construyó la iglesia: Cruilles⁽¹⁾ cita como prior fundador al P. Fr. Francisco Saellies en 1.250, que levantó lo que se conoce como convento antiguo en seis años, Moliner⁽²⁾ aporta la tesis de que la concesión real para construir el convento debió ser en 1.272.

La iglesia de San Agustín consta de una sola nave de "35 metros 77 centímetros de largo, por 13 metros 67 centímetros de ancho de pilastra a pilastra"⁽¹⁾, cuyo espacio se distribuye en siete tramos y se cierra con una cabecera poligonal de cinco lados. Los tramos vienen marcados por dos series de contrafuertes laterales de los que 3/4 de su altura quedan incluidos en el interior de la nave. Sobre ellos apea la bóveda fraccionada en seis arcos fajones apuntados, entre los que se sitúan bóvedas cuatrupartitas de plan "barlong", cuyos nervios apean en ménsulas colocadas sobre los contrafuertes laterales; los dos últimos tramos ante el presbiterio constituyen una sola bóveda.

A su vez, los espacios existentes entre los contrafuertes, permiten situar capillas que se abren a la nave central por medio de arcos formeros apuntados, que se cubren con bóvedas cuatrupartitas de nervios apeados sobre columnillas. De este modo, contrafuertes y bóvedas de capillas permiten elevarse a la bóveda central sobre éstas, y abrir ventanas a lo largo de la parte superior de los muros laterales.

El ábside se cubre por bóveda estrellada de cinco nervios, reforzada por terceletes que se prolongan hacia el arco triunfal, dando paso a dos sistemas de bóvedas de crucería con claves independientes.

ANALISIS DEL TIPO ARQUITECTONICO

A partir de la construcción de las naves principales de la catedral, se construyen en Valencia dos clases de edificios consecuentes y que participan de un tipo específico:

Parroquias: Santa Catalina, San Martín, San Juan del Mercado y San Nicolás, San Juan del Hospital, y la primitiva de San Esteban.

Conventos: San Francisco, Santo Domingo, San Agustín, el Carmen, la Puridad, Zaidía, Belén, Jerusalén, Corpus Christi, Sta. Ursula, y la Trinidad.

Todos ellos dejan patente la estructura de nave única con capillas entre contrafuertes, presbiterio poligonal, y decoración sobria en extremo, según modelo languedociano (sur de Francia), que tiene su prototipo en las iglesias de Albi y les Cordeliers, de Toulouse, y que se extendió ampliamente en Cataluña, Aragón, Baleares y Valencia.

La persistencia del modelo fue mayor en Cataluña, pero en el entonces territorio valenciano, lugar de Reconquista, los modelos languedocianos vinieron a confluir con una solución arquitectónica propia de los reinos mediterráneos, nacida de la necesidad funcional de construir rápida y económicamente iglesias en tierras reconquistadas a los musulmanes.

Esta solución autóctona se la denomina por Garín⁽³⁾ "Iglesias de Reconquista", y por Chueca⁽⁴⁾ "Iglesias de arcos diafragmáticos", constaban de una sola nave de planta rectangular, con presbiterio alineado y que forma parte evidentemente del plan basilical. La mayor originalidad consiste en la cubrición, siempre de armadura a dos vertientes, soportada por arcos perpaños de sillería que arrancan, o bien del suelo o bien del muro, pero en ambos casos tienen poca imposta. Generalmente, en los espacios laterales y entre los arcos, se colocan capillas laterales sin más que abrir un arco formero; el ábside poligonal puede ser una adición más tardía, pero que, en definitiva, completa el tipo valenciano⁽⁵⁾.

La confluencia de estas dos soluciones (la de "Reconquista" y la "Languedociana"), nos da el tipo valenciano: amplitud rectangular de una gran nave, normalmente sin trasepto o crucero, cubierta con bóvedas "barlong" separadas entre sí por arcos fajones/diagrama apuntados, y apeados sobre contrafuertes interiores entre los que se ubican capillas laterales. El ábside es el último elemento que se perfila como introducido por las novedades góticas, y que adopta planta poligonal, cubriéndose con nervaduras en posición radial.

La iglesia de San Agustín, si bien presenta una distribución y alzado góticos del tipo mediterráneo expresado, en la planta muestra un evidente planteamiento románico con-

ventual, que matiza el "tipo" descrito. Esta particularidad radica en dos elementos:

El coro, situado en el primer tramo de la nave, sobre la puerta y apoyándose en una bóveda muy rebajada (adaptación a las necesidades litúrgicas conventuales).

La doble anchura de la bóveda que cubre el tramo anterior a la cabecera, que describe en planta un espacio pronunciado, recuerdo del crucero románico y de las iglesias conventuales del período de transición al gótico. La justificación de este espacio, probablemente radica en que, a principios del siglo XIII, el Gótico no modificó mucho el concepto espacial del Románico, pues las necesidades litúrgicas no habían cambiado esencialmente; mantiene el tipo monacal de cruz latina, pero tendiendo a dejar el ámbito del templo lo más desembarazado posible para que los fieles, tras la orden, puedan seguir los oficios divinos; de ahí que se tienda a la planta rectangular "o de salón" pero manteniendo el crucero, aunque sus brazos no sobresalgan del rectángulo.

A esta característica de la tipología, que supone una modificación formal de los esquemas de planta en cruz, sin la correspondiente adecuación estructural, es a la que hemos hecho referencia en el primer apartado y que, como veremos posteriormente, es causa de parte de los

daños producidos en esta iglesia.

La construcción original ha experimentado muchas modificaciones y restauraciones a lo largo del tiempo, pero que no afectan a los aspectos que consideramos para desarrollar esta ponencia.

DESCRIPCION DE DAÑOS

En el esquema de planta de la figura 1, están reflejadas las grietas de techo (fecha: marzo 1990), algunas de las cuales se describen a continuación:

Las grietas A, figura 1, aparecen en el encuentro superior del muro lateral izquierdo con la bóveda de techo, a lo largo de dos capillas laterales; coincidiendo con el apoyo de uno de los arcos transversales de la nave, aparecen grietas de menor longitud separadas del muro lateral. Apparentemente todas son debidas a un desplazamiento lateral de la parte superior del muro, como consecuencia de los empujes de la bóveda.

Las grietas B, figura 1, se desarrollan junto a la clave del primero de los arcos transversales (correspondiente a la zona de doble ámbito), y se ramifica hacia el centro geométrico de la crujía. Apparentemente, también es debida a

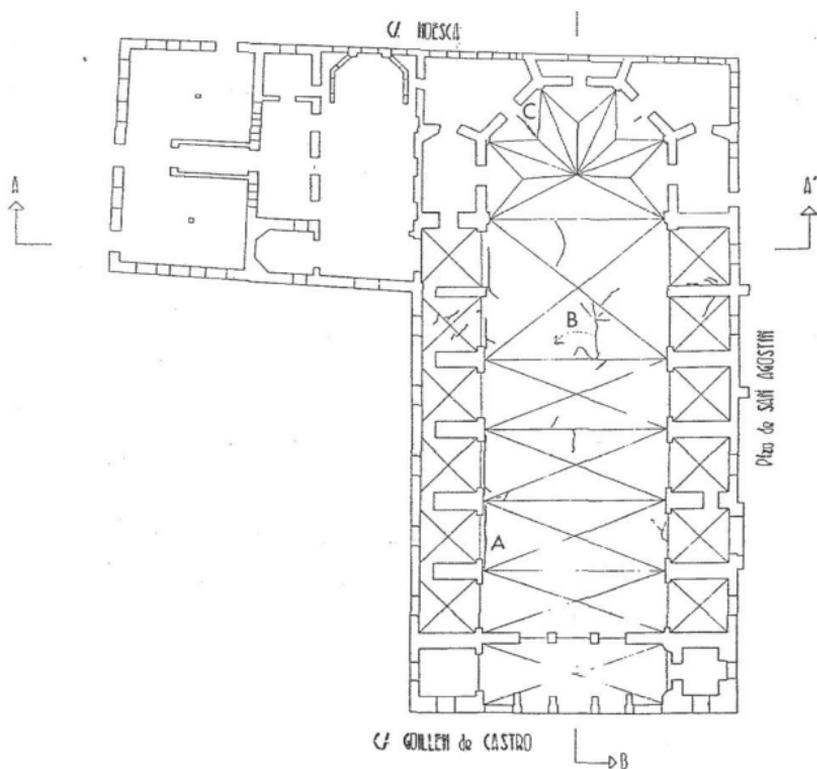


Fig. 1.- Planta esquemática con indicación de grietas.

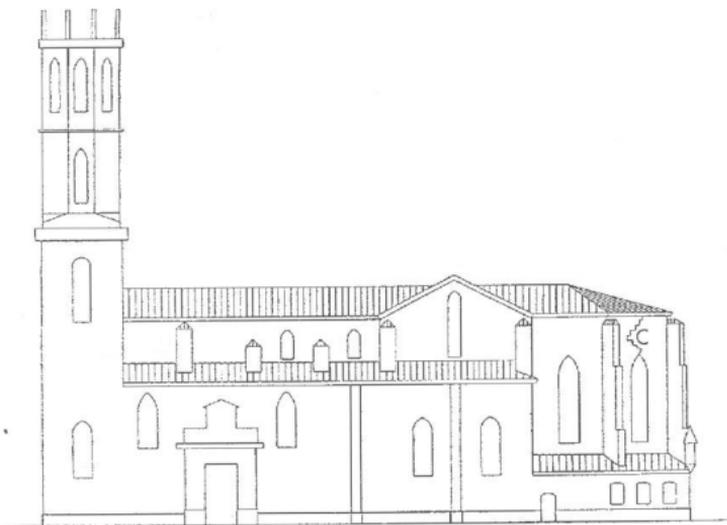


Fig. 2.- Alzado esquemático a Plaza San Agustín.

cedimiento de los contrafuertes, que han permitido que se abran los arranques del arco originando estas grietas en la clave.

Las grietas C, figura 1, se desarrollan en el ábside, prolongándose verticalmente hasta el vértice de la ventana; también parecen ser debidas a cedimientos de los contrafuertes radiales de esta zona. Estas grietas del ábside se aprecian también desde el exterior, como puede observarse en la figura 2, correspondiente al alzado esquemático exterior.

En la sección esquemática longitudinal B-B', figura 3, pueden apreciarse otro tipo de grietas, las designadas D, que afectan a los muros verticales y aparecen solamente en el tramo de doble crujía (zona del crucero en la tipología originaria). Estas grietas están situadas por encima del muro de separación de las capillas laterales, con la particularidad de que este muro no se prolonga exteriormente por encima de estas capillas, ver figura 2, tratando de reflejar en el alzado el crucero, que sólo lo es en apariencia. El conjunto de estas grietas, tanto por las líneas de rotura que configuran como por los movimientos relativos que se han producido, que pueden apreciarse perfectamente desde el interior de la iglesia, indican que la parte central (zona de la ventana, correspondiente al falso contrafuerte de separación entre las dos primeras capillas) no se ha movido, mientras que los laterales (correspondientes a los dos primeros arcos de la nave) se han desplazado

hacia el exterior como consecuencia de los empujes; este efecto se aprecia perfectamente en los dos muros laterales, pero sobre todo en el situado a la derecha del altar.

SUELO Y CIMENTACION

Para determinar los datos que nos permitieran valorar posibles movimientos del suelo, abrimos dos catas en la parte de la iglesia recayente a la Plaza de San Agustín, de las que pudimos conocer el tipo y estado de la cimentación, y utilizamos los resultados de un sondeo, realizado para las obras del aparcamiento, situado a unos 20 m. de la iglesia.

Con las catas alcanzamos hasta una profundidad de 3,15 m., comprobando que la cimentación sobrepasaba esta cota; la cimentación corrida coincidía con el espesor del muro hasta la profundidad de 1,30 m., y a partir de aquí formaba un saliente de 0,30 m., también corrido, a lo largo del muro.

Del sondeo se deduce que el terreno está formado por tres capas: limos arcillosos, gravas y arcillas arenosas, y la profundidad de cada una de ellas va, respectivamente, hasta 5,50 m., 11,40 m., y el final del sondeo a 19,70 m. Los ensayos de penetración normal (SPT) realizados, indican valores bajos en los primeros 5 m., y medios y altos en

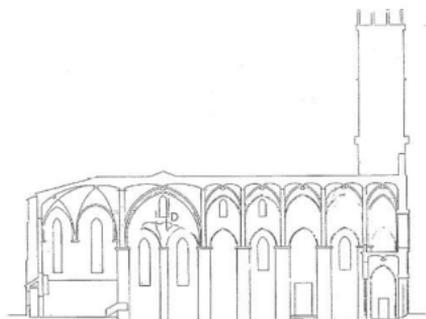


Fig. 3.- Sección esquemática por B-B'.

el resto.

Para ayudar al cálculo de los desplazamientos laterales como consecuencia de los giros de cimentación, se realizó un cálculo de asentamientos con objeto de obtener un valor característico del coeficiente de balasto; el valor hallado fue $0,15 \text{ kg/cm}^2$ para los asentamientos verticales. Al calcular las deformaciones y los desplazamientos laterales, se tuvo en cuenta que la cimentación es un bloque de 3 m. de altura, y que el suelo circundante resiste, en cierto grado, el movimiento horizontal mediante empuje pasivo.

CARGAS, ASIENTOS Y DESPLOMES

Para estimar las acciones que actúan sobre la cimentación, se adoptó como pesos propios

muros	2.200 kg/m^3
cubiertas	350 kg/m^2

de estos valores se deduce que la carga que se transmite a través de la cimentación de los contrafuertes/tipo de la nave central es de 358 T.; en particular, para el primer contrafuerte correspondiente a la crujía de doble vano junto al altar, teniendo en cuenta que el ámbito de la cubierta es mayor, esta carga resulta de 364 T.

En lo que sigue, se ha estimado para todos los contrafuertes un valor medio de la carga en cimentación de 360 T.; en cualquier caso, se quiere hacer hincapié en el hecho de que la diferencia entre la carga de los dos tipos de contrafuertes es muy pequeña (<2%), por lo que no es esta

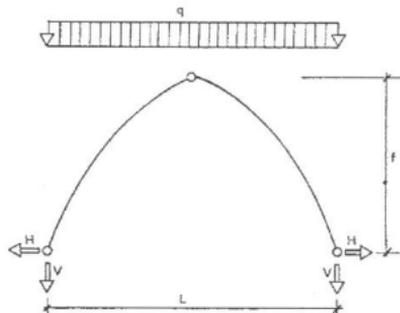


Fig. 4.- Esquema estático del arco

diferencia la causa de los distintos daños producidos en cada uno de los tipos.

A partir del valor medio de esta carga, se obtuvo como presión sobre el terreno, debido a la compresión centrada

$$\sigma_{\text{med}} = 3,52 \text{ kg/cm}^2$$

Para estimar el efecto del empuje del arco, que actúa en la cabeza del contrafuerte y origina presiones de flexión en la superficie de cimentación, se consideró el arco como isostático, figura 4, con luz $L=14\text{m.}$, flecha $f=8\text{m.}$ y carga uniformemente repartida $q=2.000 \text{ Kg/m.}$ (correspondiente a una crujía de 5,50 m., en los arcos-tipo); con estos valo-

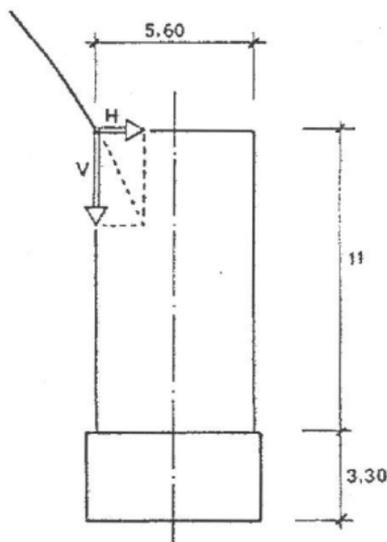


Fig. 5.- Esquema estático del contrafuerte

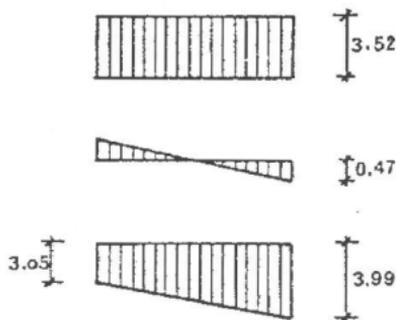


Fig. 6.- Tensiones en cimentación

res, las acciones del arco sobre el contrafuerte resultan

$$V = q \cdot L/2 = 14.000 \text{ Kg}$$

$$H = q \cdot L^2/(8 \cdot f) = 6.125 \text{ Kg}$$

que originan sobre la superficie de cimentación un momento de (figura 5)

$$M = 6125 \cdot 14,30 - 14000 \cdot 2,80 = 48.387 \text{ m.Kg}$$

y se traduce sobre el terreno en unas presiones cuyo valor máximo es

$$\sigma_{\max} = M/(b \cdot h^2/6) = 48387/(1,70 \cdot 6^2/6) = 4.743 \text{ Kg/m}^2$$

Este efecto de flexión, superpuesto al que hemos obtenido antes para compresión centrada, da como resultado en las bases de cimentación unas presiones de valor (figura 6)

$$\sigma_{\max} = 3,99 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\min} = 3,05 \text{ Kg/cm}^2$$

A partir de la estimación de estas presiones, es posible deducir el orden de magnitud del giro que experimentará la cimentación en la hipótesis de comportamiento elástico y lineal del terreno (modelo de suelo de Winkler). En efecto, llamado ψ al ángulo de giro, y_1 e y_2 a los asientos verticales que se producen en los puntos extremos del cimiento, y admitiendo una ley lineal de variación de los asientos, consecuencia lógica de la gran rigidez de la cimentación, se tiene (figura 7)

$$\text{tg } \psi = (y_2 - y_1)/L$$

Si se admite que el ángulo de giro ψ es muy pequeño

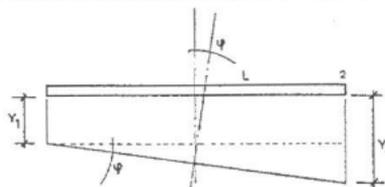


Fig. 7.- Giros en cimentación

comparado con las dimensiones del cimiento, o dicho de otra forma, que la diferencia de asientos $y_2 - y_1$ es muy pequeña comparada con la dimensión L de la zapata, entonces se puede hacer la aproximación de que

$$\text{tg } \psi = \psi$$

donde ψ se mide en radianes; por tanto la expresión anterior se reduce a

$$\psi = (y_2 - y_1)/L$$

utilizando el modelo de Winkler antes mencionado, aceptamos una proporcionalidad entre tensiones y asientos sobre el terreno, de la forma

$$\sigma = K \cdot y$$

donde K es la constante de proporcionalidad (coeficiente de balasto del terreno).

Particularizando la expresión anterior para los puntos 1 y 2 de la figura 7, donde se producen los asientos y_1 e y_2 , y llamando σ_1 y σ_2 a las tensiones correspondientes, se tiene

$$\sigma_1 = K y_1 \quad y_1 = \sigma_1 / K$$

$$\sigma_2 = K y_2 \quad y_2 = \sigma_2 / K$$

que sustituidos en la expresión del giro proporcionan

$$\psi = (\sigma_2 - \sigma_1) / (K \cdot L)$$

Sustituyendo valores para este caso concreto se obtiene

$$\psi = (39,9 - 30,5) / (150 \times 6) = 0,01044 \text{ rad.}$$

este valor del giro de la cimentación nos permite, siempre en la hipótesis de pequeños movimientos (aplicable perfectamente a este caso, ya que si $\psi = 0,0104444$ resulta $\text{tg } \psi = 0,0104448$ coincidente con el propio ángulo hasta la sexta cifra decimal) determinar el desplome del muro debido exclusivamente a esta componente de giro del cimiento, figura 8

$$\delta = H \cdot \psi = 14 \times 0,01044 = 0,146 \text{ m.}$$

o sea, que el desplome es del orden de los 15 cm.

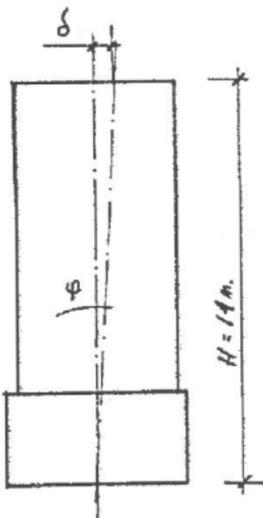


Fig. 8.- Desplazamientos en contrafuerte.

Este desplome es atribuible exclusivamente a efectos instantáneos y en la hipótesis de una deformabilidad elástica del terreno.

Pensamos sin embargo que, en la realidad, esta magnitud debe incrementarse sustancialmente si consideramos el problema de los movimientos relacionados con la reología del terreno, y los consiguientes asientos diferidos. Este es un problema esencialmente dependiente del tiempo, y de muy difícil evaluación numérica, teniendo en cuenta la antigüedad de la iglesia, pero en cualquier caso es evidente su existencia y efecto acumulativo a largo plazo.

Como conclusión de la cuantificación de estos movimientos que acabamos de realizar, estimamos que las cargas excéntricas que transmite la bóveda a las pilastras son el origen de un fenómeno de desplazamientos laterales, que obedece a la suma de dos factores: desplazamiento instantáneo considerando el suelo como un medio elástico, y desplazamiento diferido (dependiente del tiempo) acorde con la propia naturaleza plástica del suelo considerado

a largo plazo. La suma del segundo factor, habida cuenta de la edad de la iglesia, consideramos que es suficiente para conducir al valor real del desplazamiento o desplome lateral que se refleja en la actualidad.

CONCLUSIONES

A partir de los razonamientos expuestos en los apartados anteriores, se ha podido justificar que los empujes que se producen en los arcos/fajones de la bóveda de cubierta, originan giros en cimentación, que se reflejan en algunos casos en grietas en la clave del arco, y en otros en grietas en la coronación del muro de cerramiento, en su encuentro con la bóveda.

Este efecto lo podemos considerar "normal", en el sentido de que es un hecho bastante extendido en edificios de esta antigüedad y características.

Lo que queremos resaltar, porque está en el origen de esta tipología, es el efecto que ha originado esta misma causa en los dos primeros arcos de doble crujía, correspondiente al crucero de la tipología originaria:

- * Como se ha indicado antes, en esta primera crujía, aunque tiene doble ámbito que las demás, los empujes que se producen en ella son prácticamente iguales, por lo que la diferencia en los daños con respecto a los demás contrafuertes no se puede atribuir a un incremento de la carga.

- También ha quedado indicado que en el centro de esta zona de doble crujía existe un muro de separación entre las capillas laterales, que hace de falso contrafuerte, ya que sobre él no se producen empujes, puesto que no recibe ningún arco.

- * Este muro, debido a su rigidez, ha impedido el desplazamiento de la parte central del cerramiento situado entre los verdaderos contrafuertes, que en su extremos si que se ha desplazado, debido a los empujes de los arcos, y como consecuencia de ello ha partido por el centro (zona de la ventana).

- * En la tipología originaria (planta en cruz) los muros del crucero, de mucha mayor rigidez que los contrafuertes actuales, impiden los desplazamientos transversales de este vano, que son lo que han partido el muro.

- * Como resumen, podemos atribuir los daños que se han producido en esta zona, al hecho de que se ha utilizado una estructura característica de las plantas en cruz en un edificio de planta rectangular, y falta la rigidez transversal que proporcionan los muros del crucero.

BIBLIOGRAFIA

(1) CRUILLES, M. de - Guía Urbana de Valencia Antigua y Moderna. Valencia 1876.

(2) MOLINER, M.C. - El Convento de los Agustinos de Valencia. Valencia 1971.

(3) GARIN ORTIZ DE TARANCO - Vinculaciones Universales del Gótico Valenciano. Valencia 1935.

(4) CHUECA GOITIA, F. - Historia de la Arquitectura Española, Edad Antigua y Medieval. Madrid 1965.

(5) GARIN - Algunas consideraciones y ejemplos poco conocidos del gótico valenciano de Reconquista. Revista de la Universidad Complutense. Madrid 1975, vol. XII, nº 85.

ESTUDIO DE LAS CAUSAS DE LOS DAÑOS Y ANALISIS DE SOLUCIONES EN LA CAPILLA DE LA COMUNION DE LA IGLESIA DE SANTA MARIA DE ELCHE

Eugenio Abdilla Muedra, Dr. Arquitecto. José Monfort Leonart, Dr. Arquitecto. Manuel Rechea Alberola, Dr. Ingeniero de Caminos.

Arquitectura, Universidad Politécnica de Valencia.

RESUMEN

Se presenta un estudio de las causas que han producido las grietas existentes en la Capilla de la Comunión. Este estudio se aborda mediante un método estático basado en consideraciones estructurales en primer lugar y, a continuación, mediante un método cinemático basado en los asentamientos diferenciales del terreno. Se comprueba la concordancia de ambos métodos.

SUMMARY

A study is presented over the causes that had originated the existing fissures in the Communion Chapel. This study is first treated by a static method based on structural considerations, and further by a cinematic one based on the differential settlements over the ground. A comprobation is made on the agreement of both methods.

KEYWORDS: fisuración, asentamientos del terreno.

INTRODUCCION

En la ciudad de Elche, provincia de Alicante (España) se encuentra la iglesia llamada de Santa María, comenzada a construir en el año 1673 y terminada de forma oficial en 1784.

En numerosas ocasiones entre los años 1672 y 1902 se producen desperfectos de mayores o menores proporciones en la Basílica como consecuencia de factores de diversa índole: lluvias intensas, vicios constructivos y aún terremotos de cierta intensidad (años 1746 y 1784), que dan lugar a frecuentes intervenciones de reparación de daños. En una de ellas, dirigida por Marcos Evangelio, se plantea la ampliación de la Basílica con una Capilla de la Comunión, cuyos planos dibuja el propio Marcos Evangelio. Las obras correspondientes comienzan en 1760 y es posteriormente Lorenzo Chápuli quien, encargado de proseguir las obras en 1772, elabora nuevos planos de la Capilla con arreglo a los cuales queda finalizada durante el año 1784.

En el año 1936 es incendiada la Basílica y de nuevo reconstruida a partir de 1939.

A partir del año 1977, y hasta la fecha, se sigue la restauración de las cornisas de la Iglesia, y aunque, al parecer, ninguna de estas reparaciones ha afectado a la Capilla de la Comunión, se aprecia, no obstante en la documentada "Guía de Arquitectura i Urbanismo de la Ciutat d'Elx" de Gaspar Jaen y Urban que: "desde los años 70, existe una gran grieta en la Capilla de la Comunión que abarca la totalidad de la obra en el sentido norte-sur".

En la Figura 1 se muestra una planta de la basílica señalando el emplazamiento de la Capilla de la Comunión como objeto específico del estudio que se presenta a continuación.

INFORMACION ANALIZADA

Con el objetivo de aportar una justificación a la patología de grietas observada en la Capilla de la Comunión se

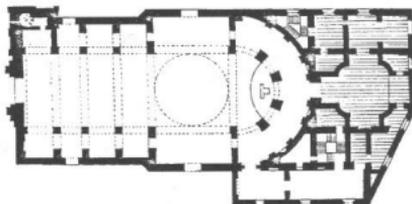


Figura 1.

entendió que había necesidad de extraer información de cuatro fuentes determinantes, posiblemente, de los orígenes del problema:

1. Observación y situación de grietas

En la Figura 2 se representa, dentro de la planta de la Capilla, las secciones utilizadas para representar los alzados interiores de la cúpula que se muestran en las Figuras 3, 4 y 5. Los croquis de los alzados exteriores, con su mapa de grietas, se esquematizan independientemente en las Figuras 6 (Pza. Sta. Isabel), 7 (Pza. Congreso Eucarístico) y 8 (calle Obispo Rocamora).

2. Nivelación y Desplomes

Para valorar cuantitativamente la magnitud de los diferentes movimientos observados en el conjunto arquitectónico que configura la cúpula, cubierta y muros de cerramiento de la Capilla de la Comunión, se tomaron niveles (para verificar asentamientos) y desplomes (para confirmar movimientos horizontales diferenciales o giros de paramentos como sólidos rígidos) en diferentes puntos significativos.

Los niveles se tomaron tanto en el interior de la Capilla como en las fachadas recayentes a Pza. Congreso Eucarístico y Pza. Sta. Isabel, siendo los primeros objeto de estudio aparte ya que, a partir de ellos se han obtenido resultados sobre los movimientos de conjunto del sistema estructural de la cúpula y elementos sustentantes de la misma.

En cuanto a los niveles exteriores se tomaron tanto para la fachada a Pza. Sta. Isabel como a Pza. Congreso Eucarístico, con respecto a dos referencias distintas: la acera por un lado y la llaga situada inmediatamente por debajo del zócalo del muro por otro.

Los mayores asentamientos se detectaron en la fachada recayente a la Pza. Congreso Eucarístico, pero, sin embargo, ésta se encuentra bastante más separada de la cúpula que la fachada a Pza. Sta. Isabel, por lo que no es factible atribuir al peso de aquélla la causa de dichos asentamientos. Por el contrario, junto a esta fachada existe un antiguo pozo, hoy en desuso, que si consideramos como su causa más inmediata.

Los desplomes se midieron sobre un tramo de muro de, aproximadamente, 550 cm., distancia vertical existente entre el borde exterior de la barandilla de terraza y el zócalo

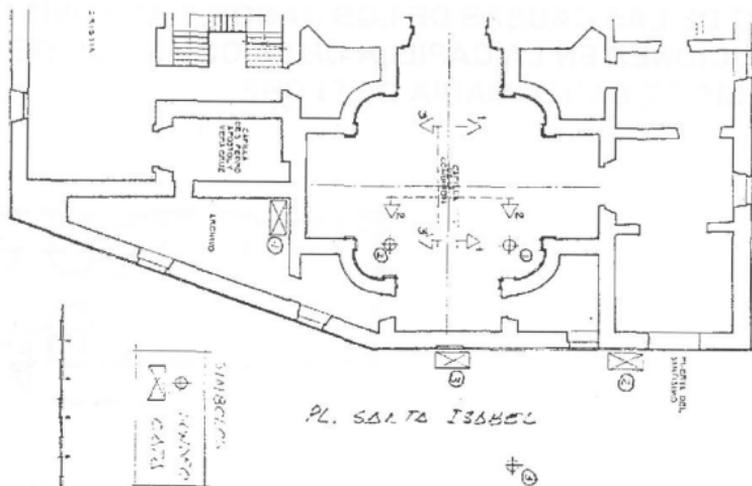


Figura 2.

lo del propio muro, que son las líneas horizontales de referencia tomadas siempre en estas mediciones.

Los valores obtenidos indican un desplome moderado y casi constante de unos 2 cms. entre las dos horizontales de referencia citadas para la fachada a Pza. Sta. Isabel, mientras que hay una irregularidad mucho mayor en los medidos en la fachada a Pza. Congreso Eucarístico, donde se obtiene un desplome máximo de 12 cms., coincidente, por otra parte, con el punto de asiento máximo.

Si tuviéramos que valorar la contribución de los empujes horizontales de la cúpula en ambas fachadas sería mucho más fácil justificar como debidos a ellos los desplomes de la fachada a Pza. Sta. Isabel que los de la Pza. Congreso Eucarístico, demasiado irregulares y localizados como para no percibir la influencia del pozo mencionado anteriormente en un fenómeno combinado de asiento y vuelco, donde es seguramente el fenómeno del asiento el que propicia el vuelco y no los empujes horizontales como presuimos es el caso de la fachada a Pza. Sta. Isabel.

3. Cimentación

Se realizaron tres catas, una interior y dos exteriores para reconocer la forma, naturaleza y profundidad de las cimentaciones, constatándose una apariencia de buena calidad salvo quizá en la correspondiente al muro recayente a la Capilla en cata Nº 1 (véase su situación en Figura 2) que se manifiesta de peor calidad al estar formada por piedras de menor tamaño que la cimentación del muro contiguo, de forma que el mortero y la piedra resultaban en algunos casos difíciles de distinguir.

4. Sondeos

Se llevaron a cabo tres sondeos, hasta una profundidad máxima de 10m., indicándose también su situación en la figura 2.

De los análisis efectuados sobre las muestras tomadas se distinguen dos grupos de suelos bastante distintos: arenas y arcillas. Las primeras se presentan en un nivel superior que llega hasta una profundidad de 1,5 a 2,0 m. y son arenas limosas, probablemente rellenos con compacidad

media. A continuación, las arcillas aparecen en tres estratos: una capa más arenosa hasta los 3 m.; otra capa conteniendo entre un 4% y un 10% de arena, hasta los 6,0-7,0 m. de profundidad; y una tercera capa (sólo en sondeo 1) más arenosa que la anterior y de unos 0,5m. de espesor. Entre los 6,0 y los 10,0m., aparecen de nuevo arenas limosas con una cantidad de finos inferior al 30% y falta acusada de compacidad.

No se encontró nivel freático.

COMPORTAMIENTO ESTÁTICO DEL CONJUNTO

Se analiza aquí el fenómeno de la estabilidad y posición de equilibrio de la cúpula en las dos direcciones principales referidas, según notación en Figura 2, a la sección 1-1 (eje longitudinal), y 3-3 (eje transversal).

Con ello se configuran dos pórticos, modelizados como se indica en los esquemas de las Figuras 9 y 10, de forma que en cada uno de ellos se ha intentado materializar las características espaciales de la cúpula y elementos anejos mediante un estado de cargas y valores estáticos promedio, deducido de dividir la cúpula en cuatro sectores iguales sacando así provecho de las ventajas simplificativas que en determinadas circunstancias pueden admitir los sólidos de revolución.

Se ha considerado el conjunto estructural como formado por un único material ideal constituyente, asimilándose su módulo de elasticidad y su peso al del ladrillo macizo (material tipo), con valores respectivos de 80.000 kp/cm² y 1.800 kp/m³. El valor tomado para el módulo de elasticidad E está situado entre el de la piedra de granito y la fábrica de ladrillo perforado.

El cálculo de ambos pórticos, estimando a priori, que los movimientos habidos son de pequeña magnitud, se efectuó dentro de la hipótesis de comportamiento elástico y lineal de toda la estructura, aunque dentro de la natural reserva y con las lógicas precauciones en la interpretación de resultados, por tratarse en realidad de un material heterogéneo y frágil.

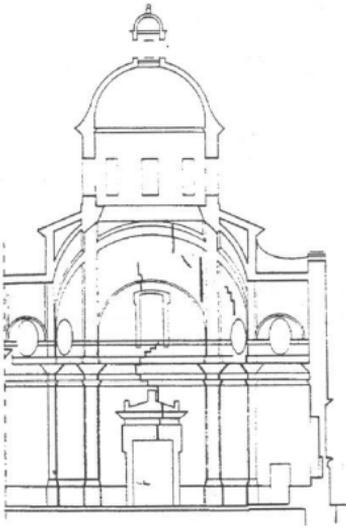


Figura 3

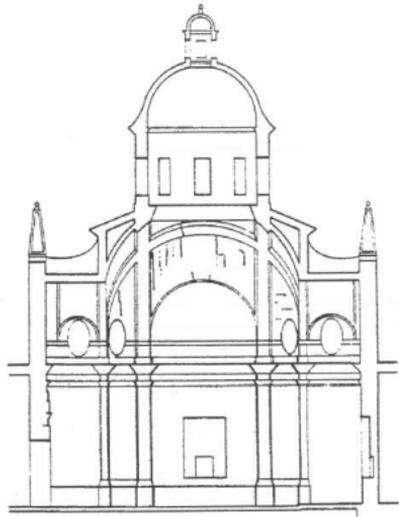


Figura 4

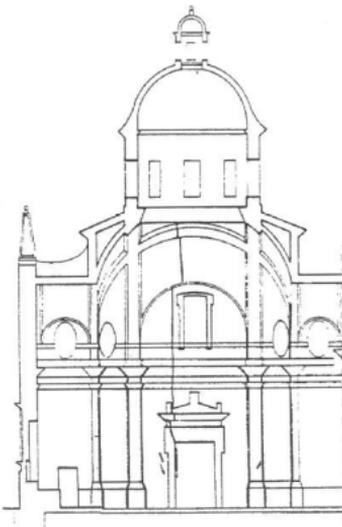


Figura 5

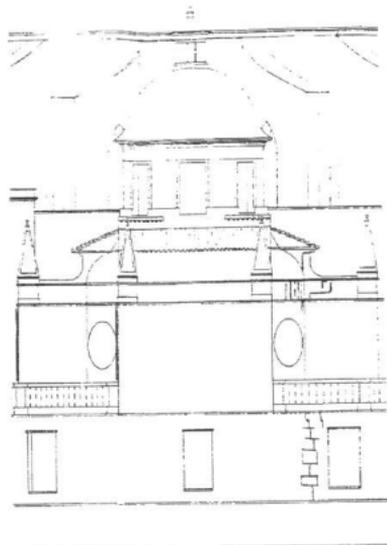


Figura 6

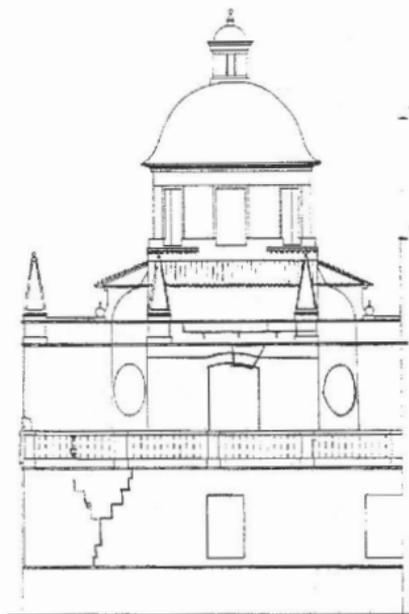


Figura 7

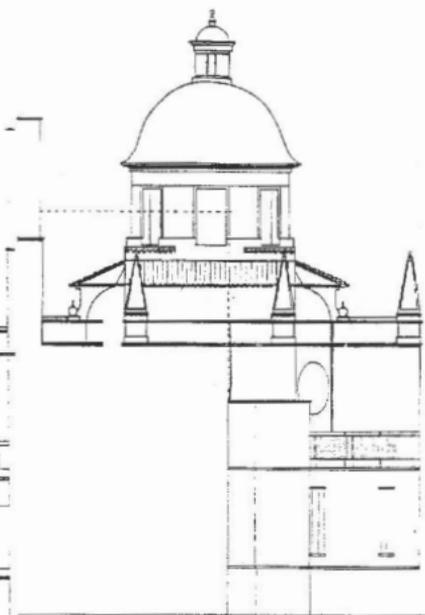


Figura 8

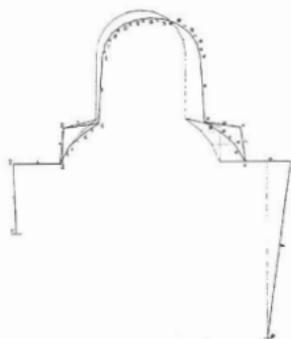


Figura 9

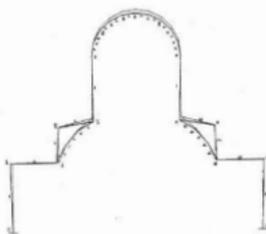


Figura 10

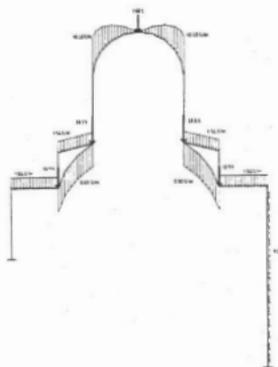


Figura 11

A. Pórtico Longitudinal (sec. 1-1 Fig.2), Figura 9

Según la numeración asignada a los nudos del pórtico en la Figura 9, se modeliza el apoyo derecho, nudo 25, con todos sus movimientos impedidos por la cimentación. Los nudos 3, 23, 7 y 19 se modelizan como apoyos elásticos, con el movimiento vertical coaccionado mediante constantes de resorte simulando el efecto del arco. De hecho, podemos considerar que una gran parte de las cargas transmitidas por la cúpula y la interna se canalizan a través de los arcos de la bóveda, y sólo una mínima fracción de estas cargas produce empuje horizontal. Para asumir este efecto de absorción de cargas por los arcos se introducen los apoyos elásticos, cuyas constantes de resorte se han obtenido considerando el factor de descenso $(6 \cdot E \cdot I / L^2) \cdot A$, donde A es el descenso del apoyo, y $6 \cdot E \cdot I / L^2$ sería el factor de rigidez del arco, o constante de resorte del apoyo elástico.

Para los apoyos 3 y 23, que representan a los arcos menores, se ha tomado una sección rectangular de 0,45 x 2,00m. para calcular el momento de inercia, lo que corresponde aproximadamente a la sección del muro sustentante del tejadillo bajo el tambor de la cúpula. La longitud L corresponde a la semiluz del arco, es decir $L=2,85m$. Así se halla $K=175.000 T/m$. para estos dos apoyos.

Por último, para los apoyos 7 y 19, que corresponden a los arcos mayores, se ha tomado para el momento de inercia I, el de una sección rectangular de 0,60 x 1,00m., equivalente aproximadamente a la del anillo situado en la base del tambor de la cúpula. La longitud L, en este caso, es la semiluz del arco mayor, es decir $L=5,05m$., con lo que se obtiene $K=9.400 T/m$. para estos dos apoyos.

B. Pórtico Transversal (sec. 2-2 Fig.2), Figura 10

Según la numeración de nudos de la Figura 10, se modelizan los apoyos 1 y 25 como empotrados ambos, por las mismas razones aducidas anteriormente, si bien en este caso su situación es sobre la cota 7,10m., debido a la presencia del forjado de terraza inferior a ambos lados. Actuando como diafragma, estos forjados, junto con los muros de fábrica situados bajo ellos y que coexisten en la misma dirección del pórtico, queda suficientemente garantizada la inmovilidad lateral de los mencionados apoyos. El

estado de cargas que se impone en este caso es exactamente el mismo que el del pórtico longitudinal (véase Figura 11), y las condiciones de apoyo de los nudos 3, 7, 19 y 23 también son las mismas, por lo que la cúpula presenta una simetría bidireccional completa.

C. Análisis de resultados

De acuerdo con el estado de cargas estimado para ambos pórticos (esquema de la Figura 11) y con los valores estáticos justificados anteriormente, se ha procedido al cálculo de movimientos de los nudos de cada uno de ellos la salida de resultados que se muestra en las Tablas 1 y 2.

Observando los desplazamientos horizontales que tienen lugar en el pórtico longitudinal, comprobamos que se produce un desplazamiento en masa hacia la Pza. de Sta. Isabel de todo el conjunto en la forma en que se muestra en la Figura 9 mediante el dibujo de una deformada de sólido rígido. La cuantía máxima de estos desplazamientos, que se sitúa sobre los 4 cms., parece concordar en muy buena medida tanto con la magnitud de los desplazamientos tomados en la zona y consignados en el punto anterior como con la abertura que presentan en su parte inferior las grietas que dividen transversalmente a la cúpula. Sin embargo, en el pórtico transversal apenas se producen movimientos horizontales, tal como se puede apreciar en el movimiento de sólido rígido esquematizado en la figura 10.

Estos resultados dan, a nuestro juicio, una clara interpretación del proceso de agrietamiento que ha tenido lugar en esta parte de la Iglesia: el hecho de que en todo punto alrededor de la cúpula, excepto en los rayecantes a la fachada a Pza. de Sta. Isabel, exista un arriostramiento horizontal como lo es de hecho el forjado de la terraza inferior, garantiza la casi total inmovilidad horizontal excepto, precisamente, en los citados puntos rayecantes a Pza. Sta. Isabel, que se encuentran carentes de todo atado o arriostramiento intermedio en una altura de 11,50m.; altura que presenta el muro exterior de cerramiento en esta fachada. Así, los empujes de la cúpula en dirección hacia este muro no son absorbidos por ningún diafragma, contrariamente a lo que ocurre en el resto del perímetro. La consecuencia es que los empujes no absorbidos por los arcos se transmiten al muro, produciendo una inevitable desestabilización del conjunto.

TABLA 1

NUDO	MOVTO X	MOVTO Y	ROTACION	NUDO	MOVTO X	MOVTO Y	ROTACION
1	+0.00000000	+0.00000000	+0.00000000	1	+0.00000000	+0.00000000	+0.00000000
2	-0.00292408	-0.00000037	-0.00094926	2	-0.00339693	-0.00000038	+0.00109078
3	-0.00292414	-0.00039276	-0.00247533	3	-0.00339700	-0.00045137	-0.00210835
4	+0.00000059	-0.00172573	-0.00278618	4	-0.00074851	-0.00165640	-0.00258518
5	+0.00306956	-0.00039277	-0.00270362	5	+0.00156136	-0.00045140	-0.00224675
6	+0.00270083	-0.00382302	-0.00270883	6	+0.00165386	-0.00352582	-0.00220579
7	+0.00446253	-0.00596421	-0.00164182	7	+0.00262506	-0.00470626	+0.00002428
8	+0.01061226	-0.00596443	-0.00144325	8	-0.00006155	-0.00470647	+0.00088187
9	+0.01233346	-0.00623634	-0.00247299	9	-0.00062803	-0.00461704	+0.00034844
10	+0.01465944	-0.00742880	-0.00331881	10	-0.00063684	-0.00461255	-0.00028215
11	+0.01688733	-0.00966023	-0.00362313	11	-0.00031072	-0.00493921	-0.00067646
12	+0.01829355	-0.01238351	-0.00310721	12	-0.00008999	-0.00552353	-0.00072227
13	+0.01852959	-0.01386950	-0.00010974	13	+0.00004840	-0.00588471	-0.00000249
14	+0.01873756	-0.01256146	+0.00294022	14	+0.00010501	-0.00552847	+0.00071541
15	+0.02008508	-0.00995187	+0.00350925	15	+0.00040357	-0.00495026	+0.00066772
16	+0.02225788	-0.00779630	+0.00326253	16	+0.00072477	-0.00463160	+0.00027682
17	+0.02456023	-0.00660138	+0.00246886	17	+0.00071169	-0.00463836	-0.00035586
18	+0.02629895	-0.00632473	+0.00148739	18	+0.00013590	-0.00472992	-0.00089586
19	+0.03269110	-0.00632451	+0.00171134	19	-0.00261429	-0.00472971	-0.00003897
20	+0.03451728	-0.00412370	+0.00284851	20	-0.00165793	-0.00357711	+0.00219190
21	+0.03415262	-0.00933840	+0.00289188	21	-0.00154980	-0.00471717	+0.00224639
22	+0.03742858	-0.00184919	+0.00309810	22	+0.00074539	-0.00169545	+0.00260037
23	+0.04076021	-0.00331838	+0.00286030	23	+0.00341208	-0.00045011	+0.00211541
24	+0.04076015	-0.00000258	-0.00487845	24	+0.00341200	-0.00000038	-0.00109566
25	+0.00000000	+0.00000000	+0.00000000	25	+0.00000000	+0.00000000	+0.00000000

TABLA 2

Hasta aquí se han podido justificar, con bastante precisión como hemos visto, las grietas de la cúpula a partir de su propio mecanismo resistente, pero sin tener en consideración la importante grieta existente en el cerramiento exterior, a nivel de planta baja, recayente a la Pza. del Congreso Eucarístico. Esta independencia entre ambos procesos refuerza, a nuestro juicio, la hipótesis ya emitida anteriormente de que esta grieta debe estar más bien organizada por asientos producidos por el pozo que por características de afinidad con las grietas de la zona de la cúpula.

MOVIMIENTOS DE LA CIMENTACION

En el interior de la Capilla se tomaron desniveles en un total de 35 puntos, distribuidos de forma aproximadamente simétrica sobre la planta del recinto, y supuestos referidos al piso desde la última reforma del mismo, dada la imposibilidad clara de conocer desplazamientos absolutos desde la fecha de construcción de la Basílica.

Para el análisis de estos datos se ha utilizado un método de separación de componentes, consistente en diferenciar del movimiento global total las partes correspondientes a movimientos de sólido rígido por un lado y por otro las correspondientes a movimientos de deformación. Este método lo exponen y justifican matemáticamente de forma detallada Rechea y Basset (1), aplicándolo en particular a la determinación de los movimientos y giros del conjunto de la misma Capilla de la Comunidad en la comunicación que se cita en la referencia.

De los resultados allí expuestos se obtiene un valor de giro máximo en la base para el conjunto de la cúpula de $3.17 \text{ E-}03 \text{ rad.}$, lo que sobre el muro exterior de 11.5m. de altura supone un movimiento horizontal de desplazamiento en coronación de muro de unos 3.6 cms., valor que, comparado con los 4.07 cms de desplazamiento horizontal obtenidos para el mismo punto mediante el análisis estático del conjunto que se expuso anteriormente, ofrece un

estimable grado de concordancia y apoya aún más, lógicamente, las conclusiones allí expuestas sobre las causas más inmediatas de la patología de grietas existente.

CONCLUSIONES

Por los datos aportados en los puntos precedentes y apoyándonos en las concordancias obtenidas al comparar los valores medidos de anchura de grietas y desplomes con los resultantes de aplicar dos diferentes métodos de cálculo, también concordantes entre sí, puede concluirse, a nuestro juicio que:

- Los asientos producidos en la cimentación son de pequeña magnitud y no se estima que puedan ser causa primordial de la aparición de las grietas aunque puedan haber influido en una pequeña proporción. No parece necesario un refuerzo de la cimentación.

- Los empujes horizontales que se producen en la base de la cúpula de la Capilla originan desplazamientos concordantes con las grietas observadas. Se da la circunstancia, además, de que los muros verticales con peor arriostamiento horizontal son los que debían haber absorbido los empujes que han producido las grietas más importantes, por lo que se considera que es la falta de arriostamiento horizontal la causa principal de los daños actuales de la cúpula.

Como posible solución se ha sugerido la aplicación de cualquier sistema de zunchado que rigidice los dos anillos extremos del tambor de la cúpula de la Capilla y que impida que se abran por los esfuerzos de tracción que originan los empujes horizontales.

REFERENCIAS

(1) Rechea, M and Basset L. - Settlement Monitoring. Mathematical Data Treatment. I CONGRESO INTERNACIONAL REHABILITACION DEL PATRIMONIO ARQUITECTONICO Y EDIFICACION- CANARIAS 92.

DIAGNOSIS SISTEMATIZADA

Francesc Xavier Casanovas i Boixereu

Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona

SUMARIO

La ponencia presenta un método sistematizado para realizar el primer paso de un diagnóstico o prediagnóstico llamado Test Vivienda. Este método se basa en la descomposición del edificio en 55 elementos para su análisis. La estandarización del estado de conservación en cuanto posibles situaciones y en la extracción de conclusiones con la aplicación de unos coeficientes variables que al mismo tiempo permiten llegar a una estimación aproximada.

KEYWORDS:

Diagnosis, rehabilitación, patologías, mantenimiento

INTRODUCCION

Afrontar una intervención sobre un edificio existente plantea siempre un reto fundamental, consistente en la obtención de la información necesaria para alcanzar un conocimiento suficiente del elemento sobre el que se va a actuar, que nos permita adoptar las soluciones constructivas y de diseño adecuadas y así evitar las sorpresas constantes durante el proceso de ejecución de los trabajos previstos.

Alcanzar el grado de conocimiento necesario no resulta una tarea fácil y comporta procesos de una cierta complejidad, los que hay que plantear con una metodología de trabajo previamente determinada, fácilmente adaptable a las circunstancias variables y capaz de ayudarnos en la planificación de nuestra labor, dando unas líneas de estudio y unos instrumentos que nos permitan afrontar con seguridad los más diversos ámbitos y escoger los aspectos que realmente resulten de nuestro interés frente a cada trabajo en concreto.

En este sentido y teniendo siempre muy presente que es la experiencia de los profesionales que intervienen en la diagnosis de un edificio, así como su meticulosidad y paciencia en la recogida de información, la garantía fundamental de cara a la obtención de unos buenos resultados, planeamos tres fases del trabajo perfectamente diferenciadas, para un proceso de diagnosis que de una forma esquemática podemos resumir de la siguiente forma:

Prediagnóstico.- esta fase del proceso consiste, en un primer reconocimiento del edificio para conocer el programa de actuación previsto inicialmente y las posibilidades de cumplirlo, en establecer el estado general de conservación, localizando las patologías o indicios más significativos y en hacer una estimación económica de los trabajos que se consideren necesarios.

Estudios previos.- Esta fase, está orientada hacia la recogida de toda la información útil para un conocimiento profundo del edificio en todos y cada uno de sus componentes materiales y constructivos. En general estos estudios se realizan mediante equipos pluridisciplinarios perfectamente coordinados, trabajando cada profesional en su especialidad, ya sea haciendo las pruebas de laboratorio, estudiando documentos antiguos o en cualquier otro ámbito de interés según las necesidades del caso.

Diagnóstico.- Todo el proceso de estudio de un edificio debe culminar en la emisión del correspondiente diagnóstico que responderá al resultado de analizar la información recogida, estableciendo las interrelaciones conve-

nientes para la obtención de una visión unitaria.

En base a la estructura de trabajo comentada, la presente ponencia se plantea únicamente como afrontar la fase inicial o de prediagnóstico, pues el proceso completo es inabordable en una simplificación de las características que presentamos y siempre deberá ser objeto de la aplicación de una metodología más amplia y flexible para adaptarse a las características diferenciales de cada caso.

Ya dentro del campo del prediagnóstico, nos centraremos en un método sistematizado que nos permite realizar la labor en base a un documento previamente elaborado, que sirve de guía y agiliza el trabajo.

EL PREDIAGNOSTICO

Antes de entrar en el método sistematizado objeto de nuestro trabajo, hemos creído conveniente profundizar un poco más en cuanto a las características, límites y posibilidades que esta fase del proceso presenta.

En primer lugar, resulta necesario destacar la importancia que tiene no olvidar nunca este primer paso, en tanto que nos permitirá obtener una información fundamental en la determinación de la viabilidad de todo el proyecto, nos ayudará a organizar debidamente la fase de los estudios fijando los campos en los que hay que incidir en la recogida de información en el análisis profundo y en el caso de intervenciones de pequeña envergadura, puede resultar suficiente para plantearse la intervención.

Establecer y acotar los límites de simplicidad o complejidad de un trabajo de estas características no resulta nunca fácil en base a unas definiciones tan amplias como las expuestas hasta el momento. En un intento de fijar estos límites, creemos que un prediagnóstico debe ser el resultado de una inspección visual y organoléptica realizada con la máxima atención e intensidad posibles, pero consecuentemente, basada en una recogida de información de los signos externos o aparentes que pueden presentar los diferentes componentes.

En algunos casos, estas inspecciones se apoyan mediante la realización de catas que permitan el acceso a puntos significativos inalcanzables de otra forma y con el uso de algún instrumento de lectura sencillo para la comprobación de parámetros elementales de interés. De todas formas hay que tener en cuenta que las catas o la lectura instrumental en el prediagnóstico se hará de forma puntual sin posibilidad de obtener datos generalizables sino tan solo simples indicaciones.

SISTEMATIZACION DEL TRABAJO

Como se ha comentado, cualquier intervención en un edificio existente plantea una compleja labor, afrontar ésta por parte de profesionales especializados no requiere el establecimiento de una metodología estricta, ya que cada técnico tendrá su concepción de la forma idónea de realizar este trabajo. En un momento como el actual en que la rehabilitación está ocupando buena parte de los profesionales de la construcción, no todos están especializados en este tema, requiriendo en este sentido la disposición de herramientas que les faciliten la labor e incrementen la calidad y fiabilidad del trabajo.

La sistematización del prediagnóstico tiene un objetivo concreto en dar respuesta a esta necesidad, en tanto que es un documento guía o herramienta de trabajo que permi-

te a un técnico conocedor de su funcionamiento, realizar un análisis exhaustivo de un edificio siguiendo todos los elementos de interés, estandarizar el estado de degradación de cada uno de ellos y elaborar la información recogida de forma objetiva para la obtención de unos resultados concretos y fiables. En la mayoría de casos la sistematización del método permite optimizar el trabajo del técnico consiguiéndose la máxima información con un mínimo de tiempo.

Otro objetivo que cubren estos sistemas es el de homogeneizar los resultados de un prediagnóstico realizado por diferentes técnicos en edificios de características similares, pudiéndose unificar los resultados, si es necesario, al evitar al máximo las apreciaciones subjetivas que tienden a magnificar algunos aspectos perdiendo de vista otros que pueden resultar de igual o mayor importancia. También se consigue hacer más fácilmente comprensibles las conclusiones que se dan al solicitante del estudio, evitando informes muy complejos en cuanto a redacción y presentación que hacen difícil su interpretación para una persona que no sea profesional de la construcción.

La estimación de los costos de trabajo a realizar, también se ve claramente facilitada si empleamos un método preparado para dar respuesta a este aspecto, pues los parámetros recogidos son suficientes para hacer una aproximación económica, que si bien para un profesional experto se puede determinar instantáneamente por pura intuición y experiencia, para un profesional que no haya realizado muchos trabajos de este tipo, se convierte en un trabajo ingente y por lo general poco fiable en sus resultados.

EL TEST VIVIENDA

El Test Vivienda, es un método sistematizado de prediagnóstico preparado para dar respuesta a unas necesidades de los técnicos que intervienen en rehabilitación, necesidades que pueden concretarse en los objetivos genéricos presentados en el apartado anterior:

- Servir de guía a los técnicos en su labor de prediagnóstico.
- Optimizar los trabajos de inspección y de redacción de conclusiones.
- Homogeneizar los resultados.
- Facilitar un sistema rápido de estimación económica.
- Dar al solicitante un documento de fácil comprensión con la información suficiente para su toma de decisiones.
- Establecer un orden de prioridades en la actuación posterior.

Es para dar una mejor respuesta, que se le dio la estructura e imagen que presenta, con unas pocas páginas en las que se resume toda la información recogida y elaborada (ver Figura 1) y un buen número de fichas de análisis para hacer el seguimiento del edificio (ver Figura 2), estudiando sus características constructivas, valorando su estado de conservación y considerando la necesidad o urgencia de intervención.

ANTECEDENTES

La política de rehabilitación que diversos países europeos se plantean entre los años 1960 y 1970, para hacer frente a la degradación del patrimonio construido, presenta como necesidad el dotarse de unos instrumentos que permitan determinar necesidades y prioridades sirviendo de apoyo a la planificación de las líneas de actuación.

Para dar respuesta a esta necesidad, las diferentes administraciones establecieron en su momento, sus propios métodos de trabajo en la obtención y elaboración de la información necesaria, siendo los más conocidos el MORA Inglés y el MER francés los que a su vez han servido de base para adaptaciones a otras realidades concretas y a las necesidades de cada momento.

La estructura de todos estos documentos es muy similar,

partiendo siempre de la descomposición del edificio en una serie de elementos constructivos, planteando un pequeño número de posibles estados de degradación para cada uno de ellos, determinando una puntuación para cada opción y estableciendo una operativa de elaboración de conclusiones y de estimación económica de los trabajos a realizar.

Una característica común en casi todos los métodos comentados está en su planteamiento orientado al estudio y evaluación de amplios conjuntos residenciales, perdiendo validez y fiabilidad, a medida que se reduce el volumen de la muestra estadística y el universo en estudio. Existen diversas experiencias que tienden a incrementar la fiabilidad de los resultados limitando la tipología edificatoria de aplicación o como en el caso que nos ocupa, en el que se pretende dar mayor protagonismo al conocimiento del estado de conservación de un solo edificio o vivienda en detrimento de la precisión de la estimación económica.

FUNCIONAMIENTO

Para realizar un prediagnóstico con el Test Vivienda, hay que seguir el guión que plantea el documento, con cinco fases claramente diferenciadas:

1) Características genéricas del edificio.- Consiste en un reconocimiento del edificio y recogida de datos en cuanto a:

- Características generales. Tipología, número de viviendas, dimensiones, año de construcción, documentación disponible, etc..

- Ubicación, Emplazamiento, entorno, edificios vecinos, servicios, etc..

- Complejidad de las obras, accesibilidad, disponibilidad de espacio para acopio, facilidad de transporte interior, etc., todos ellos aspectos a tener en cuenta en la estimación económica final.

2) Inspección.- Consiste en hacer un recorrido por todo el edificio siguiendo y cumplimentando las 55 fichas de análisis en que se ha descompuesto. Las fichas de análisis recogerán:

- Características constructivas de cada elemento.

- Estado de degradación en porcentaje del total del elemento en cada una de las cuatro posibilidades que se plantean detalladamente en cada ficha y que responde básicamente al siguiente esquema:

- Mal estado	Código 2
- Reparaciones generalizadas	Código 1
- Pequeñas reparaciones	Código 3
- Buen estado	Código 4

- Descripción y localización de los defectos significativos observados.

- Otras anotaciones que se considere interesante recoger por su utilidad en la elaboración de las conclusiones o en estudios posteriores.

3) Elaboración de conclusiones: Con toda la información recogida en la fichas, se aplicará el cuadro de calificación correspondiente, con la puntuación prevista, que nos permitirá obtener el nivel de degradación para cada capítulo y el global, que están estandarizados en cinco posibilidades:

Derribo o restauración de monumento	Nivel I
Rehabilitación pesada o derribo	Nivel II
Rehabilitación media	Nivel III
Rehabilitación ligera o mantenimiento	Nivel IV
Mantenimiento	Nivel V

Asimismo, se indicará si el edificio cumple las condiciones de habitabilidad previstas por la legislación vigente en que aspectos no la cumple.

Como complemento de estos datos, el técnico diagnóstico redactará unas breves conclusiones y recomendaciones que contemplen aspectos específicos de interés no destacados en la valoración estandarizada, indicando si hay actuaciones de realización prioritaria de cara a la seguridad del edificio y asesorará al solicitante dando respuesta concreta a sus inquietudes y a los planteamientos de actuación previamente concebidos.

4) Diagnóstico profundo.- Como se ha venido comentando, este documento únicamente alcanza la fase de prediagnóstico, si bien en los niveles de degradación IV y V y en algunos casos en el III, puede recoger suficiente información para que no resulte necesario seguir profundizando en el proceso de diagnóstico.

En el caso que haya que seguir trabajando en el conocimiento del edificio, el Test Vivienda orientará respecto a los ámbitos en los que resulte necesario hacerlo e indicará los primeros indicios localizados de cada uno de los problemas complejos.

5) Estimación económica.- Obtener una primera estimación económica de los trabajos de reconvertir el edificio a los estándares del momento, no resulta fácil, en cuanto que hay diversos factores que pueden hacer variar el coste y que no está a nuestro alcance determinar en esta primera fase, como son:

- Las soluciones técnicas concretas y los materiales de acabado que se adoptarán para resolver cada uno de los problemas presentes.

- Las características de la empresa que va a realizar los trabajos.

- La situación del mercado en el momento de la intervención.

- En el caso de edificios propiedad de administraciones públicas, los costes de realojamiento, gestión y otros implícitos en toda operación de estas características.

- Muchas otras variables que envuelven toda intervención en un edificio existente.

Siendo plenamente conscientes de estas limitaciones, de todas formas se plantea un sistema de estimación económica rápido con la aplicación de un coeficiente en la puntuación total obtenida que nos da un valor m^2 de edificio. En esta valoración se aplican unos coeficientes de corrección por accesibilidad y transporte ya que se pueden apreciar en la inspección.

La precisión en los resultados se ha manifestado bastante buena en el caso de edificios de la tipología base (entre medianeras, 6 plantas...) moviéndose en un margen de error del 15 al 20%, que se ve incrementado a medida que nos distanciamos de la tipología planteada.

APLICACIONES

Tal como su nombre indica, en su estructura actual, el Test Vivienda únicamente puede utilizarse en edificios residenciales, permitiendo tres niveles de aproximación: res-

pecto los elementos comunes de todo un edificio plurifamiliar, en las viviendas del mismo edificio tomadas de forma individual o como muestreo del conjunto y sobre un edificio unifamiliar completo.

A pesar de esta limitación tipológica, las posibilidades de aplicación y los ámbitos en los que está resultando útil son muchos y variados:

1) Prediagnóstico.- Resulta bastante práctico iniciar un proceso de diagnóstico amplio en base a un primer documento de aproximación y éste ayuda a esta tarea, al permitir valorar la viabilidad de las actuaciones previstas y organizar el estudio previo si resulta necesario.

2) Diagnóstico.- En el caso de actuaciones de tipo sencillo en un edificio o vivienda, esta metodología de trabajo, perfectamente estructurada, generalmente resulta una vía muy práctica para llegar al grado de conocimiento requerido, introduciendo la visión técnica compleja de la intervención que en muchos casos no existe al hacerse todo el planteamiento en base a la visión práctica de un albañil de confianza.

3) Mantenimiento y gestión de edificios.- Esta faceta de la intervención en los edificios, es un aspecto absolutamente olvidado en nuestro país, a pesar de la importancia que tiene hacer un mantenimiento correcto para alargar la vida útil de los edificios y aprovecharlos obteniendo de ellos la máxima calidad y confort para los usuarios.

Las características del Test Vivienda, permiten utilizarlo como documento técnico de reconocimiento de edificios, para organizar el mantenimiento y la gestión de los mismos, en base a un conocimiento de sus necesidades y su evolución, diseñando así, el plan de mantenimiento periódico necesario para todo el inmueble.

4) Tasaciones inmobiliarias.- Actualmente, el mercado de la vivienda usada, tiene un peso muy significativo sobre todo en las grandes ciudades, existiendo una grave problemática en toda transacción al no disponer de ninguna información objetiva del estado de conservación del edificio, no existiendo tampoco ningún tipo de garantía sobre el producto si su edad es superior a los 10 años.

Este es otro ámbito, en el que la aplicación del Test puede ser útil en la protección del comprador o arrendatario, al disponer de una información fiable de las características y estado de conservación de la vivienda que se adquiere.

5) Una de las primeras aplicaciones de este tipo de métodos fue el conocimiento del estado de conservación de un amplio parque edificado y la estimación económica de los costos de su recuperación, sin ningún tipo de dudas, ésta es también una de las aplicaciones del Test incrementándose la fiabilidad de la valoración económica a medida que aumenta el volumen de la muestra.

Barcelona, Octubre de 1.991

Test Vivienda[®]

DATOS DEL TÉCNICO

1 NOMBRE: _____ COLEGIADO N.º _____
 DIRECCIÓN: _____
 POBLACIÓN: _____ D.P. _____ Teléfono: _____

DATOS DEL SOLICITANTE

2 NOMBRE: _____ D.N.I. _____
 DIRECCIÓN: _____
 POBLACIÓN: _____ D.P. _____ Teléfono: _____
 Actúa en calidad de:
 Administrador Arrendatario Propietario _____

EMPLAZAMIENTO

3 DIRECCIÓN: _____
 POBLACIÓN: _____ D. POSTAL _____

El TEST VIVIENDA mide constantemente el estado del inmueble en la fecha de su realización. El técnico que lo escribe no responde, bajo ningún concepto, de las posteriores variaciones de valores o condiciones que puedan producirse.

La función técnica realizada para la certificación del TEST VIVIENDA se ha limitado exclusivamente a la detección de aquellos elementos constituyentes del inmueble perceptibles a través de inspección ocular o por simples observaciones, previo por el que se han registrado en caso de haberse producido, las acciones preventivas a consecuencia de la detección de los daños, así como o puesto de manifiesto en general, las causas que originan aquellos del contenido del TEST VIVIENDA y, en cualquier caso, se han dado pautas expeditivamente por el propietario o poseedor del TEST VIVIENDA.

El TEST VIVIENDA no genera responsabilidad alguna con la función de dirección de obra. El técnico que escribe no asume responsabilidad alguna en los casos de irregularidad relacionado con el inmueble, derivada de falta de autorización, permiso de construcción, deribo o derechos de sucesión.

CALIFICACIÓN (Continuación)

7

F - INSTALACIONES Y EQUIPOS

F-1	Bajantes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F-2	Arquetas y albañiles	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F-3	Red primaria de agua sanitaria	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F-4	Red secundaria de agua sanitaria	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F-5	Red primaria de electricidad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F-6	Red secundaria de electricidad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F-7	Red primaria de gas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F-8	Red secundaria de gas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F-9	Ascensor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F-10	Calefacción	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F-11	Refrigeración	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F-12	Circuitos y conductos de ventilación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F-13	Local cocina	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F-14	Equipo cocina	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F-15	Local Baño	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F-16	Equipo Baño	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F-17	Lavadero y tendedero	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

CALIFICACIÓN GLOBAL

NIVELES DE DEGRADACIÓN

- NIVEL I** Su estado de degradación es tan importante que la reparación es prácticamente imposible con medios normales; sólo se puede considerar su reparación por motivos de carácter monumental, histórico o artístico. (Deribo o restauración de monumento).
- NIVEL II** Su estado de degradación es importante, y las condiciones no son adecuadas para el uso al que está destinado. Se precisa una urgente y profunda intervención, o -incluso- una sustitución total. (Rehabilitación pesada o deribo).
- NIVEL III** La degradación es notable, y -aunque las condiciones de uso no son críticas- requiere una intervención importante. (Rehabilitación media).
- NIVEL IV** El estado de conservación es aceptable y las condiciones de uso tolerables; requiere una intervención ligera. (Rehabilitación ligera y mantenimiento).
- NIVEL V** Buen estado. No será preciso actuar, siempre y cuando el mantenimiento sea el adecuado. (Mantenimiento).

CONDICIONES URBANÍSTICAS:

La situación urbanística del elemento analizado es un elemento que condiciona su rehabilitación. Se recomienda pedir la calificación urbanística al ayuntamiento correspondiente.

CONDICIONES DE HABITABILIDAD:

De la inspección ocular realizada por mí, se deduce que los elementos [SI] [NO] reúnen los requisitos exigidos en los Decretos vigentes y otras disposiciones que estén relacionadas.

Parámetros y requisitos que no cumplen:

FICHA DE ANALISIS

A. Estructura y cerramientos exteriores

9

CAPÍTULO	DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS	ESTADO DE DEGRADACIÓN	CODIGO %	DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LOS DEFECTOS	OBSERVACIONES
A.3. HUMEDADES DEL SUBSUELO		<input type="checkbox"/>	4	En buen estado, sin necesidad de intervenció.	
	Captación	<input type="checkbox"/>	3	Muchas o pocas por problemas puntuales de filtraciones o localizadas por condensación.	
	Filtración	<input type="checkbox"/>	3		
	Condensación ambiental	<input type="checkbox"/>	3		
	En el pavimento	<input type="checkbox"/>	2	Grutas estabilizadas en puntos puntuales por filtración, capilaridad, o "gambuzinos" por condensación.	
	En los cimientos	<input type="checkbox"/>	2		
En los muros	<input type="checkbox"/>	2			
Estos tejidos sanitario	<input type="checkbox"/>	1	Dañoses y graves importantes. Reparación estructural con intervenciones generalizadas.		
Estos sòcia habitació	<input type="checkbox"/>	1			
Hay impermeabilización	<input type="checkbox"/>	1			
Hay drenaje	<input type="checkbox"/>	1			
Hay cable pared con cámara	<input type="checkbox"/>	1			

A.4. ESTRUCTURA Y/O CERRAMIENTOS DE LA FACADA PRINCIPAL		<input type="checkbox"/>	4	En buen estado, sin necesidad de intervenció.	
	Muros y cerramientos	<input type="checkbox"/>	4		
	Alcoba	<input type="checkbox"/>	3	Muchas o pocas estabilizadas que no ponen en peligro al conjunto respecto de las lesiones. Reparación superficial, pero generalizada.	
	De ladrillo	<input type="checkbox"/>	3		
	De piedra	<input type="checkbox"/>	3		
	De cerámica	<input type="checkbox"/>	3		
	De bloque de hormigón	<input type="checkbox"/>	3		
	De hormigón armado	<input type="checkbox"/>	3		
	De una sola hoja maciza	<input type="checkbox"/>	2	Grutas estabilizadas o fisuras no estabilizadas cuando la causa es la naturaleza. Reparación estructural, con intervenciones puntuales.	
	De una sola hoja doble	<input type="checkbox"/>	2		
	De dos hojas con cámara	<input type="checkbox"/>	2		
	Fisuras	<input type="checkbox"/>	1	Dañoses y graves importantes. Reparación estructural con intervenciones generalizadas. Grutas importantes, por compresión y estado corrosivo, que necesitan intervenciones puntuales.	
De cerámica	<input type="checkbox"/>	1	Lesiones que ponen en peligro la estabilidad del edificio y hacen necesario un refuerzo generalizado.		
De hormigón	<input type="checkbox"/>	1			
De ladrillo	<input type="checkbox"/>	1			
De acero	<input type="checkbox"/>	1			
De madera	<input type="checkbox"/>	1			

FICHA DE ANALISIS

A. Estructura y cerramientos exteriores

9

CAPÍTULO	DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS	ESTADO DE DEGRADACIÓN	CODIGO %	DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LOS DEFECTOS	OBSERVACIONES
A.7. ESTRUCTURA INTERIOR		<input type="checkbox"/>	4	En buen estado, sin necesidad de intervenció.	
	Muros	<input type="checkbox"/>	4		
	De adobe	<input type="checkbox"/>	4		
	De ladrillo	<input type="checkbox"/>	4		
	De piedra	<input type="checkbox"/>	4		
	De cerámica	<input type="checkbox"/>	4		
	De bloque de hormigón	<input type="checkbox"/>	4	Muchas o pocas estabilizadas que no ponen en peligro el conjunto respecto de las lesiones. Reparación superficial, pero generalizada.	
	Fisuras	<input type="checkbox"/>	3		
	De cerámica	<input type="checkbox"/>	2	Grutas estabilizadas o fisuras no estabilizadas cuando la causa es la naturaleza. Reparación estructural con intervenciones puntuales.	
	De hormigón	<input type="checkbox"/>	2		
	De ladrillo	<input type="checkbox"/>	2		
De acero	<input type="checkbox"/>	2			
De madera	<input type="checkbox"/>	2			
	<input type="checkbox"/>	1	Dañoses y graves importantes. Reparación estructural con intervenciones generalizadas. Grutas importantes, por compresión y estado corrosivo, que necesitan intervenciones puntuales.		
	<input type="checkbox"/>	1	Lesiones que ponen en peligro la estabilidad del edificio y hacen necesario un refuerzo generalizado.		

A.8. ELEMENTOS PORTANTES HORIZONTALES		<input type="checkbox"/>	4	En buen estado, sin necesidad de intervenció. No se detectan ni conocen problemas por esta causa.	
	Fogatas	<input type="checkbox"/>	4		
	Unidireccionales	<input type="checkbox"/>	3	Deformaciones localizadas que provocan grietas en los fogatas y paramentos verticales. Reparaciones puntuales.	
	Bidireccionales	<input type="checkbox"/>	3		
	De madera	<input type="checkbox"/>	3		
	Viguetas de hormigón	<input type="checkbox"/>	2	Deformaciones importantes de forma generalizada que provocan grietas en los fogatas y paramentos verticales. Reparaciones generalizadas.	
	Viguetas de acero	<input type="checkbox"/>	2		
	Viguetas de cerámica	<input type="checkbox"/>	2		
	Viguetas de madera	<input type="checkbox"/>	2		
	Revollons prohibicionados	<input type="checkbox"/>	1	Lesiones que ponen en peligro la estabilidad general de los fogatas, reduciendo su capacidad portante.	
	Revollons fogatas	<input type="checkbox"/>	1	Refutación y/o formación de nuevas fisuras portantes de forma generalizada.	
	Losas armadas	<input type="checkbox"/>	1		
	Losas armadas aligeradas	<input type="checkbox"/>	1		
	Jicenas	<input type="checkbox"/>	1		
	De hormigón	<input type="checkbox"/>	1		
	De acero	<input type="checkbox"/>	1		
	De madera	<input type="checkbox"/>	1		
Apoyados	<input type="checkbox"/>	1			
Plata	<input type="checkbox"/>	1			

8

Figura 2

10

FICHA DE ANALISIS

B. Paramentos exteriores

9

CAPÍTULO	DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS	ESTADO DE DEGRADACIÓN	CODIGO %	DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LOS DEFECTOS	OBSERVACIONES
B-11.	 AISLAMIENTO TÉRMICO De dos hojas que forman cámara de aire De dos hojas, con material aislante en cámara De una sola hoja De una sola hoja, con material aislante adosado	<input type="checkbox"/> Se desmorona si hay o no, y la información sobre su existencia tampoco es fiable. No se han detectado problemas por esta causa. <input type="checkbox"/> A la vista de las características observadas y de la información disponible, se es preciso intervenir. <input type="checkbox"/> Se necesita aislamiento térmico de forma localizada, priorizándose en zonas estratégicas como esquinas, en un porcentaje de hasta 60%. <input type="checkbox"/> No existe ningún elemento aislante específico, y los cerramientos son tradicionales con un aislamiento térmico.	0 4 2 1		
B-12.	 AISLAMIENTO ACÚSTICO Doble ventana Cristal doble Insonorización de las cajas de portiana Juntas aislantes	<input type="checkbox"/> No hay, ni se necesita, ningún tipo de aislamiento específico. El nivel de ruido ambiental no supera los límites tolerados. <input type="checkbox"/> Los cerramientos exteriores disponen de aislamiento acústico, y éste cumple adecuadamente su función. <input type="checkbox"/> El nivel de ruido ambiental no es elevado. Las características disponibles de aislamiento acústico, para este no cumple adecuadamente su función. <input type="checkbox"/> El nivel de ruido ambiental supera por muy poco los límites tolerados. <input type="checkbox"/> El nivel de ruido ambiental no es elevado. Los cerramientos exteriores no disponen de aislamiento acústico, si el que les resulta por completo insuficiente. Debe priorizarse a operaciones importantes de corrección, o a la nueva implantación del aislamiento necesario para no sobrepasar los niveles máximos de ruido tolerados.	0 4 3 1		

FICHA DE ANALISIS

F. Instalaciones y equipos

9

CAPÍTULO	DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS	ESTADO DE DEGRADACIÓN	CODIGO %	DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LOS DEFECTOS	OBSERVACIONES
F-14.	 EQUIPO DE COCINA Encimera de mármol Encimera de saneado Encimera de madera estratificada Armario de madera Armarios metálicos Instalación de agua caliente Instalación lavadora Instalación lavavajillas Fregadero de cocinas y horno Cuchina Extractor de humos Gas Electricidad Grifería De latón Cromado Desagües A la vista Empuñador Sifón de plomo Sifón de PVC Sifón cromado	<input type="checkbox"/> En buen estado, sin necesidad de intervención. Hay fugas de agua de cocineta, extractor de humos y armario para la lavadora, con grifería y conexiones hasta la red de desagüe. <input type="checkbox"/> Armarios de madera Armarios metálicos Instalación de agua caliente Instalación lavadora Instalación lavavajillas Fregadero de cocinas y horno Cuchina Extractor de humos <input type="checkbox"/> Gas Electricidad <input type="checkbox"/> Grifería De latón Cromado <input type="checkbox"/> Desagües A la vista Empuñador Sifón de plomo Sifón de PVC Sifón cromado	4 3 2 1		
F-15.	 LOCAL BAÑO En una sola pieza En diversas piezas Con ventilación directa Sin ventilación directa Nímetro de baños completos Número de arcos Número de W.C. Revestimientos soporte Revoque Frescador Acabado Azulejo Papel Escuela PVC	<input type="checkbox"/> La plisa o plisa destinada a baños o W.C. son del tipo adecuadas, tanto en lo que se refiere a las dimensiones como a la ventilación, sin necesidad de intervención. <input type="checkbox"/> La plisa o plisa destinada a baños o W.C. son completamente inadecuadas en lo que se refiere a dimensiones, pero debe substituirse o mejorarse la ventilación, y repararse localmente de los acabados en un porcentaje de hasta el 20%. <input type="checkbox"/> Han de introducirse reparaciones del soporte y la ventilación del acabado hasta un porcentaje del 60%. <input type="checkbox"/> Se ha de crear un local para baño y otro para el W.C., cubo uno para ambos usos, o recibirlo lavable dos y reparar el soporte.	4 3 2 1		

- 30 -

STUDY AND DESIGN FOR THE RESTORATION OF THE BASILICA OF ST. FRANCIS IN ASSISI

G. CROCI*, G. CARLUCCIO**, L. ZILBERSTAIN***,

(*) Prof. Tecnica Costruzioni - Università di Roma

(**) Studio Progettazione e Controlli Roma

(***) Technical General Director - Infrasad Progetti SpA-

Summary

The study deals with the problem of the seismic strengthening and of the restoration of the structures of the S. Francesco's Basilica in Assisi. Here is shown the methodology followed in the analysis of the cracks and the study of the seismic behaviour of the construction, with the project proposals, which include really original solutions, respecting the high artistic value of the building.

Somario

Keyword:

Body of Paper:

1. Introduction
2. Historical survey
3. Analysis of the origin of the cracks
4. Mathematical model of the Basilica
5. Interventions

1. INTRODUCTION

This paper deals with the studies which have been developed on the Basilica of St. Francis in Assisi.

The studies, carried out by INFRASUD PROGETTI SpA of IRITECNA Group, with the support of STUDIO CROCI, consulting engineering, has first researched the causes of cracks and damages that interest all the monumental complex (fig.1)

The seismic action, locally amplified by soil deformations, has been recognized as the main causes. The mathematical models, built on the basis of the historical survey and experimental tests, have been prepared in order to investigate the behaviour of the Basilica; the main objective is to research some interventions to minimize the deformations that produce, in occasion of the frequent earthquakes, the cracks on the walls, supporting the frescos of Giotto

2. HISTORICAL SURVEY

The erection of the Basilica began in 1228 over the "Inferi hill", on the place destined to the execution of the capital punishments, where the Saint had expressed his will to be buried in.

In 1230 the body of S. Francis was transposed in the underground crypt under the centre of the Lower Basilica and Pope Gregorio IX renamed the burial place as Paradise hill.

The erection of the two superimposed Basilicas took place in a very short time, so that the Pope Innocenzo IV in 1253 consecrated the Basilica; in such an occasion the Pope lived into the holy monastery from April to September, occupying the Pope's Palace that, with the "Capitolo," on the Northern side, and with the "Palazzo dello Studio" on the West side, was erected contemporaneously to the Basilica (fig.2)

The cloister of Sisto IV, today at the center of the Monumental Building, was in origin just an open space delimited by the buildings described before.

Around the end of the century occurred the first expansion Westwards and Southwards; this expansion process proceeded almost without interruption during the first half of the fourteenth century, the New Palazzo Papale, the Monks Cloister and the S. Geronzio Cloister being built.

In the fifteenth century, under the Pontificate of Sisto IV, the Sacro Convento arose to the present plano-volumetrical articulation, with the building of the Southern Colonnade, the twin arcade of the principal cloister and the erection of the spur in the Western Palace (fig.3).

Contemporaneously to the building of the Sacro Convento, take place the realization of the most important collection of the fourteenth century's frescos, by the participation of Cimabue and Giotto.

Considerable artistic importance have also the stained-glass windows of the Basilica; their realization in fact was performed by the most important European glass-blower masters.

3. ANALYSIS OF THE ORIGINS OF THE CRACKS

3.1 Global cracks

The crack pattern concerns wide areas into the Sacro Convento and the Basilica. They are all related with the seismic action and with the corresponding plastic deformations of the bed foundation of the Sacro Convento, especially in the Southern and Western Palace (fig.4).

It's very likely that during the seismic motions, settlement of foundation soil with residual deformation occurred.

Moreover, in the Sacro Convento, many demolishing and rebuilding works were performed, in occasion of the transformation carried out in the past time; these works show discontinuities that have weakened the global structural behaviour.

To these mechanical aspects the degradation and the progressive reduction of the resistance of the materials, and particularly the masonry directly exposed to the atmospheric agents, have to be added.

Chemical analysis have permitted to determine the vulnerability of the calcareous stone of which the masonry is composed, to the infrost cycles and to the action of washing away carried out by the rainwater.

on the other hand the stripping of the joints in the masonry accomplish the phenomenon permitting the humidity detention and accelerate the disgregation process due to the frost.

3.2 Cracks into de Basilica

With regard to the structure of the Basilica, many of the cracks phenomena have their origin in the structural behaviour under the seismic actions.

The vertical cracks in the side ailes of the Upper Basilica are principally due to the reduced flexural bearing capacity related to the seismic component orthogonal to the plane of the walls.

These cracks produce more than the discontinuity in the body of the wall (important from the point of view of a correct global behaviour), serious damages to the Giotto's frescos on the internal surface (fig.5, 6).

Also the cracks visible into the facade and in the zone of the transept are depending from the seismic events in the past; these events, in fact, produced the more significant effects just in the zones of connection with the elements of larger stiffness; in these zone, in fact, there is the more high concentration of tensions.

The failure detected on the structures of the large windows and of the stained-glass windows, are due to the seismic effects and to the wind action; in the past various metallic support elements were introduced.

In some cases these elements have produced a concentration of the stresses and a following priming of brittle failures in the small pillars (fig.7)

Finally two pillars of the Lower Basilica present crushing phenomena with cracks and ejection of some part of stone blocks

4. MATHEMATICAL MODEL OF THE BASILICA

An analysis of the behaviour of the structures of the Basilica has been performed using mathematical finite element models; these models have permitted to determine the stress level reached into the structural elements due to the dead load and to the seismic actions.

The global model of the Basilica showed that just under the effects of the dead load, the stresses are small and the safety margins are satisfactory.

The stresses level is represented in the computer output with various colours, that do not come out well in a black and white picture (fig. 8)

As for the seismic actions, the mathematical model point out, under the effect of the normal component of the force acting on the lateral wall, where are the big windows and, below, the Giotto's frescos, relevant flexional effects and tensile stresses appear in the middle (fig.9). During the earthquake, that involves an alternating motion, are gene-

rated consequently similar cracks patterns on both the surfaces of the wall; these patterns correspond to the ones that have been observed. The presence of these cracks, generate some dangerous situations on the top, over the big window, where in the past has been often necessary to put some reinforcement; on the lower part, instead, the stress level do not correspond to a situation of crisis, because a bearing capacity linked to an arche effect can be developed in the thickness of the wall.

In the zones interested by the Giotto's frescos the main problem therefore is not related to the bearing capacity, but rather to the big deformations that accompanies the development of the arche effect.

5. INTERVENTIONS

The interventions reported in this paper are referred to the stiffening of the wall and the improvement of the resistance of the large windows.

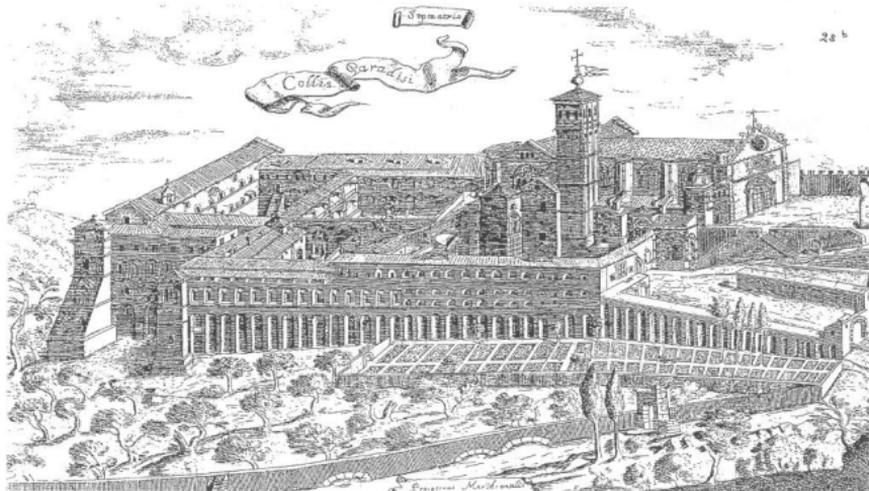
The stiffening of the wall is obtained by a steel reticular beam put over the internal cornice, positioned at half height, under the large windows, and not visible by the visitors of the Basilica (Fig. 10,11)

This beam is connected to the masonry by oleodynamic dampers in a position to allow thermic deformations, and to react rigidly under the effect of dynamic impulse due to the seismic actions (fig.12).

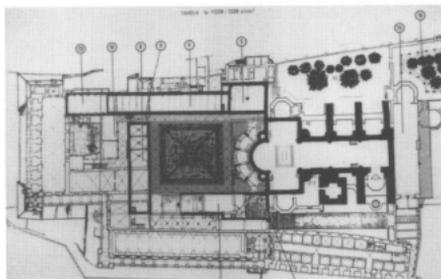
The intervention that we have preposed, more than to result completely reversible, do not want therefore to alter the behaviour under normal conditions; under exceptional conditions, however, like earthquake, the reticular beam reduces strongly the deformability.

In the walls that are not interested by frescos, the resistance is also improved inserting in horizontal holes, expressly prepared, some of synthetic fiber. The fibers are prestressed by particular jacks (fig. 13,14).

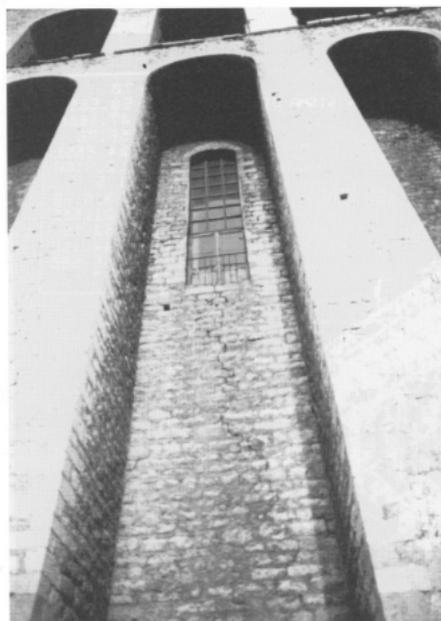
The reinforcement for the large windows are obtained by a low prestressing, given by flat jack, in the little columns in the middle of the window itself; this intervention is associated with the inserting of some horizontal steel elements (fig.15)



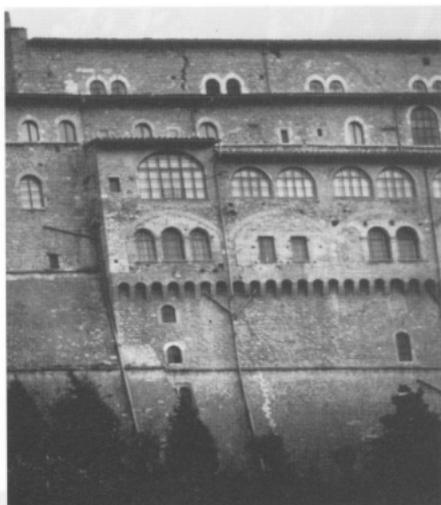
Pic. 1. St. Maria Basilica and Holy Convent towards the end of the XV century



Pic. 2. Plan of the Convent with the sign of the Basilica and of the primitive building



Pic. 3. All-round damage to the Southern arcade



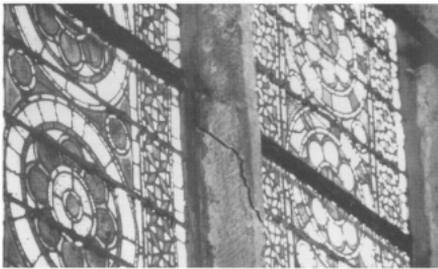
Pic. 4. A crack in the anter wall of the West palace



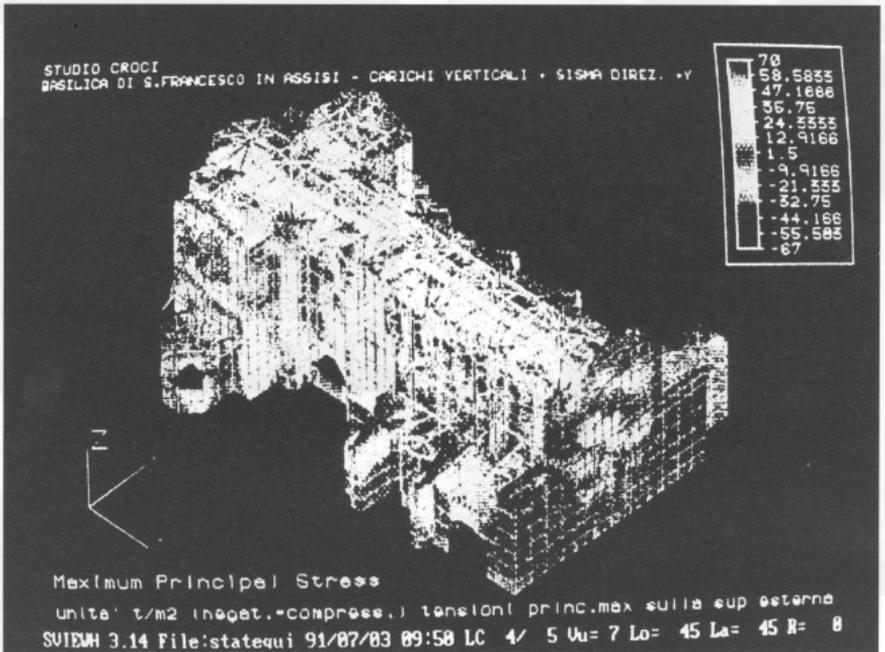
Pic. 5. Facade of the Basilica



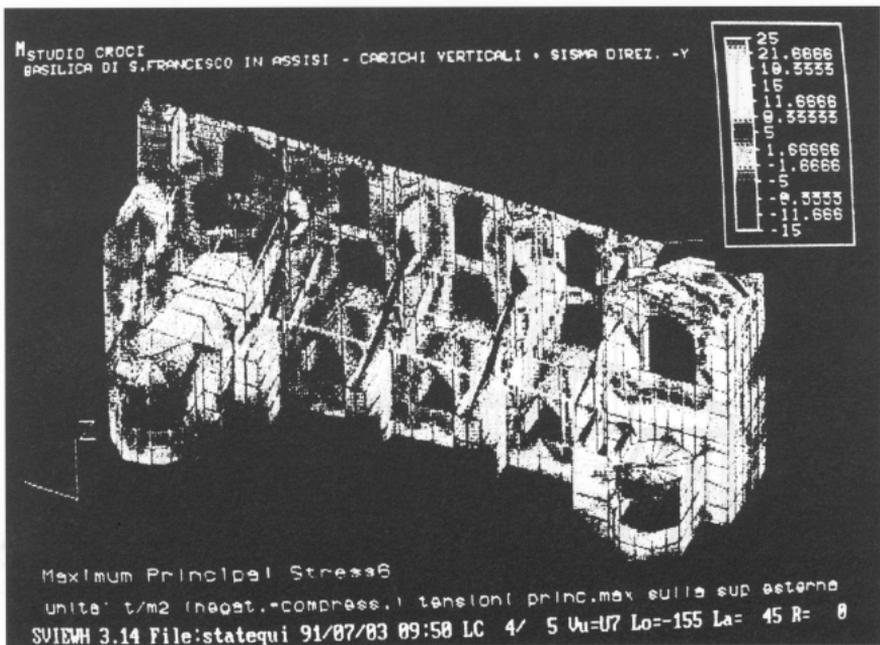
Pic. 6. The interior of the Basilica with the frescos by Giotto



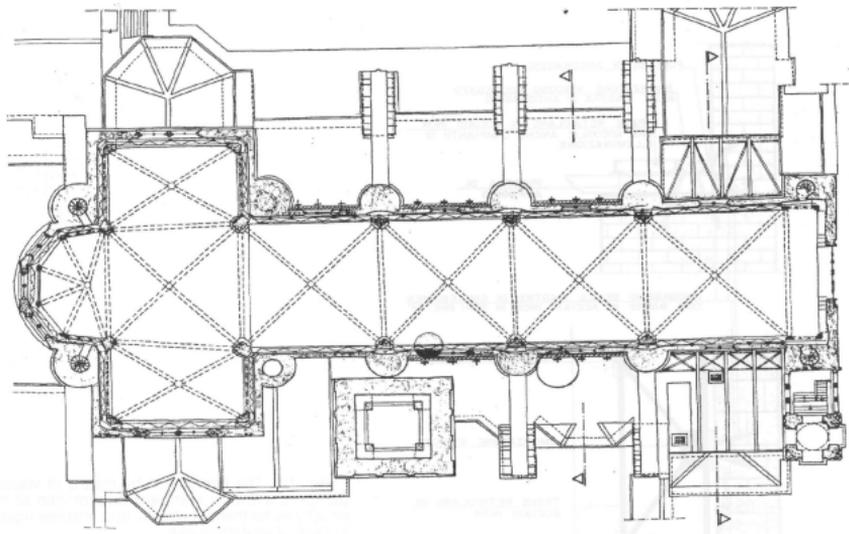
Pic. 7. Crack of the column of the windows



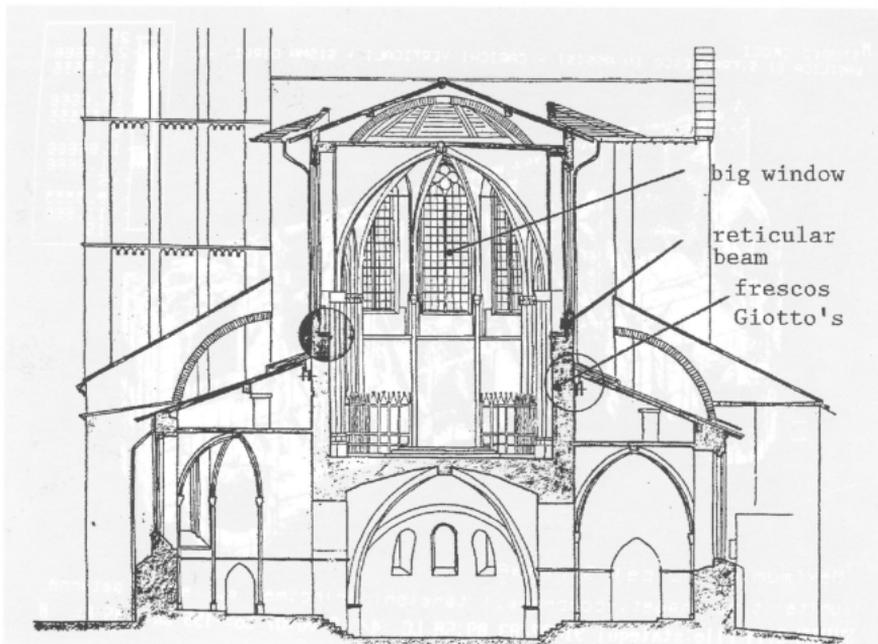
Pic. 8. Mathematical model for the analysis of seismic behaviour



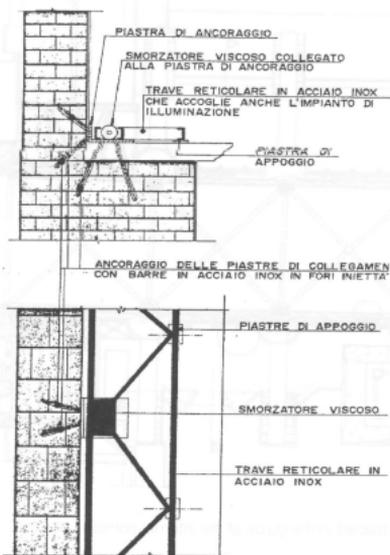
Pic. 9. Mathematical model of the lateral wall



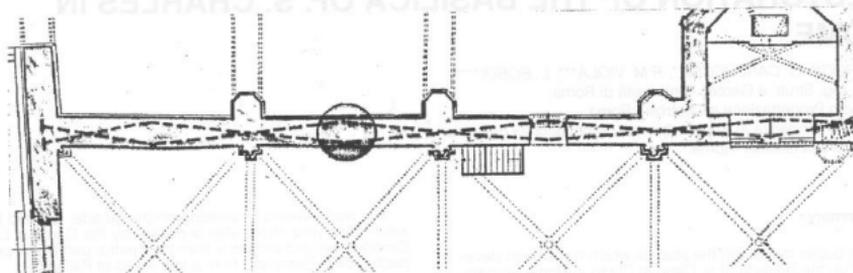
Pic. 10. Consolidation project with supporting lattice beam placed in the guide of the internal cornice



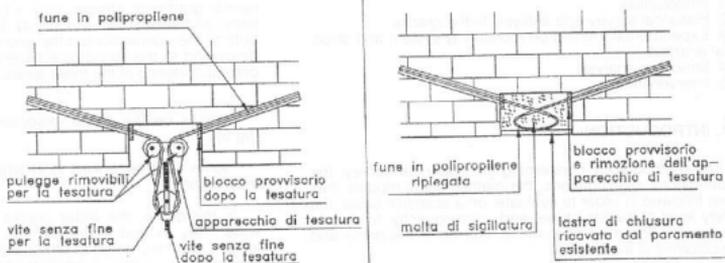
Pic. 11. Consolidation project with supporting lattice beam placed in the guide of the internal cornice



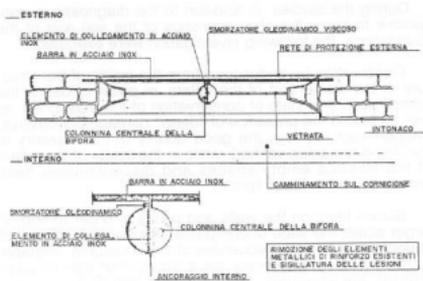
Pic. 12. The connection by means of viscous dampers allows a standard deformation of the structures for thermic effects, and ensures rigidity in case of an earthquake



Pic. 13. Lengthwise connection at the walls to the facade by means polipropylene



Pic. 14. Bar of polipropylene tensioning schemes



Pic. 15. Consolidation of the windows

MONITORING AND STRUCTURAL ANALYSIS FOR THE RESTORATION OF THE BASILICA OF S. CHARLES IN ROME.

G. CROCI*, G. CARLUCCIO**, R.M. VIOLA***, L. BORDI****.

* Dip. Ing. Strutt. e Geotec. Università di Roma.

** Studio Progettazione e Controlli - Roma.

*** Soprintendenza ai Beni Ambientali, Architettonici di Roma.

**** Impresa Castelli - Roma.

Summary.

This paper deals with the studies which have been developed on the Basilica of S. Carlo al Corso in Rome. In particular it is shown the methodology that contemplates, the historical survey, the experimental investigations, the mathematical models, in order to evaluate, on scientific basis, the safety level of the structures and, consequently the interventions.

Keyword:

Body of Paper:

1. Introduction
2. Historical survey and analysis for the cracks
3. Experimental training on monitoring system and structural analysis.
4. Structural analysis.
5. Interventions

1. INTRODUCTION

The methodology concerning the historical survey, the experimental investigations, the mathematical models, has been followed in order to evaluate, on a scientific basis, the safety level of the structures and, consequently, to decide the repairs. The main attention is referred to the dome and the columns of the Basilica.

2. HISTORICAL SURVEY AND ANALYSIS OF THE CRACKS.

The building of the Basilica began in 1612 thanks to the Cardinal Paolo Emilio Sfondati, after the Pope Paolo V sanctified S. Charles Borromeo. The building finished in 1684 when the facade was completed (pic.1).

Planner and first director of the works was Onorio Longhi, who designed the Basilica after the Duomo di Milano plan (tribune with annular deambulatory), following the typology of the more ancient roman basilicas "ad corpus".

In the seventy years needed to complete the church, there was a succession of various architects and directors of the works; after Onorio, the most important was his son Martino Longhi and "Pietro da Cortona", who erected, between 1668 and 1669, the drum and the dome, true masterpiece of baroque architecture (pic.2).

Particularly interesting was a consultation in 1665 to verify if the pillars strength, already built by Longhi, should sustain the drum's and the dome's load. The disagreement was great and, beside Pietro da Cortona, also Borromini and the architects CHARLES Rainaldi and Giovanni De Rossi were consulted (fig.3).

More contributions and advices were given also by Tommaso Zanoli, Francesco Contini and CHARLES Fontana (planner of the Sanctuary of S. Ignazio di Loyola).

The works were completed with the facade, erected between 1682 and 1684, after a design by the Cardinal Luigi Modesti, derived probably from the central part of the prospectus of S. Pietro and from a few works of Palladio.

The inner part of the Basilica, with Latin cross plan, is divided in three wide naves, richly decorated following the baroc fashion of the time.

The Basilica, at the present state, appears to be substantially interested by three main phenomena:

- general cracks, with prevalent planimetric distribution along a diagonal which due probably to the joint effects of thermal gradients effects, little adjustment of the foundations, and seismic actions (fig.4). This distribution is linked both to the connections o the lateral walls to very stip buildings and to the laking of sufficient transversal stiffness in correspondence of the three aisles;

- cracks on the dome, disposed along the meridians (fig.5);

- some fissures, linked to crushing phenomena, on the main pillars.

In the dome, the wider cracks are a few centimeters wide; they extend along the ribs, for the whole of their length, and they go on to affect also the spherical pendentives and the arches on which the tambour is placed.

On the vaults of the deambulatory a few diagonal cracks are evident, which are rather extended and symmetrical to the longitudinal axis of the Basilica.

3. INVESTIGATIONS AND MONITORING SYSTEM.

During the studies, in addition to the diagnostic investigations to know the characteristics of the soil and of the foundations, the following investigation were executed:

- Observation by endoscope from the inside of the structure of the dome and of the pillars, in order to define the composition and state of conservation of the masonries, as well as to find the presence of "deep" damages or cavities; through such surveys the good quality of the masonry of the dome has been verified, while in the inside of the pillars of the Basilica empty spaces and discontinuities have sometimes been found (pic.6).

- Sonics tests on the walls and pillars in order to find, in larger scale, the state of compactness and, therefore, of strength and homogeneity of the structures, inferable from the time necessary for a sonic impulse to pass through the structure, and from the shape of the wave recorded. Such surveys have confirmed the results obtained the endoscopic tests.

- Pull out tests and flat jacks tests, which allow to determine with good approximation tensile resistance, the strength and the stress state of the masonry on site (fig.7). By such tests, the high level of stress of the pillars has

been ascertained (near to about 20 Kg/cm²), while the strength of the brick masonry is about 30 Kg/cm².

- Measurement of verticality of the pillars of the Basilica.

It has been observed in fact the sweep of the cornices set at the base of the nave vault, to which corresponds the out-of-plumb of the pillars (fig.8).

- Monitoring system in order to registry by computer (fig.9) the evolution of the wideness of the cracks, as well as the value of the temperature inside the masonry in different zones of the structure.

The instruments used have potentiometric transducers which transform the variation of the physical width in variation of potential (fig.10).

As we already said, during the period of checking, a certain sensitivity of some of the cracks to the daily and seasonal thermic cycle has been remarked (fig.11), while it seems that the deformation are now stabilized.

4. STRUCTURAL ANALYSIS.

The data collected during the campaign of survey and control have been used to define the mathematical models.

The study has analyzes the elements subjected to the most important cracks and the zones, where it appears possible to have situation of risk, i.e., the dome and the main pillars.

4.1 The dome

The first finite element model that has been taken in count considered the original situation without the presence of the crack. This model permits to understand the causes which have led to the formation of the cracks and, in any case, lets us estimate the behaviour of the dome whenever any operation is carried out in order to sew up the discontinuities found.

The membrane stress along the meridians (compression) varying from a minimum of 8.5 t/m² on top, to a maximum of 17.8 t/m² at the springer. The membrane stresses along the parallels (pic.12) vary from a maximum tensile stress for the dead of 7 t/m² to a compression which takes place from an angle of about 35 degrees with a maximum value of 17 t/m². A seismic check has also been made for the cupola, taking in account an acceleration of the IX S.M. Magnitude.

In the fig.13 are shown the strength domain (determined on the basis of the tests on materials) and the points corresponding to the stresses resulted from the finite elements analysis for the combination of dead load, temperatures, and seismic action. This representation allow to visualize for every element the compound state of normal and tangential stress, in the middle, on the external and on the internal surfaces, that is to say, taking into consideration the flexional effects.

The result is that, due to the presence of tangential stresses some points, are about of the strength domain.

The effect of the seismic actions occurred in the course of the centuries, and particularly the earthquake of 1703, which caused great damages in Rome, has therefore contributed to the start cracking process. What is certain is that such formation dates back to past epoches, because during the surveys some old hemp for filling has been found in the inside.

After this first part of the study, a second model has been considered taking in count the discontinuities determined by the cracks. The compression stresses along the meridians are only a little bigger than those resulting in the previous models, reaching 20 t/m². The behaviour of the cupola though, changed remarkably, because the tensile stresses along the parallels were interrupted by the cracks.

Consequently the arching behaviour of the meridians takes the place of the bi-dimensional behaviour of the cupola; important flexional effects thus turn up, such as to determine in a few zones the partialization of the section and peaks of the value of compression on the internal edge.

4.2 The columns.

The mathematical model has taken in count the cross section of the aisles and include a pillar and the neighbouring structures; it has permitted to calculate the maximum level of stress reached by the pillars, taking also into consideration the out-of-plumbs, the eccentricities and constraint conditions of the structure. Pic.14 shows an axonometric view of the model of calculation; the maximum stress at the base of the pillars is 17 Kg/cm², in good approximation with the value of 20 Kg/cm² measured in the same spot with the flat jack test.

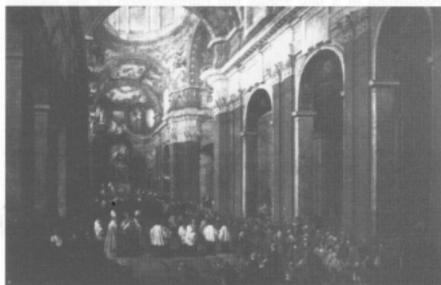
5. INTERVENTIONS.

The results of the structural analysis of the dome have shown that it presents a good behaviour under the effect of the dead load. Under the effect of the seismic actions, however, the tensile stresses along the parallels reach the limit value, generating vertical cracks. In this condition the safety levels are reduced. The design of the reinforcement follow the same scheme that has been proposed for the restoration of the Dome of the Basilica of S. Ignazio in Loyola: a double order of inox prestressed wires disposed substantially along the parallel circles connected each other by short wires along the meridians. All the wires lie at the extrados surface of the masonry (fig.15), below the lead plating that furnish the protection of the dome.

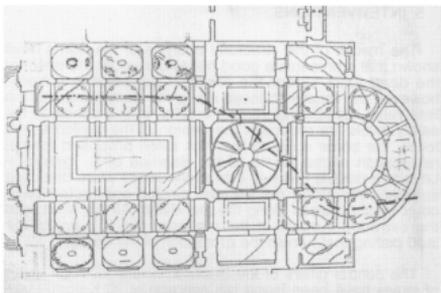
The central pillars of the Basilica, where too high levels of stress have been found (an average of 20 Kg/cm²), are reinforced by a sequence of inox wires, placed in a net work of small diameter holes (pic.16); a provisional metal collar, made for the purpose, sliding upwards along the pillars, enables to give to the wires the suitable prestressing; through the same holes are made the injections of a special mortar, in order to transfer to the masonry the hooping effect due to the prestressing of the wires.



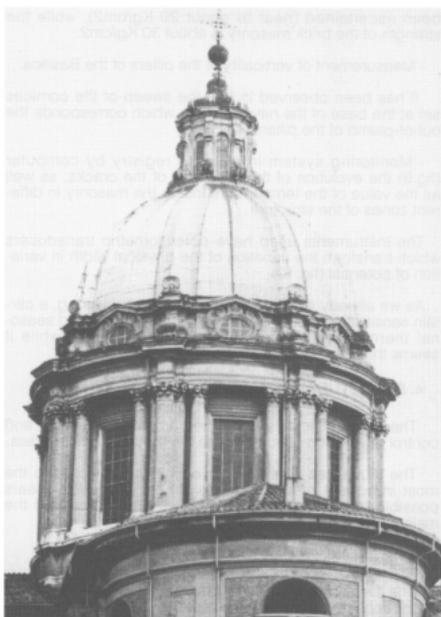
Pic. 1



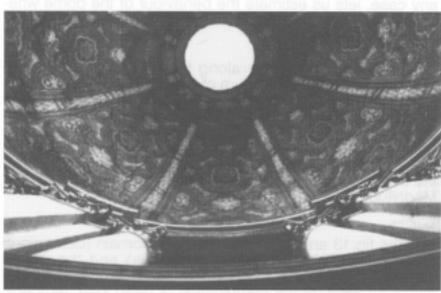
Pic. 3



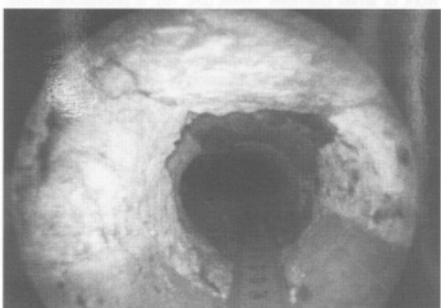
Pic. 4



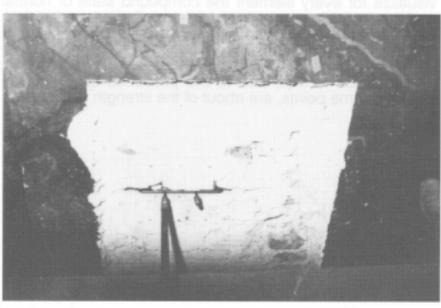
Pic. 2



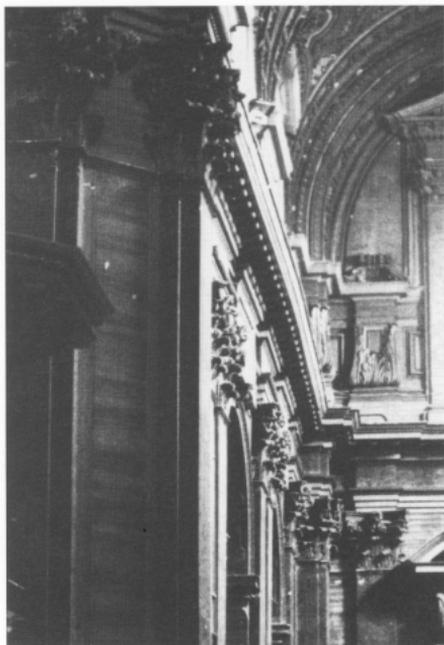
Pic. 5



Pic. 6



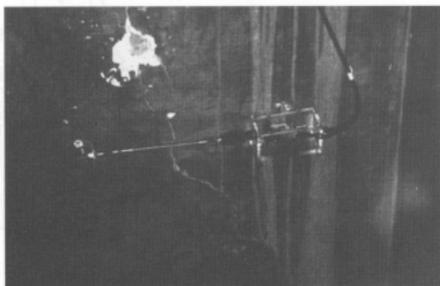
Pic. 7



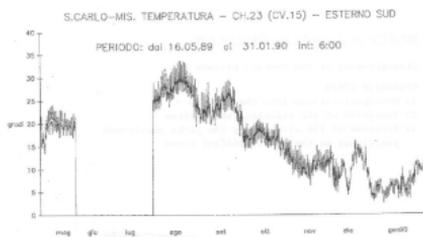
Pic. 8



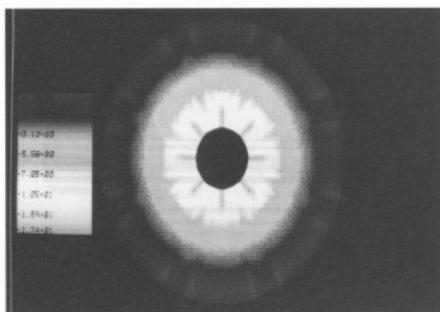
Pic. 9



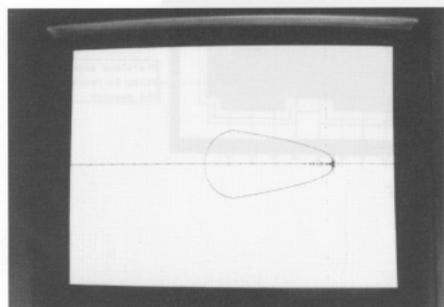
Pic. 10



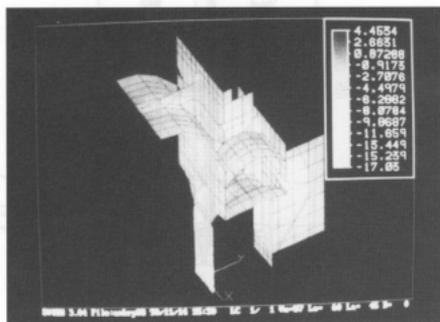
Pic. 11



Pic. 12



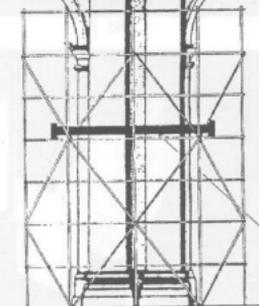
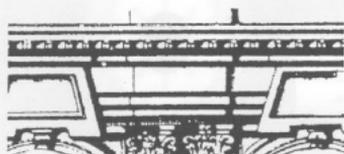
Pic. 13



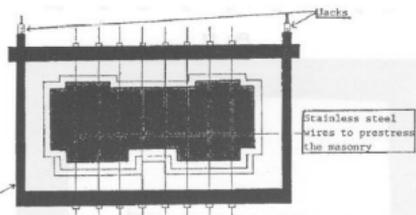
Pic. 14



Pic. 15



Steel constraint frame used to prestress the wires



Jacks
Stainless steel wires to prestress the masonry

BASILICA OF S. CARLO AL CORSO IN ROME

Strengthening of the central pillars

OPERATIVE STEPS

- 1) Microperforations into the masonry
- 2) Insertion of the stainless steel wires
- 3) Prestress of the wires using the jacks positioned on the steel constraint frame

Pic. 16

PROYECTO DE INTERVENCIÓN GLOBAL EN LA ALCAZABA Y RECINTO MURADO DE ALMERÍA.

Ramón de Torres López. Arquitecto. España.

Sociedad Estatal para ejecución de programas y actuaciones conmemorativas
V Centenario Descubrimiento de América, S.A.

Sumario

1. Introducción.
2. Arquitectura y ciudad histórica: Situación actual.
3. La Alcazaba de Almería: Memoria Histórica.
4. Proyecto de Intervención Global en la Alcazaba y Recinto Murado de Almería.

1. INTRODUCCION

La ponencia que presentamos aborda el tema del proyecto de intervención en el patrimonio arquitectónico, concretado en la Alcazaba y recinto murado de Almería (España).

Frente al proceso de intervención basado en la mecánica de actuaciones puntuales, se propone la definición de un proyecto global, que evite las contradicciones entre las actuaciones arquitectónicas, arqueológicas, de investigación, mantenimiento y divulgación.

Dada la magnitud y complejidad de esta labor restauradora y conservadora, será necesario programar la intervención en fases sucesivas, estructuradas según el eje fundamental que constituye el proyecto de intervención global.

Asimismo, en el ámbito de la ponencia se efectuará, con carácter previo, un breve análisis del estado de la cuestión sobre la intervención en la ciudad y el patrimonio arquitectónico.

2. ARQUITECTURA Y CIUDAD HISTORICA. SITUACION ACTUAL.

Desde la perspectiva finisecular en que nos encontramos asistimos a un cambio, operado fundamentalmente en los dos últimos decenios, que afecta al pensamiento y forma de entender la ciudad y su arquitectura.

En esta dinámica se ha producido un cambio en la cultura contemporánea, que tiene su origen en la crisis de la modernidad planteada a mitad de siglo. En la década de los setenta las diferentes lecturas de esta crisis evidenciaban el agotamiento del modelo de ciudad y de los aspectos figurativos propios de la modernidad. Se establece el debate entre lo que se entiende por historia, emergiendo un nuevo modo de enfrentarse a los problemas urbanos amparado en la recuperación ideológica de las identidades, de la tradición y de la memoria.

En este contexto, asistimos al tránsito de la concepción homogénea y abstracta de la ciudad moderna a la concepción de la ciudad concreta y diferenciada en partes. Del mismo modo, se ha producido un cambio en las estrategias de intervención: Al plano regulador se opone hoy el proyecto. A la ortodoxia moderna del vaciamiento de la ciudad histórica, en base a coartadas como el tráfico y el saneamiento que potencian la ciudad especulativa, se opone hoy el empeño en reconstruir críticamente la ciudad.

El mayor control de las administraciones competentes operado en la última década sobre las intervenciones en los monumentos y conjuntos históricos, así como el mayor grado de sensibilización de los ciudadanos frente a estos

temas, está invirtiendo la tendencia de intervenir mediante la sustitución y/o reconstrucción en favor de la restauración, rehabilitación o consolidación.

En el marco de esta nueva sensibilidad se desarrollaron en los años ochenta los planes urbanísticos de las capitales andaluzas. Con ellos llegaron también las primeras desilusiones ya que, salvo excepciones, los centros históricos quedaron en segundo plano en la gestión urbanística. Se realizan intervenciones puntuales sobre el patrimonio pero no llega la necesaria recuperación integral de la ciudad histórica.

Por otro lado, desde la Comunidad Autónoma Andaluza se redactó el Plan General de Bienes Culturales que atiende a la restauración y conservación de los Bienes Culturales -término que se aplica al concepto de Monumento descrito en la ley de 1933- y al planeamiento urbanístico en relación con el Patrimonio Histórico.

El Plan se propone recuperar el lamentable estado del patrimonio histórico andaluz, olvidado durante décadas, así como el patrimonio mueble.

De forma paralela la Comunidad Autónoma ha creado recientemente el Instituto Andaluz del Patrimonio, con el objetivo de fomentar la política investigadora sobre el patrimonio y prestar su asesoramiento a las instituciones y a los profesionales, para garantizar una base de conocimiento científico-técnico de la que se carece.

Desde esta perspectiva, esta nueva concepción de la ciudad y el patrimonio está evidenciando una serie de problemas que afectan a la teoría, metodología y práctica relativas a la conservación del patrimonio arquitectónico, manteniéndose en bastantes ocasiones la tradicional segregación existente entre los distintos profesionales que desempeñan la labor de conservación: arquitectos, arqueólogos, restauradores, historiadores, etc. que siguen desarrollando su actividad, incluyéndonos todos en un mismo panorama, caracterizado por la falta de debate, acuerdo y divulgación sobre la experiencia de conservación y restauración.

Otro factor que configura la situación actual es la escasez de instituciones de asesoramiento sobre el control e información de técnicas empleadas, ausencias de los necesarios cursos de formación, etc.

Junto a esto, se incorpora el grave problema que supone la presencia de un gran número de empresas, legalmente cualificadas para las tareas constructoras, que, en realidad, muestran su máxima preocupación por la certificación del mayor número de obra posible.

Por todo ello, se hace necesario un gran esfuerzo integrador de todos estos factores para conseguir el necesario entendimiento dialéctico entre las partes, que posibilite un marco adecuado en el que desarrollar, con el rigor necesario, el proyecto de intervención en el patrimonio arquitectónico.

3. LA ALCAZABA DE ALMERIA: MEMORIA HISTORICA.

La Alcazaba nos remite al origen y evolución de la ciudad de Almería. Génesis producida por el desarrollo y transformación del puerto de la ciudad de Pechina, del barrio mariner y de la atalaya defensiva que los protegía. En el reconocimiento de los valores económicos y estraté-

gicos de este primitivo asentamiento se origina la fundación de la ciudad.

Se produce cuando en el siglo X Abderraman III efectúa una doble intervención. Por un lado, dota al arrabal de una estructura militar construyendo una fortaleza -la Alcazaba- en el lugar que ocupaba la alataya de vigilancia, amurallando el espacio urbano existente y ubicando en su puerto la flota del califato. Por otro, interviene desde el punto de vista social y religioso al edificar la Mezquita Mayor. Con estas intervenciones el arrabal se constituye en Medina o ciudad.

Con el paso del tiempo Almería adquiere un gran desarrollo, convirtiéndose en capital de uno de los Reinos de Taifas de mayor actividad económica, social, religiosa y cultural como lo demuestra que en el siglo XI Almería pasó a ser el centro principal del sufismo esotérico de Al-Andalus. Este esplendor de la ciudad quedó reflejado en la Alcazaba con la construcción del palacio de Almotacín en el segundo recinto. El transcurrir de los siglos significó la transformación de la Alcazaba de forma paralela al devenir de la ciudad. De esta forma, a partir de 1492 los Reyes Católicos promueven la construcción del tecer recinto, con el que la Alcazaba logra su máximo desarrollo defensivo.

En tal perspectiva de metamorfosis, la Alcazaba se configura como el monumento de mayor capacidad simbólica para la ciudad. Su materia erosionada por el tiempo se ha convertido en una información acumulada. Memoria incorporada en la materia que recuerda con la forma. De esta capacidad representativa surge la necesidad de su recuperación y mantenimiento en una actividad de restauración arquitectónica.

Los primeros trabajos de restauración se iniciaron en 1941, tras haber sido declarada monumento nacional diez años antes. En aquellos años la recuperación de sus valores se extendió como una labor de reconstrucción debido al estado de total abandono en que se encontraba.

A partir de los años sesenta se fueron sucediendo diferentes intervenciones sometidas a la presión del fenómeno turístico, propiciando una Alcazaba idealizada. Constituyeron ejercicios historicistas y mixtificadores, efecto de las ideas de los pensamientos románticos heredados del siglo XIX, que en España motivaron las reconstrucciones ideales, especialmente de castillos. Estas intervenciones guiadas por la invención estuvieron complementadas por el uso de materiales diferentes de los originales, que llevaron a éstos a un estado sumergido y a la pérdida de su significación histórica. Esta etapa, basada en una mecánica de actuaciones dispersas, finaliza a comienzos de la década de los ochenta.

4. PROYECTO DE INTERVENCIÓN GLOBAL EN LA ALCAZABA Y RECINTO MURADO DE ALMERÍA.

En la actualidad se abre una nueva etapa. Promovido por la Dirección General de Bienes Culturales de la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía se ha redactado el "Proyecto de Intervención en la Alcazaba y Recinto Murado de Almería", que tiene como objetivos la consolidación y recuperación programada del conjunto y el conocimiento y divulgación de su memoria histórica.

Las diferentes intervenciones arquitectónicas y urbanísticas se apoyarán en aproximaciones arqueológicas simultáneas, en el análisis y documentación del conjunto y en la investigación rigurosa de materiales y fábricas originales para la elaboración de un cuerpo teórico de restauración que permita la planificación general de acciones evaluadas económicamente, así como el mantenimiento posterior.

De forma paralela, se proponen una serie de actuaciones para la divulgación de la memoria y el uso ciudadano del conjunto. Para ello, se habilitarán una serie de espacios para la exposición permanente de las investigaciones

históricas, arqueológicas y arquitectónicas mediante material arqueológico, planimetrías, maquetas, documentación fotográfica y vídeo, incluyendo manifestaciones artísticas.

La propuesta de intervención se resume en lo siguiente:

1. Información documental. Memoria histórica

Recopilación y clasificación de los documentos existentes:

A. Documentos gráficos y fotográficos antiguos.

B. Documentos procedentes de las excavaciones desarrolladas a partir de 1941 (planos, fotografías, diarios de excavación, dibujos del material...)

C. Documentos procedentes de las intervenciones de restauración efectuadas.

D. Bibliografía.

2. Levantamiento de planos

A. Levantamiento de plantas, alzados y secciones mediante técnica de fotogrametría.

B. Elaboración de un mapa arqueológico que dará cuenta de la atribución cronológica de cada elemento construido, de su atribución funcional y de las restauraciones sufridas.

3. Documentación fotográfica

A. Del estado actual del conjunto histórico.

B. De las futuras intervenciones.

4. Intervención arqueológica

A. Estudio y clasificación del material procedente de las excavaciones antiguas.

B. Intervención en fases:

1. Intervención en la ladera Sur.

2. Estudio del Segundo Recinto.

2.1. Análisis de las estructuras existentes.

2.2. Reexcavación del recinto.

3. Intervención de apoyo a la restauración en la ladera Norte.

4. Intervención de apoyo al Proyecto de Espacio Libre del Parque de La Joya, propuesto en el Plan General de Almería.

5. Intervención en las murallas del Centro de San Cristóbal y La Fuenteseca.

5. Intervención arquitectónica y urbanística

A. Realización de ensayos de laboratorio de los diferentes materiales y fábricas con el fin de efectuar un diagnóstico, previo a la intervención sobre cada parte del conjunto, a la vez que permita determinar las técnicas más adecuadas de consolidación en cada caso.

Se efectuarán estudios petrológicos y petrográficos, análisis químico y físico-mecánico, análisis biológico, análisis climático, estudio de pátinas, métodos de limpieza y experiencias de alteración acelerada.

B. Consolidación de los elementos, materiales y fábricas del conjunto histórico:

En base al diagnóstico efectuado con el apoyo de los ensayos, se propondrá la programación de las fases de intervención, evaluadas económicamente.

C. Intervención en las infraestructuras básicas:

1. Dotación de red de abastecimiento de energía eléctrica e iluminación del conjunto.
2. Dotación de red de abastecimiento de agua y red de riego.
3. Definición y pavimentación de itinerarios.
4. Recomposición de los espacios ajardinados.

6. Mantenimiento del conjunto histórico

- A. Sistema de seguridad y protección.
- B. Estructuración de los futuros trabajos de mantenimiento del conjunto histórico.

7. Divulgación

A. Exposición permanente en la Alcazaba de los documentos elaborados en el curso de la intervención global, que exprese tanto los aspectos técnicos como las conclusiones de las investigaciones históricas y arqueológicas efectuadas. Estos aspectos se divulgarán mediante planimetrías, maquetas y documentación fotográfica y vídeo, incluyendo manifestaciones artísticas.

B. Publicaciones necesarias para asegurar la adecuada divulgación de todos los aspectos del Proyecto.

Para conseguir plenamente tales objetivos sería necesaria una intervención urbanística general sobre el entorno inmediato de la Alcazaba, enmarcada en la rehabilitación de la ciudad histórica como privilegiado acceso al conjunto monumental. Por tanto, podría afirmarse que en la recuperación de la relación perdida entre Alcazaba y ciudad, mediante el conocimiento y recomposición de las formas urbanas, la ciudad de Almería hallará, en este fin de siglo, el espacio de encuentro con su imagen de la memoria.

LA RESTAURACION Y REHABILITACION DEL ANTIGUO CLAUSTRO CONVENTUAL DE MADRE DE DIOS DE SEVILLA. EL COLOR COMO VALOR AÑADIDO.

FRANCISCO GRANERO MARTIN. ARQUITECTO.
PROFESOR DE LA E. T.S. ARQUITECTURA DE SEVILLA, ESPAÑA.
UNIVERSIDAD DE SEVILLA.

Sumario.-

- 1.- Introducción.
- 2.- El sector urbano que alberga al edificio. 2.1.- Análisis histórico y topológico. 2.2.- Razon de existencia del edificio.
- 3.- El estado inicial de la intervención. 3.1.- La problemática cualitativa y cuantitativa de la patología del edificio.
- 4.- Recursos arquitectónicos en la recuperación del edificio.
- 5.- El color como valor añadido a la arquitectura.
- 6.- Conclusiones. Citas Bibliográficas.

Summary.-

- 1.- Introduction.
- 2.- The urban area where the buildings is placed. 2.1.-Historical and topological analysis. 2.2.- Justification of its being.
- 3.- The stating point of the intervention. 3.3.- Problems of quantity and quality in building damages.
- 4.- Architectonical aids in restoration of the building.
- 5.- Color as an added value on the architecture.
- 6.- Conclusions. Bibliography.

Palabras clave.-

Consolidación, restauración, rehabilitación, Convento, claustro, Color en arquitectura, patrimonio histórico, Sevilla, Hispalis.

1.- Introducción.-

Esta exposición viene a plantear el proceso seguido en las labores restauradoras de la zona de antiguo Claustro del Convento de Madre de Dios de Sevilla y su adaptación para Escuela Universitaria, mediante la Consolidación recuperadora de las viejas estructuras del edificio y su Rehabilitación para adecuarlo al uso demandado por su promotor, la Universidad de Sevilla.

Se comienza con un análisis histórico y tipológico del sector donde se implantó, a finales del siglo XV, y la justificación de su primitiva existencia. Proseguiremos con una breve explicación de las transformaciones sufridas a lo largo del tiempo, hasta llegar al estado inicial que queda reflejado en la planimetrías de las figuras en Apéndice A.

Con la exposición de dicho estado inicial planteamos la problemática cualitativa y cuantitativa, de los valores patrimoniales del edificio histórico, que nos conducirán a la síntesis de los objetivos propuestos en la intervención.

Finalmente se expresarán los recursos arquitectónicos utilizados en este proceso de defensa y protección del Patrimonio, así como la introducción de vectores, como elementos contemporáneos de arquitectura, capaces de autorregenerar a la propia Arquitectura del edificio, para garantizar la estabilidad de su futuro, con una apropiada adecuación al uso demandado y su conservación.

En el ámbito de los vectores introducidos citados, adquiere vital relevancia la incorporación del color como valor añadido al Patrimonio arquitectónico. Precedido de un estudio histórico y analítico de los aspectos cromáticos de los elementos arquitectónicos, en la tipología donde se actúa y su transformación, se forja un discurso riguroso del color, que nos proporciona el control de la luz en el espacio.

2.- EL SECTOR URBANO QUE ALBERGA AL EDIFICIO.

2.1.- Análisis histórico y tipológico del sector.-

El sector donde se implanta el edificio tiene su origen en la Hispalis romana, apoyando su fachada, la oeste, sobre la muralla de la cerca de época republicana -siglo II a.J.C.(1)- (Fig. 1).



Figura1.La ciudad en el siglo II a.J.C. Situación de la manzana.



Figura 2. La ciudad en el siglo II d.J.C. Situación de la manzana.

El Decumano de aquel castrum, haría establecer la puerta este de la ciudad en el sitio de enclave del edificio en cuestión, generando un camino que, como hecho topológico, permitirá unas edificaciones residenciales, contribuyendo así a la consolidación del viario, que será la ampliación de la cerca murada de la Hispalis romana imperial del siglo II d.J.C. (2) (Fig. 2).



Figura 3. Superposición de las murallas de la ciudad en distintas épocas:

- Cerca romana republicana.
- Cerca romana imperial.
- Ampliación almohade.
- Recinto de la judería.

Así pues, la otra fachada del edificio, la sur, tuvo su origen en aquella alineación generada por el Decumano, como salida territorial. De esta manera quedaban configurados dos de los bordes de la manzana histórica (calles Federico Rubio y Madre de Dios, actuales), donde se integrará el edificio.

El proceso de residencialización del sector irá colmatando, hasta el siglo VIII, a aquella trama generada por las vías estructuradoras y secundarias del heredado castrum romano. La Spalis visigoda, desde el año 712, se vio sometida a las tropas musulmanas de Músa, quien dejó confiada la ciudad a los judíos que colaboraron en la hazaña mientras proseguía hacia la conquista de Mérida. Esta población judía se asentó en la alcazaba, próxima al Alcázar, constituyendo el barrio de la "judería" (actual San Bartolomé y Santa Cruz), donde se quedó englobada la manzana referida.

En el siglo XII, en pleno apogeo de la **Isbiliya** almohade, se construirán varias mezquitas en el sector, lo que viene a demostrar la convivencia de las distintas etnias, que constituían la población de la ciudad en esta zona (Figura 3).

2.2.- Justificación de la existencia del edificio.-

Trás la conquista cristiana, en el año 1.248, siguió manteniéndose en el sector la convivencia de las etnias citadas. Con Alfonso X retomará el carácter judaico, que conducirá a la conversión en sinagogas de las mezquitas (actualmente parroquias de Santa María la Blanca, San Bartolomé y antigua Santa Cruz), quedando configurado como barrio enteramente judío; así pervivirá hasta el decreto de expulsión de los RR. CC., a finales del siglo XV. Dicha expulsión conlleva implícitamente la confiscación de sus bienes y residencias. Así el caserío fue objeto de reparcelaciones que daban origen a la implantación de grandes edificios religiosos, sobre todo conventuales, sobre aquellas manzanas. En una de éstas se contruirá el edificio que nos ocupa la penencia.

De esta manera se justifica la decisión de Isabel la Católica de fundar el Convento de Madre de Dios, para la Orden de Santo Domingo, en el año 1.496, ocupando la manzana trapezoidal, cuyos bordes trazan las calles Federico Rubio, Madre de Dios y San José, quedándose convertida su sinagoga en oratorio cristiano.

Las obras continuaron durante todo el siglo XVI, donde intervinieron los arquitectos Juan Simancas y Pedro Díaz Palacios (4). En estas fechas se construye el Claustro, utilizando en ello columnas marmóreas de trazas genovesas, muy usuales en la arquitectura sevillana de la época, debido al fluido tránsito comercial con aquella ciudad italiana.

Los trabajos terminarán en el último cuarto del siglo XVI, con una tipología edificatoria conventual. La iglesia quedaba situada hacia la fachada de calle San José, para permitir el acceso seglar directamente; el claustro, el refectorio y dependencias se habían generado en la zona más privativa, apoyadas en aquel lienzo murado de la cerca romana, resultando así un "edificio introvertido", como lo preceptuaba su uso.

En el año 1.868 se produjo la exlaustración de la religiosas. Devuelto posteriormente el edificio a la Orden religiosa, en él se reducirá el uso conventual, quedando relegado a las zonas adyacentes a la iglesia, pasando el resto a convertirse en uso público, en plena época de la desamortización.

Así pues, sobre la zona más privativa, el refectorio, el claustro y dependencias apoyadas en la muralla, se produce la transformación arquitectónica más violenta y radical (casi quirúrgica) que el edificio haya sufrido. El claustro permeable desde la zona religiosa, se segregó de ella mediante la imposición de un muro ciego separador;

elemento éste visible en la galería oriental, que supone medianería con el actual convento. Esta zona segregada conforma el edificio objeto de nuestra intervención.

Desde entonces, y a semejanza de un organismo vivo, el edificio así conformado tuvo que reconvertirse y adaptarse a las nuevas condiciones urbanas. Lo que antes era introvertido, ahora se hacía extrovertido, y sus fachadas de tapias conventuales, se abren hacia la ciudad, con la creación de sus aperturas de huecos y nueva fisonomía, dando una lectura de uso público.

3.- EL ESTADO INICIAL DE LA INTERVENCIÓN ARQUITECTÓNICA.

3.1- La problemática cualitativa y cuantitativa.-

Desde el siglo XIX, el edificio albergó funciones docentes Universitarias, sobre la zona de intervención en el Proyecto. Sede de la Facultad de Medicina, Escuela de Comercio y de Empresariales, éstas supusieron la continua transformación, divisiones, colmataciones de sus galerías, espacios libres, aperturas de huecos, segregaciones, compartimentaciones, etc. demandadas por los sucesivos estamentos y la amalgama de usos.

Unos y otros derivaron en la completa desfiguración que impedía la legibilidad de la estructuración del edificio y la clarificación de su tipología, tal vez conducidos por la falta del conocimiento histórico y sus valores arquitectónicos, que ponen de manifiesto la relevancia en el Patrimonio de la ciudad. A ello se aúna la carencia de una conciencia de conservación de sus inquilinos.

Ante esta situación degradada del edificio, será en 1989 cuando la Universidad de Sevilla hace el esfuerzo económico para promover su Adecuación en una línea de actuación conservadora del Patrimonio.

Una vez realizados los análisis histórico-topológico y tipológico, llevamos a cabo un estudio patológico, lo más exhaustivo posible, que determinará las épocas de actuación de sus transformaciones, y la necesidad de conservar, restaurar, restituir, sustituir o eliminar cada elemento; cuestión básica y previa a la redacción del Proyecto definitivo.

De esto derivó el conocimiento de la problemática sufrida por:

a) Grandes humedades en todos los muros de planta baja.

b) Estados límites por agotamiento de elementos estructurales.

c) Pérdida de secciones hasta el 80%, de viguerías ocultas, por xilófagos e incendios padecidos. d) Rotura de tirantes en las cerchas de cubiertas, con alto riesgo de colapso general.

e) Instalaciones obsoletas o nulas, para cualquier uso. Inadecuación a la Normativa vigente. f) Ruinas de dinteles, carpinterías, mal estado de paramentos, vidrieras y acabados.

Todo ello hacía necesario una intervención rigurosa con objetivos comprometedores en su consolidación y adaptación. La limitación del presupuesto final sobre las 55.000 Pt/m², y tener que ejecutarse las obras (unos 4.000 m²) en el periodo de seis meses (entre mayo y octubre de 1.990), para no interferir en el desarrollo del curso académico, suponían un gran esfuerzo por todas las partes actoras.

4.- RECURSOS ARQUITECTÓNICOS EN LA RECUPERACIÓN DEL EDIFICIO.

Trás los estudios previos y resultados analíticos, fijamos los objetivos a conseguir en la redacción del Proyecto:

a) Consolidación mediante la detección de los procesos patológicos generados. Así se eliminaron las humedades freáticas por capilaridad de sus muros, con el empleo del sistema electroósmosis-fóresis y de morteros draining transpirables. Sustitución de las viguerías imposibilitadas para desempeñar su función estructuradora. Aplicación generalizada de antixilófagos, en calidad de prevención, restitución de forjados mediante la adición, a las viguerías de maderas, de perfiles metálicos, manteniendo aquellas en servicio, incluso dejando visible partes como elementos testimoniales del sistema constructivo original. Saneado general de las fábricas, colocación de llaves, tirantes y grapas, que garanticen la estabilidad de las mismas así como de todos los elementos estructurales. Restauración de las carpinterías de madera exteriores en interiores en el crucero, mediante los sistemas de encuadre, fijación, restitución de maderas, etc. siendo necesario la implantación de un verdadero taller de carpintería en obra.

b) Definir la estructuración tipológica y morfológica de tal manera que permita una lectura meridiana de sus espacios relevantes, antiguo claustro, el crucero, el refectorio, galerías, dependencias, etc. Para ello se interviene recuperando relaciones entre espacios abiertos internos, interrelaciones del patio y su entorno, resolviendo la articulación de la geometría de las crujeas de sus fachadas. Añadimos el restablecimiento de ejes principales estructuradores de la morfología del edificio.

c) Distribución del programa funcional demandado, y establecido por un número determinado de aulas, despachos, seminarios y aseos, así como los servicios de despacho, administrativos, instalaciones, cafetería, etc. que irán ocupando las áreas circundantes peripatéticas de sus plantas. Adaptación a las normas de diseños de la C.E.J.A., PGOU, PRICA, CPI, etc.

d) La incorporación de las instalaciones de fontanería, protección contra incendios, electricidad, con 400 KVA, y climatización, con 700.000 frigororías, introducen un factor notable, a tener en cuenta en la concepción y desarrollo del Proyecto, por cuanto repercuten tanto técnicamente (espacios reservados, pasos conductos, sobrecargas, etc.) como formalmente, en ocasiones, añadiéndose al propio repertorio formal deseado.

e) La introducción de vectores formales y diseño de elementos arquitectónicos, correctores y recuperadores de la legibilidad requerida, que pueden observarse en los estadios comparativos.

Intervención en el crucero-patio, implantación de fuente que incorpora las funciones de beber, llenado de estanque y elemento sonoro, como invariante de dichos espacios conventuales.

Diseño de las carpinterías de planta baja del crucero, que permite una transparencia completa desde las galerías, y la visibilidad de las columnas y capiteles genoveses del siglo XVI. Zócalos, bóvedas, galería cubierta, puertas, etc. son diseñadas con rigor y cuidado para que, junto con la elección de los materiales empleados: pavimentos de barro cocido y cerámica en galerías, tierra de albero y caliza en patio; madera de pino; estucos en paramentos; mármol, etc. Todo ello ayuda al restablecimiento ambiental y el control formal pretendido.

5.- EL COLOR COMO VALOR AÑADIDO A LA ARQUITECTURA.-

Entre los vectores que se incorporan a la concepción arquitectónica para direccionar la intervención hacia la propia regeneración patrimonial, se ha otorgado un papel relevante al color.

La elección de los materiales acabados, anteriormente citados, no sólo conlleva la resolución de un problema epidérmico táctil, sino que cada uno de ellos lleva intrínseco, y se le permite, la expresión de su coloración natural, como valores perceptibles añadidos a su composición formal. Con ello, la percepción de los

aspectos cromáticos de cada material, ayuda a la consecución del control de luz, y a su vez al control del propio espacio arquitectónico.

Rememorando a la arquitectura de lo blanco, se utiliza generalizadamente este color, en toda sus fachadas interiores del antiguo claustro, y no repetido en ningún otro paramento vertical del edificio, para así denotar su significación. Sin embargo se adopta el color azul para las cerrejías, como era habitual en Sevilla durante el siglo XVI, época de terminación de este patio.

En albero, tierra amarilla, y las fajas-marcos de caliza blanca y encintados de cerámica azul, componen el "cuadro" del cruceo, completado con la fuente de mármol amarillo-albero, como elemento muy integrado al plano base horizontal.

Las galerías, con una espacialidad dilatada, no debían competir con la "cal" del cruceo; por lo que su estuco se vuelve del color de la tierra albero, matizando la explosión de luz que entra a través de sus arquerías. Los zócalos metálicos recuperan el valor nostálgico del azul, compuestos moduladamente por sus estructuras marcadas del "hábito" religioso, cortados por el amarillo cadmio del "cingulo" que compone el baquetón corrido.

El barro cocido de la pavimentación, con su color rojizo y textura encerada característicos, completan la evocación de aquellos corredores perimetrales de los claustros conventuales, encintados por las líneas de cerámica azul que limitan los dibujos del solado.

En los elementos singulares, pilar maestro, lienzo articulador de las geometrías de crujeas, mostrador, vestíbulos de acceso, etc. son empleados colores no repetidos, de tal manera que pueda entenderse la significación propia deseada.

Los paramentos interiores de aulas, despachos y dependencias, son uniformados en tono muy claro violáceo-gris y zócalos estucados grises, con el baquetón amarillo.

En las fachadas exteriores, que mantiene la estructuración formal apilastada de fábrica en las dos plantas superiores, se emplea un color claro de coloración agrisada, denotando su nuevo carácter urbano; un zócalo estucado en albero refuerza la idea de fijación a la tierra. Sus carpinterías, sin embargo, retoman el color blanco como intención simbólica de la transformación sufrida en el siglo XIX, cuando se transmutó su introsversión por extroversión.

6.- CONCLUSIONES.-

De acuerdo con la Carta del Restauero, y como entendemos que debe procederse a intervenciones de recuperación del Patrimonio arquitectónico, se llevó a cabo el análisis de su posición en el contexto territorial, así como el estudio tipológico original del edificio, estudiando para ello las disposiciones en planta de las edificaciones religiosas conventuales en el siglo XV y XVI. A partir de entonces y tras la labor investigadora del estado de elementos arquitectónicos originales, se realizaron los análisis patológicos que pusieron de manifiesto el estado constructivo para permitir su recuperación, o no, y su nueva puesta en servicio, dentro del proceso recuperador.

Más como en la Introducción se dijo, en la restauración deben incorporarse los factores vectoriales necesarios capaces de regenerar al edificio, y la vez que posibilite, desde este momento, la autorregeneración futura, que evite el paulatino proceso destructivo padecido. Para ello se hace necesario la incorporación de la arquitectura diseñada para el nuevo uso demandado, a establecerse en el edificio. Dicha adición no debe suponer, en ningún momento, la destrucción de los valores patrimoniales, sino por el contrario, contribuir a la legibilidad de su estructuración tipológica; además, con la aplicación de la

actual tecnología, se pone en servicio los sistemas de instalaciones actuales, que garantizan el buen funcionamiento y conservación futura del hecho arquitectónico patrimonial.

CITAS BIBLIOGRAFICAS.-

(3) BOSCH VILA, J. La Sevilla islámica 712-1.248. Historia de Sevilla. Sevilla, Univ. Sevilla nº92. 1.984, pp. 15-19

(1) GRANERO MARTIN, F. Intervenciones generales en el barrio de San Bartolomé. Recuperación de un barrio histórico (la judería). Conferencia en el C.O.A.A.Oc., Sevilla, 20 marzo 1.989.

GRANERO MARTIN, F. El Corral de los Olmos de Sevilla. Cabillos secular y eclesiástico. Sevilla. C.O.A.A.Oc. en edición.

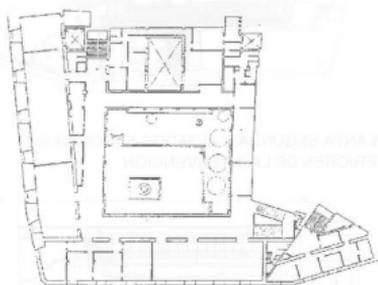
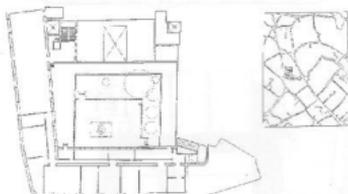
MARIN, L.; DEL POZO, A. Los pavimentos: un fragmento de la historia urbana de Sevilla, Aymto. Sevilla. 1.986.

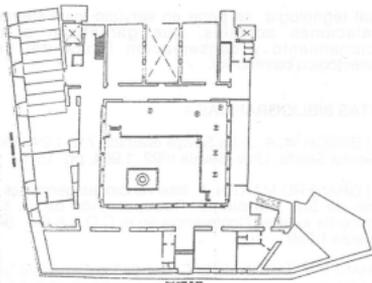
(4) VAZQUEZ CONSUEGRA, G. Sevilla cien edificios. Sevilla C.O.P.T.J.A. 2º ed. 1.988, pp 338-9.

(2) VIOQUE CUBERO, R.; VERA RODRIGUEZ, I. M.; LOPEZ LOPEZ N. Apuntes sobre el origen y evolución morfológica de las plazas del casco histórico de Sevilla. Sevilla. Aymto. Sevilla y C.O.P.T.J.A., 1.987, pp. 209-213.

APENDICE A

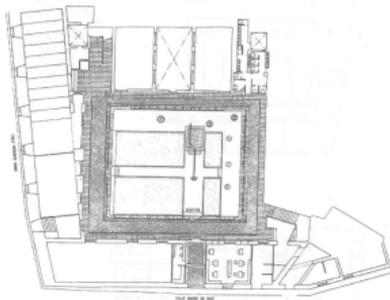
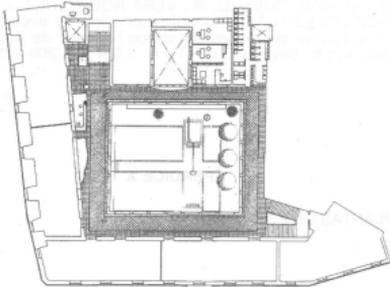
PLANTAS DE ESTADO INICIAL



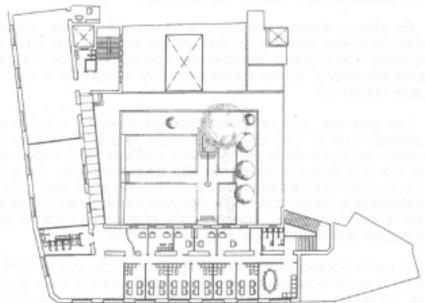
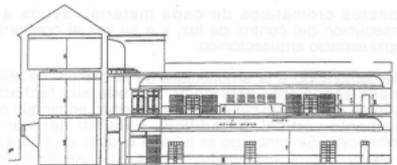
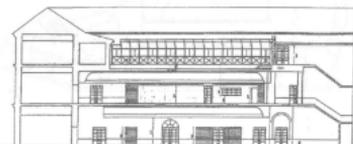


APENDICE B

PLANTAS BAJA Y PRIMERA DEL PROYECTO DE INTERVENCIÓN



PLANTA SEGUNDA Y ALZADOS-SECCIONES INTERIORES DE LA INTERVENCIÓN.



APENDICE C

ESTADOS COMPARATIVOS; INICIAL Y POSTERIOR A LA INTERVENCIÓN.



Foto 1. Estado inicial



Foto 2. Estado intervención

Restauración del Palacio de Alarcón de Xativa y Reutilización para Juzgados.

Author: Cristina Grau. Universidad Politécnica de Valencia, España.

Promotor: Ministerio de Justicia.

Sumario.

Restauración de un palacio del tardo barroco valenciano para su reutilización como sede de los Juzgados de Xàtiva (Valencia, España). La restauración es esencialmente conservadora en lo que respecta al diseño y a las técnicas constructivas, sin renunciar a la incorporación de nuevas tecnologías y al uso de nuevos materiales. En esta reutilización las necesidades que plantea el nuevo edificio se adecúan a la del palacio, sin violar su estructura tipológica.

The restoration of a late-baroque private palace for its restoration as the seat of the Courthouse in Xàtiva (Valencia, Spain). The restoration is essentially conservative and conservatory with respect to techniques of design and construction, involving the recovery of nearly extinct trades and skills, while still making opportune use of new materials. In this conversion, the building's new function is accommodated without violating the typologic structure of the original palace.

Introducción

Una restauración debe ser acometida, desde mi punto de vista, como cualquier problema de arquitectura, en donde lenguaje, construcción, materiales y uso, se combinan en cada caso de un modo; con mayor o menor énfasis en cada uno de los aspectos, en función de variables como el lugar, el entorno, o las dimensiones de la pieza arquitectónica.

La rehabilitación de un edificio para un cambio de uso presenta un problema añadido: un edificio no se puede reutilizar para cualquier cosa. Hay una "vocación" de uso y transgredirla conduce con frecuencia al fracaso. En el caso del Palacio de Alarcón, la ubicación del edificio, sus dimensiones y su uso eran perfectamente compatibles. Cuando en 1982 el Ministerio de Justicia informa al Ayuntamiento de Xàtiva de su intención de hacer unos nuevos juzgados y solicita un solar para la construcción de un edificio de nueva planta, el Ayuntamiento tiene el acierto de ofrecer este palacio, comprado con fondos municipales y el Ministerio de Justicia acepta esta oferta pese al costo más elevado que significaba la restauración de este edificio frente a la construcción de uno nuevo.

El Palacio de Alarcón. Historia y estado de conservación

En la Plaza de la Trinidad, en pleno centro histórico de la ciudad de Xàtiva (Valencia), a principios del siglo XVIII, el noble Pedro Guerola mandó construir su casa familiar, con salón de bailes y capilla, salones familiares, dormitorios, patio de carruajes, cuadras y dependencias de servicio para doce criados.

Allí vivió hasta 1742 en que fue comprada por Carlos Ruiz de Alarcón, un noble de Almansa y perteneció a sus descendientes hasta 1981 en que fue comprada por el Ayuntamiento. Desde su construcción fue la casa más principal de Xàtiva, donde se alojaron los nobles viajeros que pasaban por esta villa, desde el rey Carlos III, hasta Fernando VII e Isabel II. Durante el trienio liberal, fue sede del Gobierno Civil.

El palacio se constituye en el fondo de perspectiva de la calle Montcada, la más aristocrática de Xàtiva, donde están el Real Monasterio de Santa Clara, el Palacio del Marqués de Montortal, o la Iglesia de San Francisco. Hasta tal punto es importante su situación al final de esta calle,

que la composición de la fachada principal del Palacio de Alarcón se supedita a ella, descentrándose los huecos de la fachada, para adecuarlos al eje de la calle. La falta de uso durante los últimos años y la ausencia total de conservación hace que, en 1983, cuando se inician las obras, el Palacio estuviese en un estado próximo a la ruina. Pese a ser la casa más importante de Xàtiva, su construcción era de bastante mala calidad, como la mayoría de los palacios valencianos.

Los muros de tapial presentaban desplomes y grietas por la ausencia de cimentación y por la entrada de agua por la cubierta. Los forjados -de viguetas de madera de pino y doble rosca de ladrillo macizo con luces entre 5 y 7 m.- tenían desniveles de hasta 25 cm. con flechas de 15 cm.

La edificación respondía a la forma trapezoidal del solar con una crujía paralela a las fachadas de la plaza y de las dos calles laterales y una crujía trasera que dejaba libre un patio interior de cuatro lados, todos ellos de distintas medidas. El patio soportado por columnas de distinto tono de piedra en planta baja y en planta de piso, era adintelado con falsos arcos de ladrillo de panderete en planta baja y de escayola en la planta primera; siendo cada arco, de distinta curvatura condicionada por las distintas luces del columbario y mucho más rebajados los de planta primera, con falsas claves de escayola. El efecto de este patio era bastante grotesco. La proporción casi doble de las columnas de planta baja -que salvaban semisótano y planta baja-, frente a las del primer piso se veía agravada por la



Arriba: Fachada lateral. Antes de la restauración.



Salón Principal. En obras.

existencia de una barandilla que, ópticamente, todavía disminuía más la escala del primer piso. El orden de las columnas -toscano- apenas era reconocible debido al deterioro de la piedra.

El estado de conservación como se puede ver era bastante precario. Y lo hizo el tiempo, la lluvia y el descuido, lo hizo el pillaje. Jo había en 1983 ni rastro del pavimento del mármol, ni de carpintería interior, las chimeneas habían sido arrancadas y, de los azulejos de los balcones accesibles desde la calle, sólo quedaba alguno, de muestra.



Patio interior. Arcada superior antes de la restauración.



Patio interior. Columnas de planta baja, antes de la restauración.

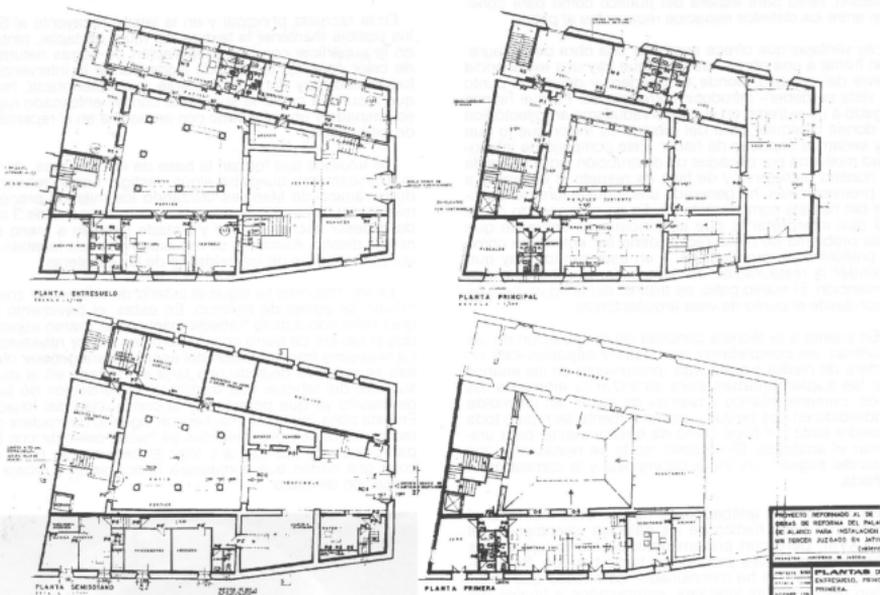
La restauración, la rehabilitación,

Un programa de juzgados es muy compatible con la estructura de la vivienda aristocrática y en la rehabilitación se ha tenido en cuenta las características de cada dependencia y su lugar adecuado. Así, el patio de carruajes se convierte en gran hall de acceso, la sala de baile y capilla en sala de matrimonios, los salones en salas de vistas, el gran vestíbulo en sala de pasos perdidos, los dormitorios familiares en despachos de jueces y fiscales y la zona de servicio en oficinas con acceso independiente. La comunicación entre las distintas dependencias se realiza a través del patio que se acristala en el primer piso. Toda la organización de la nueva distribución se adecúa a la anterior zonificación, de modo que las piezas encajan en un todo coherente.

Rehabilitación. Distribución de las distintas plantas.

La restauración comenzó, naturalmente, por la cubierta, desmontándola, zunchando el perímetro exterior e interior, colocando un nuevo forjado inclinado y retejando. Continué por la consolidación de los muros, de fachada e interiores, tapando los huecos del muro de tapial con ladrillo y mortero pobre y tabicando las distintas ventanas de fachada que habían ido apareciendo por nuevas distribuciones interiores y que no respondían a la composición original. Una vez los muros consolidados se procedió a recalzar la cimentación de aquellos que habían sufrido desplazamientos y a cimentar todo el muro Sur que nunca tuvo cimentación. El recalce se hizo en dos fases, por un lado y otro del muro y además por bataches de 1,20 m.

El patio fue desmontado por completo; se cimentaron las columnas y se volvieron a colocar aplomadas en un nivel 15 cm. superior al original para permitir el repavimentado de la planta baja y facilitar la evacuación de las aguas de lluvia del patio. En cuanto a la estructura portan-



Rehabilitación. Distribución de las distintas plantas.

te se optó por aprovechar la existente, bajo la premisa de no modificar las condiciones del edificio haciendo trabajar al muro de tapial. En los palacios valencianos, las únicas zonas que se dejaban con las viguetas de madera vistas, eran las de servicio. En las zonas nobles se colocaban escayolas molduradas o artesonados de madera con policromados o dorados. Y con este mismo espíritu se realizó la restauración. En la parte Sur, mejor conservada y que iba a ser destinada a uso de oficina de atención al público -la corespondiente a la zona de servicio- se optó por respetar el forjado de viguetas de madera, introduciendo parteluces metálicos para poder aumentar la sobrecarga de uso.

Los forjados recayentes al Norte fueron desmontados debido a su mal estado y se apoyaron los nuevos, de viguetas de hormigón y bovedillas cerámicas, en zunchos perimetrales ligados al muro por bulones y apoyados en la cámara inferior de ladrillo de 9 que además de corregir el momento de vuelco del zuncho, permitía empotrar las instalaciones eléctrica y de fontanería, además de evitar el paso de humedad por capilaridad que, sobre todo en planta baja y semisótano, provocaban desconchones en el muro interior. En toda esta zona se colocaron escayolas con molduras perimetrales de igual diseño que las primitivas.

El tema más complejo de resolver fue sin duda el patio interior, debido a lo poco acertado que era en cuanto a materiales y a composición. Dos opciones aparecían como posibles, dejarlo adintelado, o resolverlo en arcada. La primera se reveló inviable por problemas de altura de las columnas y se optó por realizar arcos de hormigón, cada uno de diferente curvatura y por modificar completamente la arcada superior, haciéndola coincidir con la inferior. Así se disminuía la desproporción entre las dos plantas del patio. Asimismo se decidió acristalar el piso superior con elementos de perfilera metálica lo más delgados posibles e independientemente de los arcos, por la parte trasera, para evitar colocar la barandilla. Se constituía así un deam-



Patio interior. Restaurado.

bulatorio, tanto para espera del público como para conexión entre los distintos espacios recayentes al patio.

Las ventajas que ofrece acometer una obra de restauración frente a una obra nueva es que hay una experiencia previa del espacio, donde se pueden -y desde mi punto de vista se deben- introducir correcciones. Porque hemos llegado a un extremo en el conservadurismo arquitectónico en donde cualquier obra del pasado es mejor que lo que hoy seríamos capaces de hacer. Este complejo de inferioridad motivado por décadas de destrucción indiscriminada de nuestro patrimonio y de falta de respeto al entorno y a las preexistencias, ha generado una arquitectura del pastiche tan nefasta como la anterior. Es en este sentido como hay que interpretar lo que al principio se decía de que cada problema de restauración debe ser entendido como un problema de arquitectura, y en este sentido hay que entender la restauración de este patio, que ha sido una reinvencción. El nuevo patio, es distinto del antiguo, pero es mejor desde el punto de vista arquitectónico.

En cuanto a la técnica concreta de restauración de las columnas, se completaron las basas y capiteles con un mortero de piedra machacada -proveniente de los enanos que las suplementaban para alcanzar la altura de los arcos- cemento blanco y resinas de epoxi, en un molde subdividido en dos piezas y posteriormente se replicó toda la piedra tanto del fuste como de basa y capitel para uniformar el acabado. Del mismo modo se restauraron los arcos del zaguán, las líneas de imposta y la cornisa de la fachada.

En cuanto a los acabados, se ha intentado mantener el carácter un poco rústico de los palacios valencianos del siglo XVIII, pero con pretensiones de cierto lujo en las dependencias nobles propias del tardo barroco. Se eliminaron, como ya se ha mencionado, los huecos que salpicaban las fachadas laterales, introducidos a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, devolviendo a la fachada su composición primitiva, imitando con enfoscado la textura en hiladas del muro de tapial. Se restauraron las jambas y los capitalizados de los balcones dándole al recercado una textura más fina. Se repuso la cerrajería en mal estado y toda la carpintería exterior de madera se realizó con el mismo diseño que la primitiva. Las contraventanas interiores, en mejor estado, se restauraron.



Fachada a la plaza de la Trinidad. Restaurada.

La logia que corona el edificio y que correspondía a una andana que se usaba como almacén y secadero, fue acristalada por la parte interior sin que desde el exterior se pueda apreciar la carpintería de madera que solapa sobre el muro. De este modo, el cambio de uso que hacía necesario el cerramiento y acristalamiento de esta planta, no desvirtúa la imagen de espacio diáfano que se sigue percibiendo desde el exterior.

En la fachada principal y en la lateral recayente al Sur, fue posible mantener la textura del muro de tapial, pintando la superficie con una preparación de tierras naturales de color ocre. En la fachada Norte donde la intervención había sido muy dura por hallarse mur deteriorada, hubo que recurrir a cubrir la superficie con un enfoscado rugoso, raspado y un enfoscado con arena fina en el recercado de los huecos.

Los azulejos que forman la base de los balcones, de los que únicamente quedaba algún vestigio fueron rehechos de cerámica de Manises utilizando los mismos procedimientos de los antiguos artesanos, con bizcocho de 3 cm. de espesor hecho a mano y pintado también a mano del mismo diseño. Asimismo se repusieron los que faltaban en las contrahuellas de los peldaños de las escaleras.

En los interiores se sigue el criterio de diferenciar zonas nobles de zonas de servicio. En estas, el pavimento de gres colocado a junta trabada mantiene el mismo aspecto que el tablero de barro cocido pero con mayor resistencia. La necesaria fragmentación del espacio para generar oficinas se resuelve dejando una tarja acristalada en la parte superior del tabique que disminuye la sensación de tubo del pasillo ya que permite ver la continuidad del forjado. En esta zona donde se mantiene el viguerío de madera del techo, las parteluces metálicas se hacen coincidir con las particiones de tabiquería y todo el conjunto se pinta de color gris cañón que enmascara la actuación y rebaja la sensación de altura.



Zaguán de acceso. Restauración del antiguo patio de carruajes.

En las zonas nobles, vestíbulos, salas de vistas y de matrimonios, se utilizó como pavimento el mármol rojo Alicante, con recercados de mármol blanco Macael. Los zócalos de la escalera y de las salas son de estuco imitando mármol blanco Arabescato y Macael, rojo Alicante y rosa Valencia, que junto con los falsos techos de escayola con grandes escocias, confieren a los interiores un aspecto recargado y de pretendido lujo.

La ausencia de un mobiliario de catálogo de los que el Ministerio de Justicia utiliza para el acondicionamiento de sus edificios que fuera acorde con este palacio, produjo el encargo del amueblamiento.

Así fue posible diseñar mesas, bancos, sillones de las salas de vistas y matrimonios y elegir el mobiliario de todas las dependencias, lo cual permitió dar una unidad a todo el conjunto, sin renunciar a la modernidad y al uso de nuevos materiales.



Sala de pasos Perdidos.



Sala de Matrimonios

Conclusiones

Las consabidas preguntas que se plantean a la hora de hacer una restauración, qué respetar, qué modificar, qué reinterpretar, no resultaron de muy difícil respuesta en este trabajo. A pesar de que se trata de una restauración que calificaríamos de "dura" y que se realizó durante casi tres años, la gran presencia del edificio en su entorno y los múltiples vestigios de su estado primitivo aconsejaban una intervención conservadora, salvo en lo que respecta al patio interior. Por ello, el comentario de varios colegas ¿Qué has hecho, arreglar los desconchados y pintar? viene a resultar - a pesar de todo el trabajo realizado- el mejor de los elogios. Esta es una restauración que no se nota.

En el inicio de esta exposición se mencionaba la necesaria relación de compatibilidad que debe existir entre el antiguo y el nuevo uso de un edificio al acometer su rehabilitación, y el fracaso al que puede conducir transgredir esta relación. Este Congreso sobre Rehabilitación del Patrimonio es el lugar adecuado no sólo para tratar problemas concretos disciplinares sobre la construcción o la arquitectura, sino también, fundamentalmente, para debatir sobre los problemas estructurales y urbanos; sobre el destino de nuestros centros históricos, abocados en la mayoría de ciudades a un languidecimiento progresivo. Porque en nuestros cascos históricos hay muchos edificios que -aunque fueron construidos para uso de vivienda- hoy por hoy, desaparecida la sociedad que las hizo posibles, únicamente parecen adecuados para albergar funciones públicas y representativas o culturales. Las viviendas subvencionadas son imposibles de insertar en la estructura de las viviendas aristocráticas con 4 ó 5 metros de altura libre entre forjados. Y no existe suficiente patrimonio artístico para convertirlos en museos, o suficientes consejerías para darles un uso público.

Si no queremos que nuestros cascos históricos se conviertan en momias guardadas en formol o en ruinas, el problema de la restauración deberá ser contemplado conjuntamente con el de la rehabilitación y reutilización, probablemente con más imaginación, otro concepto de respeto a las preexistencias y a la historia y sobre todo una política económica y urbana distinta de la que ha presidido hasta ahora.

DETERIORATION AND RECONSTRUCTION OF CASTLE-GARDEN KIOSK BUILDING IN BUDAPEST.

Elizabeth Kovács

Constructing Company For Public Building Pro Domo Ltd.

The history of the building goes back to XV. century.

Originally was engine - house of the water supply system of the Royal Palace.

The richly decorated facades, the beautiful sculptural elements and the townscape parting role of the building worthy for quickly restoration. The hard limestone columns are riddled with shots and cracks, the red limestone discoloured. The deterioration represents most of the reason and the consequence of the stone quality and environmental interaction.

Beautiful sculptural elements, discoloured limestone, stone quality - deterioration.

The Castle Garden Kiosk, one of the most beautiful neorenaissance work of Miklós Ybl's /1814-1891/ oeuvre, Originally was engine-house of the water supply system of the Royal Palace. The history of the Royal Palace waterworks dates back to the Middle Ages. The first waterworks was ordered to be built by King Sigismund between 1414 and 1416 it was made by piping smith Hartmann of Nurnberg. The system was in use during the Turkish occupation as well but was destroyed at Buda's reconquest in 1686. Thus, a new Waterworks was constructed in the 18th century by Antal Grassalkovich in the so-called "Water Bastion" of the southern curtain wall. The water was conveyed to the Royal Palace by wooden pipes. This work was altered by Sámuel Mikovini at about 1750. In 1777, Farkas Kempelen renewed the pump.

The replacement of the mechanism was in 1791. A so-called "palatine water gauge" was then standing in an inlet well in front of the waterworks facade. The gauge was replaced with a new floating type in 1817. In the middle of the 18th century, survey detail drawings were made on the Royal waterworks with the aim of equipment overhaul. The building for the water supply system that was built on the same spot where the Castle Garden fancy shop can be found now was completed and equipped with a water purifier steam engine, a water tank and filter in 1857. The building that was communicating with the palace by stairs was pulled down in 1877.

The plans of Castle Garden Kiosk were accepted at the end of 1874 and the construction was completed in 1879 the machines of the Castle Garden Kiosk started to work from July 1877.

The building stands on the site where one of Buda's most ancient streets /Hosszusor/.

The engine-house was out of use and was rebuilt into a café in 1905 and into a music pavilion in 1913.

After the 2nd World War, it accommodated various restaurants. The building is divided into three parts. The northern onestorey wing is connected to the two-storey engine house via an also two-storey necking that included a tower as well. The engine-house originally accommodated the official residence of the mechanic.

Those who expressed appreciation for the building emphasized its proportioning, the terrace with loggia, beautiful sculptural ornaments of the ingenious architecture, the well arranged chimney tower that unites practical and

artistical aspects. Its town-scape parting role was compared to that of the Loggia dei Lanzi of Florence.

A stairway leads to the middle of the loggia that closes the facade of the northern wing. The two-section loggia floor was terrazzo but it has been demolished. It's small rectangular bays are covered with cross vaults. The sgraffitos were painted by Robert Scholz. Despite the several defects, they can be restored authentically. The richly decorated tripartite stone bannister closes the pillars of the loggia.

Side frontages reflect the tripartite articulation and the courses of the window and door frames are also worth admiring. The wonderful architecture of the tower is seriously damaged.

I am sad to say that this magnificent work is neglected very much; in lack of proper junction and proprietor, a reconstruction that has respect for its values and particularities is to be waited for.

A garden belongs to the building. At the northern end of the garden there is statue of Ybl. It was built in 1896 in memory of the architect.

The building, the garden and the statue of Ybl composed a unit. The pedestal of statue was designed by Gyózó Cziegler and the statue itself is the work of Ede Mayer. Due to the obedience, lack of function and the ever - increasing decay of its structures, materials and architectonic decorations, the state of the building is critical. Those competent have been showing great concern about the fate of the Castle Garden Kiosk for more than a decade now. It is proved by the feasibility studies.

The feasibility studies dealt mainly with the interior and left the stone carcing and sculptural work behind, but this is an integral part of the reconstruction not only from aesthetic but from technical and financial points of view as well.

On the Reconstruction.

As a result of the explosion- like urbanization of the last century, large and representative public buildings, castles museums etc. were erected one after the other. The styles prevailing in the 18th century /classicism, romanticism, eclecticism/ promoted the monumental shaping of facades, the architectonic courses made of stone, the ornaments and statues. As a result of the building prosperity, the stone carvers of that time compromised at the expense of the stone material applied. One cannot forget that the guild system operating under strict rules for centuries was first loosened up in the 18th century as a consequence of the Act of Industry of Klauzál - then dissolved in 1872.

Second half of 18th century, the stone carvers used exclusively the easily workable but non-frost and weatherresistant, soft limestone of Sóskut or other types that cannot resist the frost because of the high - approx. 20% - water absorbing capacity and become gypseous and decayed, since the water leaches the lime out.

From this aspect, the Castle Garden Kiosk is not an exception; the material of all courses and ornaments is soft limestone of Sóskut. The base and stage elements of the foot-stall, the stairs and the pillars of the loggia are only made of red limestone of Tardos and hard limestone of Budakalász.

Due to the damage of the materials and independently of the persisting war damages, the facade can be reconstructed through complete stone replacement only.

Columns of hard limestone may only be exceptions of this, but they must be examined thoroughly in an investigation.

The polluted air induces chemical reactions that damage the texture of the stones /decaying/. For the stone replacement, it would be advisable to prefabricate the stone structures on the basis of the original plans then a continuous removal and replacement with step-by-step scaffolding could be started.

Between the researched plans in 1973, only 10 of the original plans survived with no detail drawings at all among them. The drawings were found in the plan collection of Modern Department of Museum of History at Budapest.

No plan was found in the plan collection of the Basilica. We know of this collection from the monography of Ervin Ybl written about his father.

They were possibly lost, though as the index suggested, 22 original drawings should have been left. We know again from Ervin Ybl's monography that sculptural work was performed by György and Armin

Schröffl and Ybl designed ornamental details with meticulous care and love.

Since original drawings are not at hand, the reconstruction may only be implemented in several steps / survey, patterning prefabrication, removal and replacement/.

The task is difficult and the reconstruction may be kept on for years. Therefore, the progress of destruction should

be stopped urgently until it will be too late. Without plans the authentic reconstruction of this hardly a hundred year old building cannot be executed with simple stone replacements because of the damage caused in the original ornaments and courses.

As concerns reconstruction, I must draw the attention to the fact that the base and closing part of the edifice foot-stall and the external stairs are made of red and hard limestone of Tardos. It is frost-resistant - with water absorbing capacity below 1 % -, but it discolours in open air and becomes undistinctive in about 5-10 years.

Insertion of this material with the purpose of restoring the original state is highly questionable.

I do not think that we should use it, since the original colour effect could be restored only temporarily and other, undfading material would not match the milieu, that is, limestone of Sütö and of Budakalász, would be advisable.

The restoration of the demolished terrazzo flooring should be designed following the patterns Ybl applied in other buildings of the same period. Its colour and pattern should harmonize with the cross vaults decorated with sgraffitos that are still renewable .

Finally - on the pretext of the reconstruction - I cannot keep to myself the opinion that the proper use of the edifice is very important. The "potentialities" of the building call for a different function. Architectural significance of the Castle Garden Kiosk requires absolutely that it could be opened to the general public.

Is architectural appearance and it's would be almost without any alteration - apt to accomodate a representative restaurant after the restoration of the original state,

ASPECTOS ESTRUCTURALES EN LA SOPORTACION DE NUEVAS INSTALACIONES EN EDIFICIOS REHABILITADOS

Alfredo Arnedo Pena
INYPESA

SUMARIO

Se expone un conjunto de criterios de diseño del trazado y soportación de instalaciones a implantar en edificios ya existentes. La amplia experiencia en ingeniería de mantenimiento en la industria química, nuclear, etc., puede aplicarse a la Rehabilitación de Edificios donde no es posible modificar la infraestructura como en un proyecto original. Los aspectos estructurales más importantes son los relacionados con la separación y distribución de soportes y sistemas de anclaje según el tipo de acciones a resistir.

KEYWORDS: Anchor, Base-plate, Bolt, Ducts, Expansion-bolt, Connection, Support, Seismic Bracing.

INTRODUCCION

La implantación de nuevas instalaciones en un edificio cuyo diseño arquitectónico original no las contemplaba supone la resolución de problemas de muy diversa índole: distribución funcional, trazado en planta, pasos de forjado, soportación, anclaje, etc. Tradicionalmente los aspectos estructurales no han sido tenidos en cuenta, solamente en el caso de centrales nucleares o instalaciones de seguridad se estudia la soportación sobre todo frente a acciones sísmicas. Un aspecto particularmente interesante lo constituye el anclaje de soportes en paredes, muros y techos ya construidos. El proyecto completo de rehabilitación debe incluir un estudio racional de la distribución de conducciones (agua, aire acondicionado, electricidad, telefonía, gas, etc.) incluyendo la soportación adecuada a las acciones, cargas e infraestructura existente.

TRAZADO DE CONDUCTOS

La distribución de conductos debe tener esencialmente una finalidad funcional, donde está incluida la identificación de puntos de llegada y/o acometidas, ramales, cambios de sección etc., de los distintos tipos de instalaciones. Con objeto de simplificar los trabajos de montaje y reducir en lo posible la incidencia sobre la estructura es conveniente unificar los puntos de inicio de distribución, disponiendo en cada planta del edificio de una entrada de conductos preferiblemente registrable y en la misma vertical. Las dimensiones de los huecos de paso de forjados, así como de los conjuntos de conductos de soportación común (telefonía, megafonía, cableado de control, fuerza ctr.) depende de los sistemas de sujeción. En el caso de tuberías, dada su ventaja de ser autoportantes, es adecuada disponer manguitos pasamuros, pero en conjuntos de cables o de aire acondicionado conviene un sistema de bandejas o conductos adecuado al servicio a prestar y entonces las características físicas: ancho, alto, radios de giro en curvas, longitudes de solapes y longitudes de piezas condicionan las dimensiones de los huecos a practicar en la estructura. Los puntos de paso más convenientes se encuentran en las esquinas de forjados unidireccionales sobre paredes de carga y lógicamente deben interesar exclusivamente a las bovedillas o piezas de relleno, cualquier incidencia sobre las viguetas debe estudiarse detenidamente. En el caso de forjados reticulares o de losa continua sobre pilares la perforación de huecos en la zona de ábacos puede resultar perjudicial. Es recomendable limitarse a los espacios entre nervios y lejos de pilares. Para cualquier de taladro en hormigón debe procederse con diámetros iniciales de prueba y detectores magnéticos de armaduras.

Tanto en forjados como en muros, debe estudiarse de una forma global todo el conjunto de huecos a practicar,

sobre todo en paredes de carga en zonas altas cercanas a los forjados. En muchos casos resulta más importante que el efecto estructural, donde los errores se traducen en fisuras, la incidencia sobre el Sistema Contraincendios. Es necesario que se respete la posible securización anti-incendios y en todo caso se debe mantener un sellado adecuado en cada paso de conductos.

En la mayoría de los casos resulta ventajoso el refuerzo local de los bordes del hueco mediante metal desplegado y morteros de baja retracción, si la conducción pasante comunica recintos de condiciones ambientales muy diferentes debe procederse a dejar libre axialmente el hueco o a establecer una junta flexible como si existiese una junta de dilatación en el edificio. Debe prestarse una particular atención a las entradas en fachadas y cubiertas de tuberías no calorifugadas, donde por efecto de insolación y anclaje sin posibilidad de expansión, pueden desarrollarse elevadas reacciones que sólo desaparecen cuando agrietan la estructura y eliminan la restricción que les dio origen, si antes no arruinan la conducción.

En general puede considerarse que, salvo un error de análisis de la tipología del edificio, las instalaciones no tienen un efecto apreciable en la capacidad estructural de conjunto, aunque deben tenerse en cuenta las recomendaciones anteriores para evitar efectos locales que comprometan la funcionalidad, el aislamiento y la estética del edificio.

DISTRIBUCION EN PLANTA

Una recomendación elemental es distribuir del modo más uniforme, regular y simétrico posible los conductos, aunque se deben respetar los requisitos funcionales que junto con los condicionantes físicos que impone la propia distribución del edificio suelen limitar esa posibilidad. La disposición de muchos tramos iguales facilita el acopio y suministro de material, agiliza el montaje, permite una colocación seriada de soporte, contribuye a un mejor control y tiene unas ventajas estructurales decisivas, sobre todo en zonas sísmicas.

Cuando las conducciones discurren sobre falso techo y hay posibilidad de elección son ventajosas las zonas alejadas del centro. Con ello se evitan las mayores alternancias de desplazamientos verticales, flechas máximas de forjado en el centro de la luz. Análogamente la mayor amplificación dinámica se produce también en soportes ubicados en el centro en el caso de terremoto o de vibraciones de maquinaria.

La colocación de falsos suelos facilita el registro e inspección, simplificando la soportación aunque traspasa el problema a la resistencia del pavimento. En casos de grandes alturas libres puede resultar ventajoso. Suelen aplicarse este tipo de soluciones en salas de equipo informático y salas de control de seguridad.

En los cambios de dirección, intersecciones, acometidas o colocación de accesorios de importancia deben disponerse apoyos en líneas de más de 20 kp/ml. para absorber las discontinuidades directamente. Asimismo debe evitarse la existencia de tramos que produzcan flechas por peso propio superior a un doscientosavo de la luz, incluso en sistemas de bandejas de cables.

Una disposición regular de soportes, que logre un reparto equilibrado de cargas y que evite una concentración de esfuerzos en parte de los conductos es la mejor solución frente a acciones de naturaleza térmica o sísmica, e incluso disminuye los efectos especialmente perjudiciales en el

caso de conductos muy rígidos. Cuando el trazado debe atravesar una junta estructural del edificio, o bien comunicar dos estructuras independientes, a menos que se disponga una junta elástica en la propia conducción deben separarse adecuadamente los soportes inmediatos colocados cada uno a un lado de la junta. De esta forma se atenúa el efecto de asentamientos o movimientos diferenciales en general.

TIPOLOGIA DE SOPORTES

Usualmente el diseño de soportes va ligado al tipo de conducción: abarcones, grapas, ménsulas con camas o guías, tirantes-colgadores etc. La posición más racional consiste en elegir sistemas modulares que incluyan soportes típicos, de esta forma se facilita el montaje y la adaptación del conducto. No obstante existe un aspecto estructural que puede descuidarse a menos que se analice todo el conjunto: los soportes estándares suelen ofrecer solamente restricción vertical o bien son anclajes que suponen restricción de todos los grados de libertad.

En conductos eléctricos a base de bandejas y en aire acondicionado puede prevalecer una soportación para cargas gravitatorias, pero conviene disponer soportes laterales en relación de uno a cinco para disponer de una mínima rigidez horizontal que facilite las modificaciones de cableado y la inspección. Si existe la posibilidad de acciones horizontales debidas a equipo (ventiladores, compuertas ctr...) o a acciones sísmicas la consideración de apoyos laterales debe realizarse mediante análisis.

La organización de soportes especiales, hechos a medida, muchas veces se confía a conjuntos de perfiles angulares. Existen modelos patentados elaborados mediante chapa conformada en frío, que junto con accesorios perforados permiten montajes rápidos. Aunque algunos de estos tipos pueden tener una aplicación óptima en estructuras de almacenaje y estanterías con cargas predominantemente estáticas en caso de acciones dinámicas la asimetría de la sección puede propiciar errores, tanto en la modelización de la estructura como en el cálculo tensional. Además de la reducida rigidez torsional los perfiles angulares son poco eficaces frente a cargas de compresión. Es preferible usar secciones de tubo estructural cuadrado donde la relativa desventaja de facilidad de uniones atornilladas en relación a los angulares puede ser suplida mediante tamaños telescópicos. Por otra parte las secciones cerradas son proporcionalmente más ligeras y económicas en pintura.

Cuando el trazado discurre por zonas contiguas a paredes de carga o muros, capaces de aceptar placas con pernos de expansión el soporte más económico suele resultar un travesaño en ménsula empotrado. Puede añadirse un jalcabón inferior o un tirante al techo si hay problemas de flecha o si se desea eliminar el trabajo a flexión de la placa. Este último caso suele ser frecuente cuando las placas son de reducidas dimensiones y los pernos resultan solicitados con grandes tracciones.

ELEMENTOS DE ANCLAJE

Existe una amplia gama de elementos de anclaje, basados en sistemas de sujeción por rozamiento, expansión, combinación de ambos o por adherencia a base de resinas epoxi. Muchos anclajes están pensados para hormigón y cargas relativamente importantes, en estos casos las tablas de capacidades resistentes que proporcionan los fabricantes han de juzgarse con criterios realistas, ya que no todos usan el mismo coeficiente de seguridad. Resulta más fiable un valor reducido de capacidad y una escasa probabilidad de fallo simple de valores resistentes altos pero dependientes de una colocación más complicada.

Antes de decidirse por un tipo de anclaje es necesario tener en cuenta la capacidad del material base (hormigón, ladrillo cerámico, piedra, madera ctr...) recurriendo a ensayos directos si se carece de buenas referencias. Hay que

prever la posibilidad de encontrar distintos tipos de materiales o condiciones de colocación a lo largo de la obra.

Los defectos típicos, que reducen la capacidad de carga o arruinan un anclaje, suelen consistir en taladros de diámetro excesivo, profundidad insuficiente, separación entre tacos escasa, distancia pequeña a borde libre, falta de limpieza o humedad en anclajes químicos, par de apriete inadecuado en anclajes de expansión ctr... Estos errores determinan distintos tipos de fallo del anclaje: rotura del material base con cono de extracción; deslizamiento de la varilla con o sin agrietamiento. En el mejor caso la carga máxima está determinada por el agotamiento elástico del material del propio anclaje.

Este último caso, de comportamiento dúctil sólo se logra con tacos químicos de gran diámetro y profundidad o con pernos de cuña, con expansión en el extremo previamente ensanchado. En estos casos pueden aplicarse todos los métodos de cálculo clásicos de las uniones atornilladas a los grupos de pernos. Por el contrario en pernos de expansión por manguito o casquillo el reparto del cortante debe hacerse con la mitad de elementos en el supuesto de acciones dinámicas. Una ventaja importante de los dos tipos de anclajes citados consiste en su independencia de pares de apriete ajustados para resistir vibraciones y alternancia de cargas.

Para colgadores de suspensión en techo no es factible el uso de taco químico, así como en condiciones de altas temperaturas. En estos casos el perno más adecuado es el de cuña en extremo, que además ofrece la ventaja de no estar afectado por la fisuración.

Cuando no puede confiarse en el material base no hay más remedio que recurrir a pernos pasantes, con placa y contraplaca. Esto suele suceder con tabiqueo de poco espesor o paredes de material no homogéneo. Tanto en estos casos como en las placas base debe elegirse un espesor no menor de un quinto del vuelo para evitar el efecto de falta de rigidez de la placa. Asimismo es importante una distribución regular y simétrica de los pernos respetando la normativa referente a tamaño de taladro y distancias a borde.

Para evitar la corrosión es conveniente utilizar materiales galvanizados. Para atmósferas agresivas o conducciones al exterior algunos fabricantes disponen de varillas de acero inoxidable, de este modo se evitan muchas sustituciones que siempre resultan problemáticas en conducciones ya instaladas.

RECOMENDACIONES DE CALCULO

Supuesta una distribución y un diseño adecuados de conducciones y conductos la finalidad del cálculo debe limitarse a una verificación o comprobación. Es aconsejable tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

1ª) Considerar todo el peso posible de las conducciones (futuras ampliaciones, accesorios, cambio de revestimiento, peso de una persona en inspección ctr.).

2ª) Establecer de forma realista las acciones especiales de cálculo: Carrera de temperatura, desplazamientos, coeficiente sísmico estático equivalente o espectro de respuesta de piso.

3ª) Distribuir las cargas en los soportes de acuerdo con su rigidez, mayorando un 25% las acciones verticales para tener en cuenta el efecto de viga continua en apoyos interiores.

4ª) Es preferible calcular los esfuerzos sin mayorar las acciones. De esta forma se pueden obtener las flechas directamente y se facilita la comparación de tensiones en hormigón/acero, además de resultar más cómodo y realista si se aplica cálculo dinámico.

5ª) Deben calcularse los anclajes después de un reparto de esfuerzos en cada perno. Es preferible contar con

extremos de barras que estén articulados y llevar a las placas-base solamente esfuerzos axiales y cortantes.

6ª) En caso de instalaciones anti-incendio deben considerarse resistencias reducidas del acero y del material base, con su adecuada afectación a la capacidad de cálculo del perno.

7ª) La limitación tensional del 60% del límite elástico del acero puede aumentarse a un 90% en el caso de acciones sísmicas o de vientos excepcionales en instalaciones exteriores. En todo caso no es recomendable bajar de 2 el coeficiente de seguridad de los pernos.

ESTUDIO DE LA RECUPERACION DE LAS DEFORMACIONES DE PIEZAS LINEALES DE HORMIGON ARMADO SOMETIDAS A FLEXION. APLICACION A LAS INTERVENCIONES SOBRE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO.

BENLLOCH MARCO, J. Dr. Arquitecto: PEREPEREZ, B. Dr. Arq BARBERA, E. Dr. Arq.: GONZALEZ, G. Dr. Arq. FRAN J. M^o, Dr. Arq.; VALCUENDE, M. Arq. PASTOR, R. Arq.

Cátedra de CONSTRUCCION III. Dpto. de Construcciones Arquitectónicas.ETSAV. UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA.

SUMARIO

Se presenta los resultados de una investigación experimental sobre las deformaciones registradas en elementos lineales de hormigón armado tras retirar la carga de servicio y durante la aplicación de un 2º ciclo de carga. Se concluye lo adecuado de la formulación de BRANSON para estimar el valor de las flechas instantáneas, la escasez de la recuperación diferida y su rápida adquisición y a la notable diferencia de la deformación diferida del 2º ciclo respecto de la correspondiente al 1º, relacionando estas cuestiones con las obras de intervención sobre estructuras de hormigón armado.

PALABRAS CLAVE.

Flechas instantáneas y diferidas, historia de carga, hormigón armado, flexión.

1. INTRODUCCION.

La excesiva deformabilidad de las estructuras de hormigón armado es un problema de notable vigencia (1). De hecho, la normativa ha sancionado esta afirmación cuando prescribe la comprobación de los estados límites de utilización, con independencia de que se haya producido la satisfacción de los estados límites últimos.

Ahora bien, aunque el tema es tratado de modo claramente aceptable desde el punto de vista de las construcciones de nueva planta (2), al igual que sucede con el resto de comprobaciones, los métodos al uso son mucho menos apropiados cuando se aplican a obras ya construidas, es decir, para las intervenciones sobre el patrimonio construido.

Respecto del proyecto de obras de nueva planta, existe abundante bibliografía acerca de la incidencia del proceso constructivo seguido sobre las deformaciones. Así, GROSSMAN (3) señala que, dado que durante la fase de construcción suele alcanzarse valores de carga equivalentes a los de la carga total de servicio, no resulta necesario el cálculo de la Inercia Eficaz (I) para cada uno de los sucesivos escalones de carga; SBAROUNIS (4, 5, 6) destaca la importancia del proceso constructivo sobre el valor final de las flechas instantáneas y de las diferidas; GARDNER y FU (7) han mostrado la influencia sobre las flechas finales de la edad de puesta en carga.; AGUINAGA-ZAPATA y BAZANT (8) han formulado una propuesta de estimación de la fluencia y de las deformaciones a largo plazo en función de la historia de carga a edades tempranas, y RANGAN (9) señala la exactitud a este respecto del método de cálculo de la norma austriana.

Entre las semejanzas de las obras de nueva planta y de las obras de rehabilitación, cabe citar:

- la frecuente concordancia entre la máxima carga aplicada durante el proceso constructivo, la carga máxima de servicio con que se ha calculado la estructura original y la máxima carga de servicio prevista tras el hipotético cambio de uso del edificio (10), y

- la aplicación en ambos casos de muy pocos ciclos de carga, todos ellos de considerable amplitud y baja frecuencia.

Entre las diferencias más significativas, destacan:

- es frecuente que, antes de la intervención, la carga de servicio haya estado aplicada el tiempo necesario para producir una estabilización de la flecha diferida, y

- lo es también que, en obra nueva, las cargas derivadas de la construcción se apliquen antes de los 28 días de edad teórica, contrariamente a lo que es habitual respecto de la estructura original en las intervenciones.

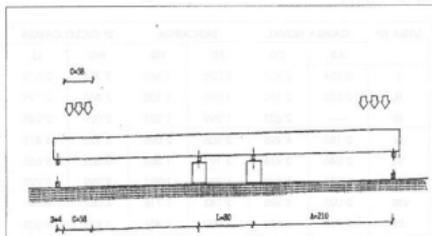


Figura 1. Esquema de carga

2. EXPERIMENTACION Y RESULTADOS.

En este trabajo se presenta las deformaciones experimentadas por 9 elementos lineales de hormigón armado, sometidos a una sollicitación de flexión simple durante dos procesos de carga de igual magnitud, y con un proceso intermedio de descarga total exceptuado su peso propio. La carga aplicada en cada uno de los dos procesos citados ha sido la correspondiente al momento de servicio, obtenido al dividir el momento último por 1,6 y tanto la carga como la descarga se ha prolongado al tiempo necesario para alcanzar la estabilización de las flechas diferidas.

El esquema de ensayo de cada uno de los 9 elementos lineales, de 10x20x500 cm. (bxhxl), es el que se aprecia en la Figura 1 (A=2,10 m; L= 0,80 m., C=0,38 m.). Se ha utilizado 3 cuantías de armadura de tracción: baja (W=0,6896 %- Vigas I, II y III), media-alta (w=1,9635%, vigas IV, VI y VII) y alta (w=3,1167%; vigas VIII, IX y X), y por cada una de ellas, tres cuantías de la armadura de compresión respectiva: 25% (vigas I, IV y VIII), 50% (vigas, II, VI y IX) y 100% (vigas III, VII y X), referidas a la de tracción. Los resultados más significativos tras los primeros 622 días de aplicación de la carga de servicio están aportados en las referencias (11,12).

Tras la descarga, el seguimiento de la recuperación de deformaciones se ha finalizado al cabo de 215 días, procediendo a continuación a una nueva puesta en carga (la

total de servicio nuevamente) y a registrar las deformaciones durante otros 322 días. En la Tabla 1 se ha resumido el valor de las deformaciones más significativas, acotadas al origen, experimentadas por cada una de las 9 piezas tras efectuar los dos ciclos de carga más el de descarga. De la Tabla 1 se deduce, en parte, un comportamiento de las vigas que, a título de ejemplo, se recoge en la Figura 2, que se corresponde con la viga VI (cuantía de tracción medio-alta y 50% de armadura de ésta como armadura de compresión).

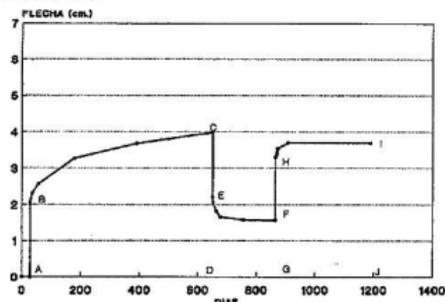


Fig.2 Deformaciones de la viga VI en función de la historia de carga.

VIGA Nº	CARGA NOVAL		DESCARGA		2º CICLO CARGA	
	AB	CD	ED	FG	HG	IJ
I	0'654	2'607	2'025	1'662	2'296	2'679
II	0'655	2'160	1'696	1'335	1'888	2'191
III	—	2'627	1'999	1'523	2'029	2'245
IV	2'183	4'495	2'906	2'096	3'926	4'473
VI	2'046	3'978	2'197	1'563	3'303	3'686
VII	1'926	3'640	1'722	1'231	2'929	3'227
VIII	2'093	4'946	2'783	1'776	4'087	4'531
IX	2'720	4'850	2'000	1'401	3'873	4'308
X	2'466	4'177	1'348	1'032	3'388	3'745

TABLA 1. Deformaciones en función de la historia de carga.

3. DISCUSION

La discusión se centra sobre la magnitud de la recuperación instantánea y diferida tras la descarga y sobre el valor de la flecha instantánea y la diferida tras la aplicación de un segundo ciclo de carga de igual magnitud que el primero, con lo cual se puede extraer conclusiones acerca de en qué medida se puede ver afectada la flecha activa cuando se efectúe una rehabilitación que no suponga un incremento significativo de las cargas soportadas durante plazos prolongados por la estructura original.

3.1. Recuperación.-

En la Tabla 2 se resume el valor de los parámetros siguientes: recuperación instantánea (CE=CD-ED); recuperación diferida (ED-FG); recuperación total (CD-FG); relación en %, entre la recuperación instantánea y la total (CE + (CD-FG)); relación en %, entre la recuperación instantánea y la deformación instantánea debida al ciclo de carga noval (CE + AB); relación en %, entre la recuperación instantánea y la deformación total debida al ciclo de carga noval (CD + CD), y relación, en %, entre la recuperación diferida y la deformación total del ciclo noval ((ED-FG) + CD). De esta Tabla 2 se deriva que:

- La recuperación instantánea representa, respecto de la recuperación total (CE + (CD-FG)), un porcentaje tanto mayor cuanto más elevada es la cuantía de armadura de

tracción, lo que se puede atribuir a que las vigas con más armadura de tracción son las que, bajo carga, se ha fisurado en mayor medida y, por tanto, las que presentan menor colaboración del hormigón traccionado, es decir, mayor dependencia del acero, material en fase elástica bajo cargas de servicio. Obsérvese que en las vigas II, VI y IX (armadura de compresión al 50% de la de tracción)

el valor relativo de la recuperación inicial es del 56,24%, 73,73% y 82,63%, respectivamente. Además, en las vigas IV a VII y VIII a X, este porcentaje también aumenta cuando lo hace la cuantía de la armadura de compresión, lo que parece lógico si se tiene en cuenta que tal hecho se corresponde con una menor profundidad y nivel tensional del bloque comprimido, es decir, con una menor fluencia de hormigón y, por tanto, con un comportamiento más elástico de las piezas 1.

VIGA Nº	CE	ED-FG	CD-FG	CE + CD-FG	CE + AB	CE + CD	ED-FG + CD
I	0'582	0'364	0'946	61'55%	88'99%	22'32%	13'96%
II	0'464	0'361	0'825	56'24%	73'07%	21'46%	16'71%
III	0'629	0'476	1'105	56'93%	—	—	—
IV	1'589	0'810	2'399	66'24%	72'79%	35'36%	18'02%
VI	1'781	0'635	2'416	73'73%	87'06%	44'77%	15'96%
VII	1'818	0'491	2'309	78'74%	94'39%	51'36%	13'87%
VIII	2'162	1'006	3'168	68'26%	103'3%	43'70%	20'34%
IX	2'850	0'699	3'449	82'63%	104'6%	58'76%	12'35%
X	2'830	0'316	3'146	89'96%	114'8%	67'76%	7'57%

Tabla 2. Recuperaciones instantáneas y diferidas

- la recuperación instantánea, referida a la flecha instantánea del ciclo noval (CE + AB), en las vigas IX a X ha aumentado al hacerlo, tanto la cuantía de la armadura de tracción como la de compresión, lo que resulta coherente con lo expuesto anteriormente. Así, oscila del 72,79% al 94,39% en las vigas IV a VII y del 103,3% al 114,8% en las vigas VIII a X. Análoga consideración cabe respecto de la relación entre la recuperación instantánea y la deformación total del primer ciclo de carga (CE + CD).

- como se deduce de la última columna de la Tabla 2, la recuperación diferida, contrariamente a la instantánea, es un porcentaje poco importante de la flecha total del primer ciclo, lo cual concuerda con toda la discusión anterior, en el sentido que la recuperación es tanto menor cuanto más elástico ha sido el comportamiento de la pieza (mayores cuantías de tracción y compresión). Ahora bien, buena parte de la recuperación diferida se produce en un corto intervalo de tiempo, por lo que, caso de estar interesado en alcanzar la recuperación de las deformaciones producidas en un ciclo noval de larga duración, tendría sólo interés mantener la descarga durante ese breve período de tiempo (cfr. figura 2).

3.2. Segundo ciclo de carga.-

En la Tabla 3 se lista la flecha instantánea de este ciclo (HF); la flecha diferida del 2º ciclo (IJ-HG); la relación, en %, entre esa flecha instantánea y la del primer ciclo (HF + AB); la relación en %, entre la flecha instantánea del 2º ciclo y la recuperación instantánea (HF + CE), la relación, en %, entre la flecha instantánea del 2º ciclo y la deformación total del ciclo 2º (HF + (IJ-FG)); la relación, en %, entre la flecha diferida del 2º ciclo y la flecha diferida del 1º ciclo ((IJ-HG) + (CD-AB)), y la relación en %, entre la flecha total del 2º ciclo y la del 1º ((IJ-FG) + CD). De ella se deduce que:

- la flecha instantánea del 2º ciclo ha representado, por término medio, el 92,23% de la correspondiente al ciclo de carga noval, sin una clara influencia de las cuantías de armadura de tracción o compresión. La diferencia se explica por la deformación remanente (plástica instantánea)

VIGA Nº	HF	IJ - HG	HF + AB	HF + CE	HF + U-FG	IJ-HG + CD-AB	IJ-FG + CD
I	0'635	0'383	97'02%	109'1%	62'38%	19'61%	39'03%
II	0'553	0'303	87'09%	136'9%	64'60%	19'87%	39'63%
III	0'506	0'216	—	80'51%	70'08%	15'24%	—
IV	1'829	0'548	83'76%	115'1%	76'95%	23'70%	52'87%
VI	1'740	0'384	85'04%	97'70%	81'92%	19'85%	53'38%
VII	1'698	0'299	88'14%	93'40%	85'07%	18'49%	56'38%
VIII	2'310	0'444	110'3%	106'9%	83'38%	15'57%	55'66%
IX	2'472	0'435	90'88%	86'74%	85'04%	20'42%	59'94%
X	2'357	0'357	95'56%	83'30%	86'86%	20'86%	64'96%

Tabla 3. Deformaciones del 2.º ciclo de carga

acumulada durante el ciclo de carga noval. Por otro lado, el coeficiente medio, en %, entre la flecha instantánea del 2º ciclo y la recuperación instantánea (HF + CE) es del 101,06%. Por tanto, cabe concluir que, para el cálculo de la flecha instantánea de cualquier ciclo, parece que puede resultar válida la formulación de BRANSON (2,11,13) raramente del lado de la seguridad.

- dentro del 2º ciclo, la flecha instantánea ha supuesto una fracción de la flecha total (HF + (IJ - FG)) mucho más importante que en el ciclo 1º, fracción que ha aumentado cuando lo ha hecho también la cuantía de armadura de tracción y, para cada una de éstas, la cuantía de armadura de compresión. Y ello se puede atribuir a las mismas causas ya apuntadas en el epígrafe 3.1.; la flecha diferida del 2º ciclo ha sido mucho menor que la del 1º y, además, con una estabilización mucho más ávida (figura 2). Ello resulta coherente con el hecho de no haber aumentado las cargas en el 2º ciclo y de haberse estabilizado sensiblemente durante el primero la fluencia y la retracción del hormigón y el deterioro adherente que siempre se produce bajo cargas de larga duración (14). Lo mismo se deduce de la última columna de la Tabla 3 (cociente entre flechas totales) dado que éstas, en definitiva, son suma de las instantáneas y diferidas respectivas.

3.3 Influencia de la historia de carga.-

De todo lo hasta aquí expuesto parece deducirse que, en el cálculo de las flechas de elementos lineales de hormigón armado (instantáneas, diferidas, totales y activas), no se debe prescindir de la historia de la carga. Como se ha visto, la flecha instantánea, exceptuadas las piezas con baja cuantía y armadura de tracción, son estimadas con notable precisión cuando se emplea la formulación de BRANSON. En cambio, el resto de las deformaciones han

resultado notablemente afectadas por la ejecución de un 2º ciclo de carga posterior a la estabilización alcanzada durante el 1º ciclo de carga y también durante la descarga. Ello hace necesario profundizar en la cuantificación del fenómeno, extendiendo el estudio a ciclos de carga total de servicio de corta duración, tal y como sucede con frecuencia en las estructuras de edificación de plantas sucesivas cuando se emplea un número limitado de cimbras. Al tiempo, parece que, al menos desde un punto de vista cualitativo, en proyectos de intervención en los que no se incrementa apreciablemente las cargas respecto de las que ya han estado aplicadas durante periodos de tiempo prolongados:

- resulta de escaso interés dilatar el período de descarga, dado que la mayor parte de la recuperación diferida se alcanza en poco tiempo;

- el cálculo de flechas diferidas, totales y activas mediante la formulación al uso (EH-91), puede conducir a una estimación excesivamente pesimista de las mismas.

4. CONCLUSIONES

De la presente experimentación cabe concluir que:

1º. La recuperación instantánea y la flecha instantánea del 2º ciclo han sido del mismo orden de magnitud, y por término medio, el 92% de la flecha instantánea del 1º ciclo. Por tanto, según experiencias previas, se puede estimar con fiabilidad, en piezas lineales de no baja cuantía de armadura de tracción, mediante la formulación de BRANSON.

2º. La recuperación diferida ha sido porcentualmente escasa, oscilando entre un 7,57% y un 20,34% de la flecha total del 1º ciclo de carga. Además, la mayor parte de ella se ha alcanzado en un período de tiempo de pocos días, lo que hace innecesario prolongar el tiempo de descarga durante las intervenciones.

3º. La flecha diferida del 2º ciclo de carga ha sido mucho menor que la del 1º, oscilando el valor de la primera alrededor del 20% de la citada en segundo lugar. En consecuencia, en ciclos de carga no noval, el método de BRANSON puede sobreestimar considerablemente las flechas totales, las diferidas y las activas.

4º. Dada la trascendencia práctica de la deformabilidad de los elementos lineales de hormigón armado sometidos a flexión, parece necesario, a la luz de los resultados obtenidos, profundizar en el estudio de la influencia de la historia de carga sobre las deformaciones, teniendo en cuenta relaciones canto/luz y condiciones de enlace distintas a las empleadas en este trabajo.

5. BIBLIOGRAFIA

1. GONZALEZ VALLE, E.: "La flexibilidad de los forjados de hormigón armado de edificación; evaluación de la situación actual". Informes de la Construcción nº 343. Septiembre, 1982.

2. M.O.P.T.: "Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado. IÉH-91". Madrid, 1991.

3. GROSSMAN, J.S. "Reinforced Concrete Design". Building Structural Design Handbook". Capítulo 22. Ed. John Wiley & Sons. Nueva York, 1987.

4. SBAROUNIS, J.A.: "Multistory Flat Plate Buildings-Construction Loads and Immediate Deflections". Concrete International. Febrero, 1984.

5. SBAROUNIS, J.A.: "Multistory Flat Plate Buildings of Construction Loads on Long-Term Deflections". Concrete International. Abril, 1984.

6. SBAROUNIS, J.A.: "Multistory Flat Plates-Measured and Computed One-Year Deflections". Concrete International. Agosto, 1984.

7. GARDNER, N.J., FU, H.C.: "Effects of High Construction Loads on the Long-Term Deflections of Flat Slabs". ACI Structural Journal. Julio-Agosto, 1987.

8. AGUINAGA-ZAPATA, M.; BAZANT, Z.P.: "Creep

Deflections in Slab Buildings and Forces in Shores during Construction". ACI Journal. Septiembre-October, 1986.

9. RANGAN, B.V.: "Effects of High Construction Loads on the Long-Term Deflections of Flat Slabs. Discussion". ACI Structural Journal. Mayo-Junio, 1988.

10. CALAVERA, J.: "Cálculo, construcción y patología de forjados de edificación". Ed. INTEMAC, 2ª Edición. Madrid, 1988.

11. BENLLOCH, J.; PEREPÉREZ, B.; BARBERA, E.: "La influencia de la armadura de compresión en la cuantificación de las flechas a 90 días". Hormigón y Acero. Nº 166. Marzo, 1988.

12. BENLLOCH, J.; BARBERA, E.; PEREPÉREZ, B.; GONZALEZ, G.; GARIJO, C.: "Deformabilidad de elementos lineales de hormigón armado sometidos a flexión. Influencia a la edad de 360 días de la cuantía de armadura de compresión". Anales de Ingeniería Mecánica. Año 6, Nº 1. Ponencia presentada en el VII Congreso de Ingeniería Mecánica. Valencia. Diciembre, 1988.

13. BRANSON, D.E.: "Deformation of Concrete Structures". Ed. McGraw-Hill International Book Company. Nueva York, 1977.

14. C.E.B. T.G. V/I: "Anchorage zones, Bond Action and Bond Behaviour of Reinforcement. State-of-the-Art-Report". C.E.B: Bull, nº 151. Abril, 1982.

METODOLOGIA Y PAUTAS DE RESCATE DE ESTRUCTURAS DE MAXIMO RIESGO DE HORMIGON ARMADO DEL PERIODO 1.930 A 1.940 EN LA REPUBLICA ARGENTINA.

Juan María Cardoni - Ingeniero Civil - Profesor Titular de Estructuras 1, Estructuras 2, Estructuras 3 y Estructuras 4 y de Tecnología de Restauración de las Estructuras de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Buenos Aires.

SUMARIO:

Se desarrollará la exposición de las secuencias técnicas y constructivas que se utilizaron en la reparación y puesta en condiciones de seguridad de las estructuras de los Estadios de Fútbol de los dos Clubs más populares de la Argentina. Se trata de los estadios del Club Atlético Boca Juniors y el Estadio del Club Atlético River Plate, este último sede principal del Campeonato Mundial de Fútbol de 1.978. Las patologías, similares para ambos casos provienen de la falta de adecuado mantenimiento desde 1937/39 años de sus inauguraciones, con el consiguiente deterioro de las juntas hidrófugas, corrosión de las armaduras de numerosos elementos estructurales por efectos de los agentes naturales frente a las estructuras microfisuradas durante los eventos, caída de recubrimientos, oxidación de armaduras y degradación del hormigón etc... Las soluciones, fueron diferentes para ambos casos, por la diferente concepción de sus magníficas estructuras, pero con base común en lo que respecta a la reparación mediante técnicas convencionales y técnicas modernas mediante resinas epoxi, adhesión de chapas, planchuelas, reposición de armaduras, etc. y todo previas riesgosas operaciones de "izado" mediante gatos hidráulicos, tornillos a torres de apuntalamiento, etc., para luego de reparadas las estructuras, al "bajarlas", provocar la entrada en servicio de los nuevos elementos agregados. El complejo procedimiento, acá resumido, tiene pasos intermedios y finales destinados a preservar -además- la imagen arquitectónica-estructural original, al "esconder" las reparaciones tras morteros adheridos con resinas de tipo tixotrópico.

INTRODUCCION I:

Estadio del Club Atlético RIVER PLATE SEDE PRINCIPAL del Campeonato Mundial de Fútbol del año 1978 en "Nuñez", Capital Federal República Argentina.



Foto 1

El Estadio, considerado el mayor de la República Argentina, fué construido entre los años 1.937 a 1.939. Con motivo de la elección de la República Argentina como sede del Campeonato Mundial de Fútbol de 1.978, en esa ocasión, además de efectuarse una remodelación y adecuación completa del Estadio, se procedió por una parte a efectuar las primeras reparaciones en la estructura resistente desde su inauguración y por otra a dar solución al viejo problema de la falta de baños e instalaciones en cantidad, que como veremos, tiene su influencia en la producción de patologías estructurales.



Foto 2

Las patologías estructurales observadas en esa ocasión dieron motivo a un plan de ejecución de las reparaciones en dos etapas; la primera e inmediata: de las patologías más importantes, y la segunda etapa en vías de ejecución hasta el día de la fecha, dado que aún faltan reparar numerosas patologías antiguas y otras que fueron apareciendo en estos años, en especial en la tribuna al S.W. y la tribuna al N.W. (denominadas Gral. Belgrano y Centenario respectivamente).

Patologías observadas: carbonatación y deterioro avanzado del hormigón; corrosión de armaduras por penetración de aguas de lluvia a través del hormigón microfisurado al estar cargado, con la consiguiente oxidación -aumento de volumen del acero- presión que hace estallar el recubrimiento y luego pérdida de sección y de coeficientes de seguridad; corrosión por líquidos producidos por los espectadores: idem anterior pero de mayor gravedad por los ácidos, problema solucionado en parte con la remodelación; mal estado o casi inexistencia de juntas hidrófugas-estructurales; muy mal estado de las ménsulas cortas y contraménsulas que configuran las juntas en este Estadio, escasos recubrimientos, etc.

Proyectada para 120.000 espectadores parados, hoy 80.000 por colocación de butacas fijas.

Proyecto y Dirección Prof. Ing. Juan María Cardoni.

Las patologías se localizaron principalmente en las juntas estructurales, pórticos de junta e intermedios, pies y



Foto 3

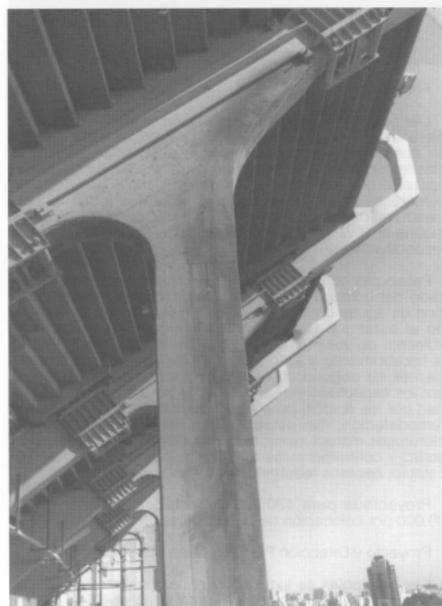


Foto 4

cantos de columnas, vigas principales de tribunas, plegados de graderías (escalones), etc..

Se procedió al retiro de materiales deteriorados mediante picado y posterior arenado, en sectores muy afectados se agregó la armadura faltante mediante técnicas epoxi, colocándose barras de acero o perfiles ángulo (caso de la foto 2 en los cantos) o planchuelas para reemplazar arma-



Foto 5

duras de flexión o estribos (cercos). La vinculación entre la estructura existente y el nuevo hormigón convencional o mortero de epoxi se logra mediante puentes de adherencia epoxi y barras hincadas al hormigón mediante resinas epoxi. El caso de las fotografías muestra un pórtico con deterioros en su armadura vertical y en los cercos, por lo que se procedió a efectuar su reparación, previo apuntalamiento de la zona de influencia, dada la reducción de secciones, ante el picado y la rotura de los hierros de flexión compuesta, para luego procederse a su reparación con morteros epoxi de 1200 Kg/cm^2 de resistencia a compresión y 400 Kg/cm^2 de resistencia a tracción (DIN 1164), formulados por el prestigioso Ing. Químico Profesor Juan Cruz Saubidet, bajo cálculo de secciones de acero y de hormigón, por recálculo de la estructura deteriorada efectuado por quién suscribe. La terminación superficial se visualiza en la foto N°4, donde la columna tiene su apariencia arquitectónica-estructural original, sin visualizar las chapas, planchuelas, etc., dada la posterior aplicación de una resina tixotrópica (que absorbe y retiene en cualquier posición diversos materiales) sobre la cual se proyectó el mortero de cemento protector de los aceros (junto a la resina) a la vez que devolvió a la pieza su textura original.



Foto 6

Las patologías estructurales más frecuentes en el Estadio de River se localizan en los pórticos de juntas, estos últimos materializados por ménsulas cortas y contra-ménsulas con gran deterioro en el hormigón, en las secciones de acero y en los apoyos de chapa o plomo originales. En la foto N°5 se visualiza una junta en la zona de tribuna luego del arenado y picado, con gran pérdida de secciones.

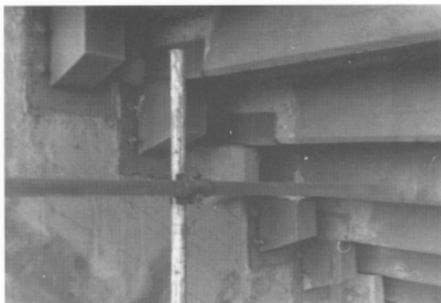


Foto 7

En la foto N°6 se observa otra patología de menor ocurrencia, y debido a la corrosión de armaduras por pequeño espesor de los plegados de hormigón de los escalones y por el problema básico y general de todos los Estadios: son enormes azoteas sometidos a todo tipo de inclemencias del tiempo y de los hombres sin los recubrimientos necesarios y sin aislaciones hidrófugas, ni membranas, ni revestimientos aislantes alguno.



Foto 8

En la foto N°6 se visualizan las ménsulas cortas y las contraménsulas ya reparadas mediante la adición de armaduras, la fijación de moldes de chapa de acero al hormigón mediante barras hincadas con epoxi, roscadas y abulonadas y todo relleno con morteros epoxi convenientes. Las contraménsulas en chapa o planchuela pegada según los grados de deterioro. Todo previo izado con

andamios y gatos hidráulicos accionados en forma conjunta para "subir" la Tribuna y permitir las reparaciones estructurales y el reemplazo de los apoyos originales entre ménsulas y contraménsulas por apoyos de neopreno o de acero inoxidable de acuerdo a las solicitaciones y también por qué no decirlo, de acuerdo a la factibilidad de izado de las distintas secciones.

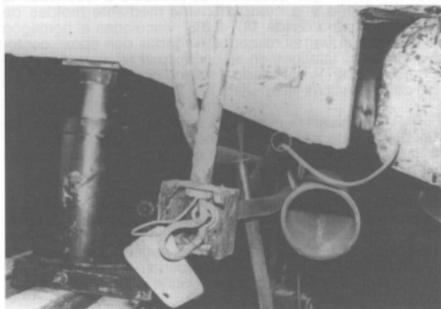


Foto 9

En esta secuencia fotográfica se puede observar el problema ya enunciado en la hoja anterior, pero esta vez en un grado de peligrosidad realmente severo, por no cartularlo como grave. Se trata de un pórtico principal de junta, con esta última materializada en forma similar a los escalones ya vistos, pero de mayor magnitud dado que se trata de una viga de gran sección y que absorbe una carga equivalente a 6 metros de zona de influencia a lo largo, más una serie de cargas concentradas de vigas de tribuna



Foto 10

nas y pasillos de circunvalación que apoyan en ella. Una vez picado y arenado, el apoyo entre la gran viga y la ménsula corta se vió reducido a una superficie de escasos 5 cm. Previo apuntalamiento, se procedió al "izado" de la tribuna completa, en una altura de 8 a 10 cm mediante sistemas de gatos hidráulicos y apuntalamientos en torre con tornillos de ajuste luego de la acción de los gatos. Sobre los "muñones" que quedaron, se procedió a reconstruir la ménsula corta y la contraménsula mediante moldes de chapá de acero desde 1/8" a 3/8" vinculadas al hormigón existente con barras roscadas hincadas con epoxy, conteniendo en su interior y en su contexto el refuerzo de armaduras necesarias calculado y relleno con mortero epoxy de las características ya enunciadas.

Previo a "bajar" la estructura se ubicaban los apoyos de neoprene o de acero inoxidable entre la nueva ménsula y la nueva contraménsula; luego se aplica epoxy bituminoso y una pintura de terminación.

Estas espectaculares maniobras de "izado" y "bajado", desde ya previamente calculadas rigurosamente, despertaban sensaciones de temor a los neófitos, a los alumnos de nuestras cátedras y frente a los ruidos y al quiebre de algún tabique de mampostería superior, por qué no decirlo, también a nosotros que se supone que habíamos previsto y calculado todo el proceso.

Otras patologías del Estadio de River son similares a las del Estadio de Boca que a continuación se detalla.

INTRODUCCION II:

Estadio del Club Atlético Boca Juniors en "La Boca" Capital Federal República Argentina.



Foto 11

El Club Atlético Boca Juniors es junto al Club River Plate los dos equipos que polarizan la gran mayoría de los aficionados argentinos. Su estadio, magníficamente diseñado en 1.932/34 por el Ing. Jose Luis Delpini y terminado de construirse en 1.937 fué en su momento y es en la actualidad una obra notable por su diseño, que permitió la ubicación de 90.000 espectadores en un exiguo terreno que no daba para más de 50.000 espectadores; resuelve el problema mediante la implantación de una tercera bandeja de tribunas con su extremo en voladizo hacia "afuera" del estadio, a la vez que contó desde un principio con excelentes circulaciones verticales y horizontales que permitían la evacuación de la totalidad del estadio en cinco minutos.

Esta obra excepcional del Maestro Delpini, sufrió los mismos problemas que el Estadio de River, al no haber tenido mantenimiento estructural, de aislaciones, de juntas, de instalaciones, etc. desde 1.937 hasta 1.984, fecha en que el Club, con recursos propios contrata a quien suscribe como Projectista y Director de la Reparación y Consolidación del Estadio.

Esto motivó un plan de trabajos que comenzaba por las patologías que no permitían la habilitación del Estadio (en

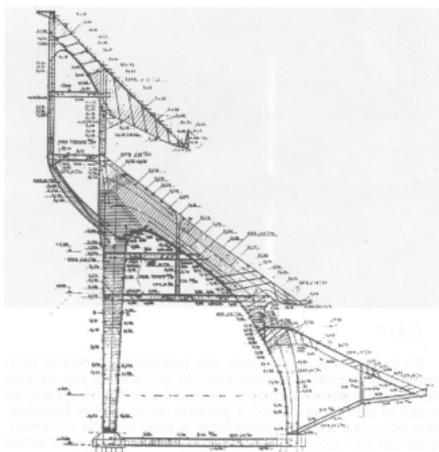


Gráfico A

esa época clausurado por las Autoridades Municipales) comenzandose los trabajos en un todo similares a los del Club Atlético River Plate, con la única diferencia de que las juntas hidrófugas-estructurales en este caso están conformados por pórticos dobles a junta intermedia (doble viga, doble columna, etc.).



Foto 12

Todo en un grave estado de deterioro, tanto la estructura, las juntas, los servicios, los baños, etc. En la estructura prácticamente se encontraron secciones con corrosión completa y hormigón deteriorado.

El Proyecto y Dirección del Ing. Cardoni fué hasta cumplir la primera etapa; la segunda etapa de reparaciones y posterior mantenimiento quedó (a diferencia con River) en la responsabilidad de otros Profesionales.

El diseño del Maestro Ing. José Luis Delpini se visualiza en el gráfico A, donde puede observarse no sólo la forma de implante "al vacío exterior" de la 3ª tribuna, posibilitando así una capacidad de 90.000 personas paradas (hoy reducida a 65.000 por ubicación de plateas fijas), sino que también se puede visualizar -sin ser un experto en estructuras, sólo un estudiante avanzado- el camino de las cargas, los esfuerzos interiores de cada sección y el equilibrio general que inspira el maravilloso pórtico diseñado y construido en este Estadio.

El Ing. Delpini, también Projectista del Mercado de Abasto de la Avda. Corrientes en la Capital Federal en 1.924 y de cientos de obras en estructuras laminares con increíbles espesores de 2,5 cm y luces de 30, 40 y 50 metros, mereció numerosos artículos del Maestro Torroja en la Revista del Instituto, en publicaciones francesas, italianas, mejicanas, inglesas (Leontovich), etc., así como también mereció los más altos galardones de las Academias Argentinas y numerosas extranjeras por su obra genial.

En la foto Nº12, se aprecia la vista desde el exterior de la conformación expandida hacia "afuera" del estadio, así como también se aprecia un pórtico doble de junta, donde se concentran las mayores patologías que terminaron por dejar esta maravillosa obra en un estado de deterioro tal que la reparación fué inevitable para devolverle los coeficientes de seguridad perdidos.

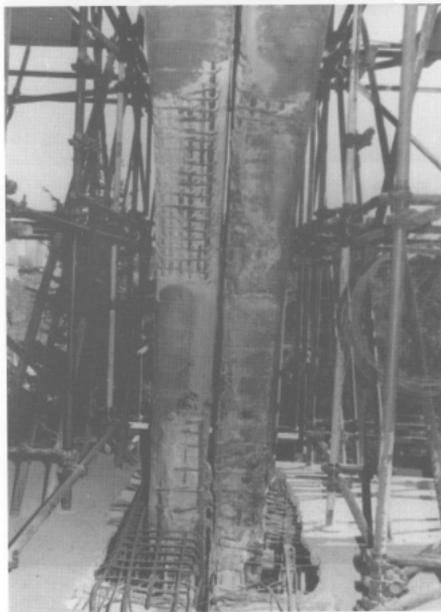


Foto 13

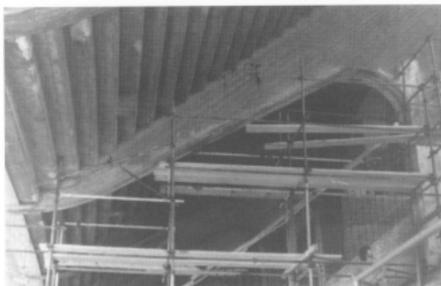


Foto 14

La gravedad de las patologías enunciadas, quedan a la vista en esta secuencia de las fotos 13, 14 y 15, donde se visualiza luego del picado y arenado el pésimo estado del hormigón en los pies de columnas, de los fustes, en las vigas, en su encuentro con las losas de piso, etc.. El grado de seguridad en algunas secciones ya era casi nulo.



Foto 15

Las reparaciones abarcaron toda la gama de la tecnología epoxi, desde la utilización de moldes continuos de chapa conformada de 1/8", que en su interior aloja las armaduras faltantes, para luego ser inyectadas por secciones con resina epoxi y todo manteniendo apunyalado y con la contraflecha posible (dado el monolitismo de esta estructura a diferencia con la anterior) hasta el tiempo de frague de las resinas y morteros epoxi formulados también en este caso por el Profesor Ing. Juan Cruz Saubidet bajo proyecto y cálculo de quien suscribe.

En las fotos anexas puede visualizarse una viga reparada y terminada sin el epoxi bituminoso y la pintura final y a

su lado la otra viga de la junta a la espera de su reparación.

El apuntalamiento en este caso fue de mayor complejidad dada la hiperestaticidad de la estructura, por lo que se apuntalaban todas las secciones aledañas y se "levantaban" hasta 8mm en conjunto para asegurar que luego del frague y al "bajar" las estructuras, los nuevos elementos agregados como chapas, planchuelas, perfiles, hierros redondos, etc. entren realmente en carga y cumplan la función para la que se las ha proyectado y calculado.

En la fotografía N°14, se puede observar que también en este caso se respetó el contexto arquitectónico-estructural original, al no poder diferenciarse las secciones con refuerzos en hierros de las otras, por aplicación de morteros sobre la resina tixotrópica aplicada sobre los refuerzos. A posteriori se pintó todo el Estadio con pintura especial para hormigones al exterior, con lo que desaparecieron las pruebas visibles del "delito".

Otra grave patología de este Estadio fué el deterioro generalizado de los plegados de los escalones de las tribunas (fotos 16 y 17), donde el ataque de agentes corrosivos resultó superior al Estadio de River, dado lo atrevido de los pequeños espesores de los "escalones" (del orden de 3cm a 5cm). La falta de mantenimiento desde 1.937, la falta de aislación hidrófuga adecuada y el mal comportamiento del público atentaron contra esta verdadera obra notable de la República Argentina.

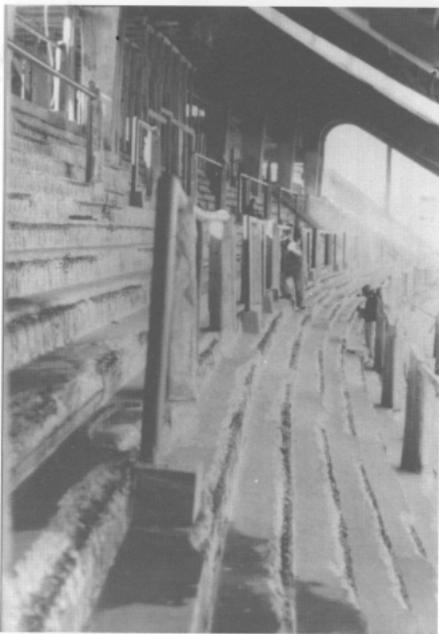


Foto 16

La reparación de estas zonas extendidas (a diferencia con patologías localizadas) demandó un arduo estudio de variantes, eligiéndose una alternativa mixta con la adición de las armaduras de acero redondo faltante en todas las secciones, la formulación de hormigones de epoxi con alto grado de resistencia a la abrasión y al impacto y al uso de puentes de adherencia epoxi para mancomunar el conjunto formado por las viejas armaduras (relucientes por el aire-

nado), las nuevas y entrelazadas armaduras de refuerzo y los nuevos hormigones agregados para reconformar los escalones. Dichos hormigones fueron especialmente diseñados y ensayados para que tengan mayor resistencia mecánica que el hormigón original.

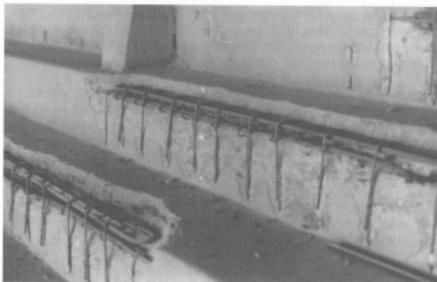


Foto 17

A este último respecto, cabe destacar, que tanto en el Estadio de River, como en el de Boca, los ensayos de los hormigones existentes arrojaron después de más de 50 años excelentes valores que posibilitaron, en ambos casos la adopción de técnicas epoxi para las reparaciones.

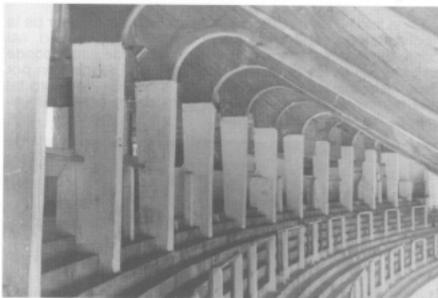


Foto 18

En la foto N°18 se observan los escalones reparados a nuevo sin rastros del verdadero "desastre" mostrado en la foto N°16.



Foto 19

Para interpretar mejor la zona de estructura descrita en las fotos Nos. 19, 20 y 21, los retrotraigo a la foto N°11 de la

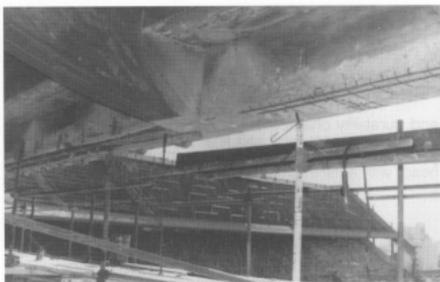


Foto 20

página 4, donde se observa que en todos los extremos de tribunas en ménsula, se visualiza una sección muy especial en la llamada "nariz". Esta sección, que no se aprecia claramente sin la ayuda de la foto anterior antedicha es de forma triangular, hueca, de 3cm de espesor y conforma, de acuerdo a escritos de su proyectista original el Ing. Delpini, un verdadero conector o "rigidizador" de los extremos de las tribunas entre juntas, gracias a la extraordinaria rigidez por forma de la graciosa curva envolvente que conforma.



Foto 21

Pero esta "nariz", que en su parte superior sirve de parapeto para los espectadores de la primera fila, tiene numerosas "entradas" y puertas de acceso para limpieza que favorecieron la acumulación de basura, impidieron el funcionamiento de colector de líquidos de dicha nariz hacia los desagües verticales y finalmente se produjo el deterioro que se visualiza en las fotos y que fue motivo de la reparación de la totalidad de dichas secciones en todo el Estadio y en todos los niveles. También se procedió a efectuar la limpieza y puesta en funcionamiento de los desagües proyectados originalmente.

La reparación en este caso no requirió la adición de armaduras dada la muy poca sollicitación que tienen esas secciones extremas, por lo que con morteros epoxi previo arenado y posterior aplicación de mortero de cemento con resinas tixotrópicas se solucionó esta extendida patología estructural.

Con esta se cierra el pequeño "muestreo" de patologías

de ambos Estadios, dado que las comunes de losas y vigas ya han sido suficientemente tratadas y estudiadas en ambos continentes y en especial en la Argentina y en su Madre Patria España.

CONCLUSIONES

Como las conclusiones son siempre totalizadoras, ésta no solo no se sale de la regla, sino que intentará dejar un



Foto 22

mensaje que sirva tanto para el rescate de estructuras de máximo riesgo -como lo es un Estadio por la masiva concurrencia de seres humanos con su vida en juego estructural mediante- como para la concreción de nuevas estructuras que conlleven con los años riesgos para sus usuarios.

Y es muy sencillo, como toda verdad absoluta, que el diseño finalmente debe ser totalizador y que deberá comprender todos los factores que incidan sobre el correcto y confiado uso de las obras civiles, y esto va orientado a la serie de factores que de una u otra forma se fueron mencionando en esta apretada síntesis de dos obras de tan gran magnitud. Se mencionó la falta de baños, en especial cerca de aquellos que no quieren perder su ubicación y esperan horas la llegada del evento deportivo, se habló de claras circulaciones verticales y horizontales (a River se le agregaron numerosos baños y circulaciones verticales para el Mundial 78'), se habló de que los Estadios no tienen aislaciones y es cierto: son enormes azoteas al aire libre sin aislaciones hidrófugas o más resistentes para los líquidos "non sanctos", se dijo que las reparaciones se efectuaron con hormigones de alta resistencia a la abrasión y al impacto ¿por qué no preverlos?, se dijo que en general también la falta de mantenimiento y el mal uso por parte de los espectadores eran factores de producción de patologías estructurales, etc.

El diseño totalizador Arquitectónico-Estructural - de Instalaciones - de Aislaciones - de previsión de desplazamiento y uso del Estadio por sus ocupantes - de materiales - de mantenimiento y en general EL DISEÑO tanto de un rescate como de una nueva obra, deberá converger a que los seres humanos, sin darse cuenta que la Tecnología y el Diseño al servicio del bienestar común vela por su vida y sus bienes, disfrute con alegría y confianza espectáculos como el que motiva la última foto de esta exposición.

SHEAR STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE BEAMS

Regina Helena Ferreira de Souza
Engineer, Master and Dr. in Civil Engineering

SUMMARY

In this present work, part of a major experimental research, some aspects of the behaviour of shear strengthened beams are studied. The models were firstly damaged and then strengthened by adding new reinforcement and jacket with shotcrete and pre-packed special mortar. The behaviour in Service and Ultimate State is studied. Some bond aspects are still analysed.

SUMARIO

O presente trabalho refere-se ao estudo do comportamento de vigas de concreto armado reforçadas ao esforço cortante. Foram ensaiadas vigas de concreto armado reforçadas utilizando-se a técnica do encamisamento pela aplicação de concreto projetado e argamassa moldada no local. Apresenta-se a análise destas vigas reforçadas quanto a sua capacidade última e ao seu comportamento em serviço. Avalia-se os aspectos referentes a aderência da ligação entre os materiais envolvidos.

KEYWORDS: Concrete, Shear Strengthening, Repair, Shotcrete Jacket, Mortar Jacket.

INTRODUCTION

Besides the existance a great number of structures that has actually reached the predicted life, many recent constructions are requiring repair or structural strengthening, probably due to the design or construction faults, to the lack of maintenance or to the materials deterioration.

By the other hand, the great number of experimental research work is still unsatisfactory and the engineers can't dispose of a specific regulamentation. So, the responsibility of the repairs is pratically dependent on the professional experience of the experts and designers involved in the works.

To help with a scientific contribution in this area, it was developed a large experimental programme (3) to aim the analysis of the behaviour of repaired structures. The present work intend to summarize part of this study: the shear strength of simply-supported reinforced concrete beams by the addition of new reinforcement and shotcrete or pre-packed mortar jackets. Three different types of strengthening stirrups were tested. The glueing of the reinforcement with epoxy resin was also analysed.

The cast-in-place concrete or mortar is a technic of simple execution and allows great efficiency and warrant with a relative low cost. In spite of these facts some additional attention may be considered: adequate treatment of the substrate concrete surface, critical selection and correct application of the materials used, and effective cure in order to improve the bond and control the shrinkage. The material choice will depend on the exposure conditions of the structural element before and after its application, on the repair dimensions, on the compatibility with the old concrete and on the bond and durability properties (1, 2, 3).

The shotcrete is commonly used to repair large volumes, mainly in the cases of structures damaged by fire or chemical attack. Its widespread utilisation is based on three principal arguments: the excellent bonding properties without any adesive agent, the improvement of strength, density

and durability characteristics due to high compaction and low water/cement ratio and finally because it can be sprayed on every kind of surface (vertical, inclined or overhead) with a minimum of formwork (1, 2, 3).

EXPERIMENTAL PROGRAMME

Twelve T beams were cast to the shear strength study. Nine of them were firstly damaged in a preliminary test and only after the strengthening they were submitted to failure, in a second test. Three of them were reference beams. Figure 1 presents the mould and reinforcement details of the beams tested before strength and the reference beam DW.

The models were firstly reinforced with vertical stirrups with a 20 cm spacing, more than the effective height, to simulate a design fault. To supply it, the repair stirrups was set at 10 cm, in order to tie all the cracks.

To analyse the behaviour of the repair stirrups, it was attempted to concentrate the tension force in the web. So, besides the choice of a T beam model which enlarge the compression flange, the beams were heavily reinforced in flexion and lightly reinforced in shear.

The concrete used in the models was studied to attend the required dimensions of the reduced model. The flexural reinforcement was detailed with ribbed steel bars of 16, 12 and 6 mm diameter and the stirrups was made with plain steel bars of 4.5 mm diameter.

A good detailing is one of the great difficulties in redesign. In most case, it's necessary to ensure efficiency at bad construction conditions. So, it was decided to test three types of repair stirrups. The types A and B were made of the same steel of the initial stirrups and are presented in Figures 2 and 3. The stirrups C, were made with a welded fabric mesh, consisting in ribbed steel bars of 4.0 mm diameter, disposed in the two directions, what can be seen in Figure 4.

The strengthened beams with stirrups type A and mortar jacket were called WCA1R and WCA2R and with shotcrete jacket, WPA1R. Similar names were used to call the strengthened beams with stirrup type B: WCB1R and WCB2R to mortar jacket and WPB1R to shotcrete jacket. A correspondent reference beam was called RW2.

The strengthened beams with stirrups type C and shotcrete jacket were called WPC1R and WPC2R and with mortar jacket, WCC1R. A correspondent reference beam was called RW1.

The beams RW1 and RW2 were molded in a monolithic way with identical size and correspondent reinforcement of the repair beams.

In accordance with the detailing rules, the strengthened longitudinal bars at the edge of the beams were anchored into the columns. They were glued with epoxy resin in holes previously drilled. The anchorage length was defined with special tests. The results showed that with epoxy resin glued bars is possible to anchor, with the half of the length, the same force as in usual anchored bars in concrete.

LABORATORY TESTS

Tests were carried out at a loading frame where the beams were subjected to increasing loads. Two deflectometers at the bearings and one at the midspan were used

to measure the deflections. In order to measure the reinforcement strains near the supports and at the shear span, strain gauges were used. The mean strains in concrete and steel at midspan and the crack width's were measured with a DEMEC gauge.

At the end of each loading and after record all the device's measures, the location and extent of cracking was observed. Figure 5 shows the crack pattern of some beams.

During all the tests, and to a fixed level, a cycle of loading and unloading was applied. In the first tests it was realized to a load level near the flexural-shear cracking and in the second tests to a load level near the diagonal shear cracking. After these cycles being applied the beams were again subjected to increasing loads.

The tests results were presented in graphics where the loading cycles where omitted to clear the comprehension.

The first tests were realized just to impress and expected damage at the beams. So they were interrupted to a load level near the beam's shear resistance. The second tests finished at the beam's failure.

At the end of the first tests the beams were totally unloaded to proceed the repair works. Firstly, all the superficial concrete of the web was removed with a point and a hammer. Next, the holes to fix the repair reinforcement were drilled. The holes in the slab to insert the stirrups A and B had 7 mm diameter and were filled with cement paste. The holes in the columns to insert the longitudinal bars had 16 mm diameter and were filled with epoxy resin in such a way to avoid the existence of air bubbles in the holes.

No treatment was applied to the diagonal cracks caused by the first tests.

Depending on the type of the jacket, the following works were realized:

a) Special Mortar Jacket:

- removal of the dust from concrete and steel by means of a wire brush;
- careful saturation of surface with water;
- application of mortar after thoroughly mix; formwork was used only under the beam;
- cure all exposed surfaces by successive wettings;
- formwork removal in the next day.

It was used a cement based mortar modified by polymers and presented in two pre-packed components.

b) Shotcrete Jacket:

- removal of the dust from concrete and steel by rinsing with sandblast;
- careful application of shotcrete to ensure the desirable dimensions;
- rework on the surface to turn it smoother;
- application of a curing membrane.

It was used dry process shotcrete.

TEST RESULTS AND DISCUSSION

a) First Tests:

In the first serie of tests the beams presented a cracking pattern typical of very spaced stirrups, which was also the failure's cause of the reference beam DW. See Figure 5.

All the strengthened beams presented practically the

same stiffness as shown in Figure 6.

As the steel residual strains verified in the stirrups and longitudinal reinforcement after the first tests were very low, they were not considered in the analysis behaviour of the repair beams. The maximum stressed verified in these reinforcement, caused by the first test damages, was in order of 50% of the steel yield stress, so less than 0.7 f_{sy}, the limit value considered to the elastic fase. The same fact was verified in relation to residual deflections and curvatures.

b) Second Tests:

Independently of the tested stirrup type, the original and repair longitudinal reinforcement, behaved in the midspan, as the first and second reinforcement layers. It was noticed at the strengthened and at the reference beams.

By the other hand, near the supports, it was verified that the longitudinal reinforcement glued with epoxy resin promoted a better anchorage.

During the loading, the internal and external longitudinal reinforcement of the reference beam RW2 had practically identical strains near the supports. This fact, however, didn't happen with the strengthened beams, where the external bars, better anchored by the epoxy resin, could absorb more forces and so presented greater strains.

In respect to the Service Limit State, the diagonal crack width of the strengthened beams, with all kind of stirrup and mortar jacket, were similar to the monolithic beams. (See Table 1) Meanwhile, the shotcrete jacket beams presented diagonal crack width's less than the reference beams, mainly with stirrups A and B. With respect to deformations, the stirrup type C presented deflections greater than the reference beam RW1. The stirrups A and B presented similar deflections to each kind of repair material, although they were less with shotcrete. To the deflections control the shotcrete jacket was the most effective material and the stirrup C the less effective reinforcement studied. (See also Table 1).

	Stirrup A	Stirrup B	Refel	Stirrup C	Ref
mort. / shot.	mort.	shot.	ce	mort.	shot.
WCA1R / WPA1R	WCB1R	WPB1R	RW2	WCC1R	WPC1R
WCA2R	WCB2R			WCC2R	
w _m (mm)	0.21	0.15	0.20	0.12	0.20
a (mm)	4.8	4.5	4.9	4.4	4.4
V _u (k)	171	181	187	191	183

w_m = mean diagonal crack width
 a = midspan deflection
 V_u = ultimate experimental shear force

TABLE 1: Experimental values of the diagonal crack width's and midspan deflections to V = 48 kN. Ultimate experimental shear forces.

The evolution of the steel stirrup strains during the loading can be observed in Figures 7, 8 and 9.

The strengthened beams failed by shear with great tension stresses in the stirrups and were sectioned in two parts. The exception were the beams WCA2R, WCB2R and WCC1R, where the shear failure was conditioned by poor bond between the repair mortar and the old concrete. It was not verified any anchorage fault at the longitudinal reinforcement or slipping at failure.

After failure, the inferior part of the stirrup type A presented a slipp of approximately 5 cm, probably due to the simple anchorage (without weld) realized in these plain steel bars. Because of this fact, the measured strain of this kind of stirrup showed a downward behaviour, as can be seen

at Figure 7. So, it's possible to conclude that this kind of anchorage was not satisfactory and the forces couldn't be transmitted.

The stirrup type B worked very well in the three beams tested, remaining well anchored till failure. The shear failure was characterized by stirrup rupture.

The beams strengthened with stirrup type C, except WCC1R, presented a good failure behaviour with external and internal stirrup ruptures. The WPC1R reached the greatest shear force. (See Table 1). The longitudinal mesh bars were very well mobilized too. These welded fabric bars permitted a better anchorage and a better shear force transmission.

As it was not verified a premature failure of the inferior slab corner near the web, (what only happened at the failure's beam), it's possible to admit that these welded fabric mesh stirrups were anchored at the web of the beam, didn't leaving the tension stresses to reach the corner.

The reference beam RW1 and the strengthened beams WPC1R and WPC2R behaved in a similar way. The reference beam RW2 presented a behaviour similar to WCB1R and WPB1R. (See Figures 8 and 9).

In respect to the mechanisms of load transfer between old and added materials and besides the conclusions already referred, it is also possible to analyse the ultimate experimental shear force values that are presented at Table 1. Comparing these values is possible to verify the better performance of the shotcrete jacket beams face any kind of stirrup, and the better behaviour of the stirrup B face the other types.

To better characterize the efficiency of the stirrup types tested, two empirical correction factors were determined: one related to the ultimate load capacity (γ_n, V) and other related to the stiffness at State II (γ_n, K), where midspan deflection values to a shear force $V = 48kN$ were considered. See Table 2.

	Stirrup A	Stirrup B	Stirrup C
$\gamma_{n,K}$	0.91	0.97	0.89
$\gamma_{n,V}$	0.86	0.98	1.05

With this correction factors analysis, it's possible verify once more that the shotcrete jacket beams presented the best performance and that the stirrup B was the most efficient to the structural strengthening in service or at failure.

CONCLUSIONS

- With respect to the shear crack width it was verified that the strengthened beams with any stirrup type or any repair material presented the same or superior behaviour than the monolithic ones.

- The strengthened beams with stirrup A and B presented similar deflections to the same repair material used. The shotcrete was more effective than the mortar repair and stirrup C was the less efficient to the deflection control.

- In spite of the diagonal cracks had not been treated before the strengthening, in the level damage impressed ($f_s, \max = 0.5 f_{sy}$), it made no difference. The strengthened beams Ultimate Shear Strength Capacity didn't decrease at the cracking beginning and its dimensions were not changed.

- None of the strengthened beams presented bond cracks. From all tested materials, the shotcrete jacket bond performance in service and at failure was superior.

- The longitudinal web bars improved the stirrup's anchorage. They contributed in the absorption of the web tension force and were more efficient when welded.

- The stirrup B was the most efficient one, in service and at failure, with mortar or with shotcrete jacket.

- The rules of good detailing, as for instance the cracking control by the use of few spaced stirrups, could be confirmed by these laboratory beam tests.

- The residual reinforcement stresses didn't impose any limitation to the strengthened beams behaviour in service or at failure. However, depending on the level damaged verified, the residual reinforcement stresses must always be considered in the redimensioning as a probable limitation of the reinforcement.

- By the actual knowledge, the shear redimensioning must follow the same dimensioning principles valid for the normal structures and must assure the safe in Service and Ultimate States.

- The performance of the longitudinal reinforcement glued with epoxy resin was very efficient and allow these bars to absorb part of the shear force at supports.

- Finally, it's possible to say that the additional reinforcements and the shotcrete or mortar jackets showed to be a simple and efficient strengthening technic.

TABLE 2: Empirical Correction Factors in State II and at Failure.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was developed at Instituto Superior Técnico (Lisboa). Support provided by INIC, JNICT, CMEST, LNEC and CNPq is acknowledged with thanks. The author also thanks to Betão Liz, Abrantina, Trefilaria Portuguesa, Helição, Fragissantos, STAP, Jetbeton and Sital.

REFERENCES

(1) Comité Euro-International du Béton, Bulletin

d'Information n.162 - "Assessment on Concrete Structures and Design Procedures for Upgrading, Lausanne, 1983, 288 pp.

(2) Souza, R. H. F.; Appleton, J.; Alfaiate, J. - "Reparação e Reforço de Estruturas de Betão", Vol 2, Curso de Patologia, Reabilitação e Manutenção de Estruturas e Edifícios, IST/CMEST, Lisboa 1986, 88 pp.

(3) Souza, R. H. F. - "Análise do Comportamento de Vigas de Betão Armado Reforçadas à Flexão e ao Esforço Transverso", Tese de Doutor., IST, Lisboa, 1990, 320 pp.

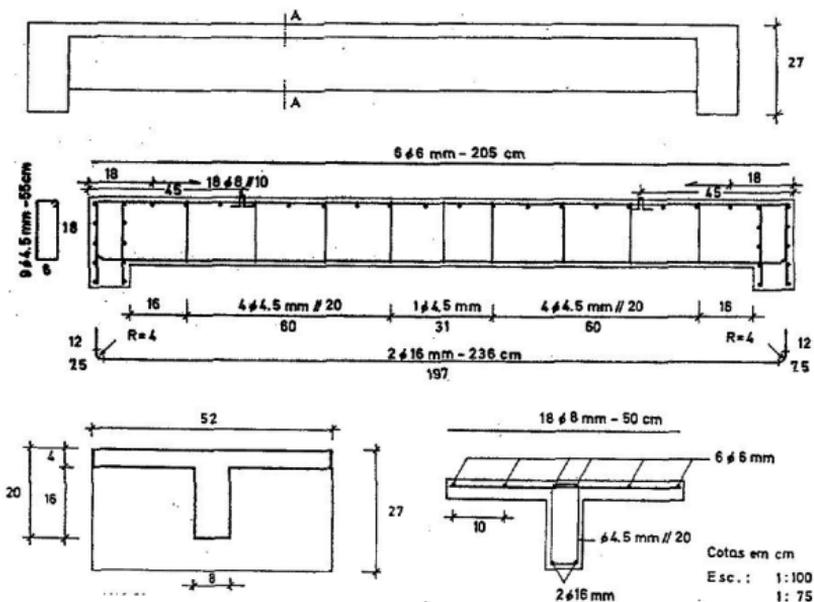


Fig. 1.- Formwork and Reinforcement of the beams before strengthening

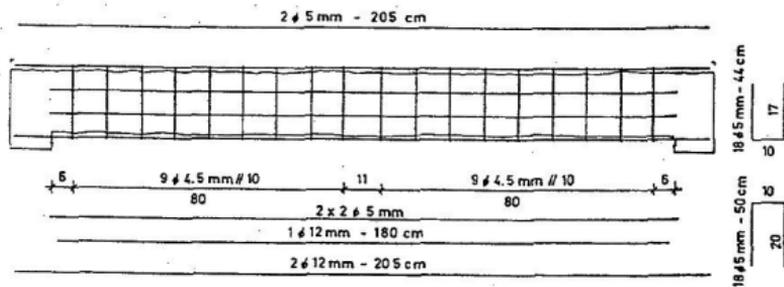


Fig. 2.- Strengthening reinforcement of beams: WCA1R, WCA2R, WPA1R

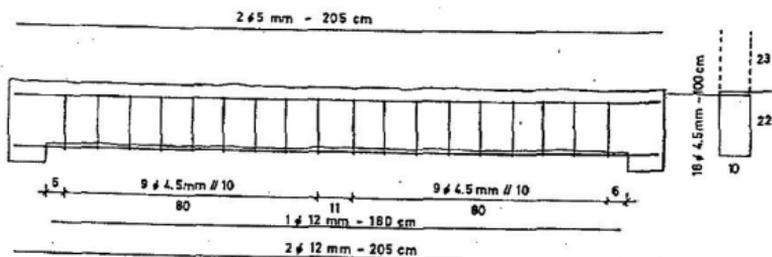


Fig. 3.- Strengthening reinforcement of beams: WCB1R, WCB2R, WPB1R

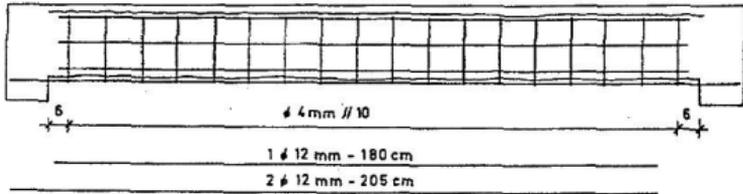


Fig. 4.- Strengthening reinforcement of beams: WPC1R, WPC2R, WCC1R

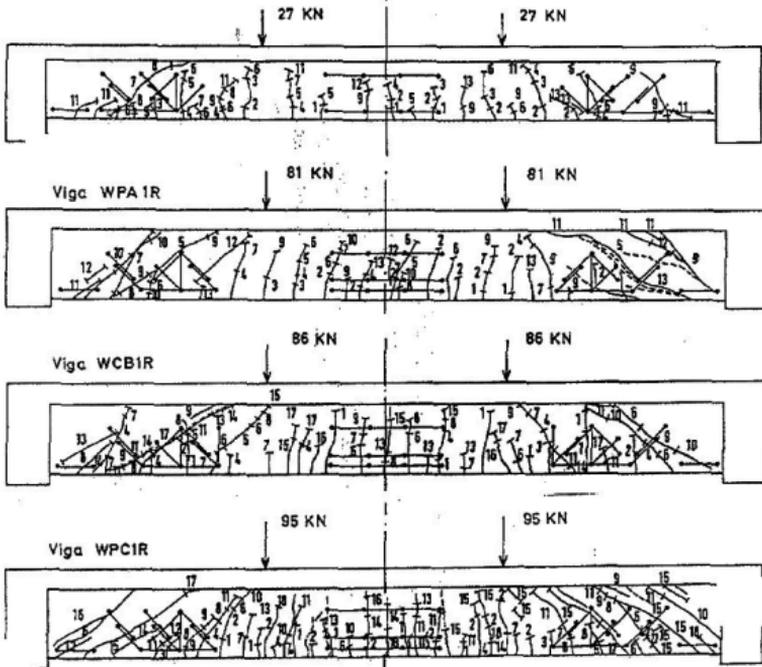


Fig. 5.- Crack pattern of some tested beams

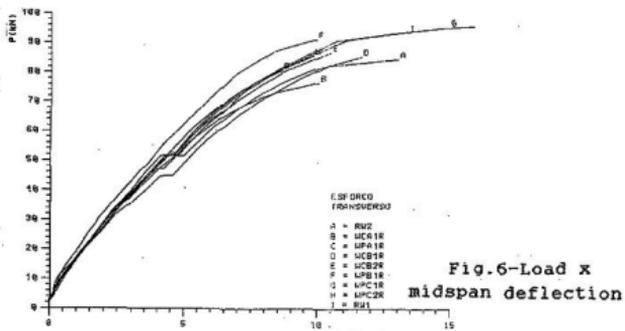


Fig. 6.- Load x midspan deflection

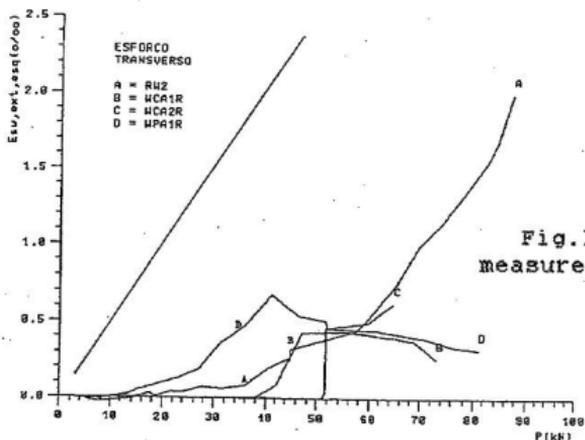


Fig.7-Strain gauge
measures at stirrup A
x shear force

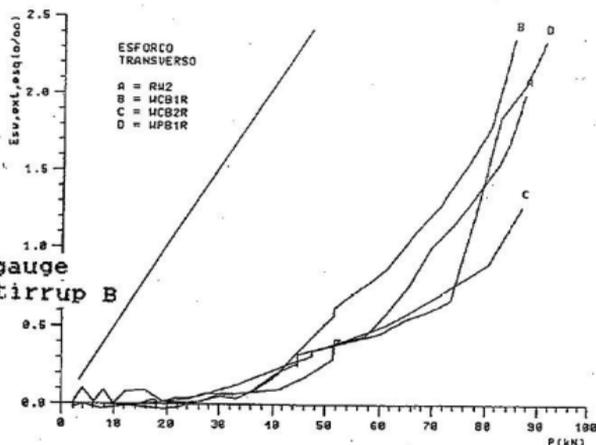


Fig.8-Strain gauge
measures at stirrup B
x shear force

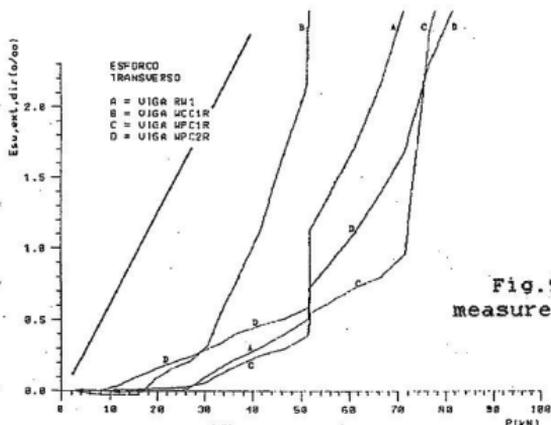


Fig.9-Strain gauge
measures at stirrup C
x shear force

“EL RECRECIDO CON HORMIGON COMO TECNICA DE INTERVENCIÓN EN FORJADOS METALICOS”

FRAN BRETONES, J.M., Dr. Arquitecto; PEREPEREZ VENTURA, B., Dr. Arquitecto y Catedrático de Universidad; BARBERA ORTEGA, E., Dr Arquitecto; BENLLOCH MARCO, J., Dr. Arquitecto; GONZALEZ PEREZ, G. Dr. Arquitecto; VALCUENDE PLAYA, M., Arquitecto; PASTOR VILLA, R., Arquitecto.

Cátedra de CONSTRUCCION III, Departamento de CONSTRUCCIONES ARQUITECTONICAS, Escuela Técnica Superior de

Arquitectura de Valencia, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.

SUMARIO:

Cuando se generaliza el uso de perfiles de acero como nervios en los forjados de viviendas, sustituyen a las escuadrías de madera, pero sin modificar las técnicas constructivas tradicionales. Esto ha causado que, estos forjados, hayan sido sometidos a deterioros como deformaciones diferenciales entre viguetas, corrosión, vibraciones, etc. La superposición de una losa de hormigón armado de poco espesor, conectada al forjado original, mejora sensiblemente su comportamiento resistente y sus niveles de confort.

PALABRAS CLAVE:

Estructura mixta, esfuerzo rasante, vibraciones, flechas, conectadores, intervención.

I. INTRODUCCION.

Los edificios de viviendas levantados en los ensanches de las ciudades españolas durante el último tercio del siglo XIX y el primer cuarto del actual conforman el grupo edificatorio que se ha visto sometido a una mayor presión rehabilitadora como resultado de toda una serie de factores, de entre los que se destacan los siguientes:

- Están localizados en los centros administrativos y comerciales de las ciudades.

- Responden a tipologías que, por primera vez, toman en consideración los criterios higienistas actualmente vigentes, por lo que introducen patios de ventilación, baños y aseos, eliminan alcobas sin contacto directo con el exterior y las piezas habitables sin soleamiento.

- El lenguaje de sus fachadas se vincula a diferentes movimientos estilísticos, desde las estéticas románticas hasta el despertar del Movimiento Moderno, configurando un conjunto arquitectónico de calidad que prestigia socialmente a sus habitantes.

En consecuencia, la rehabilitación de estos inmuebles, tanto desde el punto de vista estructural como desde el punto de vista constructivo y de acabados, es una práctica muy habitual, no exenta de ciertas dificultades.

Este grupo de edificios encuentra en las escuadrías de madera y en los perfiles de acero laminado los materiales principales, y prácticamente únicos, para configurar la estructura resistente de sus forjados y cuerpos volados. Las viguetas, dispuestas perpendicularmente a fachada, apoyan directamente sobre las vigas de los vanos un lado apoya sobre la viga del pórtico más cercano, y el otro se introduce en el muro de fábrica resistente mediante la apertura de un mechnal. Los revoltones de ladrillo actúan como cofre de los materiales de relleno (cascote de ladrillo y mortero de cal grasa), que conforman el entrevigado y la base sobre la que se aplica un pavimento cerámico.

Esta disposición constructiva ha sido la causa de que ambos materiales, madera y acero, con el transcurso del tiempo, hayan estado sometidos a un proceso de deterioro que se caracteriza por la aparición de un grupo amplio de lesiones: aplastamiento y descomposición de la cabeza de las viguetas, pudriciones y flechas diferenciales en los ele-

mentos resistentes, son las más representativas en los forjados de madera; del mismo modo, deformaciones incompatibles con las tabiquerías, corrosión desencuadramiento de los planos de carga y vibración excesiva, se repiten en los metálicos (1).

Las actuaciones sobre estos forjados varían desde una sustitución completa de los mismos, hasta la intervención parcial que permita satisfacer adecuadamente los requisitos mínimos exigibles.

II. OBJETIVOS.

La finalidad de la presente ponencia es analizar las diferentes posibilidades que presenta el recrecido superior, con una losa de hormigón armado, de los forjados con elementos resistentes de perfiles de acero laminado, para solucionar, fundamentalmente, aquellas lesiones derivadas de su falta de monolitismo.

El procedimiento constructivo consiste en disponer sobre la cara superior del forjado una losa de hormigón armado, de poco espesor, conectada con los nervios metálicos existentes, trasformándose así en una estructura mixta.

III. PLAN DE TRABAJO.

El análisis de este tipo de intervención se ha estructurado en torno a las siguientes etapas:

- Definición del forjado tipo.

- Peritación del forjado tipo y determinación de sus deficiencias.

- Definición del forjado mixto.

- Dimensionamiento del forjado mixto.

III.1. Definición del forjado tipo.-

Cuando a partir de 1910 se generaliza el uso de los perfiles de acero como elementos resistentes de los forjados en los edificios de viviendas, son empleados sustituyendo directamente a las escuadrías de madera, aprovechando las ventajas que supone poder cubrir luces mayores, soportar cargas más elevadas con secciones menores y, además, sin movimientos de origen telológico.

La diferencia entre unos forjados y otros estriba en sus características geométricas y en el material de entrevigado (revoltón con relleno de cascote o macizo de mortero de cal), pero en ninguno de ellos existe continuidad, pues las viguetas de un vano no están enfrentadas con las del contiguo. No obstante, se debe considerar una disminución del momento positivo de, al menos, un 10% por el empujamiento que generan en los extremos de las viguetas los muros de carga y las pesadas tabiquerías de arriostramiento apoyadas sobre ellos.

Por tanto, el FORJADO TIPO es el compuesto por los materiales y elementos que aparecen en la **Figura 1** (con las dimensiones en ella reseñadas), con una luz libre entre ejes de apoyos de 4,5 m., trabajando isostáticamente, y con una sollicitación de flexión simple.

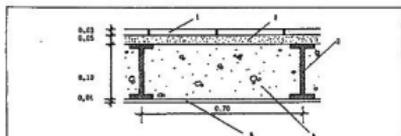


Figura 1

Las cargas consideradas han sido las que figuran en la **Tabla 1**

CONCEPTO	Kp/m ²
Peso propio de forjado de viguetas IPN 100 y entrelazado con relleno de mortero de $\gamma=1.800 \text{ Kg/m}^3$.	200
Solado de baldosa hidráulica con relleno de arena y mortero de aguere, con un espesor total de 7 cm.	110
Tabiquería.	100
Faltos techos y anclados.	40
Sobrecargas de uso.	200
CARGA TOTAL SOBRE EL FORJADO	650

Tabla 1. Cargas sobre el forjado tipo.

Tabla 1. Cargas sobre el forjado tipo

Con lo que, las solicitaciones máximas a que se ve sometido el forjado son:

$$\begin{aligned} - M_{\max} &= 1036,5 \text{ Kp.m/0,7m} \\ - V_{\max} &= 1023,8 \text{ Kp./0,7m} \end{aligned}$$

III.2 Peritación del forjado tipo y determinación de sus deficiencias.-

a) Peritación.-

El comportamiento del forjado definido, analizado según el método clásico, ha sido el siguiente:

A. FLEXION.

Para el acero se ha tomado una calidad nominal A-42, cuya $\sigma_{adm} = 1.515 \text{ Kg/cm}^2$, correspondiente a un estado de Sollicitación II (que incluye cargas permanentes, sobrecargas de explotación y ejecución, efectos producidos por asiento o movimiento de la sustentación, acciones del viento, efectos térmicos, etc.) y de aplicación en vigas metálicas Tipo I (simplemente apoyadas con un cuanto útil de perfil $h_s \leq 40 \text{ cm}$, y no solicitadas por cargas puntuales de importancia), que con los valores correspondientes al forjado definido, se tiene:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{1036,5 \cdot 10^6}{34,2} = 3.030,7 \text{ Kg/cm}^2$$

valor que resulta mucho mayor que la tensión admisible (1.515 Kp/cm²) Caso que se desee obtener la carga máxima admisible Q por m², el procedimiento consiste en obtener:

$$W = \frac{I}{y} \quad \text{y} \quad M = \frac{q \cdot P}{8}$$

Para ello, despejando y sustituyendo en (1), se tiene:

$$M = \sigma_{adm} \cdot W = 1.515 \cdot 34,2 \cdot 10^2 = 518 \text{ Kg-m}$$

valor que, tras ser sustituido en (2), y teniendo en cuenta el interese supuesto de 0,70 m., da:

$$Q = 324,8 \text{ Kg/m}^2 < 650 \text{ Kg/m}^2$$

B. CORTANTE.

El cortante sólo es absorbido por el alma de la vigueta metálica; supuesta en ella una distribución uniforme de las

tensiones tangenciales τ , y en este caso, resulta:

$$\tau = \frac{V}{\sigma_a \cdot h_a} = \frac{1.023,8}{0,45 \cdot 7,5} = 303,35 \text{ Kp/cm}^2 < \tau_{adm} = 880 \text{ Kp/cm}^2$$

siendo e_a el espesor del alma y h_a su altura.

C. FLECHA.

La flecha en centro de vano es, para una pieza biapoyada y con carga uniformemente distribuida:

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 650 \cdot 4,5^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 10^4 \cdot 10^4} = 0,003341 \text{ m} = 0,334 \text{ cm}$$

lo que supone aproximadamente 1/1.347 de la luz.

D. VIBRACIONES

Las forjados metálicos presentan con frecuencia problemas de vibraciones, sobre todo al aumentar las luces, por se forjados con muy poca masa y poseer una proporción muy desfavorable de la relación Pesos Propios / Sobrecargas. En consecuencia, están sometidos a los efectos de choques y vibraciones que ocasionan las sobrecargas de carácter variable.

En el **ANEJO 1** se ha determinado las frecuencias de vibración del forjado tipo de acuerdo con dos criterios diferentes:

- la Norma Británica B.S.C. 117 (2),
- el Eurocódigo Nº 3 (3),

demostrándose la no satisfacción de los requisitos establecidos

b) Deficiencias.-

A la luz de los resultados del análisis efectuado, el forjado tipo presenta deficiencias en su comportamiento a flexión pero, fundamentalmente, frente a las vibraciones.

La manera más efectiva de reducirlas consiste en modificar la relación Pesos Propios / Sobrecargas, es decir, en aumentar la masa.

Otra deficiencia importante, no detectada por medio de estos cálculos, es la flecha diferencial que suele producirse entre las diferentes viguetas del forjado cuando éstas se ven sometidas a acciones diversas. Como es sabido, la inexistencia de una capa de compresión que distribuya los entre todas las viguetas, está en el origen de este problema.

III.3. Definición del forjado mixto.-

Con la finalidad de evitar estas deficiencias, y tal como se ha comentado en los objetivos del presente estudio, la intervención propuesta consiste en transformar el forjado original en una estructura mixta.

Sin embargo, esta solución constructiva, que mejora notablemente el comportamiento resistente y los niveles de confort de los forjados originales, exige atender a dos cuestiones fundamentales:

a) Asegurar el comportamiento resistente conjunto entre el forjado original y los materiales añadidos, es decir, la existencia real de una sección compuesta. Para ello, la disposición de conectadores que aseguren la absorción del esfuerzo rasante producido en la superficie de contacto entre los dos materiales, resulta imprescindible.

b) Tener presente el peso que se añade al forjado original, por lo que es inexcusable una peritación previa de los elementos estructurales afectados.

En función de estas dos cuestiones, se ha definido un forjado mixto con las características geométricas dadas en la **Figura 2**.

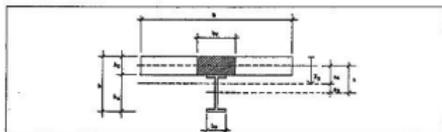


Figura 2

Optar por una losa del mínimo espesor posible, aunque incremente menos el peso, y esto es favorable, también aumenta menos las características resistentes del forjado original, y esto es más desfavorable. La fijación de este espesor mínimo en 5 cm. viene dado por la necesidad de considerar que la zona del conector que resiste las fuerzas de despegue (por ejemplo la cabeza de un perno o la cara interior de un asa), debe quedar al menos 30 mm. dentro de la zona comprimida; además, el espesor de hormigón sobre el conector, que lo protege de la corrosión, debe tener al menos 20 mm.

Por otra parte, no se ha optado por diseñar un forjado continuo debido a que las viguetas metálicas de dos vanos contiguos no están encaradas, lo cual imposibilita la existencia de un bloque de compresiones que equilibre, en las secciones próximas a los apoyos, la resultante de tracción soportada por la armadura pasiva de negativos de la losa de hormigón.

III.4. Dimensionamiento del forjado mixto.-

Con la finalidad de facilitar la lectura de la presente ponencia, se ha trasladado todos los cálculos al **ANEJO 2**, de modo que en el texto se referencian los comentarios que de ellos se derivan.

A SOLICITACIONES.

La losa de hormigón de 5 cm. de canto supone un peso añadido de 120 Kg/m², y el pavimento ligero dispuesto sobre ella (por ejemplo, un parquet sobre tarima de 2 cm. de espesor y rastrel), tan sólo 40 Kg/m²; pero este incremento total de carga de 160 Kg/m², al final, se reduce a un incremento real de 50 Kg/m² al descontar los 110 Kg/m² del pavimento del forjado original (a base de baldosas hidráulicas con generosos rellenos de arenas y espesores de tortas de mortero de agarre). En resumen, se ha pasado de los 850 Kg/m² del forjado original a los 700 Kg/m² del forjado mixto, y esto sin haber eliminado el material de entrevigado.

El incremento de carga suele ser aún menos significativo, e incluso convertirse en decremento, cuando se interviene sobre forjados mal reparados con anterioridad. Suele tratarse de forjados con flechas diferenciales, sobre los que se ha actuado añadiendo un mortero de nivelación y un pavimento a base de terrazos. Esto supone incrementos de carga con valores comprendidos entre los 160 Kg/m² y los 200 Kg/m².

B. ANALISIS LINEAL.

El análisis lineal de la sección mixta manifiesta una mejora muy importante respecto al realizado sobre la estructura estrictamente metálica. Así, los 325 Kg/m² de carga máxima admitida por el metálico, pasan a los 620 Kg/m² del mixto, aunque continúa siendo insuficiente y obliga a realizar un análisis en rotura.

El incremento del cortante solicitación provoca un

aumento de la tensión tangencial en las fibras del alma del IPN 100, pero continúa siendo muy inferior a la máxima tensión admisible, ya que:

$$\tau = 326,67 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{adm} = 880 \text{ Kg/cm}^2$$

C. ANALISIS EN ROTURA.

Mediante un cálculo plástico se demuestra que, comparando la carga solicitación estimada con la carga última que es capaz de absorber la sección, se dispone de un coeficiente de seguridad de 1,62, lo cual, es plenamente aceptable.

D. CALCULO DEL ARMADO DE LA LOSA.

La losa debe llevar una armadura perpendicular a la dirección de las viguetas para absorber la posible flexión que se produce en la luz de entrevigado (**Figura 3**).

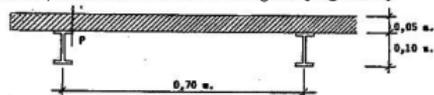


Figura 3

Como en la dirección de las viguetas hay compresiones, mejora el comportamiento del bloque de hormigón comprimido transversal, al estar sometido a un estado biaxial de compresión. Sin embargo, las fibras traccionadas se comportan peor al estar sometidas a un estado biaxial compresión-tracción. La decisión tomada en este dimensionamiento consiste en no considerar ni la colaboración del hormigón traccionado, como es habitual en el cálculo del hormigón armado, ni la mejora de comportamiento experimentada por el bloque comprimido, simplificación que se sitúa del lado de la seguridad.

El resultado del dimensionamiento es que se debe armar con cuantías geométricas mínimas, siendo suficiente un mallazo con alambres de 5 mm. de diámetro cada 20 cm., y por simplificar, en cada una de las dos direcciones. Por lo que respecta al esfuerzo cortante, el hormigón es capaz de absorberlo por sí sólo ya que,

$$V_d = 280 \text{ Kp} < V_{cu} = 2.700 \text{ Kp}$$

E. CALCULO DE LOS CONECTADORES.

La estimación se ha realizado para conectadores tipo asa con barras corrugadas de 10 mm. de diámetro, soldadas al perfil metálico. Evidentemente, podría haberse utilizado cualquier otro tipo de elemento siempre que se asegurase la absorción del esfuerzo rasante máximo en la superficie de contacto entre ambos materiales y de la fuerza de despegue entre los mismos. Se necesita un conector de asa, tal y como ha quedado definido, cada 15 cm.

F. COMPORTAMIENTO ANTE LAS VIBRACIONES.

Aplicando la Norma Británica B.S.C. 117, el comportamiento de la sección mixta definida es muchísimo mejor que el de la sección exclusivamente metálica. Así el producto de la aceleración máxima de la estructura α por la amplitud de vibración Δv es de 0,127 cm²/seg², bastante menor que el límite superior de 32 cm²/seg² estipulado.

IV. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES.

Como resultado de todo lo expuesto, se puede concluir que:

1º. La superposición y conexión de una losa de hormigón armado a un forjado con estructura de perfiles de

acero laminado mejora su comportamiento resistente y los niveles de confort, siempre que se garantice la obtención de una estructura mixta de hormigón y acero laminado.

2º. Es necesario conocer el incremento de peso que supone la transformación del forjado original en una estructura mixta, y comprobar que los elementos estructurales que deben absorberlo están en disposición de ello.

3º. Es evidente el mejor comportamiento que presenta ante el problema de las vibraciones debido a que, además de aumentar la inercia de la sección, el incremento de cargas que se produce actúa mejorando la relación Cargas Permanentes/Sobrecargas Variables.

4º. También se produce una mejora en el monolitismo del forjado, lo que permite reducir la posibilidad de aparición de flechas diferenciales entre las distintas viguetas.

Por último, remarcar el hecho de que todas estas mejoras han sido conseguidas con una capa de 5 cm. de espesor. Aunque por razones estrictamente analíticas no parece necesario aumentarlo, hay razones constructivas que podrían aconsejarse: soslayar flechas diferenciales ya existentes en el momento de la intervención, asegurar unos recubrimientos mínimos (con unas tolerancias razonables), necesidades de nivelación de pavimentos, etc. Esta decisión aumentaría el peso que se añade al forjado, pero también, y en mayor medida, el momento último que es capaz de absorber la sección mixta.

ANEJO 1: DETERMINACION DE LAS FRECUENCIAS DE VIBRACION DEL FORJADO TIPO.

Dado el forjado tipo definido en la **Figura 5**, se determinará la frecuencia de vibración de acuerdo con dos criterios diferentes:

1. Norma B.S.C 117: dicha norma exige que la vibración no produzca sensación desagradable en los peatones que circulan por la construcción, considerándose como aceptable la condición de que el producto de la aceleración, a , por la amplitud de la vibración, Δv , producida por un camión de 20 T. no supere el límite de 32 cm^2/seg^2 .

$$\Delta v = 0,40 f_{est} \text{ si } v \geq 4 \text{ ciclos/seg} \quad \text{ó} \quad \Delta v = 0,75 f_{est} \text{ si } v < 4 \text{ ciclos/seg}$$

Se toma como valor de la amplitud de vibración, uno de los siguientes:

siendo f_{est} la flecha máxima producida por una carga estática de 20 T, actuando en el centro de la luz del vano, tomando como rigidez la de la sección reducida o ideal $E_s I_r$ y la frecuencia fundamental propia de la estructura en cm^2/seg^2 , que en el caso de piezas biapoyadas puede tomarse:

$$v = \frac{\alpha_v}{\beta} \cdot \sqrt{\frac{E_s \cdot I_r \cdot g}{G_k}}$$

donde, a su vez, α es el coeficiente correspondiente a la frecuencia fundamental según el tipo de pieza, y como valor medio aproximado se toma $\alpha_v = 2$; G_k es la carga permanente, en T/m; g es la aceleración de la gravedad, y l la luz, en m.

Para la aceleración máxima de la estructura a , se toma el valor:

$$a = 40 \cdot v^2 \cdot \Delta_v \quad \text{en } \text{cm}/\text{seg}^2$$

Sustituyendo, en (3) los valores de $\alpha_v = 2$, $l = 4,5$ m, $E_s I_r = 35,91 \text{ T} \cdot \text{m}^2$, $g = 9,81 \text{ m}/\text{seg}^2$, y $G_k = 0,427 \text{ T}/\text{m}$, se

obtiene:

$$v = 2,837 \text{ ciclos/seg} \Rightarrow \Delta v = 0,75 f_{est}$$

Como la flecha viene dada por:

$$f_{est} = \frac{P \cdot \beta}{48 \cdot E \cdot I} = 1,057 \text{ cm.}$$

el valor de la amplitud de vibración es:

$$\Delta v = 0,75 f_{est} = 0,75 \cdot 1,057 = 0,79 \text{ cm}$$

y la aceleración máxima de la estructura:

$$a = 40 \cdot v^2 \cdot \Delta v = 40 \cdot 2,837^2 \cdot 0,79 = 255,3 \text{ cm}/\text{seg}^2$$

Por tanto, la condición de validez no se cumple ya que,

$$a \cdot \Delta v = 255,3 \cdot 0,79 = 202,45 \text{ cm}^2/\text{seg}^2 > 32 \text{ cm}^2/\text{seg}^2$$

2. Eurocódigo n° 3: en una pieza biapoyada y con una carga uniformemente distribuida, el período de vibración viene dado por (5). Como el Eurocódigo n°3 recomienda una frecuencia de vibración no inferior a 3 ciclos/seg, son introducidos los siguientes valores:

$$T_i = C_i \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{Q \cdot \beta}{E \cdot I \cdot g}}$$

donde: T_i es el período de vibración del elemento estructural; C_i es una constante que depende del modo de oscilación, e igual a 0,2026; Q es la carga permanente más fracción permanente de la sobrecarga, e igual a $0,85 \cdot P_{total} = 1.874,25 \text{ Kg/}$ es la luz de vano, e igual a 400 m, Y_g es la aceleración de la gravedad.

Sustituyendo los valores de $E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ e $I = 171 \text{ cm}^4$ en (4), se tiene:

$$T_i = 0,2026 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{1.874,25 \cdot 450^3}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 171 \cdot 980}} = 0,443 \text{ seg}$$

Por tanto, no cumple las recomendaciones del Eurocódigo puesto que:

$$F = \frac{1}{T_i} = 2,26 \text{ ciclos/seg} < 3 \text{ ciclos/seg}$$

ANEJO 2.- DIMENSIONAMIENTO DEL FORJADO MIXTO.

Dado el forjado definido en la **Figura 2**, se realizará el dimensionamiento atendiendo a las siguientes fases:

1. Cálculo de las solicitaciones: las cargas consideradas para determinarlas han sido las mismas que actuaban sobre el forjado metálico, con la incorporación del peso de la losa.

$$P_s = \gamma_c \cdot h_c = 2.400 \cdot 0,05 = 120 \text{ Kg}/\text{m}^2$$

Las solicitaciones máximas a que se ve sometido son:

$$M_{max} = 1.116,3 \text{ Kg} \cdot \text{m}/0,7 \text{ m}$$

$$V_{max} = 1.102,5 \text{ Kg}/0,7 \text{ m}$$

2 Análisis lineal:

2.1. CALCULO DEL ANCHO EFICAZ DE LA CABEZA DE HORMIGÓN b_{ef} . Las vigas tipo 1, anteriormente definidas,

deben tener un $b_{ef} \leq$ que el menor de los siguientes valores:

$$\frac{l}{3} = \frac{450}{3} = 90 \text{ cm}, \quad 12 \cdot h_0 = 60 \text{ cm}, \quad \delta \text{ entrevigado} = 70 \text{ cm}.$$

2.2 CALCULO DE LA SECCION IDEAL EQUIVALENTE b_r

El valor de la sección ideal equivalente es:

$$b_r = \frac{b}{n} = \frac{60}{8,36} = 7,18 \text{ cm}$$

tomando E_C y n los siguientes valores:

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{21 \cdot 10^4}{251346} = 8,36 \text{ y } E_s = 19300 \cdot \sqrt{f_{ck}} = 19300 \cdot \sqrt{175} = 251346 \text{ Kp/cm}^2$$

2.3. CALCULO DE LA PROFUNDIDAD DE LA FIBRA NEUTRA X_g Tomando momentos estáticos respecto a la fibra superior de la sección (Figura 2), resulta:

$$0,18 \cdot 5 + 10,6 \cdot X_g = (7,18 \cdot 5) \cdot \frac{5}{2} + 10,6 \cdot (5 + \frac{10}{2}) \Rightarrow X_g = 4,21 \text{ cm}$$

siendo $A_p = 10,6 \text{ cm}^2$ el área del perfil. Por tanto, hay fibras de hormigón traccionadas y se debe calcular la Inercia Fisurada de la pieza.

2.4. CALCULO DE LA INERCIA FISURADA I_f Aplicando I_D el teorema de Steiner respecto a la fibra neutra, y siendo la inercia del perfil, se obtiene:

$$I_f = \frac{b_r \cdot X_g^3}{3} - I_s + A_p \cdot (\alpha)^2 = \frac{7,18 \cdot 4,21^3}{3} - 171 + 10,6 \cdot (5 - 4,21)^2 = 708 \text{ cm}^4$$

2.5. CALCULO DEL MOMENTO MAXIMO ABSORBIDO POR LA SECCION $M_{cm\max}$ Y $M_{sm\max}$ El módulo resistente de las fibras superior W_{su} e inferior W_{in} valen:

$$W_{su} = \frac{I_f}{X_g} = \frac{708}{4,21} = 167,66 \text{ cm}^3 \text{ y } W_{in} = \frac{I_f}{18 - 4,21} = \frac{708}{13,79} = 51,34 \text{ cm}^3$$

Siendo las tensiones admisibles en el hormigón y en el acero:

$$H - 175 \Rightarrow \sigma_{c,adm} = 70 \text{ Kp/cm}^2 \text{ y } A - 42 \Rightarrow \sigma_{s,adm} = 1,515 \text{ Kp/cm}^2$$

el valor de los momentos $M_{cm\max}$ Y $M_{sm\max}$ es:

$$M_{cm\max} = \sigma_{c,adm} \cdot n \cdot W_{su} = 70 \cdot 8,36 \cdot 167,66 = 97.999,59 \text{ Kp}\cdot\text{cm} = 0,97 \text{ Tm}$$

$$M_{sm\max} = \sigma_{s,adm} \cdot W_{in} = 1,515 \cdot 51,34 = 78,990,1 \text{ Kp}\cdot\text{cm} = 0,079 \text{ Tm}$$

2.6. VALOR DE LA CARGA ADMITIDA POR EL FORJADO MIXTO Q, si se toma el momento del hormigón, que es el más desfavorable, se obtiene:

$$Q = \frac{M \cdot 8}{l \cdot 0,7 \cdot 0,9} = \frac{0,97 \cdot 8}{4,21 \cdot 0,7 \cdot 0,9} = 0,60 \text{ T/m}^2 = 600 \text{ Kp/m}^2$$

2.7. COMPROBACION A CORTANTE τ . Dado que es alma del perfil metálico el elemento encargado de absorber el cortante, nada cambia con respecto a la comprobación anterior, tan sólo el incremento de peso experimental.

$$\tau = \frac{T}{I_y \cdot h_0} = \frac{1102,5}{0,25 \cdot 7,5} = 326,67 \text{ Kp/cm}^2 < \tau_{adm} = 880 \text{ Kp/cm}^2$$

3. Análisis en rotura: a causa del resultado obtenido en el cálculo elástico, y para conocer cual es el comportamiento de la sección en situaciones próximas a la rotura, se procederá a realizar un cálculo plástico (Figura 4).

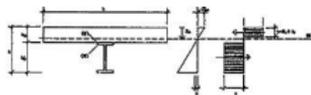


Fig. 4

3.1. DETERMINACION DE LA PROFUNDIDAD DE LA FIBRA NEUTRA X_n A partir de las ecuaciones de equilibrio de la sección.

$$\sigma_c \cdot A_c = \sigma_s \cdot A_s$$

$$0,85 \cdot \frac{1750}{1,5} \cdot 0,70 \cdot y = 10,6 \cdot \frac{2400}{1,15} \Rightarrow y = 0,031857 \cdot 3,19 \text{ cm} = X_n = 3,98 \text{ cm}$$

Procediendo por tanteos sucesivos, y comprobando que las fibras de acero están plastificadas, se obtiene el siguiente resultado:

$$X_{sol} = 3,88 \text{ cm} \Rightarrow y = 3,10 \text{ cm}$$

3.2. DETERMINACION DEL MOMENTO ULTIMO CAPAZ DE ABSORBER LA SECCION M_{suwb} . Equilibrando la sección con respecto a su fibra neutra, se tiene:

$$M_u = (\sigma_s \cdot A_s \cdot X_n - \frac{\sigma_s \cdot A_s \cdot X_n^2}{2}) - (\sigma_c \cdot A_c \cdot h_0 - \frac{\sigma_c \cdot A_c \cdot h_0^2}{2}) = 1,817 \text{ m}$$

3.3. CALCULO DE LA CARGA QUE AGOTA LA SECCION Q (en servicio).

$$M_u = \frac{Q \cdot 1,6 \cdot l^2}{8} \cdot 0,7 \cdot 0,9 \Rightarrow Q = 709,4 \text{ Kp/m}^2$$

4. Cálculo del armado de la losa:

4.1. DIMENSIONAMIENTO A FLEXION EN EL ENTREVIGADO. Atendiendo a la Figura 3, y considerando que, entre vigueta y vigueta, la losa trabaja sin continuidad, las solicitaciones a las que se ve sometida son, por ml de ancho:

$$M = \frac{600 \cdot 0,7^2}{8} = 30,625 \text{ Kp}\cdot\text{m} = 0,03 \text{ Tm} \text{ y } V = \frac{600 \cdot 0,7}{2} = 175 \text{ Kp} = 0,18 \text{ T}$$

De las ecuaciones de equilibrio de la sección se deduce:

$$M_u = N_c \cdot (\sigma - \frac{\sigma^2}{2}) = 1,6 \cdot 0,08 \cdot 0,85 \cdot f_{cm} \cdot y \cdot 0,03 \cdot \frac{X_g}{2} = y = 0,2 \text{ cm}$$

La sección trabaja en Dominio 2. Considerando que el hormigón tiene suficiente resistencia a tracción para soportar, por sí sólo, estas solicitaciones:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{30,625 \cdot 5}{100 \cdot 25} = 7,5 \text{ Kp/cm}^2 < f_{ctm} = 0,66 \cdot (f_{ck})^{2/3} = 21,27 \text{ Kp/cm}^2$$

Consecuentemente se dispone el armado correspondiente a la cuantía geométrica mínima (1,8‰), bastando con un mallazo de $\phi 5$ cada 20 cm.

$$1,8 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{4.100}{1,15} = \frac{U_s}{b \cdot h} \Rightarrow U_s = 3,21 \text{ T}$$

4.2. CORTANTE EN EL PLANO P-P'. Sólo el hormigón es capaz de absorberlo.

$$V_{ca} = 0,5 \cdot \sqrt{f_{ca}} \cdot b \cdot d = 2700,3 \text{ Kp} > V_d = 280 \text{ Kp}$$

5. Cálculo de los conectadores: se disponen conectadores tipo Asa ejecutados con barras corrugadas de 10 mm de diámetro, soldados al perfil metálico.

5.1. ACCIONES QUE ACTUAN SOBRE LOS CONECTADORES. La tensión tangencial τ en la fibra de contacto entre el acero y el hormigón es:

$$\tau = \frac{V_d \cdot B_{cr}}{I_y \cdot b_1} = \frac{1,6 \cdot 1102,5 \cdot 61,39}{7,18 \cdot 705} = 21,4 \text{ Kp/cm}^2$$

donde I_y es el momento de inercia de la sección com-

puesta respecto a su c.d.g, $br=7,18$ cm y B_{cr} es el momento estático de la sección reducida de hormigón respecto a la fibra neutra, de valor:

$$B_{cr} = (7,18 \cdot 5) \cdot \left(4,21 - \frac{5}{2}\right) = 61,39 \text{ cm}^3$$

5.2.CALCULO DEL ANCLAJE. La resistencia última a deslizamiento es:

$$P_u = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{1,2} = \frac{2,8}{1,2} = 2,3 \text{ T}$$

Y dividiendo por el área que soporta cada conector;

$$s = \frac{2,300}{7,18 \cdot s} = \frac{325}{s} = 21,3 \text{ Kg/cm}^2 \Rightarrow s = 15,2 \text{ cm} = 15 \text{ cm}$$

6. Comportamiento ante vibraciones: aplicando el procedimiento de la norma B.S.C. 117, tal y como se hizo para la sección metálica (Anejo 1), y sustituyendo en

(3) los valores de $av=2$, $l=4,5$ m, Es $I_r=148,05 \text{ Tm}^2$ y $Gk=0,462$ T/m se obtiene:

$$v = \frac{2}{4,5^3} \cdot \sqrt{\frac{148,05 \cdot 9,81}{0,462}} = 5,538 \text{ ciclo/seg} \text{ y } f_{est} = \frac{P \cdot P}{28 \cdot E \cdot I} = 0,256 \text{ cm}$$

De modo que el valor de la amplitud de vibración Δv es:

$$\Delta v = 0,40 \cdot f_{est} = 0,40 \cdot 25,6 = 0,01024 \text{ cm}$$

La aceleración máxima α toma el valor:

$$\alpha = 40 \cdot 5,538^2 \cdot 0,01024 = 12,41 \text{ cm/seg}^2$$

$$\alpha \cdot \Delta v = 12,51 \cdot 0,0102 = 0,127 < 32 \text{ cm}^2/\text{seg}^2$$

Cumpléndose la condición de la validez.

BIBLIOGRAFIA:

(1) FRAN BRETONES, J.M., *Técnicas de Rehabilitación. Soluciones específicas a las lesiones existentes en los inmuebles del Ensanche de 1967 de Valencia*, Tesis Doctoral, Valencia, 1990, 636 páginas.

(2) MONFORT LLEONART, J., *Estructuras Mixtas*, Valencia, Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia, 1986, 121 páginas.

(3) AA.VV., "Efectos Dinámicos", en el *Eurocódigo nº3*.

INFLUENCIA DE LA APERTURA DE CALAS EN PIEZAS LINEALES DE HORMIGON ARMADO SOBRE SU DEFORMABILIDAD.

GONZALES PEREZ, G., Dr. Arquitecto; BARBERA, E., Dr. Arq.; PEREPEREZ, B., DR. ARQ.; FRAN, J.M^º, Dr. Arq.; BENLLOCH, J., Dr Arq.; VALCUENDE, M., Arq.; PASTOR, R., Arq.
 Cátedra de CONSTRUCCION III, Dpto. DE CONSTRUCCIONES ARQUITECTONICAS.
 ETSAV, UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA.

SUMARIO:

Se presenta los resultados de una investigación sobre flechas de elementos lineales de hormigón armado a los que se les ha dejado un rebajo o "cala" en la zona de máximos momentos flectores para, así, simular el comportamiento de vigas en las que, durante una intervención, se elimina el hormigón que recubre las armaduras de tracción. Además, se estudia las flechas con dos niveles de carga, 35% y 70% del momento máximo de servicio, relacionando los resultados obtenidos. La existencia de "cala" incrementa significativamente las flechas, respecto a las vigas patrón, cuando se aplica el 35% del momento de servicio y resulta de poca influencia con el 70%. Las flechas no son proporcionales al nivel de carga aplicado.

PALABRA CLAVE:

Flechas, deformaciones, calas, tensión stiffening, intervención, refuerzo, vigas, historia de carga.

I. INTRODUCCION.

En los últimos años, las tareas de intervención estructural en edificios existentes viene ocupando una parte significativa de la industria de la construcción. Este fenómeno se debe, por una parte, al creciente número de estructuras de hormigón que, particularmente en zonas costeras, presentan signos de deterioro prematuro por corrosión de las armaduras y, por otra, al intento de recuperar o reutilizar, a un costo razonable, viejos edificios con las necesarias garantías de seguridad, estabilidad y funcionalidad (1).

Cuando se realiza reparaciones o refuerzos, es imprescindible considerar las distintas fases por las que atraviesa el proceso constructivo; evaluar adecuadamente las sollicitaciones, los efectos del apuntalamiento y la redistribución de esfuerzos en la estructura debido al cambio de rigideces relativas, y contemplar, si es factible, la reducción de cargas antes de la intervención para logra mayor efectividad de la misma, sin olvidar en tal proyecto que, una parte importante de la patología actual de edificación, se deriva

de la excesiva flexibilidad de los elementos resistentes horizontales (2).

II. OBJETIVOS Y PLAN EXPERIMENTAL

Los objetivos fundamentales del trabajo experimental planteado consisten en determinar de qué modo influye la apertura de "calas" (eliminación de hormigón en la zona traccionada) sobre las flechas de elementos lineales de hormigón armado sometidos a flexión y en estudiar su relación con el nivel de carga aplicado, a fin de evaluar, posteriormente, la importancia del grado de descarga en el instante de la intervención (3).

Los objetivos señalados resultan interesantes si se tiene en cuenta que los modelos teóricos en el campo de la reparaciones y refuerzos todavía presentan numerosas incertidumbres. El trabajo experimental se ha realizado en la Escuela de Arquitectura de Valencia con 24 elementos lineales de hormigón armado sometidos a flexión durante 150 días, de dimensiones 10x20x450 cm (bxhxl), formando cada uno de ellos un doble voladizo apoyado en su parte central (Fig. 1). La armadura (AEH-400 N) dispuesta en cada una de las vigas ha sido 1 ϕ 16 en la zona de tracción, 1 ϕ 8 en la zona comprimida, y estribos verticales cerrados ϕ 6 cada 10 cm. La resistencia media del hormigón a la edad de puesta en carga ha sido de 486 Kp/cm² (47,66 MPa) con un coeficiente de variación de los ensayos del 3,16%. En el Cuadro 1 se resume otras propiedades del hormigón determinadas experimentalmente.

El momento de servicio (M_s) se ha obtenido calculando el que agota la sección de hormigón armado (M_{R1}), de acuerdo con la teoría de dominios y empleando el diagrama parabólico rectangular, y dividiéndolo por 1,6.

Las variables contempladas en este estudio han sido las siguientes:

a) Dos niveles de carga, de tal forma que la mitad de las vigas sometidas a un momento flector igual al 35% del momento máximo de servicio (M_s), y la otra mitad al 70% siendo ya el primer nivel de carga superior al momento de fisuración. (Fig.1).

PROPIEDADES DEL HORMIGON	VALOR MEDIO	COEF. VARIACION (%)
f_{cm}	486,32 (kp/cm ²)	3,16
$f_{cm}(TM)$ (*)	498,76 (kp/cm ²)	1,65
E_{cm}	409.566,00 (kp/cm ²)	3,86
f_t	36,96 (kp/cm ²)	5,18
Densidad	2.418,90 (kp/cm ³)	0,45

(*) Resistencia media a compresión sobre probetas cilíndricas empleadas previamente para la

Cuadro 1. Resumen de propiedades a la edad de puesta en carga.

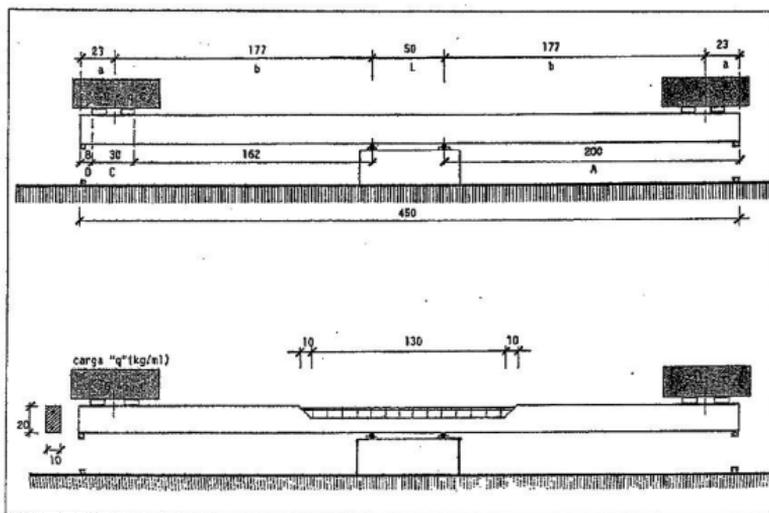


Figura 1.. Geometría y esquema de cargas

VIGA			INST.	30 días	60 días	90 días	120 días	150 días
sin cala	35%	A ₀	10,83	1,93	1,97	2,67	2,96	3,45
	70%	A'₀	6,40	11,72	12,61	13,70	14,47	14,48
con cala	35%	R ₁	2,76	3,73	3,94	4,97	5,85	5,04
		R ₂	2,85	3,25	3,68	4,86	5,55	4,79
		R ₃	1,93	3,97	4,23	5,39	6,56	5,77
		R ₄	2,98	3,72	3,86	5,56	6,34	5,42
		R ₅	3,30	3,78	4,12	5,09	5,92	5,15
		R ₆	2,92	3,58	3,82	4,85	5,54	4,65
		R ₇	2,37	3,68	3,88	5,22	6,30	5,24
		R ₈	2,60	3,31	3,55	5,10	5,75	4,89
con cala	70%	R'₁	7,76	11,05	11,89	13,72	14,96	13,95
		R'₂	8,78	10,83	11,82	14,04	15,02	14,19
		R'₃	8,73	11,04	12,06	14,12	15,96	14,85
		R'₄	8,12	10,73	11,82	14,19	15,17	14,39
		R'₅	7,78	10,95	11,87	13,61	14,70	13,85
		R'₆	8,63	10,97	12,24	14,48	15,80	14,93
		R'₇	8,79	11,52	12,42	14,51	16,05	15,03
		R'₈	9,40	11,68	12,75	15,60	16,69	15,74
con cala	35%	R (MEDIA)	2,71	3,63	3,88	5,13	5,98	5,12
	70%	R' (MEDIA)	8,50	11,10	12,10	14,28	15,54	14,62

Cuadro 2... Flechas registradas (mm).

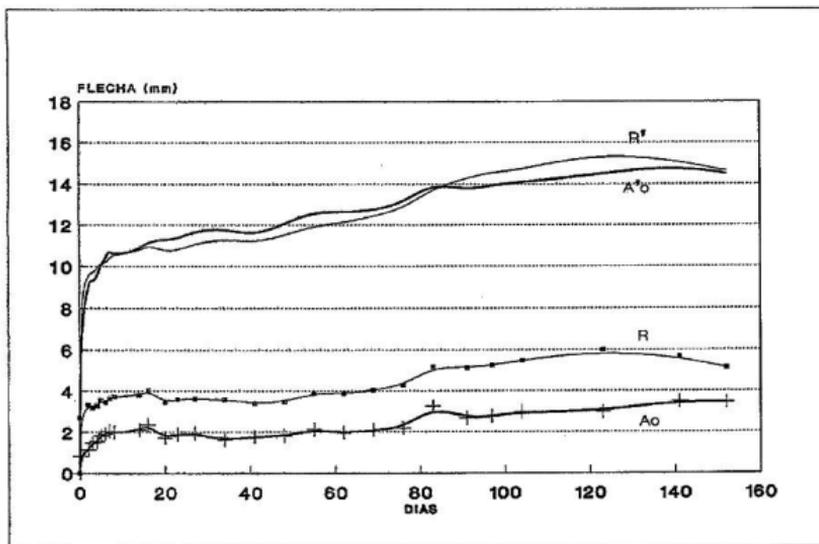


Figura 2... Evolución de flechas.

b) Existencia de cala. Para simular el comportamiento que presenta un elemento estructural trabajando a flexión cuando se le somete a una intervención en la que se elimina el hormigón que recubre las armaduras, 16 vigas (R,R') se han fabricado con un rebaje o cala de 150 cm. de longitud y 10 cm. de canto a lo largo del tramo sometido a mayores momentos flectores (Fig. 1-b). Se ha hormigonado monolíticamente otras dos vigas (A₀ y A₀'), siendo éstas las que sirven de patrón para evaluar el efecto de la cala.

III. RESULTADOS Y DISCUSION.

La carga se ha aplicado a edades comprendidas entre 96 y 106 días, midiendo la flecha instantánea en todos los casos antes de transcurrir 60 minutos tras la puesta en carga. En el Cuadro 2 y en la Figura 2 se recoge, a distintas edades, los resultados medios de las flechas obtenidos en los voladizos, según la siguiente denominación:

- A₀: viga patrón sin cala cargada al 35% M_s'
- A₀': viga patrón sin cala cargada al 70% M_s'
- R: valor medio de 8 vigas con cala cargadas al 35% M_s'
- R': valor medio de 8 vigas con cala cargadas al 70% M_s'

NIVEL DE CARGA	SIN CALA A (mm)	CON CALA R (mm)	R/A	(1-ν x)
35%	0,83	2,71	3,26	69
70%	6,40	8,50	1,33	24

III.1. Flechas instantáneas.-

Los resultados obtenidos para estas flechas (Cuadro 3),

indican que la existencia de monolitismo inicial reduce sensiblemente la flecha instantánea respecto de la registrada en las vigas con cala, siendo tal reducción del 69,4% y del 24,7%, según que la carga sea la correspondiente al 35% y al 70% del momento de servicio, respectivamente.

Las flechas instantáneas no han sido proporcionales al nivel de carga aplicado. Como se aprecia en el Cuadro 4, en las vigas sin cala con el 70% de M_s la flecha instantánea ha sido 7,71 veces mayor que con el 30% de M_s', relación que ha sido de valor 3.13 en las vigas con cala.

Las diferencias registradas en las flechas instantáneas, comentadas al respecto de los Cuadros 3 y 4, se justifican, al menos cualitativamente, merced al efecto de tensión stiffening (colaboración a la rigidez de cada pieza del hormigón traccionado situado entre fisuras), que ha sido mayor caso de existir cala y para menores niveles de tensionales (menor fisuración del hormigón). Ello concuerda con las teorías y procedimientos de cálculo al uso, que consideran que la reducción del alargamiento del acero por efecto de tensión stiffening sigue una ley hiperbólica, aproximadamente asintóticamente a la deformación unitaria del acero desnudo, a medida que aumenta la carga aplicada (4). Por otro lado, la no proporcionalidad carga-flecha en las vigas con cala (Cuadro 4) se puede deber al hecho de que el hormigón existente en ellas no se halla totalmente comprimido, colaborando diferencialmente el bloque traccionado en función del nivel tensional.

III.2. Flechas diferidas y totales.- El conocimiento de las flechas diferidas es esencial para evaluar correctamente la flecha activa. La flecha diferida (f_d)_t se puede expresar como el producto de un factor función del tiempo (λ_t) por la flecha instantánea (f_i) (5,6):

$$(f_d) = (\lambda_t \cdot f_i)$$

Despejando el valor medio de λ_t de las flechas registradas, cociente entre las diferidas y las instantáneas, se ha construido el Cuadro 5 para diferentes edades de ensayo.

NIVEL DE CARGA	SIN CALA A (mm)	CON CALA R (mm)	R/A	(1-(A/R)) x100
35%	0,83	2,71	3,26	69,4%
70%	6,40	8,50	1,33	24,7%

Cuadro 3.- Flechas instantáneas debidas a las sobrecargas.

RELACION	A (sin cala)	R (con cala)
$f_{(70)}/f_{(35)}$	7,71	3,13

Cuadro 4.- Relación entre flechas instantáneas según el nivel de carga.

DURACION DE LA CARGA EN DIAS	CARGA 35%		CARGA 70%	
	A ₀	R	A' ₀	R'
30	0,789	0,203	0,669	0,251
60	0,818	0,258	0,780	0,348
90	1,320	0,535	0,917	0,558
120	1,528	0,722	1,014	0,680
150	1,879	0,532	1,015	0,591

Cuadro 5.- Cociente entre flecha diferida y flecha instantánea.

Como se observa en el Cuadro 5, los coeficientes que relacionan las flechas diferidas con las instantáneas son del mismo orden en las vigas con cala a todas las edades (columnas **R** y **R'**), y en cambio, muy distintos en las vigas sin cala (columnas **A₀** y **A'₀**). Sin embargo, se debe tener en cuenta que tales coeficientes no son más que un cociente entre flechas y, por tanto, dependientes en gran medida del valor adoptado como flecha instantánea. Es decir, aunque se ha medido el valor de estas flechas instantáneas en tiempos reales muy parecidos, su valor viene notablemente influenciado por la existencia o no de cala y por el nivel de carga aplicado, dado que, como es sabido, el efecto de tensión stiffening ha sido inicialmente mayor (menor flecha instantánea) en las vigas sin cala y en las piezas solicitadas con menor porcentaje del momento de servicio M_s .

En efecto, como se aprecia en la Figura 2, al aplicar a las piezas ya desde el inicio el 70% del momento de servicio, el comportamiento de las vigas con y sin cala (**R** y **A₀**) es equivalente desde un punto de vista práctico. En cambio, en las vigas solicitadas con el 35% del momento de servicio la diferencia entre flechas se mantiene a lo largo

del tiempo en función del monolitismo inicial, en las vigas sin cala, o de la existencia de ésta, a pesar de que el coeficiente λ es muy distinto (1,879 y 0,532, respectivamente); y ello, probablemente, debido a que no hay efecto desde el principio de tensión stiffening en las vigas con cala, en tanto que en las monolíticas sí se da, aunque, de acuerdo con la literatura (4,7,8,9), tal efecto sufre mermas progresivas e importantes bajo la acción de cargas de larga duración (del orden del 50% al 60% del valor inicial). Este mismo efecto de pérdida progresiva del efecto rigidizador del hormigón traccionado, se da también en las vigas completas con el 70% del momento de servicio y, de acuerdo con ello, el cociente entre las flechas totales de las vigas sin cala, por un lado, y de las vigas con cala, por otro, se ha reducido con el paso del tiempo, tal y como se aprecia en el Cuadro 6.

IV. CONCLUSIONES.

De la presente investigación de carácter experimental, provisionalmente, se puede extraer las conclusiones siguientes:

1º La existencia de cala ha manifestado escasa influencia sobre la magnitud de las flechas cuando se ha aplica-

RELACION ENTRE FLECHAS	TIPO DE VIGA	
	A'_{0}/A_{0}	R'/R
INSTANTANEAS: $f_{I(70)}/f_{K(35)}$	7,71	3,13
TOTALES: $f_{TOT(70)}/f_{TOT(35)}$	4,20	2,86

Cuadro 6. Efecto del nivel tensional sobre las flechas registradas.

do el 70% del momento de servicio. Sin embargo, incrementa notablemente las flechas cuando el momento es igual al 35% del de servicio.

2ª La colaboración del hormigón a tracción (tensión Stiffening) se reduce, tanto al incrementar el nivel tensional, como al aumentar el tiempo de aplicación de la carga.

3ª las flechas registradas, tanto en vigas como cala como sin ella, no guardan la misma proporcionalidad que las cargas aplicadas. Sin embargo, el efecto del nivel tensional se ha visto disminuido a medida que ha aumentado el tiempo de aplicación de la carga.

4ª Los resultados obtenidos parecen indicar que, desde el punto de vista de las deformaciones, no entraña riesgo la práctica de calas en piezas lineales de hormigón armado sometidas a flexión cuando tienen aplicado al menos el 70% del momento de servicio.

5ª La apertura de cala en piezas inicialmente sobredimensionadas, es decir, sometidas a momentos próximos al de fisuración, incrementa según los resultados del presente estudio, tanto las flechas iniciales como las totales, hasta el punto de resultar una cuestión relevante para las intervenciones en este tipo de elementos estructurales.

V.- BIBLIOGRAFIA:

(1) PEREPEREZ, B.; BARBERA, E.; BENLLOCH, J.: "Peritación de estructuras de hormigón armado en Edificación". CEMCO-88.XI Curso de estudios mayores de la Construcción: "Diagnosis y Reparación de Obras de Hormigón". CSIC-IET. Madrid, 1988.

(2) GONZALEZ VALLE, E.: "La Flexibilidad de los Forjados; sus condicionantes técnicos y la situación de su normativa". HORMIGÓN Y ACERO, nº. 157, (pags 19-26), 4º trim., 1985.

(3) GONZALEZ PEREZ, G.: "Elementos Lineales de Hormigón Armado sometidos a Flexión. Influencia del nivel de carga y de los inhibidores de Corrosión sobre el Comportamiento en Servicio". Tesis Doctoral. Director; D. Emilio Barberá Ortega. E.T.S. de Arquitectura, Universidad Politécnica de Valencia. Octubre, 1990.

(4) FAVRE, R.; KOPRINA, M.; RADOJICIC, A.: "Effects Différens. Fisuration et Déformations des structures en Béton". Ecole Polytechnique Fédérale de Laussane, Ed. Georgi. Saint Saphorin, Suiza, 1980.

(5) BRANSON, D.E.: "Deformation of Concrete Structures". MCGRAW-HILL International Book Company (546 pag). Nueva York, 1977

(6) M.O.P.U.T.: "Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de obras de hormigón en masa o armado. EH-91". Madrid, 1991.

(7) C.E.B.: "C.E.B. Manual on Cracking and Deformations". C.E.B. BULL. nº 158-E. Lausanne, 1985.

(8) C.E.B.: "Código Modelo CEB-FIP para las estructuras de hormigón. 1978" CEB, Traducción española del Instituto Eduardo Torroja. Madrid.

(9) C.E.B.: "CEB-FIP. Model Code 1990". C.E.B. Bull. nº 204. Julio 1991.

INFLUENCIA DE CIERTOS REVESTIMIENTOS DE LAS ARMADURAS Y DEL MATERIAL DE REPOSICION DEL RECUBRIMIENTO DE HORMIGON SOBRE LA ADHERENCIA HORMIGON-ARMADURAS PASIVAS

MARTINEZ BOQUERA, A., Arquitecto; PEREPEREZ, B., Dr. Arq.; BARBERA, E., Dr. Arq.; BENLLOCH, J., Dr. Arq.; FRAN, J.M^a, Dr. Arq.; GONZALEZ, G., Dr. Arq.

Cátedra de CONSTRUCCION III. Dpto. de Construcciones Arquitectónicas. ETSAV. UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA.

SUMARIO

En la presente investigación se presenta los resultados de los ensayos de adherencia por pull-out obtenidos con 2 materiales de reparación (microhormigón y mortero de retracción compensada) y 4 tratamientos superficiales de las armaduras, carga monótonamente creciente hasta rotura y a la edad de 28 días. En estas condiciones concretas, han resultado equivalentes tanto los dos materiales como los tratamientos P y E (no tratamiento y epoxy mordiente), y rechazable en todo caso el tratamiento de las armaduras con el inhibidor.

PALABRAS CLAVE

Adherencia, ensayo de pull-out, materiales de reparación, carga monótona.

1. INTRODUCCION.

En los últimos años, es creciente el número de estructuras de hormigón con signos evidentes de un deterioro prematuro. Ello ha hecho que crezca de modo acelerado el coste de las intervenciones (1), y que sea un problema esencial, desde el punto de vista de la durabilidad, alcanzar un comportamiento satisfactorio de las estructuras ya existentes y deterioradas durante lo que les resta de vida útil prevista, aspecto éste en el que se debe incluir el estudio de las técnicas de intervención (2).

Los sistemas de intervención pueden ser de muy distinta naturaleza, aunque como sucede en estructuras deterioradas por corrosión de las armaduras, la sistemática de la reparación consta a menudo de las siguientes etapas (3,4,5,6):

- Eliminación del hormigón deteriorado.
- Limpieza del hormigón y del acero, con frecuente aplicación inmediata de un "primer" protector.
- Adición, en su caso, de nuevas armaduras.
- Reposición, o incluso incremento, del recubrimiento de hormigón.
- Enfoscado de las zonas reparadas y adyacentes y aplicación posterior de una última capa protectora-decorativa.

Si se procede de la manera expuesta, en la sanción del refuerzo se debe atender a:

- La adherencia entre el material de reposición del recubrimiento y las armaduras.
- El grado alcanzado de protección de las armaduras.
- La adherencia entre el material de reposición y el hormigón original.

Sobre la adherencia hormigón-acero se ha realizado un importante volumen de investigación, si bien la mayor parte de ésta se refiere tan sólo a hormigones convencionales. Por ello, el trabajo presente se ha planteado los siguientes objetivos:

1º) Estudio de la adherencia entre los materiales de reposición del recubrimiento y las armaduras pasivas.

2º) Análisis de la influencia que sobre la citada adherencia ejercen diferentes tratamientos de las armaduras.

2. PLAN EXPERIMENTAL

En el presente trabajo, que se inscribe en otro de mayor alcance (*), se ha utilizado dos materiales de reposición del recubrimiento:

- Microhormigón de elevada consistencia conseguida mediante un aditivo superfluidificante (0,8% respecto del peso de cemento), con un tamaño máximo del árido de 10 mm. y una dosificación consistente en: cemento (400 Kg/m³), agua (180/m³), grava 2,5/10 (796 Kg/m³), arena gruesa 0,63/2,5 (557 Kg/m³) y arena fina 0,16/1,25 (456 Kg/m³), con una relación agua/cemento = 0,45.

- Mortero autonivelante de 2 componentes, de base cemento, mejorado con resinas sintéticas y de retracción compensada (ligeramente expansivo), al que se ha adicionado, por cada 46 Kg. predosificados, 15 Kg. de la misma grava caliza y rodada utilizada para la fabricación del microhormigón.

Además, se ha aplicado 4 tratamientos a las armaduras:

- Acero negro recién laminado (P).
- Resinas epoxy modificadas en estado mordiente en el instante del hormigonado (E)¹.
- Inhibidor de base epoxy y clinker de cemento, aplicado 24 horas antes de hormigonar (1).
- Inhibidor, 24 horas antes del hormigonado, y resinas epoxy antes del mismo (IE).

El estudio adherente se ha realizado con la ejecución de ensayos de pull-out (7), con carga monótonamente creciente hasta rotura y a la edad de 28 días. El acero empleado ha sido de dureza natural, de calidad AEH 400N, diámetro nominal 16 mm. y área relativa de las corrugas $\alpha_{sb}=0,057$

Con todo ello, el plan experimental es el que se resumen en la Tabla 1.

3. RESULTADOS.

Los principales resultados medios obtenidos figuran en la Tabla 2 para cada tipo de material de reposición del

Nº AMASADA	MATERIAL DE REPOSICION	TRATAMIENTO ARMADURAS	Nº PROBEAS DE PULL-OUT	Nº PROBEAS CILINDRICAS
1	Microhormigón	P,E,I,E	3,3,3,3	3
2	Mortero de retrac.compensada	P,E,I,E	3,3,3,3	3
$\Sigma = 2$	$\Sigma = 2$	$\Sigma = 4$	$\Sigma = 24$	$\Sigma = 6$

Tabla 1. Resumen Plan Experimental

recubrimiento y tratamiento superficial de las armaduras. No se ha corregido el valor de las tensiones de adherencia, dada la gran similitud de las resistencias medias a compresión (478,53Kp/cm² y 473,32 Kp/cm²) de ambos materiales.

De acuerdo con el C.E.B. (8,9), cabe esperar coeficientes medios de variación del 8% y del 15% para la tensión última de adherencia τ_u y la tensión media de adherencia τ_m respectivamente. En los ensayos efectuados, los coeficientes de variación de τ_u son inferiores en todos los casos y los correspondientes a τ_m sólo superan el valor medio del 15% con los tratamientos **I** e **IE** en el microhormigón e **I** en el mortero de retracción compensada, y ello, probablemente, por las razones que se discuten en los apartados c) y d) del epígrafe 4.1.

4. DISCUSION.

4.1. Influencia del tratamiento superficial de las armaduras.-

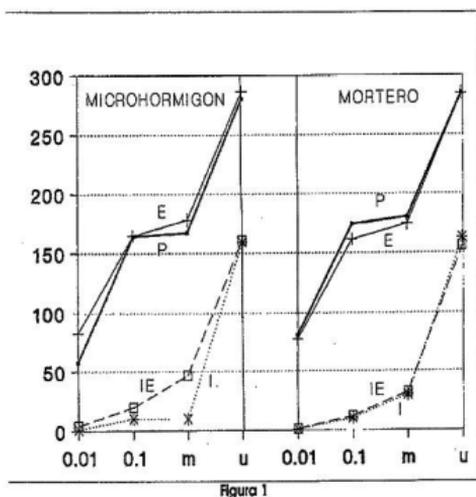


Figura 1

1. "Materiales para la reparación de estructuras dañadas por corrosión de las armaduras: caracterización y comportamiento en servicio". Proyecto de investigación aprobado y financiado dentro de la Convocatoria año 1987 del Programa General de Conocimiento, I Plan Nacional de Investigación Científica y Técnica. Proyecto PB-87-0356. Investigador principal D^a. Carmen Andrade Perdrix.

Para discutir esta cuestión se ha construido las Figuras 1 y 2 en cada una de las cuales se ha representado gráficamente los correspondientes valores de la Tabla 2, valores a partir de los cuales se deduce la Tabla 3. En esta última, cada tensión de adherencia relativa, en %, es el resultado de calcular el porcentaje que la tensión de ensayo obtenida con los tratamientos **E**, **I** e **IE** representa respecto del correspondiente valor con el acero sin tratamiento (**P**).

Tanto de las Figuras 1 y 2 como de la Tabla 3, se deduce que:

a) No existen diferencias significativas entre las tensiones obtenidas con los tratamientos **P** y **E**, por un lado, y con los tratamientos **I** e **IE**, por otro.

MATERIAL	TRATAMIENTO	$\tau_{0,01}$ (kp/cm ²)	τ_m (kp/cm ²)	τ_u (kp/cm ²)	τ_u (kp/cm ²)	$\tau_{0,01}$ (kp/cm ²)
Microhormigón	P	57,88 (20,22)	164,24 (32,29)	167,67 (10,10)	280,77 (1,77)	
	E	82,56 (5,25)	164,95 (3,56)	178,16 (3,43)	286,48 (2,58)	478,53
	I	1,20 (26,19)	10,23 (22,82)	40,01 (25,25)	189,32 (1,80)	(0,90)
	IE	4,22 (34,30)	19,79 (25,13)	46,54 (19,62)	160,98 (7,37)	
Mortero retrac.compensada	P	80,82 (12,67)	174,22 (2,90)	180,18 (3,04)	285,49 (1,46)	
	E	77,44 (6,16)	161,47 (3,77)	174,55 (3,00)	284,74 (2,35)	473,32
	I	1,17 (30,62)	10,20 (30,91)	29,93 (21,83)	162,88 (6,56)	(0,13)
	IE	1,48 (45,48)	11,84 (13,99)	32,24 (12,69)	155,00 (3,67)	

() : coeficientes de variación en %.

Tabla 2. Resultados de los ensayos.

b) Con el microhormigón, la resina epoxy mordiente ha producido tensiones de adherencia iniciales y relativas mayores [($\tau_{0,01}$)=144%] y mayores deslizamientos cerca del agotamiento. Es decir, la resina mordiente da una mayor rigidez inicial, que se va perdiendo al aumentar la carga, lo que hace que, al menos con carga monótona creciente hasta rotura, el tratamiento **E** pueda considerarse como inocuo o ligeramente beneficioso desde el punto de vista mecánico, como ya han demostrado otras investigaciones (10,11).

c) El tratamiento **I** ha dado lugar a enormes deslizamientos desde el inicio con ambos materiales, de tal modo que, para deslizamientos de 0,01 mm. y 0,1 mm., las tensiones adherentes relativas oscilan entre el 1% y el 6% de las obtenidas con el tratamiento **P** (Tabla 3). Ello parece atribuible a la elevada viscosidad y deformabilidad del inhibidor empleado, así como a su efecto colmatador de los valles del corrugado, lo cual ineludiblemente desaconseja su uso, sobre todo desde el punto de vista de los estados límites de utilización.

d) El tratamiento **IE** es de resultados comparables al tratamiento **I**, lo cual resulta lógico dado que la resina ha sido aplicada sobre el inhibidor, no consiguiendo por tanto evitar, ni apenas paliar, los efectos negativos de éste.

4.2. Influencia del tipo de material de reposición del recubrimiento.-

En las figuras 3, 4, 5 y 6 se representa gráficamente los valores de las tensiones de adherencia dados en la Tabla 2 agrupándolos por tratamientos (**P**, **E**, **I** e **IE**, respectivamente). Al tiempo, en la Tabla 4 se da, en valor relativo respecto del microhormigón, las tensiones de adherencia obtenidas con el mortero de retracción compensada.

Descartada ya la discusión acerca de los tratamientos **I** e **IE** por las razones expuestas en 4.1, se observa que el comportamiento adherente de las armaduras es casi idéntico con ambos materiales de reposición del recubrimiento,

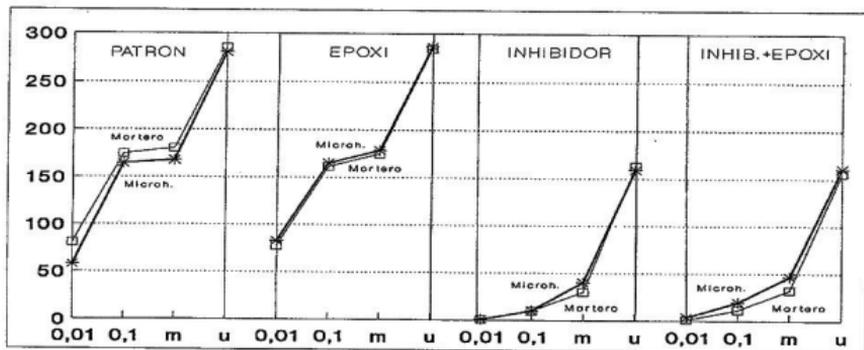


Figura 2

con la única excepción, relativamente irrelevante, de la relación entre las tensiones $\sigma_{0,01}$ con el tratamiento P, que es del 140%. Por tanto, cabe concluir que, en el caso de la presente investigación, el microhormigón y el mortero de retracción compensada empleados han resultado equivalentes.

No obstante, se debe tener presente que, en condiciones reales de obra, la fabricación, vertido y compactación del mortero es mucho más sencilla que la del hormigón y, sobre todo, da lugar con gran probabilidad a una mayor homogeneidad de calidad de producción.

5. CONCLUSIONES.

De la experimentación realizada cabe concluir que:

1º Con los materiales empleados (microhormigón y mortero de retracción compensada), el empleo de armaduras

sin tratamiento o con epoxy mordiente en el instante del hormigonado resulta prácticamente equivalente.

2º El uso de un inhibidor de la corrosión de bajo módulo de deformación y elevada viscosidad resulta inadecuado. Sobre todo con tensiones moderadas, la merma adherente es de tal magnitud que hace inviable en mayor medida la satisfacción de los estados límites de servicio (fisuración especialmente).

3º El uso, adicional al del inhibidor, de una resina epoxy no mejora apreciablemente la capacidad adherente de las armaduras.

4º El microhormigón fabricado ha resultado equivalente al mortero de retracción compensada, si bien se debe tener presente las mayores dificultades tecnológicas que plantea-

BIBLIOGRAFIA.

1. C.E.B.-R.I.L.E.M.: "Background and Purpose". C.E.B.-R.I.L.E.M. International Workshop: Durability of Concrete Structures. CEB. Bull. Nº 152. Abril, 1984.

2. ROSTAM, S.: "Summary. Discussions, Conclusions". C.E.B.-R.I.L.E.M. International Workshop: Durability of Concrete Structures. CEB. Bull. Nº 152. Abril, 1984.

3. C.E.B.-R.I.L.E.M.: "International Workshop on Durability Concrete Structures". CEB Bull. Nº 152. Abril, 1984.

4. C.E.B.T.G. Nº 12: "Assessment of Concrete Structures and Design Procedures for Up-Grading (Redesing)". CEB Bull. Nº 162. 1983.

5. OVENS, A.: "Repair and Protection of Reinforced Concrete in High Rise Buildings". Concrete. Mayo, 1984-

6. PEREPEREZ, B.; BARBERA, E.; GIMENEZ MAS, E.J.; GARCIA, L.: "Intervención en estructuras de edificación de hormigón armado por corrosión de las armaduras. Atmósfera marina". 4º Congreso Español de

Corrosión y Protección. Madrid, 11-14 Febrero, 1986.

7. C.E.B. COMMISSION VII: "RILEM/CEB/FIP Recommendations on Reinforcement Steel for Reinforced Concrete".

8. C.E.B.: "Aciers-Adhérence-Ancrages". CEB Bull Nº 118. Diciembre 1977 - Noviembre 1979.

9. C.E.B. T.G. VI/1: "Anchorage Zones. Bond Action and Bond Behaviour of Reinforcement. State-of-the-Art-Report". CEE Bull. Nº 151. Abril, 1982.

10. PEREPEREZ, B.; BENLLOCH, J.; BARBERA, E.; GONZALEZ, G.; FRAN, J.M.º: "Influencia de la aplicación in situ de resinas epoxi sobre la adherencia acero-hormigón", VI Conferencia de Ingeniería y Arquitectura. La Habana (Cuba). Noviembre-Diciembre, 1989.

11. PEREPEREZ, B.; BARBERA, E.; BENLLOCH, J.; GONZALEZ, G.; FRAN, J.M.º: "La adherencia de aceros lisos y corrugados revestidos con resina epoxi aplicada manualmente". Hormigón y Acero Nº 178. Enero, 1991.

ANCLAJE DE ARMADURAS DE ACERO EN HORMIGON ENDURECIDO CON MORTERO EPOXI Y MORTERO DE BASE CEMENTO DE RETRACCION COMPENSADA.

VERA SORIANO, R., Arquitecto; PEREPÉREZ, B., Dr. Arq.; BARBERA, E., Dr. Arq.; BENLLOCH, J., Dr. Arq.; GONZALEZ, G., Dr. Arq.; FRAN, J. M., Dr. Arq.

Cátedra de CONSTRUCCION III. Dpto. de Construcciones Arquitectónicas.
ETS de Arquitectura. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.

SUMARIO:

Se presenta los resultados de una investigación experimental sobre la influencia del diámetro de la perforación, del material de anclaje y de la calidad del hormigón de base en la capacidad de respuesta de los anclajes in situ sobre hormigón endurecido. Se concluye que la propuesta del C.E.B. sobre el diámetro de la perforación es adecuada, que con resinas epoxi se alcanzan mayores tensiones adherentes que con morteros de base cemento aunque, por contra, proporciona una mayor tendencia al splitting y que, respecto de las barras hormigonadas in situ, el comportamiento adherente empeora a medida que aumenta la calidad del hormigón de base.

PALABRAS CLAVE:

Anclaje in situ, resina epoxi, mortero retracción compensada, diámetro perforación.

1. INTRODUCCION.

Tanto en obras de intervención sobre estructuras de hormigón como en obras con piezas prefabricadas de este mismo material, con relativa frecuencia se plantea el problema de anclar armaduras en hormigón ya endurecido, cuestión que ha recibido una atención relativamente escasa por lo que a la investigación se refiere **(1,2,3)**, contrariamente a lo que ha sucedido con los anclajes comerciales.

La manera de proceder habitual al realizar este tipo de anclaje in situ consiste, básicamente, en efectuar una perforación en hormigón, endurecido por medios mecánicos, realizar una cuidadosa limpieza de la perforación, rellenar la misma con un material conglomerante y, finalmente, introducir la armadura que se desea anclar. No obstante, existen numerosos interrogantes aún no resueltos a la hora de dimensionar en cada caso concreto el anclaje.

Entre las cuestiones no definitivamente sancionadas cabe citar la influencia del diámetro de la perforación, de la naturaleza y propiedades del material conglomerante y de la historia de carga; del efecto grupo (interacción entre diversos anclajes sucesivos); de la calidad del hormigón endurecido; del grado de confinamiento de la perforación o perforaciones a efectuar (espesor del recubrimiento de la armadura y cuantía de armadura de confinamiento), y de la acción simultánea de esfuerzos normales y de cortadura.

2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO.

El presente trabajo se centra en los anclajes in situ en hormigón endurecido y su objetivo básico consiste en analizar experimentalmente la influencia del diámetro de la perforación efectuada, del material de relleno de la misma y de la calidad del hormigón original ya endurecido.

Para alcanzar el objetivo planteado se contempla las siguientes variables:

a) Dos diámetros de perforación: 25 mm. y 32 mm.

b) Dos materiales conglomerantes: una resina epoxi de anclaje de 3 componentes **(E)**, y un mortero de retracción compensada (ligeramente expansivo) y autonivelante **(M)**.

c) Tres hormigones de base: H-1, H-2 y H-3, con contenidos de 250 Kg/m³, 300Kg/m³, y 350 Kg/m³ de cemento, respectivamente.

El diámetro de las perforaciones se ha fijado a partir del diámetro real de la armadura, considerando que se obtiene multiplicando el factor 1,2 por el diámetro nominal. Dado que éste se ha fijado en 16 mm., se ha obtenido un diámetro real de 19,2 mm. que, redondeado a 20 mm., da una holgura mínima total de 5 mm. en un caso y, en otro, de 12 mm.

Los 3 componentes de la resina de anclaje empleada son: dos partes de resina epoxi de baja viscosidad, una parte de endurecedor de bajo viscosidad (amina alifática) y doce partes de arena de cuarzo.

Las barras de acero empleadas han sido de calidad nominal AEH 400S, con un diámetro nominal de 16 mm.

Para la fabricación de los 3 hormigones de base se ha empleado tres áridos silíceos: una grava rodada 5/20 y dos arenas de machaqueo (0,32/2,5 y 0,16/0,63), dando lugar a las 3 dosificaciones siguientes por m³. de hormigón.

H-1) Cemento: 250 Kg., Agua: 150 l.; Grava: 917 Kg.; Arena gruesa: 733 Kg., y Arena fina: 387 Kg.

H-2) Cemento: 300 Kg.; Agua: 180 l.; Grava: 1.018 Kg.; Arena gruesa: 595 Kg., y Arena fina: 307 Kg.

H-3) Cemento: 350Kg.; Agua: 210 l.; Grava: 1.148 Kg.; Arena gruesa: 413 Kg., y Arena fina: 233 Kg.

Para analizar la influencia de las 3 variables en estudio, se ha realizado ensayos de pull-out **(4)**, fabricando un total de 54 probetas de 20X20X20 cm. destinadas a esta técnica de ensayo, más 18 probetas cilíndricas para caracterizar, mediante su ensayo a compresión, las 6 armadas correspondientes, tal y como se expresa en la Tabla 1. En ésta, se denomina Patrón a las probetas cúbicas

TIPO DE HORMIGON	Patrón	Ø25M	Ø25E	Ø32M	Ø32E	CIL.
H-1	Amasada 1	3	3	-	-	3
	Amasada 2	3	-	-	3	3
H-2	Amasada 3	3	3	-	-	3
	Amasada 4	3	-	-	3	3
H-3	Amasada 5	3	3	-	-	3
	Amasada 6	3	-	-	3	3
TOTALES		18	9	9	9	18

Tabla 1. Resumen del plan de trabajo

HORMIGON	TENSION kp/cm ²	P25	Ø25M	Ø25E	P32	Ø32M	Ø32E
H-1	$\tau_{0,01}$	24,86 (20,01)	25,69 (24,37)	60,51 (13,21)	30,66 (40,01)	37,70 (-)	96,15 (88,26)
	$\tau_{0,1}$	89,52 (5,56)	96,98 (11,75)	201,43 (3,26)	92,84 (16,70)	72,94 (45,40)	237,08 (14,28)
	τ_m	97,67 (6,97)	120,70 (5,77)	165,33 (2,85)	102,83 (14,23)	122,28 (2,13)	202,54 (18,32)
	τ_u	178,64 (4,64)	216,00 (5,21)	234,20 (5,14)	185,00 (9,50)	185,00 (29,74)	274,00 (0,22)
H-2	$\tau_{0,01}$	36,47 (7,88)	31,49 (44,91)	63,82 (12,52)	33,15 (8,65)	19,06 (7,54)	59,68 (7,21)
	$\tau_{0,1}$	126,00 (15,33)	124,34 (5,28)	222,16 (3,41)	139,26 (6,18)	60,51 (14,43)	242,05 (2,37)
	τ_m	139,49 (10,02)	149,27 (7,13)	201,11 (2,70)	151,69 (2,58)	110,03 (15,93)	214,91 (1,91)
	τ_u	256,00 (8,50)	292,00 (8,42)	317,00 (1,02)	283,00 (2,30)	211,00 (8,07)	343,00 (2,04)
H-3	$\tau_{0,01}$	41,44 (13,86)	32,12 (9,11)	30,43 (22,06)	68,80 (5,52)	24,86 (28,30)	47,25 (32,01)
	$\tau_{0,1}$	165,79 (11,359)	125,98 (11,08)	153,88 (18,15)	212,21 (3,58)	76,26 (27,15)	180,71 (12,71)
	τ_m	169,27 (4,43)	122,36 (20,97)	152,78 (11,84)	205,34 (1,78)	134,25 (33,59)	184,32 (7,13)
	τ_u	303,00 (1,93)	209,10 (28,93)	283,56 (8,68)	335,00 (0,30)	230,00 (7,31)	325,00 (5,06)

Tabla 2. Tensiones de adherencias obtenidas () = Coeficiente de variación en %

HORMIGON	TENSION kp/cm ²	Ø25M/P25	Ø32M/P32	Ø25E/P25	Ø32E/P32
H-1	$\tau_{0,01}$	1,03	1,22	2,43	3,14
	$\tau_{0,1}$	1,08	0,79	2,25	2,55
	τ_m	1,24	1,19	1,69	1,97
	τ_u	1,21	1,00	1,31	1,48
H-2	$\tau_{0,01}$	0,86	0,57	1,75	1,80
	$\tau_{0,1}$	0,99	0,43	1,76	1,74
	τ_m	1,07	0,75	1,44	1,42
	τ_u	1,14	0,75	1,24	1,21
H-3	$\tau_{0,01}$	0,78	0,36	0,73	0,69
	$\tau_{0,1}$	0,76	0,36	0,93	0,85
	τ_m	0,72	0,65	0,90	0,90
	τ_u	0,69	0,69	0,94	0,97

Tabla 3. Tensiones de adherencias relativas respecto de las probetas patrón.

convencionales y Ø 25M, Ø 25E, Ø 32M y Ø 32E a las probetas con perforaciones de 25 y 32 mm. de diámetro, según que la perforación se haya rellenado con mortero de base cemento (**M**) o resina de anclaje (**E**).

Se ha efectuado la totalidad de las perforaciones con brocas Hilti de 25 mm. y 32 mm. de diámetro, cuando las probetas, fabricadas con el hormigón de base correspondiente, han alcanzado la edad de 19 días; 2 días después, tras la oportuna limpieza con aire y agua a presión, se ha rellenado tales perforaciones, previa introducción de las armaduras, compactando el material de relleno y efectuando los ensayos de adherencia y de compresión a la edad de 28 días.

3. RESULTADOS Y DISCUSION.

Se ha resumido los principales resultados de los ensayos de adherencia en la Tabla 2, no corrigiéndolos dada la similitud existente entre las resistencias a compresión obtenidas para cada una de las dos amasadas efectuadas por hormigón: 140 kp/cm² y 142 Kp/cm² en el hormigón H-1; 276 Kp/cm² y 274 Kp/cm² en el hormigón H-2, y 413 Kp/cm² y 432 Kp/cm² en el hormigón H-3.

Se aprecia que, en general, los coeficientes de variación de τ_m y τ_u son inferiores al 15% y al 8%, respectivamente, de acuerdo con las previsiones del C.E.B. (**5**), y, que, por término medio, es mayor la variabilidad de los resultados al rellenar las perforaciones con el mortero de base cemento.

HORMIGON	TENSION kp/cm ²	Ø25E/Ø25M
H-1	$\tau_{0,01}$	2,36
	$\tau_{0,1}$	2,08
	τ_m	1,37
	τ_u	1,08
H-2	$\tau_{0,01}$	2,03
	$\tau_{0,1}$	1,79
	τ_m	1,35
	τ_u	1,09
H-3	$\tau_{0,01}$	0,95
	$\tau_{0,1}$	1,22
	τ_m	1,25
	τ_u	1,36

Tabla 4. Tensiones de adherencia de la resina respecto del mortero

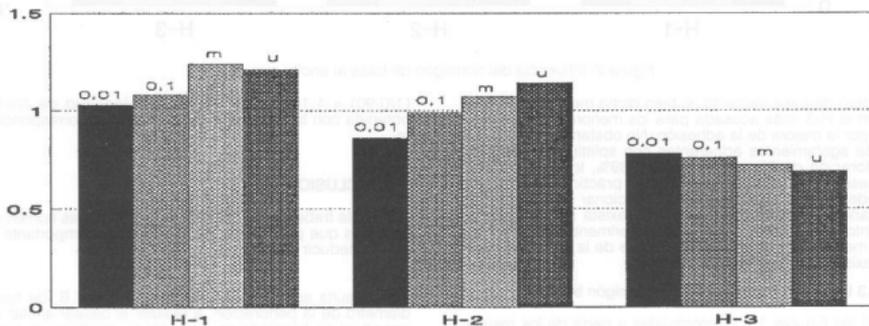


Figura 1. Influencia del hormigón de base al anclar con mortero de base cemento.

3.1. Influencia del diámetro de la perforación.-

En la Tabla 3 se ha relativizado las tensiones de adherencia obtenidas con las probetas perforadas respecto de las de las correspondientes probetas patrón.

De esta Tabla 3 se deduce que, utilizando el mortero de base cemento para rellenar la perforación, en todos los casos se ha obtenido valores relativos de τ_m y τ_u mayores con el diámetro de 25 mm. que con el de 32 mm., excepto para τ_u en H3 que son iguales. Ello puede atribuirse al hecho de que, a menor diámetro, mayor ha resultado la presión de confinamiento entre la armadura y el hormigón de base, lo que también parece avalar el hecho de que, generalmente, son mayores las tensiones relativas correspondientes a los deslizamientos más elevados.

Con el uso de la resina de anclaje, en cambio, la influencia del diámetro de la perforación ha resultado irrelevante desde un punto de vista mecánico, aunque ligeramente a favor de la perforación de 32 mm., tal vez porque, dada la elevada viscosidad del material, se ha alcanzado en este caso una mayor compactación.

Por tanto, por razones mecánicas en el caso del mortero de base cemento y económicas en el de la resina de anclaje, parece que los resultados de esa investigación avalan la propuesta de C.E.B. (**1**), según la cual el diámetro de la perforación $\varnothing_{\text{perf}}$ puede determinarse en la siguiente expresión:

$$\Phi_{\text{perf}} = (1,2 \cdot \varnothing_{\text{nom}} + 5) \text{ mm.}$$

3.2. Influencia del material de anclaje.-

Limitando la discusión a las perforaciones de 25 mm. de diámetro por las razones expuestas en 3.1., se ha construido la Tabla 4, relativizando las tensiones de adherencia obtenidas con resina epoxi respecto de las correspondientes al mortero de base cemento.

En esta Tabla 4 se aprecia claramente el mejor comportamiento mecánico de la resina de anclaje respecto del

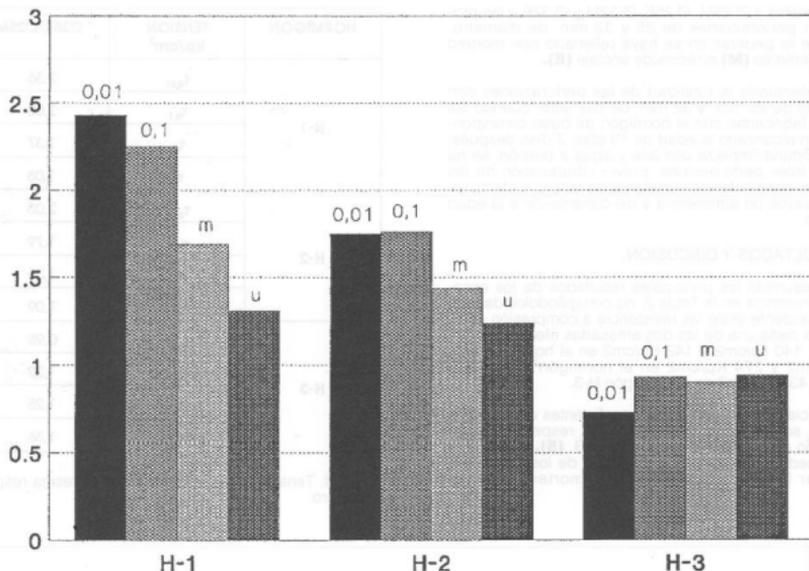


Figura 2. Influencia del hormigón de base al anclar con resina.

mortero de base cemento, si bien dicha mejora es, excepto en el H-3, más acusada para los menores deslizamientos por la mejora de la adhesión. No obstante, el porcentaje de agotamientos adherentes con splitting ha sido con perforación de 25 mm, resina del 89%, lo cual indica la necesidad de tener en cuenta en la práctica cuestión que puede resultar trascendente al sancionar esta modalidad de anclaje, en especial caso que exista menor confinamiento que en el caso de esta experimentación, bien por ser menor la distancia hasta el borde de la pieza, bien por no existir armadura de confinamiento.

3.3 Influencia de la calidad del hormigón base.-

En las Figuras 1 y 2, construidas a partir de los resultados que se da en la Tabla 3 para las perforaciones de 25 mm, de diámetro, así como en esa misma Tabla, se aprecia que el valor de las tensiones de adherencia obtenido con las probetas perforadas, relativizado respecto de las patrón, va disminuyendo, para ambos materiales y cualquier deslizamiento, a medida que aumenta la calidad del hormigón de base, aunque de modo mucho más acusado al anclar con resina.

Así, en la presente experimentación se observa que si el diámetro de la perforación es de 25 mm.:

a) Hasta el H-2 ($f_c = 275 \text{ Kp / cm}^2$), con mortero de base cemento, se ha obtenido valores de τ_m y τ_u superiores a los registrados durante el ensayo de las probetas patrón, fenómeno mucho más acusado al rellenar las perforaciones con resina anclaje.

b) Con el H-3 ($f_c = 425 \text{ Kp / cm}^2$) y mortero de base cemento la τ_u relativa ha sido 0,69, lo cual supone una merma adherente muy significativa, que aconseja, a falta de mayor información, multiplicar la longitud de anclaje derivada de la normativa empleada para obras de nueva planta por el factor $(1/0,69) = 1,45$. Con la resina, la distancia hasta los valores registrados en las probetas patrón es menor, pero dado que la τ_u relativa ha sido de 0,90, también en este caso parece aconsejable el uso de un factor

$(1/0,90) = 1,10$ a multiplicar por la longitud de anclaje obtenida con la aplicación de la normativa correspondiente.

CONCLUSIONES

De este trabajo experimental, no obstante las numerosas variables que puede que influyan de modo importante, se puede deducir que:

1º Resulta adecuada la propuesta del C.E.B. de fijar el diámetro de la perforación, a realizar al desear anclar una armadura en hormigón ya endurecido, mediante la expresión:

$$\Phi_{\text{per}} = (1,2 \cdot \Phi_{\text{nom}} + 5) \text{ mm.}$$

2º En todos los casos, se ha obtenido mayores tensiones de adherencia con el uso de la resina de anclaje que con el mortero de base cemento.

3º La mayor tendencia al agotamiento con splitting al emplear resina de anclaje, debe tenerse presente en los casos reales con escasa posibilidad de existencia de presión de confinamiento, y es tema que precisa ser cuantificado en futuras investigaciones.

4º El comportamiento adherente de las probetas perforadas ha empeorado de modo considerable respecto de las probetas patrón al aumentar la calidad del hormigón de base. Es necesario, también profundizar en esta cuestión hasta cuantificarla adecuadamente.

BIBLIOGRAFIA

(1) C.E.B.T.G. 12: "Assesment of Concrete Structures and Desing Procedures for Upgrading". C.E.B. Bull. Nº 162. Lausanne, Agosto 1983.

(2) EIBL, J.; FRANKE, L.; HJORTH, O.: "Versuche mit Kunstharzmörtel". Die Bautechnik, 1972/10.

(3) ELFGREN, L.; BROMS, C.; CEDERWALL, K.; GYLLOFT, K.: "Anchor Bolts in Reinforced Concrete

Foundations". Anchorage to Concrete, A.C.I. SP-103. 2ª edición. Detroit, Michigan, 1988.

(4) R.I.L.E.M./ C.E.B./ F.I.P.: "Recommendations on Reinforcement Steel for Reinforced Concrete". C.E.B. News nº 73. Mayo, 1983.

(5) C.E.B.T.G. VI/1.: "Anchorage zones. Bond Action and Bond Behaviour of Reinforcement. State-of-the-Art-Report". C.E.B. Bull. nº 151. Abril, 1982.

THE CHROMATIC ALTERATION OF COLOURED LIMESTONES: THE BOTTICINO STONE (BRESCIA- ITALY)

G. Alessandrini, R. Bugini, L. Toniolo

Centro CNR "Gino Bozza" Politecnico di Milano - Italy

ABSTRACT

The chromatic alteration of the "Botticino stone", a cream coloured limestone, is enhanced. The stone exposed to the atmosphere becomes white coloured. Three different hypotheses were experimentally verified: 1) surface sulphation; 2) surface calcite recrystallization; 3) texture change of the surface stone. The third hypothesis has proved to be the most suitable. Indeed, gypsum and recrystallized calcite layer are absent; the external surface shows calcite crystals without cohesion in comparison with the close-packed crystals of the bulk. The phenomenon is caused by the acid rain-water action.

RESUME

On a étudié l'alteration chromatique du calcaire nommé "pierre de Botticino". Le calcaire a une couleur crème qui devient blanc lorsque la pierre est exposée à l'atmosphère. On a vérifié trois hypothèses diverses: 1) sulphatation de la surface; 2) récrystallisation de la calcite sur la surface; 3) changement de la structure superficielle de la pierre. Les résultats ont montré que la troisième hypothèse est la plus valable. En effet le gypse et la calcite récrystallisée sont absents sur la surface de la pierre qui montre, seulement, des cristaux de calcite qui ont perdu leur cohésion. Cette phénomène est causée par l'action de l'eau acide.

KEYWORDS

Limestone - Whitening - Intercrystalline Texture - Acid corrosion

1. INTRODUCTION

The use of coloured limestones (red, pink, grey and black) is very diffused in Italian architecture. The colour of these limestones was the most important feature for their employ, though they are liable to colour change when exposed to the atmosphere.

In most cases, the observed colour change is a whitening of stone surface; this kind of alteration has never been deeply investigated and the causes of this phenomenon is often unknown. Only the discoloring of black limestone (like "Grande Antico d'Italia") has been explained with the oxidation of the organic matter included in the bulk of the stone (1). The comprehension of this change is, although, of great importance in the planning of conservation work concerning limestone artifacts.

The present study considers the case of "Botticino stone", a limestone quarried in the hills surrounding Brescia (Lombardy Italy) and employed from roman age up to date.

2. 'BOTTICINO' LIMESTONE 2.1 GEOLOGICAL SKETCH

"Botticino stone" is a massive limestone with uniform and very fine grain size; the colour is cream with different lightness: IOYR 8/1 - IOYR 9/1 Munsell notation; often, small whitish spots and thin veins are present.

"Botticino stone" belongs to "Corna" formation - Upper Retic Lower Lias - typical of eastern Lombardy. "Corna" is a marine formation of a low depth basin with continuous subsidence. The formation is about 500 m thick. The stone outcrops in a large area from Lake Iseo to Lake Garda (2).

Main quarries are located in the hills near Brescia (Botticino, Virle, Mazzano).

The stone is characterized by massive layers of 3-4 m thickness. Each layer is composed of overlaid different levels; the level surfaces are stylolitic. The bedding is enhanced by thin layers of clay material (yellow-greenish) due to the insoluble residue coming from the stone solution.

Microscopical observations on thin sections show the presence of very fine calcite crystals undistinguishable at usual magnification (Fig. 1).

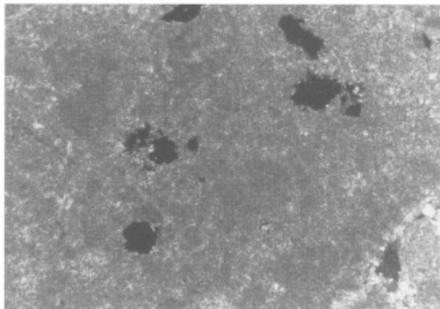


Figure 1 "Botticino" limestone, thin section. Very fine calcite crystals constitute the bulk of the stone

The texture is homogeneous, but sometimes roundish aggregates of calcite are visible (Fig.2). A mosaic of large calcite crystals are present in the veins (Fig.3).

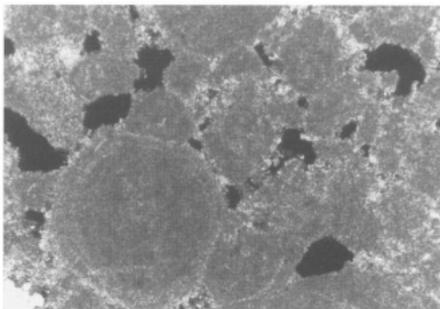


Figure 2 "Botticino" limestone, thin section. Roundish calcite aggregates are often observed.

The colour is due both to iron compounds (haematite, goethite and amorphous iron hydroxide) and to clay minerals (mainly illite).

SEM observations enhance a very compact texture with irregular shaped crystals.

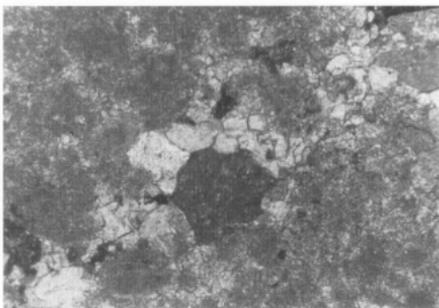


Figure 3 "Botticino limestone, thin section. Large calcite crystals are evident in the veins.

Basal levels of "Corna" formation are characterized by dolomitization. The euhedral dolomite crystals size is from 0.1 to 0.2 mm.

The stone total porosity is low: 0.1-0.3% Mazzano quarries; 0.3-2.0% Botticino quarries; 0.4-0.6% Virle quarries; the distribution of pores volume as a function of pores diameter differs also in the same quarry.

2.2 USES

"Botticino stone" was mainly used in Brescia. Several roman artifacts witness this limestone employ, both for structural and ornamental elements (Capitolium, Theatre). Some roman building stones have been reemployed in medieval masonry (San Salvatore). In the Renaissance age, "Botticino stone" was widely used: Church of S.Maria dei Miracoli and the Loggia (15th century) being the most important examples. This limestone has been used also in the subsequent centuries: Brescia Cathedral and San Faustino Church - 17th century; the Cimitero Monumentale of Milan, the Vittoriano in Rome and the Queen Victoria Monument in Allahabad (India) -19th century.

2.3 ALTERATION FEATURES

The Botticino limestone artifacts are, up to date, characterized by an opaque white surface (Munsell Not. N.8,25), corresponding to in the zones washed out by the rain-water. Other kinds of decay, such as advanced corrosion, scaling or detachments are not present. The limestone surface is in a general good state of conservation, except colour changing; this is particularly evident for the sculptured stones.

Only a very slight increase of total porosity, of the exposed limestone, has to be pointed out (total porosity of altered material about 1%).

3. EXPERIMENTAL METHODS

The following analytical methods were employed:

- X-rays diffractometry on powdered samples;
- stereomicroscopy;
- optical microscopy on thin sections;
- optical microscopy on polished cross sections;
- scanning electron microscopy equipped by an energy dispersive spectrometer;
- mercury porosimetry.

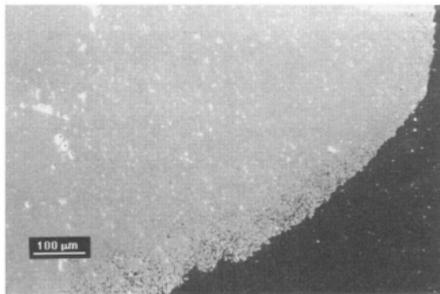
4. RESULTS AND DISCUSSION

Three different hypotheses about the chromatic alteration of "Botticino stone" were checked:

- A) whitening is due to the surface sulphation;
- B) whitening is due to a surface layer of recrystallized calcite; such recrystallization takes place after the solution of the limestone caused by the acid rain-water;
- C) whitening is due to a textural change of the surface calcite in which the new compounds formation is not involved.

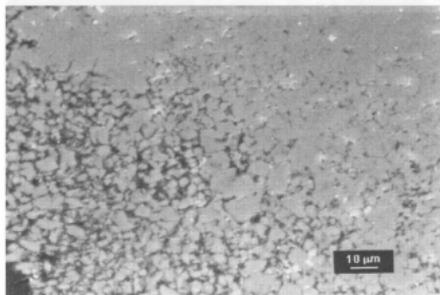
Diffractometric analyses carried out on a thin surface layer of discoloured samples didn't point out the presence of gypsum, also in trace amounts (3). So, the first hypothesis (A) is not suitable. Microscopical observations both on thin and cross sections didn't show a calcite layer overlapped to the inner calcite; a sharp separation between the surface and the limestone bulk, is not evident (Fig.4), so that the B hypothesis is not suitable too.

Figure 4. "Botticino" limestone; polished cross section. A calcite layer separated from the calcite of the bulk is not visible.



On the other hand, the micrographs (Fig.5 and 6) show clearly the crystalline texture slowly changing from a close-packed crystalline system in the limestone bulk to a texture characterized by intercrystalline discontinuities towards the surface.

Figure 5. Botticino altered sample; polished cross section; the crystalline texture slowly changes moving from the bulk towards the surface.



If the white surface layer is observed at increasing magnification, one may observe the crystals detached from each other (Fig.7).

On the contrary, the calcite crystals are strongly packed in the bulk of the limestone (Fig.8).

Figure 6. Botticino altered sample; cross section. The surface crystals detachment is particularly evident.

Figure 7. Botticino altered sample; surface. The calcite crystals are clearly distinguishable.



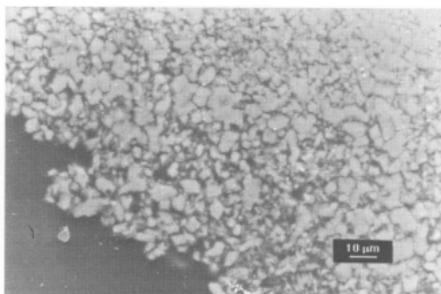
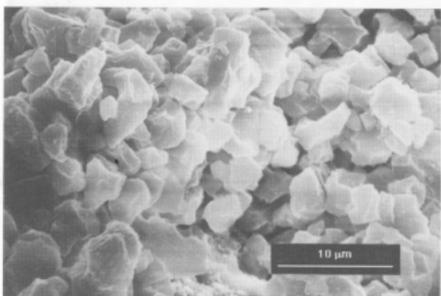
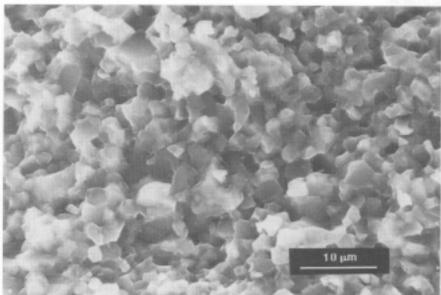


Figure 8. Botticino limestone; bulk. The calcite crystals are closely packed in the bulk of the stone.



Many examined areas show a marked surface loss of



crystals cohesion (Fig.9); this layer being 0,1 mm thick at least.

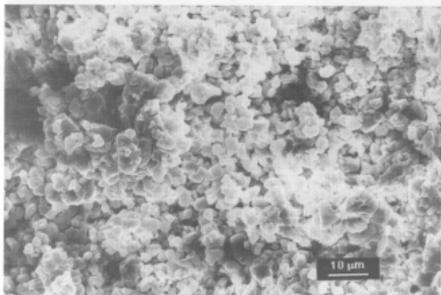
The powdering phenomenon of the stone surface derives from this texture change. On its turn, the surface texture change is due to a particular kind of corrosion: acid rain-water and/or dew dissolve the boundary of calcite crystals causing their reciprocal detachment.

Therefore the limestone discolouring isn't due to the formation of new compounds (such as gypsum or recrystallized calcite) but to a changed surface light reflection caused by the new intercrystalline distances. The loss of the pigments (iron compounds) hasn't to be neglected too; infact, if these compounds lay round the single crystal, they

are easily washed out during the limestone corrosion process. It is very difficult to verify this statment because the amount of iron pigments is almost undetectable.

Figure 9. Botticino altered sample; surface. Calcite surface crystals show an evident loss of cohesion.

At the end, the intercrystalline corrosion of Botticino



limestone is a natural kind of decay, well accelerated, in the last years, by the increase of carbon dioxide and other pollutants in the down town atmosphere.

CONCLUSIONS

The decay that characterizes Botticino limestone, when exposed to the atmosphere and to the water action, is a texture modification of surface calcite caused by intercrystalline corrosion; surface whitening and powdering being the visible consequences. Though, this phenomenon doesn't compromise the stone state of conservation as it involves only a very thin layer of material: the whole stone shows a very good resistance to weathering. In the cleaning phase of limestone surfaces, the thin layer of uncoherent calcite is lost, leaving a safe material which need only protection.

REFERENCES

- 1) Fagnani G., Il calcare di Botticino - Brescia. *Rivista di Scienze Naturali*, XL 1949.
- 2) Alessandrini G. et al., Indagini tecniche. in *S.Maria dei Miracoli in Brescia: il restauro*, printing in progress.
- 3) Del Monte M., Forti P., Interazione tra aerosol atmosferico e superfici carbonatiche: patine nere e patine bianche. *SEP Pollution, Inquinamento atmosferico* Padova 1-5 Aprile 1990, pp. 143-153.

ESTUDIO FISICO-QUIMICO, MINERALOGICO Y TECNOLOGICO DE ARCILLAS CERAMICAS DE LA ISLA DE GRAN CANARIA

*A.M. ALLOZA MORENO - **F. MORALES POYATO

*DPTO. DE INGENIERIA DE LA CONSTRUCCION. UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA. TENERIFE ISLAS CANARIAS E INSTITUTO DE CERAMICA Y VIDRIO **CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS. MADRID. ESPAÑA.

SUMARIO.

Se realiza un estudio de las muestras de suelos de la isla de Gran Canaria, desde el punto de vista de su posibilidad de utilización como materia prima en la industria cerámica.

Para ello se han seleccionado cuatro muestras sobre las que se han realizado las siguientes determinaciones: Difracción de rayos X, Análisis químico, Plasticidad (Límites de Atterberg), Curva de secado (Curva de Bigot), Microscopía de calefacción. Se ha elegido la muestra más representativa para realizar un estudio cerámico completo.

Finalmente se discuten los resultados obtenidos y se ofrece la vía más apropiada para su utilización cerámica.

SUMMARY

Some samples of the soil of Gran Canaria have been studied from the point of view of its possibilities to be used as building construction materials.

Includ four samples have been studied. The work has include: X rays diffraction, quimical analysis, Atterberg limits, dried curve (Bigot curve), Heating microscopia. The most representative sample has been chosen in order to have a very complete ceramic study.

Finaly all the results have been discused and the most appropriate way for its application is offered.

PALABRAS CLAVE

Tecnología de materiales. Elemento constructivo. Ladrillo. Arcillas.

INTRODUCCION

La naturaleza mineralógica de las muestras, así como su plasticidad, curva de secado, explican las propiedades cerámicas de alguna de ellas.

Se han realizado las siguientes determinaciones: Difracción de rayos X, análisis químico, plasticidad, curva de secado, microscopía de calefacción.

De todos los suelos elegimos (8) la muestra más representativa en cuanto a propiedades cerámicas, para someterla a extrusión y calcinación a las temperaturas 800°C, 850°C, 900°C, 950°C y 1000°C. Seguidamente se evalúa su posible aplicación al campo cerámico.

1.- PARTE EXPERIMENTAL:

1.1.- Difracción de Rayos X:

El estudio mineralógico de la fracción Limo-Arcilla de las muestras de los suelos seleccionados se exponen en la tabla 1.

1.2.- Análisis químico:

El análisis químico muestra la presencia de sílice, óxidos de aluminio, de hierro y de titanio como componentes mayoritarios (tabla2).

1.3.- Plasticidad:

El ensayo de plasticidad (1), realizado según normas UNE-7002 y UNE-7006 (Cuchara de Casagrande) (2), estos límites dan unos valores prácticos que permiten hacer comparaciones de unas arcillas con otras.

Las muestras 1, 2 y 3 son arcillas de alta plasticidad y 4 de baja y media (Tabla 3, fig.1).

1.4.- Curva de secado:

En la tabla 4, figura 2 se dan los resultados de secado tienen un valor comprendido entre 14 y 8% estos valores son altos, peor no obstante necesita añadir una arena para rebajar esta contracción a un 3% o un 4%, para que no ocasionen problemas en el secado.

1.5.- Microscopía de calefacción:

Por microscopía de calefacción se ha revelado, (fig.3) los comportamientos térmicos de las muestras en estudio.

2.- PREPARACION DE PROBETAS:

Para la realización de algunos ensayos cerámicos se ha elegido la muestra 4 como más idónea por su plasticidad y secado para someterla al proceso de extrusión.

2.1.- Ensayos de cocción:

Con la humedad óptima (4) se ha extrusionado piezas de ladrillo hueco doble de 70°38°30 mm. en la muestra 4, después de seca en estufa con ventilación de aire forzada, se han cocido en horno eléctrico, subiendo la temperatura a 30° C/min, manteniéndola durante 1 hora, y enfriando las probetas con el horno. Se ha determinado la contracción húmedo-cocido y la capacidad de absorción de agua de probetas cocidas a 800°, 900°, 950° y 1000 °C. (Tabla 5 y 6)

3.- DISCUSION DE RESULTADOS:

El estudio físico-químico, mineralógico y tecnológico realizado en muestras de suelo de la isla de Gran Canaria nos ha permitido llegar a los siguientes resultados:

Existen en la isla arcillas con características adecuadas para la fabricación de ladrillo de buena calidad, muestras 1, 3 y 4.

La muestra 2 está situada fuera de las zonas aconsejables para la fabricación de materiales de construcción, quedando no obstante la opción de mezclar con otros materiales que permitan incluirlas en las zonas adecuadas (5).

Respecto de la plasticidad de las muestras según los límites de Atterberg, (propiedad indispensable para el control de calidad de las arcillas), las arcillas con mejores características desde el punto de vista de moldeo y secado, son aquellas con un índice de plasticidad (3) comprendido entre 10 y 30. En nuestro caso las muestras recomendables son: 1, 3 y 4.

Los ensayos cerámicos de la muestra extrusionada han

mostrado que existe una clara correlación entre las variaciones de la contracción lineal y capacidad de absorción de agua.

En principio nuestros mejores resultados nos permiten afirmar que se encuentra en Gran Canaria abundancia de materiales que reúnen las mejores condiciones para su empleo alternativo en la fabricación de productos cerámicos. La potencia de estos yacimientos determinará la posibilidad de su utilización a gran escala.

BIBLIOGRAFIA

1.- Alloza, A.M., Morales F. Arcillas cerámicas de la Isla de Tenerife. I Reunión Luso-Española de Ciencia Cerámica y Vidrio (1987), p. 42-55

2.- Atterberg, A. Über die physikalische bodenuntersuchung und über die plastizität der tone. International Mitteilug für Bodenkunde. Vol. 13, (1932)

3.- Casagrande, A. Research in Atterberg's limits of soils. Public Roads, Vol. 13, (1932)

4.- Gippini, E. Pastas cerámicas. Sociedad Española de

Cerámica y Vidrio, (1979)

5.- Latapie, J.P. La plasticité et la viscosité des argiles. Comunicación privada. (1977)

6.- Latapie J.P. Recherche de criteres simples dans l'etude des proprietes rheologiques des argiles. *Ceramurgia, Rimini* (1977).

7.- Mapa de Rocas Industriales. Instituto Geológico y Minero de España.

8.- Sociedad Española de Cerámica. "Memorias de la 1ª, 2ª, 3ª, y 4ª Semana de Estudios Cerámicos", Madrid (1963-1967)

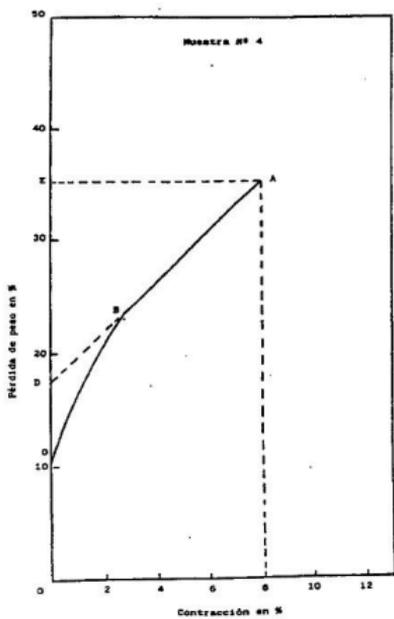
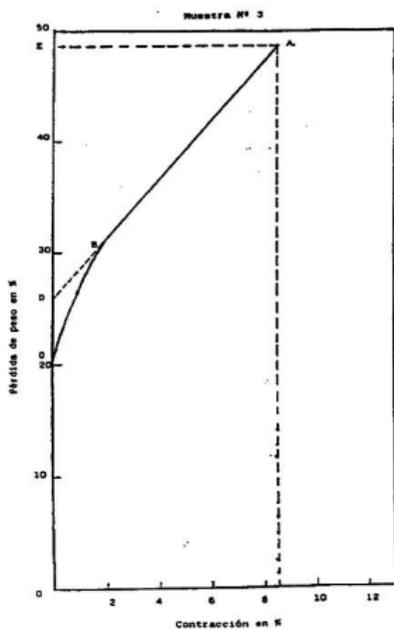
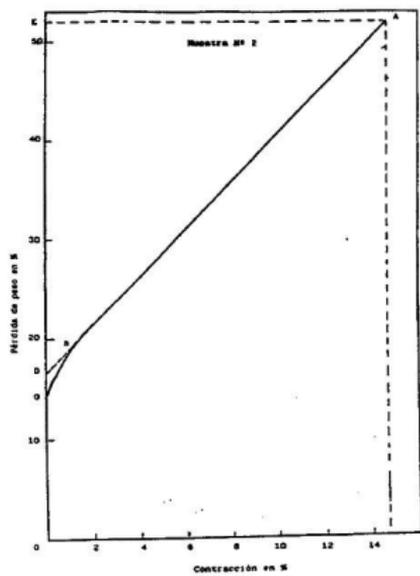
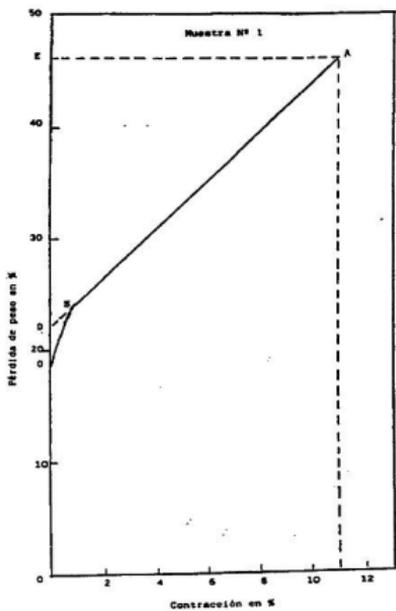


TABLA 1

RAYOS X			
Muestra	Mayoritario	Minoritario	Trazas
1	Q	Fd	I HT
2	Q, HH	MH, Fd	HT
3	Q	Fd	I HT, MH
4	Q	Fd I	HT, Fd

HH: Metahalosita; MH: Halosita Hidratada
I: Illita; Q: Cuarzo; Fd: Feldespato
HT: Hematites

TABLA 5

Temperatura °C	Contracción %
800	8,5
850	8,8
900	9,2
950	9,5
1000	9,7

TABLA 2

ANÁLISIS QUÍMICO

Muestra	Arcilla Nº1	Arcilla Nº2	Arcilla Nº3	Arcilla Nº4
Oxido				
Pérdida por calcinación	10,37	10,21	12,43	8,15
SiO ₂	47,19	38,65	23,60	53,67
Fe ₂ O ₃	11,98	23,53	30,19	10,47
TiO ₂	2,67	5,48	11,05	2,71
Al ₂ O ₃	23,97	20,02	21,32	20,44
MgO	0,78	0,47	0,90	0,74
CaO	0,29	0,07	0,09	0,28
MnO	0,24	0,01	0,08	0,21
K ₂ O	1,59	0,62	0,05	2,08
Na ₂ O	0,21	0,085	0,145	0,48

TABLA 3

Plasticidad
Límites de Atterberg

Muestra Nº	Límite Líquido %	Límite Plástico %	Límite Sólido %	Índice de plasticidad %
1	60,26	38,75	24,48	21,51
2	67,95	34,99	37,50	32,96
3	62,50	40,17	29,17	22,33
4	41,18	27,26	22,56	13,92

TABLA 4

Secado
Curva de Bigot

Muestra Nº	Agua de amasado %	Agua de interposición %	Agua coolidad %	Relación Int/col %	Contracción %
1	46,0	22,00	24,0	0,91	11,0
2	52,4	17,00	35,4	0,48	14,5
3	48,6	25,9	22,7	1,14	8,5
4	35,2	17,4	17,6	0,99	8,0

TABLA 6

Temperatura °C	Capacidad de absorción %
800	16
850	15
900	14
950	13
1000	13

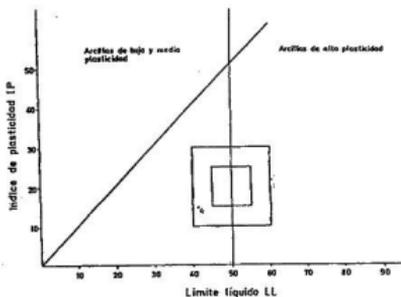
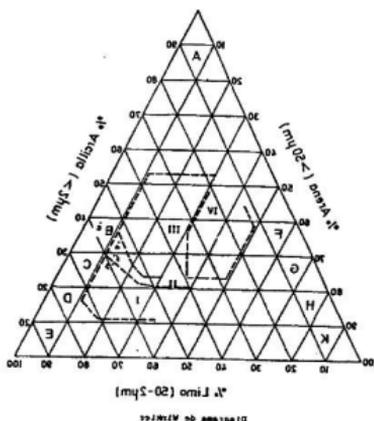
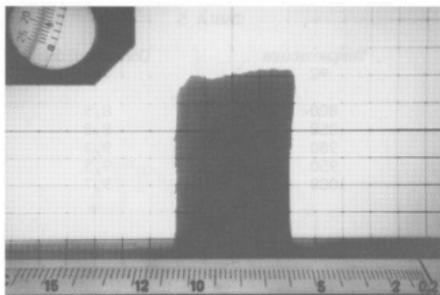
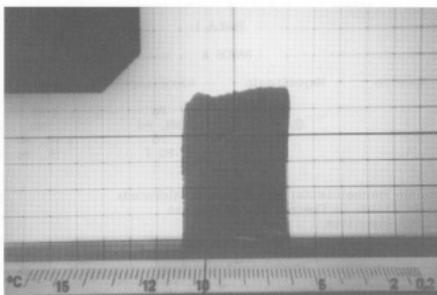


Diagrama de Casagrande

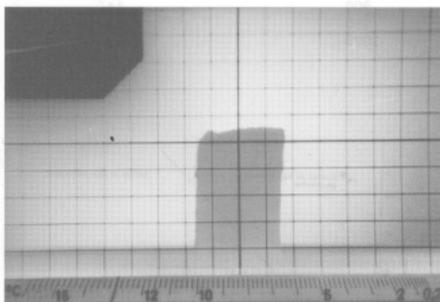




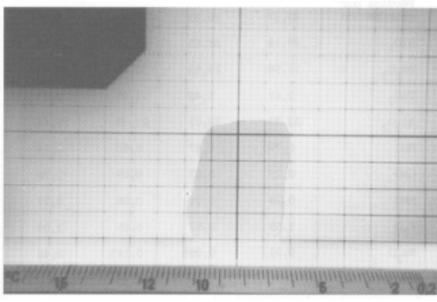
Muestra 1. 20° C



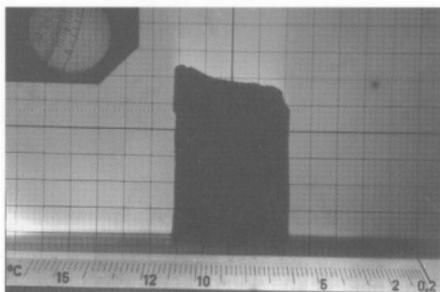
Muestra 1. 960° C



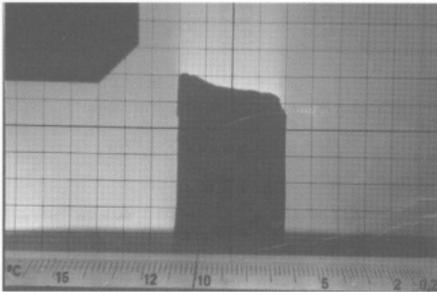
Muestra 1. 1300° C



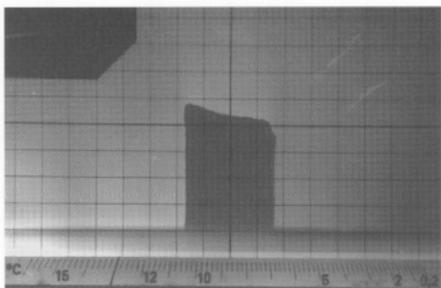
Muestra 1. 1460° C



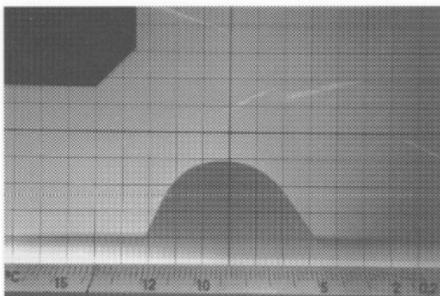
Muestra 2. 20° C



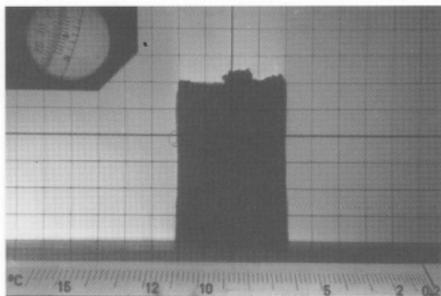
Muestra 2. 1000° C



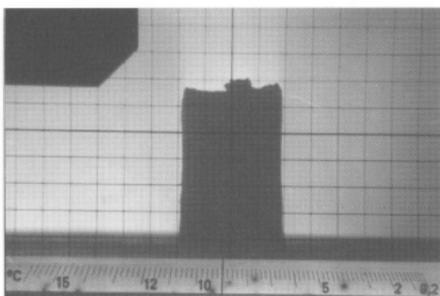
Muestra 2. 1.300° C



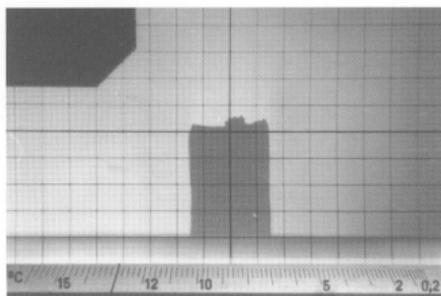
Muestra 2. 1.370° C



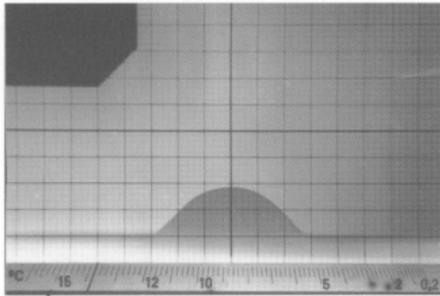
Muestra 3. 20° C



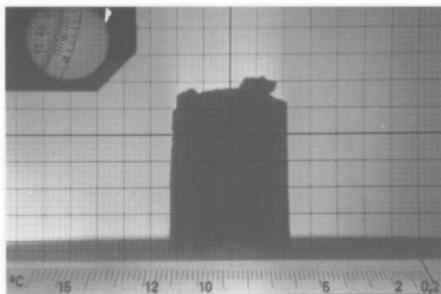
Muestra 3. 700° C



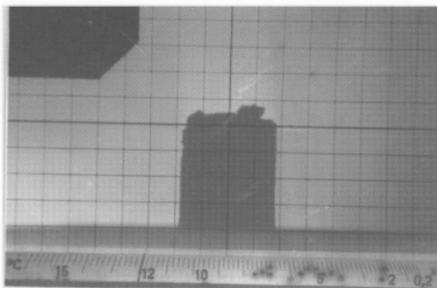
Muestra 3. 1.300° C



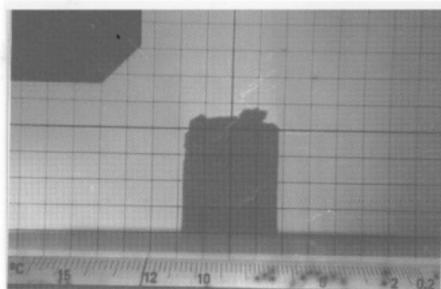
Muestra 3. 1.380° C



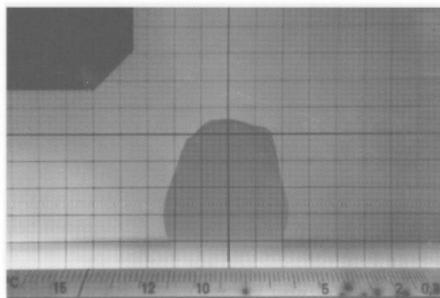
Muestra 4. 20° C



Muestra 4. 1.000° C



Muestra 4. 1.200° C



Muestra 4. 1.400° C



Muestra 4. 1.600° C



Muestra 4. 1.800° C

THE RELIEF OF MATERIALS OF THE MOLE VANVITELLIANA OF ANCONA

RODOLFO ANTONUCCI
UNIVERSITY OF ANCONA - ITALY

SUMMARY

The Mole Vanvitelliana is the antique Lazzaretto of the city of Ancona. The complex was built in the sea on an artificial island near the coast and at present it shows a remarkable degradation of materials. In particular this is more concentrated in some areas. To know the causes and to prepare the right works a relief of materials was carried out. This developed by means of cards and successive graphic restitution in such a way as to single out. The areas which showed the same kind of degradation as to select the most emblematic chances. Then both a series of physical and mechanical laboratory tests to know the material characteristics and the causes of degradation were made.

Relief, Restoring, Degradation of Materials.

INTRODUCTION

The Mole Vanvitelliana is the antique Lazzaretto of the city of Ancona, it was ordered by Pope Clemente XII. The architect was Luigi Vanvitelli, he supervised also the building which began in 1734. The building which has a pentagonal plan (fig. 1), is encircled with a boundary wall of identical shape and it was built in the sea on an artificial island near the coast (photo 1). In the building it is possible to individuate an higher print (a main body), intended to receive goods sheds to subject to quarantine and a smaller one, which appears on the internal court, which intended to receive offices, residences for receive offices, residences for employees at service, residence for quarantine people. The Mole, spoiled by time and by a uninterrupted degrading interventions, passed from the original purpose to barracks, to sugarfactory, and to finish was as a tobacco store.

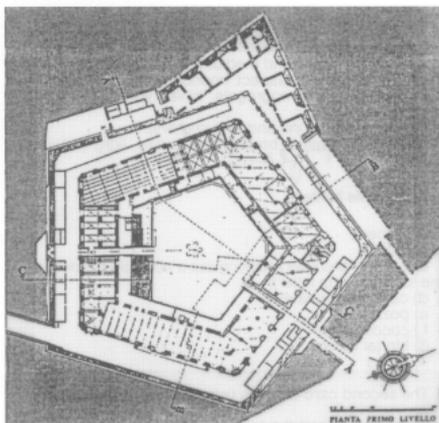


Fig. 1

Besides these workings which, as it was said, changed some parts of it in a macroscopic way, a complete absence of maintenance and numerous little interventions, caused the monument a remarkable degradation state (photo 2). At present the Mole Vanvitelliana belongs to Ancona

Townhall that wishes to restore and to employ it at the service of the town.



Photo 1.

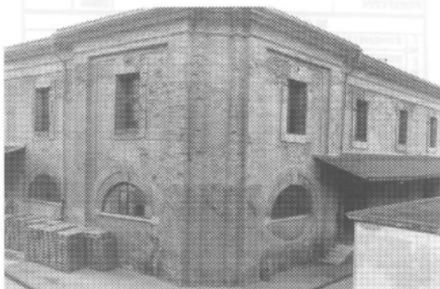


Photo 2.

THE RELIEF OF MATERIALS

Every intervention of restoration is made with a choice among various alternatives, choice which shall be made in respect not only with the history of the architecture but also and above all with the materials used for the building. The cognitive moment of material which makes a manufacture, is the necessary previous statement for a correct and not transgressing action to restore, since it individuates and point out the sequence of the events which "crossed" the existence of the building, making know histories and microhistories, showing additions and destructions. As regards to the above said, a campaign of relief of the walls was carried out with the aim to know materials and their degradation state. The campaign of relief was made in two fases. The former had the aim to reach a good knowledge of the building object of study and of materials by which it was erected, permitting also to draw a map of surface materials, of their degradation and of masonry thread. This part of research was based on:

- a preventive photographic campaign
- the historic research of the concerned building under examination
- the direct "visual" observation in situ with remarks, of the information on cards.

The previous photographic campaign had the aim to document the situation of the building in all its appearance and to help the graphic restitution in relief. The historic research, besides furnishing news on building problems appeared to Vanvitelli, the place of origin of materials (for different kilns furnished bricks), the approximate composition of mortar (with a base of pozzolana). The study of building manufacture with usual directions observation with annotation of the information on cards was more complicated. To make possible a reading and a relief which evidentiates the characteristics of materials of a brick-wall, we have thought to take into consideration this last one as a structural complex made with a connecting material (mortar) and elements bound together (bricks), on its turn in the same way, mortar being a composite material, was described according to its main components. In the cards, both materials (mortar and brick) and the brickwork itself, were classified with a minimum number of characterising voices or factors, able to take out from surface in view of the brickwork. The most possible quantity of remarkable information. The voices or factors considered, have the aim to describe macroscopically the brickwork, the materials forming the same and give the feasibility to detract their conservation state. Moreover these voices have got useful as they for a future spermental study on materials as they take into consideration factors which can change the strenght defor-

NOME EDIFICIO			
VIA E NUMERO			
C.D. NOME		PAGH.	
PROSPETTO		ZONA	
SECTO SUPERFICIALE			
I	DIMENSIONI (cm)	MAX.	MEDIA
N ASPETTO GRANULOMETRICO			
B	FORMA		
I	COLORE		
LEGANTE PRESUMIBILE			
COLORE DELLA MALTA			
NOTE:			
SECTO IPODERMICA			
I	DIMENSIONI (cm)	MAX.	MEDIA
N ASPETTO GRANULOMETRICO			
B	FORMA		
I	COLORE		
LEGANTE PRESUMIBILE			
COLORE DELLA MALTA			
NOTE:			
SECTO DI BLETTOGENTO			
I	DIMENSIONI (cm)	MAX.	MEDIA
N ASPETTO GRANULOMETRICO			
B	FORMA		
I	COLORE		
LEGANTE PRESUMIBILE			
COLORE DELLA MALTA			
NOTE:			
DATA		COMPILATORI	

mation, durability limits, etc. of mortar-bricks. We made two types of relief cards (fig. 2-3).

Fig. 2

The former is organized in five sectors (fig.2).

In this one, besides all the information which permit to prompt identification of the building, of the prospect and of the considered brickwork areas (2), are assembled all the information obtained concerning mortar. With reference to fig. 4, for mortar we have distinguished three different stratifications as follows:

1) surface - mortar used to fill and protect the joints (it may be original or the reintegration of the damaged joint mortar);

NOME EDIFICIO	
VIA E NUMERO	
C.D. NOME	PAGH.
PROSPETTO	CAMPIONE N°
EPOCH DI COSTRUZIONE	
POSIZIONE RISPETTO ALTRI EDIFICI	
DESTINAZIONE D'USO	
PRESILIO	
ORA	TEMPERATURA (°C)
U.L. (%)	PROFONDITA' (cm)
AREA (cm²)	ELIAZIONE
ALTEZZA O PROFONDITA' DAL SUOLO (cm)	
MATERIALE DI PRELIEVO	
ELEMENTO COSTRUTTIVO	
COLLOCAZIONE RISPETTO ALL'ELEMENTO COSTR.	
ORIENTAMENTO DELL'ELEMENTO COSTR.	
SCOPIONE	
TIPO	
PESO-OR	
FUNZIONE	
COESIONE	
DIMENSIONI (cm)	
PESO (g)	CONTENITORE
	CONTENITORE + CAMPIONE
	CAMPIONE
NUMERO DI FOTOGRAFIE	
NOTE:	
DATA	COMPILATORI

Fig. 3

2) Ipodermic - mortar: it is the stratification below the surface mortar and it is between this one and the bedding mortar;

3) The bedding mortar: stratification of mortar which is more deeply in the thick of the wall.

1) Aggregate:

- dimension (max and medium)
- granulometric aspect (monogranular, mixed, mixed with majority of thin aggregate, mixed with majority of big aggregate);
- shape (flat, round and with corners);
- color (like withe, brown, dark brown, light brown, like green, etc.).

2) Possible binder:

- cement;
- lime;
- cement and lime (painting out a possible majority of the former on the latter);
- calcium sulphate;
- pozzolana;
- cocciopesto;
- Mortar color
- Notes

The second card (fig.3) is organized in five sectors too.

The first one and the last one are the same as those of the first card. The other concern:

- the horizontal joint
- the brick
- the brickwork

The horizontal joint, between mortar and brick, has been

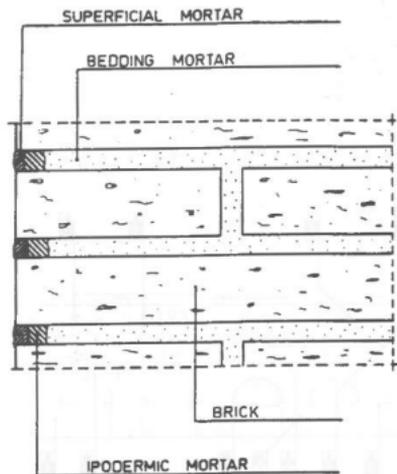
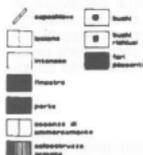


Fig. 4

LEGENDA



ZONE DI MURATURA

1	319	21
11	320	22
2	4	23
21	5	24
3	5.1	25
3.1	6	25.1
3.2	7	25.2
3.3	7.1	25.3
3.4	8	26
3.5	8.1	26.1
3.6	9	26.2
3.7	10	27
3.8	11	28
3.9	12	29
3.10	13	30
3.11	14	31
3.12	14.1	32
3.13	15	
3.14	16	
3.15	17	
3.16	18	
3.17	19	
3.18	20	

characterized on the bases of these factors:

- 1) thickness;
- 2) deepness in conformity with esternal surface of the brickwork;
- 3) notes.

In the notes a joint description is reported (es. well silled joint, exaved joint, etc.). In them all those information which do not find place in the previous scheme is reported. As regards the brick have been taken as characteristics the following factors.

1)Dimensions

- a) lenght
- b) width
- c) high

2)Color (distinguishing between the external one and the internal one the brick where it is possible).

3) Aspect of corners.

4) Inclusions:

- a) dimentions;
- b) organic origin or not;
- c) material nucleies having different characteristics.

5) Surface Aspect.

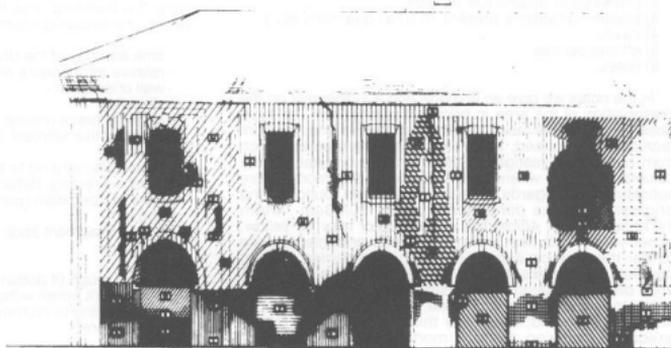


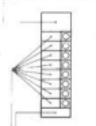
FIGURE 5

FIGURE 6

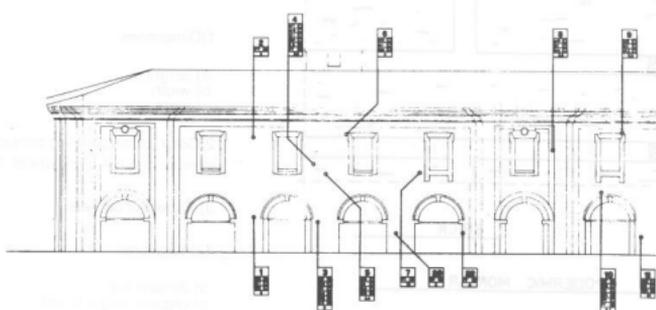
LEGENDA

- TITO DI PRESERV. DEI MATERIALI
- 1) - presenza
 - 2) - assenza
 - 3) - presenza in piccole quantità
 - 4) - presenza in grandi quantità
 - 5) - presenza in grandi quantità
 - 6) - presenza in grandi quantità
 - 7) - presenza
 - 8) - presenza
 - 9) - presenza
 - 10) - presenza
 - 11) - presenza
 - 12) - presenza
 - 13) - presenza
 - 14) - presenza
 - 15) - presenza
 - 16) - presenza
 - 17) - presenza
 - 18) - presenza
 - 19) - presenza
 - 20) - presenza
 - 21) - presenza
 - 22) - presenza
 - 23) - presenza
 - 24) - presenza
 - 25) - presenza
 - 26) - presenza
 - 27) - presenza
 - 28) - presenza
 - 29) - presenza
 - 30) - presenza
 - 31) - presenza
 - 32) - presenza
 - 33) - presenza
 - 34) - presenza
 - 35) - presenza
 - 36) - presenza
 - 37) - presenza
 - 38) - presenza
 - 39) - presenza
 - 40) - presenza
 - 41) - presenza
 - 42) - presenza
 - 43) - presenza
 - 44) - presenza
 - 45) - presenza
 - 46) - presenza
 - 47) - presenza
 - 48) - presenza
 - 49) - presenza
 - 50) - presenza

INFORMAZIONE SUI MATERIALI



INFORMAZIONE SUI MATERIALI



6) Macroporosity dimensions.

7) Possible type of brick (original, new, salvaged, etc.)

8) Placing in the wall.

Where in the card the title is "brick work" (muratura), the following voices are considered:

- 1) scarf;
- 2) presence or absence of tie rods;
- 3) plastering (absent, present, in small quantities etc.);
- 4) cavity;
- 5) efflorescences;
- 6) notes.

In the notes we give an image and a judgement on the preservation of the area in brickwall raising from the sight observation. In this fase the original materials and the work technics were noticed, recovering them from areas which from historical investigation resulted to be original (as the columns of vaults) where hardly the brick and mortar were substituted. As regards materials it has been found out the original brick has dimensions: length 30/33cm., width 14/16.5cm., height 4/5cm. The surface color may be yellow, ochre yellow, red, like brown, like green and intermediate tones; the surface aspect is rough, sometimes are not parallel, the corners are not regular, there are parasites and, often, inclusions, the inside color is variable from green to red. Mortar is light white, the aggregate are small and well assorted; there are thick lime granules for an excess of breaking. Surface mortar has some points of dark color which demonstrate the presence of pozzolana. The information obtained, was given back graphically (fig. 5, 6) and permitted to locate the ones of brickwall which have homogeneous characteristics of degrading or material, or which suffered alternations in the original components and in their work technics. This work was the premise to the second phase which foresaw the drawing of specimens for the tests physical - chemical - mechanical in laboratory and tests "in situ".

INVESTIGATION

The deep knowledge, reached, permitted to localize the investigation points and drawing, to be the most representative and significant, of the middle global behaviour of brickwalls, reducing also the number, in order to cause the minimum trouble possible to the monument. Also in this phase, for drawing the specimen, some cards were prearranged; laying the cards, the 3/80, were taken into consideration.

The prearranged cards were two:

In the former, besides the general information concerning the building and the nameplate of the specimen drawn, the following information was collected:

- time and day of the drawing
- relative temperature and moisture (humidity)
- wall orientation
- elevation
- drawing place (inside, outside)
- constructive element (ceiling, bearing wall, not bearing wall, etc.)
- placing according to the constructive element inserted, englobed resting, detached)
- type of specimen (part of brickwall, brick, mortar, blooming etc.)
- shape (fragment spill, parallelepiped, irregular, etc.)
- cohesion:

- a) very tough (it doesn't break)
- b) tough (it break without crumbling)
- c) crumbling (it crumbles with the pressure of fingers)
- d) incoherent

- dimension of the specimen (specimen seathing) and of the opening used to draw it off;

- specimen weight before putting it into proper scaled little bags (weighed before).

The latter card, has mainly the aim to collect a photographic documentation, concerning the specimen drawn and the drawing place before and after to drawing.

MECHANICAL, PHYSICAL AND CHEMICAL TESTS

The tests have been divided in two groups. The former is made with tests carried out with extraflat jacks. The endoscopic tests had the aim to know the inside composition of the brickwalls in order to be able to evaluate the extensibility of the results even the inside ones. Through these tests we observed that the brickwalls are generally made with full bricks and well organized in all their thickness; on the ground floor blocks of limestone were found. The color of the inside bricks in the same as the surface ones. By means of tests with extraflat jacks, the tension condition and the modulus of elasticity of the brickwall was determined. In particular, in order to improve the quality of information supplied by the method, tests, both in the inside wall and, in correspondence, in the outside face, were carried out. The results are in the table n.1. The latter group was developed in the laboratory. The tests of mechanical type were carried on the laterizious material, they were tests to determine the unitary load of tensile strenght owing to compression and tests for flexion (or transverse) strenght. The test pieces, for determining the aggregate breaking load, were obtained, from brick previously rectified on the surfaces, on the basis of recommendations "NORMAL" which foresse for tiles, cubic test pieces, with a corner between 3 and 5cm. so that, the ratio between the surface and the apparent volume, may be included between 1 - 2cm.³/l. Test pieces, for the bending test, were taken from the same bricks, from which those for the compression test, were obtained. Before going on with the test of mechanical type the test pieces, were divided according to their colours and marked withan initial. The initial shows the wall and the area of breawall from which the specimen was drowm, besides the number of the test piece, among those obtained from a single drawing (for instance if 4/2 South-East wall, area 4 number 2 among those obtained from the brick). The recivable number from every brick, depends on the degradation level of same; however from every brick, at least one specimen, for the compression test, (cubic shape) was obtained, while those for the bending test were obtained when possible. From the stumps, which came out from the bending test some small cubes, to be subject to tests, were obtained from the group of smal cubes, of every brick, if there is only one to be subject to drying test. At the end of the drowing phase the following tests were carried out:

1) investigation by means of ultra-sounds according to the directions of the corners.

2) compression test monoaxial along the ortogonal dimention to the position "in situ" of the brick.

The remaining small cubes were kept in hygrometric equilibrium with the enviroment and subject to the tests mentioned in paragraph 1), 2). As to the stumps obtained; one of these was subject to a series of cycles of gel and thaw, another one to a saturation test. For all the test pieces, some investigations and compression tests were carried out. The latter had the following criterions:

- load in orthogonal direction to the position "in situ" when it was exploitable only in one way: from the parallelepipedes subject to bending (flexion).

- load in parallel direction and one of the perpendicular direction to the previous ones, in case that another stumps might be available.

The results are written on the tables 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.

The other tests exetend in the laboratory are:

- diffractometrical analysis RX
- thermogravimetric
- chemical

The results were the following:

- **yellow brick.** The diffractometrical analysis has shown the following elements: albite, aegirite, calcium sulphate, various silicates, hygh percentage of silicon dioxide and sodium chloride; the thermogravimetric test has signalled a percentage of calcium sulphate as 7.3%, the chemical test has confirmed the constant presence of calcium sulphate in the brick;

- **red brick.** The diffractometrical analysis does not show a presence of calcium sulphate; silicon, also in this case, it is in high percentage; the element here show a baking temperature inferior to the one of the yellow brick.

- **mortar.** The diffractometric analysis has confirmed the mortar is made with a binder: on the base of lime with silica sand, also traces of sodium chloride, were found.

CONCLUSION

On the base of the data collected, even if they are going to be worked out, we can draw some conclusions for a few observation:

- the high percentage of silicon dioxide in the bricks shows a low temperature of baking (usually 900 °C). In particular way the red brick shows a baking degree, inferior to the yellow one;

- The red brick was obtained with a type of clay different from the yellow one;

- in the yellow brick an high percentage of calcium sulphate which might justify its degradation, was found. The strenght of the yellow brick generally, is inferior to the one of the red brick;

- the backing degree influences remarkable the phisics

- machanics characteristics of the brick;

- mortar (made with pozzolana) is without calcium sulphate;

- when the contents of humidity in the laterizio rises, its strenght fades out;

- the result of compression tests have a very high scattering 36%;

- even if, as regards quality the sonic investigations confirm the breaking tests, it is hard, with these data, to make right conclusions in general, between the speed and mechanical strenght of old bricks.

AKNOWLEDGEMENTS

The present work has been carried out as a part of a research agreement between the "Sovraintendenza ai Monumenti delle Marche" and the Department of Structural Engineering of the University of Ancona. The author thank these two institutions for permitting them to use the result of the research.

TAB 1

POSITION	POINT	EQ. ST. LINE	EL. MODULUS (N/mm ²)	COEFF. CORRECTION
FERROVIA	1	$\alpha=0.007890$	7890	0.975
FERROVIA	2	$\alpha=0.003694$	3694	0.984
FERROVIA	3	$\alpha=0.004853$	4853	0.984
FERROVIA	4	$\alpha=0.003323$	3323	0.995
INGRESSO	1	$\alpha=0.005565$	5565	0.983
INGRESSO	2	$\alpha=0.005228$	5228	0.976
INGRESSO	3	$\alpha=0.006177$	6177	0.996
INGRESSO	5	$\alpha=0.005727$	5727	0.999
PORTA PIA	2	$\alpha=0.005494$	5494	0.999
PORTA PIA	3	$\alpha=0.003546$	3546	0.994
STAMURA (*)	1	$\alpha=0.001571$	1571	0.996
STAMURA (*)	2	$\alpha=0.001611$	1611	0.857
STAMURA (*)	1	$\alpha=0.001468$	1468	0.874
STAMURA (*)	2	$\alpha=0.001683$	1683	0.969

TAB 2 - COMPRESSION TEST AFTER DRAYING-PROCESS LOAD PERPENDICULAR TO BEDDING PLANE "IN SITU"

SPECIMEN	A [cm]	B [cm]	H [cm]	v(A) [m/s]	v(B) [m/s]	v(H) [m/s]	S(H) [cm ²]	P [MPa]	σ [MPa]
INT2/1	5	5	4.95	3424	2717	2036	25.00	3320	13.28
ENE16/3	3.8	3.85	3.8	2099	2047	1652	14.63	2110	14.42
SEA/2	4.3	4.25	4.3	3007	3058	2704	18.27	3880	21.23
NNOS/2	3.7	3.7	3.75	3162	3333	2976	13.69	4320	31.56
ENE1/3	4	3.9	4.05	2899	3197	2718	15.60	3700	23.72
SSO3/1/6	3.9	3.9	3.8	3277	2889	2923	15.21	3990	25.97
SSO17.1/4	4.65	4.6	4.5	3577	3566	3103	21.39	8080	37.77

A, B, H dimensions of specimens, v velocity of ultra-sounds, S area on which the load is applied, P load

TAB 3- COMPRESSION TEST ON SPECIMENS IN HYGROMETRICAL BALANCE WITH THE AMBIENT LOAD PERPENDICULAR TO BEDDING PLANE "IN SITU".

SPECIMEN	A [cm]	B [cm]	H [cm]	v(A) [m/s]	v(B) [m/s]	v(H) [m/s]	S(H) [cm ²]	P [daN]	σ [MPa]
SSO17.1/1	4.55	4.65	4.5	3160	3207	2980	21.16	4660	22.03
SSO17.1/2	4.6	4.6	4.5	3382	3067	3020	21.16	4710	22.26
SSO17.1/3	4.6	4.65	4.5	3566	3470	3082	21.39	5520	25.81
SEA/1	4.3	4.2	4.35	2945	2800	2529	18.06	2010	11.13
SEA/3	4.3	4.2	4.35	2774	2877	2685	18.06	3270	18.11
SEA/4	4.25	4.3	4.3	2911	2774	2704	18.27	3800	20.79
SEA/5	4.3	4.25	4.3	2966	2673	2810	18.27	3520	19.26
NNOS/1	3.8	3.8	3.8	3220	3276	3040	14.44	2710	18.77
NNOS/3	3.8	3.8	3.7	3115	2695	2721	14.44	2740	18.98
NNOS/4	3.65	3.8	3.75	3017	3040	2622	13.87	2760	19.90
ENE16/1	3.7	3.7	3.65	2782	2681	2355	13.69	1900	13.88
ENE16/2	3.65	3.7	3.65	2570	2803	2433	13.51	2950	21.84
ENE16/4	3.75	3.75	3.8	2679	2483	2317	14.06	2170	15.43
INT2/2	5	5	5.05	2703	2618	2177	25.00	2290	9.16
SSO3.1/4	3.9	3.9	3.8	2955	2977	2639	15.21	2720	17.88
SSO3.1/5	3.9	3.9	3.8	2932	2955	2603	15.21	2990	19.66
SSO3.1/7	3.8	3.8	3.8	2836	2879	2639	14.44	2160	14.96
SSO3.1/8	3.8	3.8	3.8	3065	2857	2714	14.44	2440	16.90
SSO3.1/9	3.8	3.8	3.8	2879	2969	2657	14.44	2420	16.76
ENE1/1	4	4.15	4.15	3077	3294	2610	16.60	2810	16.93
ENE1/2	4.05	4.1	4.1	3000	2950	2547	16.60	1820	10.96
ENE1/4	4.1	4.1	4.1	2847	2789	2426	16.81	2450	14.57
ENE1/5	4.05	4.1	4.1	3140	2828	2547	16.60	2340	14.09

A, B, H dimensions of specimens, v velocity of ultra-sounds, S area on which the load is applied, P load

TAB 4- COMPRESSION TEST ON STUMPS AFTER TWENTY COLD AND THAW CYCLES -LOAD PERPENDICULAR BEDDING PLANE "IN SITU".

SPECIMEN	A [cm]	B [cm]	H [cm]	S(B) [cm ²]	P [daN]	σ [MPa]
SEA/7	4.30	4.35	5.00	21.50	2920.00	13.58
INT2/3	4.90	4.90	5.00	24.50	1840.00	7.51
ENE16/7	3.70	3.70	5.00	18.50	3240.00	17.51
SSO3.1/1	3.80	3.80	5.00	19.00	3540.00	18.63
SSO17.1/5	4.50	4.50	5.00	22.50	4300.00	19.11

A, B, H dimensions of specimens, S area on which the load is applied

TAB .5 - BENDING TEST

SPECIMENN	A	B	H	b	h	P	σ
	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[daN]	[MPa]
INT2/3	4.9	4.9	17.80	4.9	4.9	410	5.23
INT2/4	5.1	5.0	17.90	5.0	5.1	290	3.34
SE4/6	4.3	4.3	16.15	4.3	4.3	380	7.17
SE4/7	4.3	4.35	16.15	4.3	4.35	300	5.53
SE4/8	4.4	4.3	16.20	4.4	4.3	330	6.08
ENE16/5	3.7	3.75	19.10	3.7	3.75	80	2.31
ENE16/6	3.7	3.7	19.10	3.7	3.7	130	3.85
ENE16/7	3.7	3.7	19.10	3.7	3.7	100	2.96
NN05/5	3.8	3.7	13.40	3.8	3.7	(*)	
SSO3.1/1	3.8	3.8	21.20	3.8	3.8	190	5.19
SSO3.1/2	3.9	3.8	21.20	3.9	3.8	220	5.86
SSO3.1/3	3.8	3.8	21.20	3.8	3.8	160	4.37
SSO17.1/5	4.5	4.5	15.95	4.5	4.5	500	8.23
SSO17.1/6	4.45	4.5	15.95	4.45	4.5	480	7.99

A, B, H dimensions of specimens, L distance between the supports
 b, h dimensions of the section of specimen in correspondence of roptur surface.

TAB 6 - COMPRESSION TEST ON SPECIMENS OBTAINED FROM STUMPS AND SUBJECT TO SATURATION TEST

SPECIMEN	A	B	H	v(A)	v(B)	v(H)	S(B)	P	σ
	[cm]	[cm]	[cm]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[cm ²]	[MPa]	[MPa]
INT2/3	4.9	4.9	4.9	2344	2322	2450	24.01	2520	10.50
ENE16/5*	3.7	3.7	3.75	2465	2189	2778	13.88	1825	13.15
SE4/8*	4.4	4.3	4.2	2667	2638	2897	18.48	3610	19.53
NN05	3.8	3.7	3.75	2714	2891	2737	14.25	3300	23.16
SSO3/2*	3.9	3.8	4.05	2847	2621	2682	15.79	3265	20.67
SSO17.1/6*	4.5	4.5	4.3	3082	2711	3028	19.35	3495	18.06

A, B, H dimensions of specimens, v velocity of ultra-sounds,
 S area on which the load is applied, P load

TAB 7- COMPRESSION TEST ON SPECIMEN OBTAINED FROM STUMPS IN HYGROMETRICAL BALANCE WITH THE AMBIENT.

SPECIMEN	A	B	H	S(A)	S(B)	P	σ	
	[cm]	[cm]	[cm]	[cm ²]	[cm ²]	[daN]	[MPa]	
ENE16/5'	3.70	3.75	3.70		13.69	1830.00	13.37	
ENE16/6'	3.70	3.70	3.65	13.51		1830.00	13.55	
ENE16/6"	3.70	3.70	3.55	13.13		1830.00	13.93	
ENE16/7'	3.70	3.70	3.55		13.13	1830.00	13.93	
SSO3.1/1"	3.80	3.80	3.70		14.06	2940.00	20.91	
SSO3.1/2'	3.90	3.80	3.70		14.43	1680.00	11.64	
SSO3.1/3'	3.80	3.80	3.80		14.44	2360.00	16.34	
SSO3.1/3"	3.80	3.80	3.75	14.25		2410.00	16.91	
SSO17.1/5*	4.50	4.50	4.40	19.80		5810.00	29.34	
SSO17.1/6*	4.50	4.50	4.40		19.57	5120.00	26.16	
INT2/4'	5.10	5.00	4.95	24.75		2190.00	8.85	
INT2/4"	5.10	5.00	4.90		24.99	3980.00	15.93	
SE4/6'	4.30	4.30	4.20	18.06		3020.00	16.72	
SE4/6"	4.30	4.30	4.25	18.27		2620.00	14.34	
SE4/7"	4.30	4.35	4.30			18.49	2380.00	12.87
SE4/8"	4.40	4.30	4.35		19.14	3530.00	18.44	

La conservación de la piedra de la fachada del antiguo hospicio de Oviedo.

R.M. Esbert*, C.M. Grossi*, J. Ordaz*, F.J. Alonso*, L. Ruiz** y R.M. Marcos*.

* Departamento de Geología, Universidad de Oviedo. ** C.O.R.E.S.A.L. (Madrid).

SUMARIO

Se expone la metodología, fases y procedimientos llevados a cabo en las obras de conservación de la piedra de la fachada del antiguo Hospicio Provincial de Oviedo, actual Hotel de la Reconquista. Se incluyen los estudios experimentales realizados en el laboratorio, antes de la intervención, para verificar el comportamiento y la evolución de los productos de tratamiento seleccionados como más idóneos para la piedra (caliza), en relación al tipo y grado de deterioro y al ambiente en el que se halla ubicado el edificio (urbano-húmedo). Asimismo se presentan las distintas fases de intervención llevadas a cabo (preconsolidación, limpieza, consolidación e hidrofugación), así como los métodos y productos empleados en cada una de ellas.

SUMMARY

The methodology, steps and procedures carried out in the conservation works of the facade of the old Hospicio Provincial (Oviedo) -nowadays Hotel de la Reconquista- are shown. Laboratory tests, previous to the intervention, were performed in order to evaluate the behaviour and evolution of the most suitable products selected for the treatment of the stone (limestone), regarding the type and degree of deterioration and the environmental conditions (urban-humid); likewise, the different intervention steps followed (pre-consolidation, cleaning, consolidation and waterproofing), as well as the methods and products applied, are presented.

KEY WORDS: *Limestone, Conservation, Cleaning, Consolidation, Protection, Pollution, Ethyl Silicate, Oligomeric Silane, Building Stone Oviedo.*

INTRODUCCION

La fachada del antiguo Hospicio Provincial de Oviedo, actual Hotel de la Reconquista, es un ejemplo de la arquitectura civil del siglo XVIII.

El edificio fue rehabilitado para Hotel en 1972 y en la actualidad es de propiedad privada. A lo largo del tiempo el conjunto arquitectónico ha sufrido algunas modificaciones y restauraciones poco documentadas, como la de 1942. En lo que atañe a la fachada, se sabe por documentos consultados en el Archivo de Patrimonio de la Conserjería de Cultura del Principado de Asturias que, en 1958, se sustituyó, parte del antiguo escudo, construido con "piedra arenisca muy blanda" por una copia exacta en "caliza".

En 1974, se iniciaron obras de restauración, limpieza de la fachada, consolidación del escudo, etc.. Estas intervenciones se pararon apenas iniciadas.

En 1988, la dirección del hotel puso en conocimiento de la Conserjería de Cultura el desprendimiento de trozos de piedra del escudo con grave peligro para los transeúntes. En este mismo año H.O.A.S.A. (Hostelería Asturiana S.A.) encarga, al Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo (Área de Petrología), un estudio sobre el estado de deterioro de la fachada.

En 1989, se inicia la intervención en la misma, bajo la dirección del arquitecto Nicolás Arganza, llevando a cabo los trabajos en la piedra la empresa C.O.R.E.S.A.L. (Conservación y Restauración de Bienes Culturales, S.A.L.). El Departamento de Geología de la Universidad de

Oviedo, a través de Rosa M^ª Esbert, se hizo cargo de la dirección científica de dicha intervención.

PLANTEAMIENTOS DE LA CONSERVACION

La conservación de la piedra de la fachada del Reconquista se realizó teniendo en cuenta una serie de planteamientos previos, entre los que cabe destacar: a) El estado de deterioro que presentaban las diferentes variedades de piedra; b) las causas que lo había generado; c) las características petrofísicas de dichas piedras y del material alterado, así como el tipo de suciedad depositada en ellas; y d) la ubicación específica del edificio en pleno centro urbano de Oviedo, en una zona con abundancia de contaminantes sólidos (humo, polvo, hollín, etc.), procedentes sobre todo, de las calefacciones.

Desde el punto de vista social, en este edificio tienen lugar numerosos actos de tipo cultural, científico, político, etc., de relevancia en el Principado. Es, por tanto, un edificio emblemático y representativo de Oviedo.

Todas estas consideraciones fueron las que, haciendo converger los planteamientos científico-técnicos con el entorno social, llevaron a planear las etapas de conservación que a continuación se describen:

- *Preconsolidación o consolidación superficial* de la piedra antes de la limpieza, en zonas con un avanzado deterioro con pérdida de cohesión del material.

- *Limpieza:* Para eliminar aquellas pátinas y costras de alteración que resultan nocivas para la piedra, así como el polvo depositado en su superficie.

- *Consolidación* o impregnación de la piedra alterada, así como de una parte superficial de la piedra sana que está por debajo, con un producto adecuado para dar coherencia a partes de la misma que se están desmoronando y que, desde el punto de vista histórico-artístico, es conveniente conservar.

- *Protección superficial (hidrofugación):* Aplicación sobre la piedra, después de limpiar o consolidar, de un producto que actúa como barrera contra la humedad y los contaminantes atmosféricos, disminuyendo por tanto, el efecto de los procesos de envejecimiento. En concreto se intenta retardar la nueva deposición sobre la piedra, de las partículas de contaminación que forman la pátina oscura de suciedad, tan antiestética en la percepción del edificio.

- *Reintegración* de partes en que la piedra se había perdido y que desde el punto de vista estético o funcional, afectaba a la fachada.

- *Sustitución* de la piedra en áreas muy concretas para, a juicio del arquitecto, devolverles la concepción estético-artística para la que fueron creadas.

Se aconsejó a la dirección de la empresa la necesidad del *mantenimiento*, con inspecciones periódicas del edificio para apreciar la evolución de la intervención, comprobar el grado de eficacia de los tratamientos y soluciones aplicados, así como controlar el perfecto drenaje del agua que puede afectar a las diversas cornisas y balcones de la fachada.

Algunas de estas fases, como por ejemplo las de la consolidación y protección, necesitaron de una experimentación en el laboratorio, para elegir los métodos y productos más idóneos.

CONSOLIDACION E HIDROFUGACION; EXPERIENCIAS DE LABORATORIO.

Las experiencias de laboratorio se centraron en el estudio del comportamiento de los sistemas:

- Piedra-consolidante (silicato de etilo) e hidrofugante (silano oligomérico).

- Piedra-hidrofugante (silano oligomérico).

La piedra ensayada fue exclusivamente la variedad pardo-rojiza, que es la que en el edificio muestra un mayor grado de deterioro

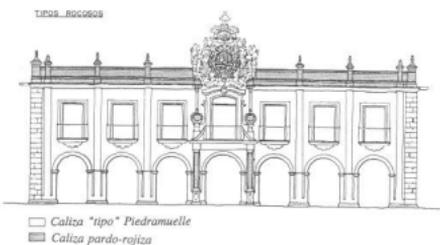


Fig. 1.- Tipos rocosos utilizados en la fachada del Hotel de la Reconquista.

El sistema consolidante - protector utilizado fue:

Tegovakon V y Tegosivin HL-100, respectivamente (Th. Goldschmidt S.A.), aunque existen en el mercado productos químicos análogos, de otras firmas comerciales, de características similares.

El sistema protector ha consistido en la aplicación de Tegosivin HL-100.

El modo de aplicación de los productos de tratamiento ha sido por capilaridad, hasta inmersión completa de la piedras (2).

En este estudio no se incluyen las experiencias realizadas con la otra variedad de piedra de la fachada, la denominada localmente "piedra de Piedramuelle", ya que con ésta, se habían llevado a cabo experiencias previas, con diversos productos de tratamiento (3,4 y 5), resultando los productos silicatos los más idóneos para su consolidación e hidrofugación.

Una vez aplicados estos productos, se han controlado las variaciones de color y peso de las piedras tratadas. En primer lugar debe procurarse que los tratamientos no cambien de manera notoria el color de la piedra. La ganancia de peso da una idea del grado de penetración del producto (Tablas I y II).

Color (Escala Munsell)	
No tratada	5YR 6/3 light reddish brown
TV y HL 100	5YR 4/4 reddish brown (acusado)
HL 100	2,5YR entre 6/4 y 5/4 reddish brown (acusado)

Tabla I.- Cambio de color post-tratamiento (6).

	Ganancia peso (%)	dev. típica
TV y HL 100	1,86	0,27
HL 100	0,46	0,03

Tabla II.- Incremento de peso post-tratamiento (%). Esta medida sirve también de orientación en cuanto al consumo del producto en obra.

Para valorar la durabilidad de las piedras tratadas, se han realizado ensayos de envejecimiento artificial acelerado; en concreto ciclos de: humedad-sequedad, cristalización de sales (sulfato sódico) y exposición a la luz ultravioleta.

El procedimiento de ensayo es el mismo seguido en (7), teniendo en cuenta las recomendaciones de la RILEM (8).

Los resultados obtenidos en estos ensayos, tanto en las piedras sin tratar como en las tratadas, han sido las siguientes:

En los ciclos de *humedad-sequedad*, no se observan variaciones morfológicas ni en las piedras sin tratar ni en las tratadas, no registrándose tampoco, pérdidas de material. Sin embargo, se detectan modificaciones en el color de las probetas tratadas.

Así, aquellas tratadas con Tegovakon V y Tegosivin HL-100 que después del tratamiento presentaban un color más intenso que el original (5YR 4/4), tienden a recuperar éste a lo largo de los ciclos, presentando al final del ensayo el mismo color de las muestras no tratadas (5YR 6/3).

Las piedras tratadas con Tegosivin HL-100 (2.5 YR 6/4-5/4), sufren también un cambio de color, aunque más ligero y no tan acusado como en el caso anterior. Al final de los ciclos el color es 5YR entre 5/3 y 5/4 (redish-brown).

Los ciclos de *cristalización de sales* son mucho más agresivos.

En las piedras no tratadas el efecto de las sales solubles es importante produciéndose una gran pérdida de material a lo largo de los ciclos; apareciendo hendiduras en todas las caras de las probetas (Fig. 2). Los primeros desprendimientos se producen en aquellas zonas de la piedra en las que se habían detectado concentraciones de arcillas y óxidos de hierro.

Las piedras tratadas, se comportan mejor que las no tratadas. Al final de los ciclos, se observa primero un cambio notable de color, después se recupera el color original de la piedra, incluso se vuelve ligeramente más claro (5YR 6/2- 6/3).

Morfológicamente, sóamente en las muestras tratadas con HL-100, y al final del ensayo, se abren ligeramente las fisuras pre-existentes (Fig. 3).

Es claro que con los tratamientos las piedras se vuelven más resistentes a la acción de las sales solubles, ya que éstos evitan, en gran parte, la penetración de las soluciones salinas. Sin embargo, en el monumento la respuesta de las piedras tratadas a la acción de los agentes externos puede ser distinta.

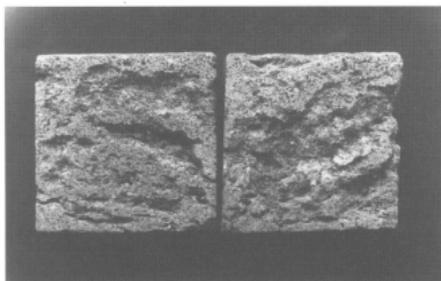


Fig. 2.- Aspecto de algunas probetas de la caliza pardo-rojiza de la fachada del edificio sin tratar, después de 15 ciclos de cristalización de sales. El deterioro de la piedra es notorio, con una pérdida de material de alrededor de un 7%.

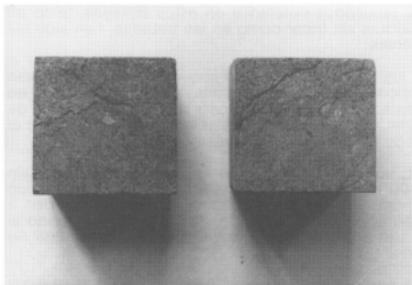


Fig. 3.- Probetas de la caliza de la piedra tratada con Tegosivin HL-100 una vez finalizados los ciclos de cristalización de sales. Obsérvese la apertura de fisuras preexistentes, aunque en conjunto, la piedra tratada se comporta mucho mejor.

Los ciclos de exposición a la radiación ultravioleta se han realizado en probetas tratadas que habían sido previamente sometidas a ensayos de humedad-sequedad, dada la poca disponibilidad de material.

Una vez finalizados los ciclos se observa que las muestras tratadas con el consolidante y protector (TV y HL-100) no cambian de color, se mantienen en 5YR 6/3 y que las piedras tratadas sólo con hidrofugante (HL-100) se aclaran ligeramente, variando de 5YR 5/3-5/4 a 5YR 5/3.

INTERVENCIÓN EN EL MONUMENTO.

Se describen en este apartado algunos de los detalles en la ejecución de cada una de las etapas de conservación planteadas.

Preconsolidación.

Como primer paso se realizó una preconsolidación, antes de la limpieza general, en ciertas zonas donde la piedra aparecía muy desagregada con peligro de fragmentarse y desmenuarse durante el proceso de la limpieza.(Fig. 4).

El producto utilizado para esta preconsolidación fue el Tegosivin V, y aplicándose en los fustes de columna de la entrada principal por imprimación con pincel de pelo suave, y en el resto de las zonas mediante rociado de la

piedra con nebulizadores manuales, cuidando de no alcanzar las zonas de piedra inmediata, en las que no era



necesario actuar.

Fig. 4.- Zonas de la fachada preconsolidadas con Tegosivin V.

Limpieza

Antes de acometer las fases de limpieza, se procedió a la retirada de morteros antiguos degradados, de cementos de unión y de retacado, producto de actuaciones anteriores, que aportan sales perjudiciales a la conservación de la piedra.

Las labores de limpieza requirieron diversos métodos, dependiendo del estado de la piedra y de los productos que se pretendían eliminar (Fig. 5):

Limpieza química. Se llevó a cabo utilizando agua nebulizada a la que se añadió, en las zonas que lo requerían (costras negras superficiales de pequeño grosor), la papeta AB-57 (9). Para facilitar el desprendimiento de capas de suciedad, se utilizaron cepillos de cerda de dureza tal que su actuación no dañara la superficie de la piedra.

Las áreas del monumento limpiadas de esta forma corresponden a las zonas de piedra menos alteradas del edificio: fábrica de sillaría de todos los paramentos lisos de la fachada, arcos, ventanas y cornisa (Fig. 5).

Limpieza mecánica. Se consideraron aquí dos fases. En la primera de ellas se efectuó una retirada de líquenes y musgos, que se asentaban sobre casi todas las superficies horizontales (barandillas, basamentos, etc), mediante un raspado con espátulas pequeñas y un cepillado con cepillos de cerda suave. (Fig. 5).

La segunda fase consistió en eliminar las costras negras duras, muy adheridas al sustrato, utilizando un torno micromotor equipado con fresas de carburo fino molido. Con esto se puede controlar, en todo momento, la acción abrasiva del aparato (Fig. 5).

En el escudo, previamente, se eliminaron, con espátulas adecuadas, los restos de aceite orgánico aplicado a la superficie de la piedra en una intervención anterior, en la que fue sustituido, además, parte del material original.

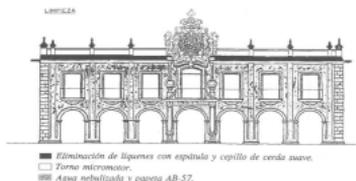


Fig. 5.- Tipos de limpieza llevados a cabo en la fachada de antiguo Hospicio Provincial de Oviedo.

Desalinización

Realizados diversos análisis para detectar la presencia de sales solubles, los resultados pusieron de manifiesto la presencia de yeso, si bien en cantidades pequeñas y en zonas muy localizadas.

La extracción de las sales solubles se llevó a cabo con la aplicación sobre la superficie pétreo afectada, de pasta de celulosa embebida en agua destilada. La operación se prolongó el tiempo adecuado para que las sales migraran, repitiéndose la operación tantas veces como fue necesaria hasta la eliminación total.

Posteriormente a la limpieza se procedió, también, a la eliminación de ciertas eflorescencias, siguiendo el mismo procedimiento.

Los siguientes pasos consistieron en: a) *refuerzos estructurales*, sustituyendo elementos estructurales en mal estado, como anclajes de hierro viejo, por otros más adecuados; b) *retacado de juntas, sellado de grietas* mediante mortero de resina cicloalifática cargado con polvo de marmolina y piedra de Piedramuelle, y *nivelación de zonas donde se almacena el agua*, para evitar, en lo posible la penetración del agua de lluvia; y c) *reintegración de la línea de la cornisa y apertura de canales de desagüe*.

Posteriormente se pasó a una etapa de *sustitución* de piedra muy alterada por otra de las mismas características (siempre piedra de Piedramuelle). Esto se realizó en las basas de las columnas de la entrada principal.

Por último se llevó a cabo la *consolidación y protección* de la piedra.

Consolidación

Se efectuó, en la piedra más deteriorada, que corresponde fundamentalmente a la variedad de piedra pardo-rojiza (Fig. 1) y en el escudo. Dado el diferente tipo de deterioro, se tuvieron que utilizar dos tipos de consolidantes:

- Un silicato de etilo (Tegovakon V) en la piedra que se encontraba en mejor estado de conservación.

- Una resina epoxídica cicloalifática (Eurostac consolidante EP 2101/ endurecedor K 2102), aplicada de forma puntual en zonas muy fisuradas, con el fin de sellar las fisuras, ya que el silicato de etilo no cumple esta función. (Fig.6).



Fig. 6- Zonas consolidadas en la fachada del Hotel de la Reconquista

Hidrofugación (protección)

Como se indica al principio, la hidrofugación se realizó con silano oligomérico (Tegosivin HL-100). El poder hidrofugante de este producto decrece con el tiempo por lo que puede hacerse necesaria, una nueva intervención de hidrofugación, con los mismos productos u otros compatibles a los utilizados en la actualidad. (Fig. 7).

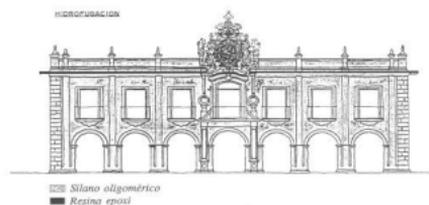


Fig. 7- Zonas de la fachada en las que se llevó a cabo la hidrofugación de la piedra

Este tratamiento no se ha aplicado en las zonas consolidadas con la resina cicloalifática.

RECONOCIMIENTOS.

Los autores desean expresar su agradecimiento: Al arquitecto Nicolás Arganza, director de las obras de conservación. A HOASA (Hostelería Asturiana S.A.) por la financiación del estudio e intervención. A la CICYT (Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología). por la financiación de diversos proyectos de investigación sobre el tema, entre ellos el Proyecto nº 485/89.

REFERENCIAS.

- 1 Eibert, R.M., Ordaz, J., Alonso, F.J. y Suárez del Río, L.M., Estudio diagnóstico del deterioro de las piedras de la fachada del antiguo Hospicio Provincial de Oviedo, Actas del I Congreso Internacional sobre Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación, Islas Canarias 1992.
- 2 Lazzarini, L. y Laurenzi-Tabasso, M., Il restauro della Pietra, Padova, Casa Editrice Dott. Antoni Milani, 1986, p 172.
- 3 Grossi, C.M., Ensayos de tratamiento en materiales rocosos de la Catedral de Oviedo, Tesis de Licenciatura, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, 1986, 122 pp.
- 4 Eibert, R.M.; Grossi, C.M., y Marcos, R.M., Estudios experimentales sobre la consolidación y protección de los

materiales calcáreos de la Catedral de Oviedo, 1ª Parte. Materiales de construcción, Vol. 37, nº 206, 1987, pp 17-25.

5 Eibert, R.M.; Grossi, C.M. Y Marcos, R.M., Estudios Experimentales sobre la consolidación y protección de los materiales calcáreos de la Catedral de Oviedo, 2ª Parte.

Materiales de construcción, Vol. 37, nº 208, 1987 pp 13-21.

6 Goddard, E.N.; Trask, P.D.; De Ford, R.K.; Rove, O.N.; Singewald J.T. y Querbeck, R.M. Rock-Color Chart, The Geological Society of America, Boulder, Co, U.S.A., 1979.

7 Eibert, R.M.; Grossi, C.M.; Valdeón, L.; Ordaz, J.; Alonso, F.J. y Marcos, R.M., Estudios de laboratorio sobre la conservación de la piedra de la Catedral de Murcia.

Materiales de Construcción, Vol. 40, nº 217, 1990, pp. 5-15.

8 RILEM.- Essais recommandés pour mesurer l'altération des pierres et évaluer l'efficacité des méthodes de traitement. Matériaux et Constructions, 13 (75), 1980, pp 216-220.

9 Mora, P. y Mora, L., Método per la rimozione di incrostazioni su pietre calcaree e dipinti murali. Ist. di Fis. Tecnic. C.R.N. Centro di Studio Cause Deterioramento e Metodi di Conservazione delle Opere D'Arte, nº 22 Roma, 1.972.

ESTUDIO DIAGNOSTICO DEL DETERIORO DE LAS PIEDRAS DE LA FACHADA DEL ANTIGUO HOSPICIO PROVINCIAL DE OVIEDO.

R. M. Esbert, J. Ordaz, F.J. Alonso y L.M. Suárez del Río.
Departamento de Geología. Universidad de Oviedo.

SUMARIO

Se estudia el deterioro de las piedras de la fachada del antiguo Hospicio Provincial de Oviedo (Asturias), con el fin de establecer un diagnóstico sobre las causas y mecanismos de alteración, previo a las intervenciones de conservación a realizar en dicha fachada. Se caracterizan, desde el punto de vista petrográfico, los materiales pétreos presentes en la fachada, constituidos por calizas arenosas, y se determinan las propiedades físicas más directamente relacionadas con el paso de fluidos por su interior. Asimismo, se describen las principales formas de deterioro que afectan a las piedras en determinadas partes de la fachada y se analiza el material alterado.

SUMMARY

The deterioration of the façade stone of the old Hospicio Provincial from Oviedo (Asturias) is studied in order to establish the causes and mechanisms of alteration, previously to the works of conservation in the monument. The rock materials - sandy limestones - are petrographically characterised, and the physical properties most directly related to the fluids movement through the stones are measured. Likewise, the principal forms of deterioration shown by the stones in certain parts of the façade are described, and the weathered material analysed.

Palabras clave: Piedra. Caliza. Propiedades físicas. Alteración. Deterioro. Monumento. Oviedo.

INTRODUCCION. MATERIALES PETREOS UTILIZADOS.

El antiguo Hospicio Provincial de Oviedo (actualmente Hotel de la Reconquista) fue proyectado por el arquitecto Pedro Antonio Menéndez de Ambás en 1752. La fachada, de estilo barroco, se terminó en 1754, y se atribuye a Manuel Requera (1). Los materiales pétreos empleados en su construcción son, fundamentalmente, dos tipos de calizas arenosas, una utilizada en la fábrica propiamente dicha y otra empleada en las partes labradas, tales como la balaustrada superior, las columnas y adornos que flanquean la puerta y balcón principal, y, presumiblemente, el escudo (Fig. 1). Esta última piedra presenta, en líneas generales, un peor estado de conservación que la primera, por lo que ha sido objeto preferente de estudio en los trabajos previos a la intervención en el monumento (2):

En cuanto a las diferencias entre uno y otro tipo rocoso, éstas corresponden, esencialmente, a variaciones mineralógico-texturales, tales como: diferentes especies y porcentajes minerales, presencia o ausencia de arcillas, variaciones en los porcentajes de cemento carbonatado y en el tamaño medio de grano, etc. Su coloración es, también, algo distinta: la primera varía de beige a pardo amarillenta, y la segunda entre pardo rojizo y ocre.

La caliza empleada mayoritariamente en la fábrica corresponde a la denominada localmente "piedra de Piedramuelle". Desde el punto de vista estratigráfico pertenece a los niveles del Cretácico superior de los alrededores de Oviedo, y ha sido estudiada con anterioridad en varios trabajos (3,4 y 5). Por este motivo, el presente trabajo se ha centrado en la caracterización y estudio del segundo tipo litológico, perteneciente también al Cretácico

superior, y localizado asimismo en la depresión meso-terciaria de Oviedo.



Fig. 1. Aspecto de la fachada del antiguo Hospicio Provincial de Oviedo (actual Hotel de la Reconquista).

Caracterización petrográfica.

Se trata de una caliza arenosa recristalizada, de aspecto granudo y color de amarillento a rojizo, con alternancias de color dispuestas en bandas según la estratificación. Es de destacar la presencia de núcleos cristalinos y poros elongados de pequeño tamaño (moldes de valvas de moluscos).

El componente esencial es la calcita, la cual se presenta en una proporción próxima al 60 %. De acuerdo con las observaciones microscópicas y los análisis difractométricos realizados, la fracción no carbonatada está constituida mayoritariamente por cuarzo (alrededor del 25%) y feldespatos (5 %). El 10 % restante corresponde a la fracción filossilicada, dentro de la cual se incluyen los minerales micáceos (moscovita) y arcillosos (illita, caolinita y sobre todo glauconita). También cabe señalar la presencia de óxidos de hierro.

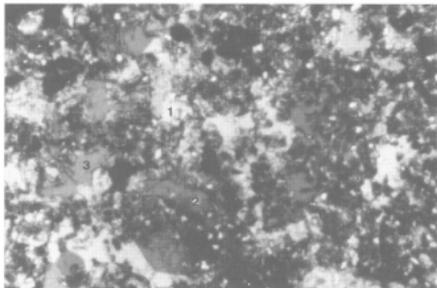


Fig. 2. Aspecto de la caliza bajo microscopía óptica de polarización (x32.NC). Destaca su textura cristalina, con grandes cristales de calcita (1) en los que flotan los granos detriticos (2), y formas relictas de dolomita (3).

La textura es cristalina, de tamaño de grano fino (menor de 0,250 mm), aunque con notable dispersión de tamaños (desde menos de 100 μm a más de 1 mm). Cabe destacar la presencia de granos detríticos dispersos en la fase carbonatada, de unas 100 μm de tamaño; así como de grandes cristales rómbicos con inclusiones zonadas (relictos de dolomita). Los poros de mayor tamaño son fundamentalmente de origen móldico, es decir, generados por disolución selectiva de granos o cristales (Fig.2).

Propiedades físicas.

Se ha considerado una serie de propiedades en relación con las características del sistema poroso de las rocas y su cinética de sorción de agua. Tanto el sistema poroso, como los movimientos del agua por su interior, juegan un papel fundamental en los procesos de alteración de las rocas, así como en la valoración de la eficacia de los tratamientos que pueden ser aplicados para su consolidación o protección.

Los ensayos hídricos realizados con este fin han sido los siguientes:

- Saturación de agua al vacío (absorción forzada).
- Absorción libre de agua por inmersión total; imbibición.
- Desorción de agua: evaporación.
- Absorción de agua por capilaridad. succión capilar.

Los ensayos se han realizado sobre muestras de piedra procedente del edificio, de acuerdo con las recomendaciones de la RILEM (Reunión Internacional de Laboratorios de Ensayos e Investigaciones sobre Materiales y Construcciones) y las normas propuestas por el CNR-ICR ("Centro Nazionale della Ricerca" y el "Istituto Centrale del Restauro" de Roma), (6,7 y 8).

En las Figs. 3 y 4 se representan las curvas de absorción y desorción de agua (variación del contenido en agua con respecto al tiempo), y en la Fig.5 se muestra la curva de succión capilar (variación del incremento de masa por unidad de superficie, respecto a la raíz cuadrada del tiempo).

Los parámetros físicos determinados a partir de dichos ensayos, y extraídos en algunos casos de las curvas anteriores, son los siguientes:

- Saturación de agua al vacío:

Densidad de la roca seca: 2350 Kg/m^3 .
 Porosidad abierta: 11,5%
 Contenido en agua de saturación: 4,9 %.

- Absorción libre de agua por inmersión total:

Contenido en agua a las 48 horas: 3,4 %.
 Grado de saturación a las 48 horas: 69 %.

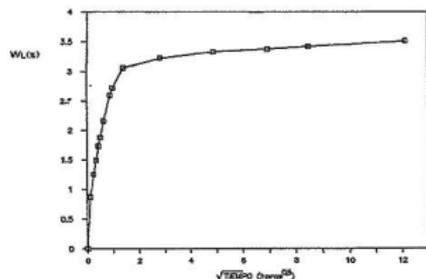


Fig.3. Curva de absorción libre de agua: contenido en agua en función de la raíz cuadrada del tiempo.

- Desorción de agua, (evaporación a T: 18°C, Hr.: 70 %):

Contenido en agua a los 6 días: 0,4 %.
 Grado de saturación a los 6 días: 8,2 %.

- Absorción de agua por capilaridad:

- Coeficiente de capilaridad: 0,56 $\text{Kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$.

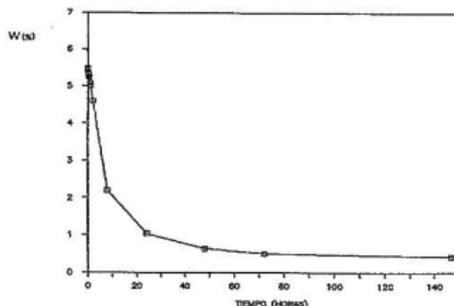


Fig.4. Curva de evaporación: contenido en agua en función del tiempo.

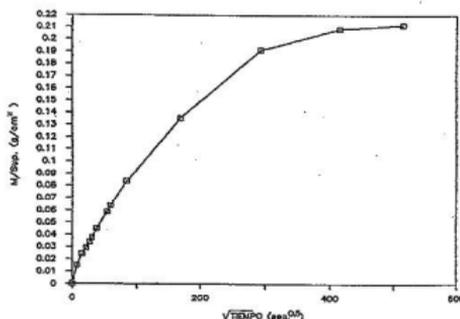


Fig.5. Curva de succión capilar: incremento de masa por unidad de superficie en función de la raíz cuadrada del tiempo.

Distribución del tamaño de los poros.

Mediante técnicas de inyección de mercurio en la roca se ha obtenido la distribución de la porosidad en función del tamaño de acceso a los poros. De acuerdo con la gama total de presiones alcanzadas por el equipo porosimétrico, el rango de poros explorados se sitúa entre 70 y 0,0035 μm

El ensayo ha sido llevado a cabo sobre muestras cilíndricas de 12 mm de diámetro y unos 30 mm. de altura. Se han realizado dos inyecciones consecutivas de mercurio en la roca; de esta manera puede diferenciarse, dentro del volumen total de poros, una parte que queda impregnada por mercurio de forma permanente (porosidad atrapada).

En la Fig.6 se presenta la curva de distribución del volumen de poros penetrados por mercurio en función de sus radios de acceso. Los principales parámetros obtenidos en este ensayo, algunos de los cuales han sido extraídos de la curva anterior, son los siguientes:

- Volumen de poros:

Porosidad abierta (accesible al Hg): 11 %

Porosidad atrapada : 9 %

- Tamaño de acceso a los poros:

Radio medio (mediana): 0,7 μm .

Dispersión (rango intercuartilico): 0,2 a 2 μm .

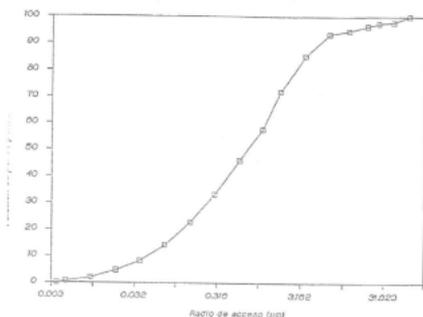


Fig. 6. Curva de distribución del volumen de poros penetrados por mercurio en función de sus radios de acceso.

DETERIORO DE LAS PIEDRAS.

Las piedras de la fachada principal del citado edificio muestran signos de deterioro de variable importancia y desigualmente repartidos. En general las partes más deterioradas son aquellas que se hallan más expuestas a la acción de la intemperie, a su vez edificadas con la variedad rojiza de caliza arenosa descrita. Así, las piedras de la balaustrada superior, cornisa, pináculos, escudo central y balcón principal están mucho más alteradas que los sillares y los paramentos lisos, y constituyen las partes del edificio que requieren mayor atención y cuidado.

Formas de alteración.

La alteración de dichas partes se manifiesta a través de diversas formas. La principal y más extendida es la caída espontánea de porciones o fragmentos de material, de tamaño centimétrico, y que tienden a erosionar la piedra, con las repercusiones que esta progresiva pérdida de material puede tener en la integridad y estabilidad de las mismas. Esta fragmentación es, fundamentalmente, consecuencia del desarrollo de fisuras, escamas y placas, que tienden a separar el material superficial del substrato rocoso.

Las figuras son de tamaño variable, y algunas de ellas recorren gran parte del sillar, con serio riesgo de rotura. Estas discontinuidades constituyen grandes vías de acceso por las que penetra y circula el agua, principal agente meteórico de la alteración de las piedras (fig.7). El desarrollo de fisuras paralelas o subparalelas a la superficie de la piedra contribuye a la formación de escamas y placas, de espesor milimétrico a centimétrico, respectivamente, que, como ya se ha indicado, tienden a separarse y a desprenderse del substrato (exfoliación o desplazación) (Fig.8).

Otras formas de deterioro se hallan influenciadas, a su vez, por determinados rasgos estructurales de la roca. Así, encontramos sillares o bloques cuya abrasión se ve favorecida por la estratificación original de la roca, dando lugar a acanaladuras, más o menos pronunciadas. Se observa, también, en algunos elementos pétreos, desagregación

granular (arenización) que conduce asimismo a la pérdida progresiva de material. Esta desagregación arenosa va acompañada, generalmente, de pérdida de cemento (des cementación).



Fig.7. Aspecto de la erosión producida en una escultura junto al escudo central. Nótese la presencia de fisuras.



Fig.8. Descamaciones y desplazaciones en una columna de la entrada.

Externamente las piedras presentan pátinas de suciedad de coloración oscura, debido a la acumulación de depósitos superficiales provenientes de aerosoles atmosféricos (hollín, polvo, humos, etc.). Estos depósitos se hallan generalmente asociados a la formación de costras, las cuales contribuyen asimismo al deterioro de la piedra, y tienden a concentrarse preferentemente en los lugares resguardados de la fachada (p.ej. debajo de los balcones y cornisas). Estas partes ennegrecidas contrastan con las zonas de lavado, donde la lixiviación por el agua de lluvia es importante.

Por último es de destacar una probable acción deteriorante de carácter biológico, especialmente debido a líquenes que, en algunas partes (barandilla superior) están muy implantados. Una valoración de dicha acción erosiva en el conjunto del deterioro de las piedras de la fachada requeriría, sin embargo, de un estudio más detallado y específico.

Análisis del material alterado.

Se ha estudiado el material alterado de la piedra de la fachada a partir de observaciones de superficies de costras y escamas al microscopio electrónico de barrido (MEB) y de análisis químicos de iones.

Al MEB las superficies de las costras aparecen con un aspecto rugoso, "arenizado", resultado de la disolución de los componentes carbonatados, y de la desagregación de los granos detriticos. También se detecta la presencia de minerales arcillosos, ya detectados por vía difractivométrica y de residuo insoluble. Sobre dichas superficies se observan crecimientos de sales solubles, especialmente de yeso. Los cristales de yeso aparecen, generalmente, formando pequeños núcleos o agregados, o dispersados por la masa rocosa, destacando, especialmente, los cristales de formas laminares o lenticulares.

En cuanto a los análisis de iones, se han determinado las concentraciones del anión sulfato y de los cationes calcio y magnesio en costras. Las concentraciones obtenidas del anión sulfato han sido del orden de 0,26 mg/g. Por lo que respecta a los cationes, las concentraciones de Ca y Mg, determinadas por absorción atómica, han sido de 10,26 % y 0,37 %, respectivamente. Estos datos corroboran la existencia de yeso en pequeñas cantidades, el cual, como se ha mencionado, había sido detectado previamente por vía microscópica. Con respecto a su origen, es de suponer que este yeso sea de neoformación, generado durante los procesos de alteración de la caliza, concretamente por la reacción del dióxido de azufre atmosférico con el carbonato cálcico presente en la misma.

CAUSAS Y MECANISMOS DE DETERIORO.

En el deterioro de las piedras de la fachada del antiguo Hospicio Provincial de Oviedo, confluyen varias causas y mecanismos. Puede afirmarse que el principal factor de alteración es el agua (humedad). Al tratarse de una piedra porosa de naturaleza calcáreo-arenosa, el agua (principalmente de lluvia) tiende a disolver los componentes carbonatados, lo que comporta, con el tiempo, la pérdida progresiva de material.

Además de esta acción estrictamente química, el material pétreo sufre acciones degradatorias de carácter fisicoquímico, siendo la más importante o significativa la desagregación que afecta a los granos minerales. Esta desagregación granular se ve favorecida eventualmente por la acción del agua convertida en hielo durante las heladas, lo que induce tensiones en el seno de la piedra que, a largo

plazo, acaban por fisurarla. Estas fisuras, que a su vez, constituyen nuevas vías de acceso del agua al interior de la piedra, con lo que se acelera la degradación, y consiguientemente, el resquebrajamiento y caída de fragmentos de la misma.

Las acciones debidas al agua - ya sea en forma líquida, sólida o de vapor de agua - son más evidentes en las partes del edificio más expuestas a los agentes de la intemperie, como ya se ha señalado, y, en especial, en aquellas variedades rocosas que contienen una mayor proporción de minerales arcillosos. De hecho, las arcillas representan núcleos potenciales de desagregación y favorecen notablemente la alteración fisico-química.

A dichos mecanismos deben añadirse los conducentes a la formación de costras y depósitos de suciedad (pátinas), sobre la superficie de las piedras. Estas formas de alteración estarían motivadas, fundamentalmente, por la incidencia negativa de la contaminación atmosférica del área urbana de Oviedo, con contenidos relativamente altos de azufre y aerosoles particulados (hollín y humos), producto de la combustión de combustibles fósiles.

AGRADECIMIENTOS

A la comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) por la ayuda prestada a través de la financiación del Proyecto n. 485/89.

REFERENCIAS

1. Ramallo Asensio, G., Arquitectura civil asturiana (Epoca Moderna), Ayalga Ediciones, Salinas (Asturias), 1978, 224 p.
2. Esbert, R.M., Grossi, C.M., Ordaz, J., Alonso, F.J., Ruiz, L. y R.M. Marcos, Tratamientos de conservación aplicados a la fachada del antiguo Hospicio Provincial de Oviedo, Actas del I Congreso Internacional sobre Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación, Islas Canarias, 1992.
3. Esbert, R.M. y Marcos, R.M., Las piedras de la Catedral de Oviedo y su deterioración, Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Asturias, Oviedo, 1983, 147 p.
4. Esbert, R.M., Grossi, C. y Marcos, R.M., Estudios experimentales sobre la consolidación y protección de los materiales calcáreos de la Catedral de Oviedo. (Primera Parte). Materiales de Construcción, Vol. 37, n. 206, 1987, pp 17-25.
5. Esbert, R.M., Grossi, C. y Marcos, R.M., Estudios experimentales sobre la consolidación y protección de los materiales calcáreos de la Catedral de Oviedo (Segunda parte). Materiales de Construcción. Vol. 37, n. 208, 1988, pp.13-21
6. RILEM (1980), Essais recommandés pour mesurer l'alteration des pierres et évaluer l'efficacité des méthodes de traitement. Materiaux et Constructions, Vol 13, n. 75, 1980, pp. 175-252.
7. CNR-ICR, Assorbimento d'acqua per immersione totale. Capacità d'imbibizione, Doc. Normal 7/81, Roma, 1981, 5 pag.
8. CNR-ICR, Assorbimento d'acqua per capillarità. Coefficiente di assorbimento capillare. Doc. Normal 11/85, Roma, 1985, 7 pag.

APLICACION DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS AL ESTUDIO DE LA ALTERACION DE LA PIEDRA EN LA PORTADA PRINCIPAL DEL PALACIO DE SAN TELMO EN SEVILLA.

Gracia G. Terreros. Manuel Alcalde.
E.T.S.I.I., Universidad de Sevilla.

SUMARIO

En la portada se han tomado el mínimo número de muestras posibles, para identificar los tipos de rocas empleadas, sus indicadores de alteración y optimizar posibles actuaciones sobre la misma. Se utilizan experiencias no destructivas, como son el estudio del material inalterado y la reproducción de las alteraciones existentes, junto con un profundo muestreo de ultrasonidos. Se prevee la aplicación de gammagrafías en elementos puntuales a los que es imposible aplicar otros tipos de experiencias.

1. INTRODUCCION

El Palacio de San Telmo fue construido por la antigua Universidad de Mareantes. Es un edificio del siglo XVIII y cuenta con una portada principal realizada en piedra (Foto 1), que es una obra maestra del barroco español, y está fechada en 1734.

En lo que afecta a la conservación de este elemento singular y previamente a cualquier actuación, se considera primordial obtener la máxima información sobre el mismo. Es de suma importancia conocer, no sólo su historia y las características de sus materiales, sino también las de su entorno y del estado de conservación de la misma.



Foto 1. Vista frontal de la portada de San Telmo.

La portada presenta un estado de alteración motivado por una serie de factores: los derivados de la composición y características de sus materiales y geometría; su situación en el centro de la ciudad, que la sitúa en un ambiente con altas concentraciones de dióxido sulfúrico y humo procedente del tráfico rodado; la climatología de la ciudad de Sevilla, temperaturas muy diferenciadas entre el día y la noche, altas humedades relativas y vientos flojos; la cercanía al río Guadalquivir y su zona portuaria; así como el alto nivel freático de la ciudad.

El análisis visual de la portada muestra modificaciones superficiales de todo tipo, que van desde importantes variaciones cromáticas hasta concreciones y depósitos. Más puntualmente se observan alteraciones, muy graves algunas, de los tipos de eliminaciones de materia, rupturas y disyunciones, en gran parte asociadas a alteraciones de tipo biológico.

Analizando toda la información recogida se determina el número de muestras que serán necesarias para definir el estado de alteración de los materiales pétreos de la portada. Es importante destacar que el valor y las dimensiones de la portada objeto de esta investigación condicionan la limitación numérica y dimensional de las muestras.

2. TOMA DE MUESTRAS

La finalidad de la toma de muestras es obtener, a partir de la mínima cantidad de material posible, la más completa información acerca del estado del monumento, sus materiales, las causas de la alteración, con objeto de proponer medidas eficaces conducentes a frenar su proceso de degradación, así como a delimitar los tipos de tratamientos en caso de actuación sobre la misma. Es fundamental efectuar una correcta selección de muestras en cuanto éstas deben abarcar todos los tipos de piedra empleados en su construcción, así como las distintas alteraciones que presentan. Para la identificación de las canteras de procedencia, se han realizado dos tipos de análisis químicos: la determinación de sus componentes mayoritarios y de sus elementos traza.

En el análisis de sus componentes mayoritarios se han determinado sus proporciones de silice, hierro, aluminio, calcio, magnesio, sulfatos, sodio, potasio, así como sus pérdidas por calcinación. Este análisis no sólo permite el caracterizar el material pétreo, sino que clarifica los indicadores de alteración encontrados en el mismo, al contrastarlos con muestras inalteradas, como pueden ser una mayor presencia de sulfatos, pérdidas por calcinación, etc.. En la figura 1 se pueden apreciar los intervalos de algunos valores de muestras analizadas procedentes de cantera y tomadas del monumento.

Se han delimitado con seguridad sus procedencias estudiando sus elementos trazas, componentes químicos minoritarios, que difieren para cada litotipo, así como sus concentraciones relativas. Se determinan mediante absorción atómica sus proporciones de rubidio, cesio, estroncio, titanio, cromo, molibdeno, manganeso, níquel, cobre, zinc, cadmio, estaño, plomo y antimonio. En la figura 2 se pueden apreciar las proporciones obtenidas de dos muestras de cantera de forma análoga a la anterior.

COMPONENTE	ANALIZADO	M. CANTERA	M. PORTADA
Silice	% SiO ₂	0.01-0.61	0.42
Aluminio	% Al ₂ O ₃	0.02-0.35	0.053
Hierro	% Fe ₂ O ₃	0.02-0.11	0.061
Magnesio	% MgO	0.22-4.00	0.46
Sulfatos	% SO ₃	0.12-0.40	0.94
Calcio	% CaO	51.60-55.73	54.76
Sodio	% Na ₂ O	0.10-1.34	<
Potasio	% K ₂ O	0.05-0.25	<
Perd. Calc.	%	43.10-43.70	43.16

Figura 1. Comparación de componentes mayoritarios de muestras procedentes de la portada y de cantera.

COMPONENTE	M. CANTERA	M1 PORTADA	M2 PORTADA
Rb	0.4-7.8	< 2	< 2
Ce	36.9-142.0	< 5	< 5
Sr	107.0-181.6	112.4	130.8
Tl	< 120	< 120	< 120
Cr	17.1-25.0	4.2	14.4
Mo	< 35	< 35	< 35
Mn	12.8-51.5	158.1	151.5
Ni	19.7-36.7	< 2	6.2
Cu	15.6-21.4	3.6	8.1
Zn	< 0.5-73.5	5.0	12.2
Cd	2.8-6.3	< 0.1	< 0.1
Sn	< 230	< 230	< 230
Pb	28.4-52.8	4.0	9.1
Sb	63.2-82.0	< 2	< 2

Figura 2. Comparación de componentes minoritarios de muestras procedentes de la portada y de cantera.

Del análisis de las muestras se deducen los tipos de piedras empleadas en la construcción de la portada: una caliza oolítica procedente de canteras de la provincia de Sevilla, en su mayor parte, y un mármol blanco procedente de Málaga utilizado en el basamento de la planta baja. Existe otra tercera piedra, empleada en reparaciones posteriores, que aparece en la parte posterior del tercer cuerpo; no entra en consideración en la presente investigación por ser un material poco representativo en la portada.

3. ENSAYOS DE MUESTRAS PROCEDENTES DE CANTERA.

Es necesaria la toma de muestras de material procedente de las distintas canteras para realizar sobre dichos materiales los estudios mineralógicos y petrográficos y de sus características físicas, químicas y mecánicas. Para su realización son necesarias grandes cantidades de materiales inalterados, que no pueden ser extraídas de la portada sin dañarla.

Respecto a las características petrográficas, la piedra procedente de Sevilla, es una caliza de matriz esparítica, del tipo de las ooesparitas y con textura colorforme oolítica. El mármol procedente de Málaga es un mármol de matriz micrítica micácea, del tipo de los mármoles dolomíticos y con textura heterogranuda.

Sobre ambos materiales se han realizado análisis químicos para determinar sus componentes mayoritarios y minoritarios, de forma análoga a las descritas anteriormente. Análogamente se realizan pruebas de absorción y desecación, así como de densidades, de las cuales se concluye

que ambos materiales tienen muy alta compactación y muy baja porosidad. Es de interés la posibilidad de contrastar los resultados obtenidos con los de las muestras alteradas tomadas de la portada.

Respecto a sus características mecánicas, ambos materiales presentan muy buenas resistencias a flexotracción y a compresión. La rotura de la primera se realiza sobre probetas prismáticas de 4x4x16 centímetros, y la rotura de la segunda se realiza mediante un dispositivo que aplicaba carga sobre una superficie de 4x4 centímetros (Fotos 2 y 3).

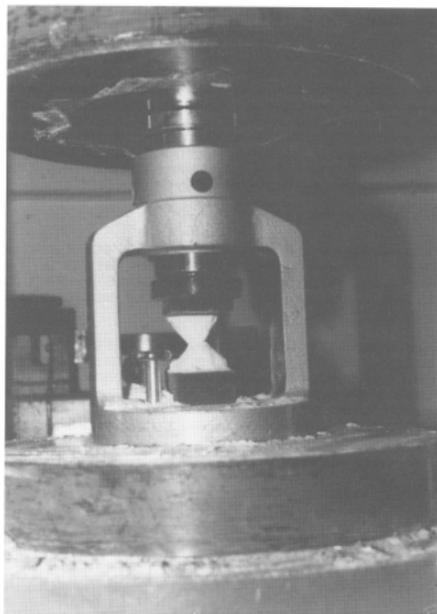


Foto 2. Ensayo de rotura de probeta a compresión.

De estos análisis se llega a la conclusión que ambos materiales se caracterizan por tener una alta compactación y dureza, así como por tener como componente mayoritario la caliza. Asimismo destacan las pérdidas de densidades, compactaciones y, por tanto, de resistencias al alterar-se, si bien estos fenómenos son bastante superficiales.

4. EXPERIENCIAS DE ALTERACIONES ACELERADAS.

Las experiencias de alteraciones aceleradas pretenden producir mecanismos que permitan relacionar ciertos factores extrínsecos (contaminación, humedades, etc.) e intrínsecos de alteración propios de la piedra, con los indicadores visuales que se aprecian. Esto permitirá, mediante la reproducción de los citados mecanismos, determinar la eficacia de tratamientos de conservación.

En el presente estudio, cobran relevancia las experiencias de ataque químico, principalmente la resistencia a los agentes contaminantes. También son primordiales las experiencias de resistencia al agua (humectación y secado) y la cristalización de sales. Es importante conocer previamente las características petrográficas y químicas de las piedras a ensayar, dado que estas determinarán los mecanismos de alteración que se producen y los indicadores que se pretenden reproducir.

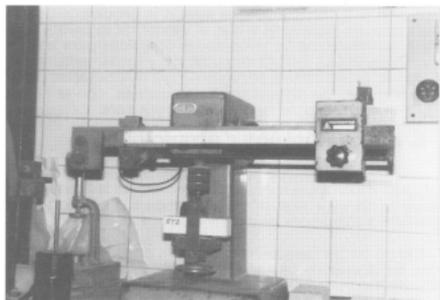
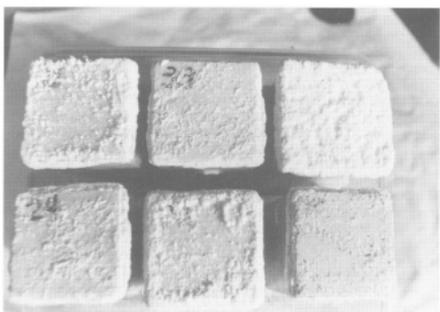
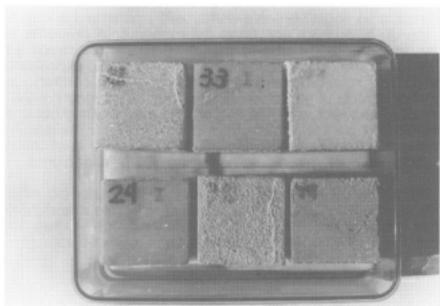


Foto 3. Ensayo de rotura de probeta a flexotracción.

El ensayo de cristalización de sales por capilaridad tiene gran importancia. Se realiza mediante una disolución de cloruro sódico al diez por ciento. La probeta no entra en contacto directo con la solución, sino que esta última asciende a través de un papel de filtro. Como puede apreciarse en las fotografías adjuntas (fotos 4-7), y a pesar de la gran compacidad de ambos tipos de piedras ensayados, las sales van apareciendo en ambos materiales de forma gradual, según su porometría. Es interesante remarcar cómo unas fisuras superficiales preexistentes se bordean de precipitación de sales con mayor intensidad que la superficie sana.



Fotos 4 y 5. Ensayo de cristalización de sales. Fases intermedias.

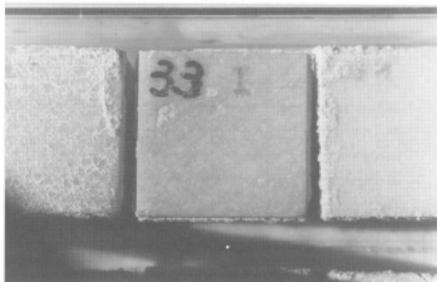


Foto 6. Detalle del estado de probeta de mármol tras ensayo de cristalización de sales.

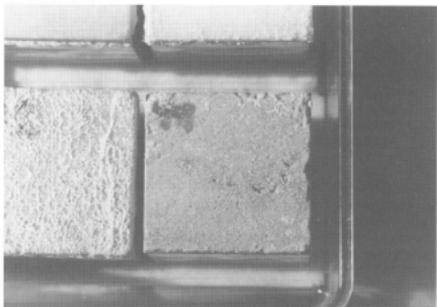


Foto 7. Detalle del estado de probeta de piedra caliza tras ensayo de cristalización de sales.

5. ULTRASONIDOS

Se han realizado lecturas en sillares de los basamentos de las columnas. Estos basamentos generales son de mármol y las basas de las columnas son de piedra caliza (foto 8). La utilización de ultrasonidos en emisiones indirectas o de superficie y semidirectas o en ángulo, ha permitido concluir que, en los basamentos generales se han utilizado sillares de mármol, y no un aplacado de este material. En la figura 3 se exponen lecturas realizadas en ellos.



Foto 8. Detalle del basamento realizado en mármol. Los basamentos individuales de las columnas son de piedra caliza.

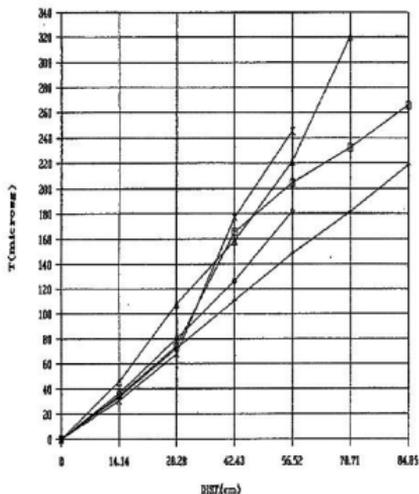


Figura 3. Lecturas de emisiones semidirectas o en ángulo realizadas en basamento de mármol.

En los sillares de piedra caliza, incluso en aquellos donde se apreciaban fisuras, se han realizado los mismos tipos de lectura, y es interesante el analizar las lecturas de las emisiones y la comparación entre ellas, como puede apreciarse en la figura 4.

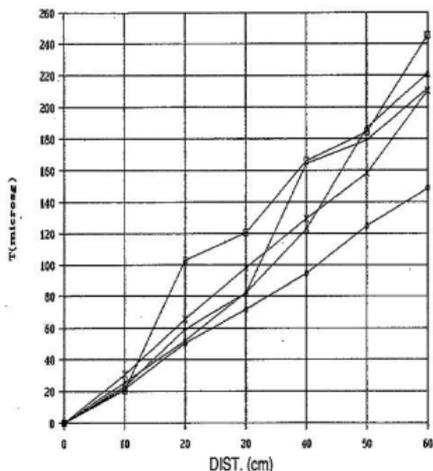


Figura 4. Lecturas de emisiones indirectas o de superficie realizadas en basamentos de columnas de piedra caliza.

Es importante destacar la similitud de las lecturas realizadas en sillares análogos ya que, si bien la piedra se caracteriza por ser un material heterogéneo, sus pequeñas oscilaciones demuestran que esta propiedad no es muy acusada en las piedras estudiadas. También es de destacar el hecho de las similitudes de las lecturas frente a los distintos indicadores de alteración, sobre los que se ha

aplicado esta técnica, lo cual lleva a la conclusión que la alteración es superficial y que el interior de la piedra está sano. La diferencia de velocidades obtenidas para ambos materiales indica distinta composición y fundamentalmente porometría. Los sillares escogidos para realizar estas pruebas han sido de dimensiones apreciables, con el fin de obtener un mínimo de cuatro lecturas por cara.

6. OTROS METODOS E INTENCIONES

Existen otros métodos que pueden aportar información de gran importancia tanto para el estudio de las características de los materiales como para el de sus alteraciones y posibles tratamientos de conservación.

Dentro de las características físicas de la piedra a estudiar en laboratorio destaca por su importancia la porometría de los materiales. Consiste en medir los volúmenes totales de poros, para los distintos tamaños de los mismos. De ello se deduce una información valiosa para el conocimiento de la piedra y de sus variaciones al alterarse. Para este estudio se utiliza el porosímetro de mercurio, instrumento rápido y automático.

Una tipología de ensayos no destructivos, usada frecuentemente para establecer patologías internas en materiales metálicos y que puede ser relevante ante ciertos problemas en la piedra es la Radiología. Dado que sus aplicaciones permiten apreciar los interiores de las piezas a estudiar, indicándose en ellos daños e irregularidades, su aplicación queda más que justificada para determinados elementos, como pueden ser estatuas, columnas, etc. dado que cuentan con elementos metálicos en su interior que producen daños al oxidarse.

Dentro de la radiología y de sus técnicas industriales, destaca su doble vertiente de rayos X y gamma. La aplicación de la primera en zonas del monumento presenta el inconveniente de que la penetración de los rayos es menor, por lo que necesita mayores tiempos de exposición y obtiene resultados menos precisos; por el contrario la aplicación de la segunda, al tener sus rayos mayor penetración, necesita menores tiempos de exposición y obtiene resultados de más calidad. Es por ello que la realización de gammagrafías es un método de ensayos no destructivo a tener en consideración en este tipo de investigaciones.

Otro tipo de ensayo no destructivo e indicador del estado superficial de los materiales es el referente a la dureza por rebote. Permite localizar, por diferencia de valores, las zonas sanas y las zonas alteradas en el monumento.

7. CONCLUSIONES

Los ensayos no destructivos han aportado, sin dañar al monumento, datos de importancia como el conocimiento de vicios ocultos en el material, y la relativa gravedad de los daños que se pueden apreciar desde el exterior. Se determinan así la existencia de algunas causas de posibles ruinas de los elementos pétreos, como pueden ser la existencia de elementos metálicos en su interior, grandes oquedades o fisuras, e incluso graves irregularidades del material. Algunos de estos ensayos son imprescindibles para determinar patologías ocultas, pero fundamentalmente su utilización está más dirigida a dar apoyo a determinadas afirmaciones que se obtienen por otros métodos.

Las experiencias de alteraciones aceleradas han permitido establecer los mecanismos de alteración que sufren los materiales pétreos, así como las causas que los producen y la validez de determinados productos de conservación.

A la luz de los resultados obtenidos, se prevee que el papel de los ensayos no destructivos cobrará cada vez mayor relevancia en el tema de restauración de monumentos, dada la importancia de la información que aportan y el reducido daño que se hace al elemento que se desea investigar.

8. BIBLIOGRAFIA

1 ALCALDE, M. y MARTIN, A., Macroscopical study of Stone Alteration I. The Cathedral of Seville, VI International Congress on Deterioration and Conservation of Stones, Turin, 1988, p. 216-225.

2 INSTITUTO NACIONAL DE TECNICA AEROSPAZIAL (INTA), Introducción a los métodos de ensayos no destructivos de control de calidad de los materiales, Madrid, Negociado de Publicaciones INTA, 1976.

3 JONES, R., Non-destructive testing of concrete, Cambridge, University Press, 1962.

4 LAZZARINI L. y TABASSO, M., Il Restauro della Pietra, Padova, CEDAM, 1986.

5 MARTIN, A., Ensayos y experiencias de alteración en la conservación de obras de piedra de interés histórico-artístico, Madrid, Fundación Ramón Areces, 1990.

COMPORTAMIENTO DE LA ARENISCA DE VILLAMAYOR (SALAMANCA) TRATADA CON UN HIDROFUGO

F. Madruga *, J. Saavedra **, M.T. Martín Patino ***.

* Consejería de Fomento, Junta de Castilla y León.

** Instituto de Ecología Terrestre, C.S.I.C., Salamanca

*** C.S.I.C.; U.A.M., Canto Blanco, 28049 Madrid

SUMARIO

Se estudia el comportamiento de la arenisca de Villamayor con un hidrófugo basado en siloxanos bajo peso molecular, mediante ensayos acelerados de envejecimiento. Muestras impregnadas por las superficies inferior y superior, por sólo la superficie superior o sin tratamiento, se pusieron en contacto con disoluciones líquidas de sales y de guano, en ciclos de humedad y secado. Las observaciones y ensayos antes y después del tratamiento nos permiten interpretar las condiciones en las que el hidrófugo actúa de forma positiva o negativa.

SUMMARY

We study the behaviour of the Villamayor sandstone treated with a hydrofugous (siloxanes of low molecular weight) by accelerated ageing tests. Impregnated samples with siloxanes its lower and upper surfaces, impregnated samples only the upper surface and samples without impregnation were in touch with saline solutions and aqueous dispersion of bird biogenous residua. The tests were according to humidity and drying cycles. The observations before and after of these treatments allow us to interpret the positive or negative behaviour of siloxane.

PALABRAS CLAVE

Areniscas de Villamayor, hidrófugo, eflorescencias.

INTRODUCCION

La arenisca de Villamayor está caracterizada por una alta porosidad, de 20 a 30 %, elevada absorción de agua, alto coeficiente de capilaridad, y por su comportamiento al vapor de agua, que la hace más sensible a los efectos del agua en todas sus fases.

Factor este muy importante en su alteración y deterioro de los edificios construidos con ella.

El uso de hidrófugos que puedan minorizar este efecto tiene gran aceptación, y es importante su buen uso en la protección de monumentos. Conocer el comportamiento de esta arenisca tratada con un hidrófugo después de ser sometida a ensayos acelerados de envejecimiento en el laboratorio es el objetivo de este estudio.

MATERIALES Y METODOS

Elegimos tres tipos diferentes de las areniscas de Villamayor, F, M y G, que corresponden a comportamientos tecnológicos distintos, (1). El hidrófugo utilizado está basado en siloxanos de bajo peso molecular. Todas las muestras se caracterizaron mediante

Los ensayos de absorción de agua a diferentes tiempos y la permeabilidad al vapor de agua. De cada una de las muestras se hicieron probetas cilíndricas de 7 cm. de diámetro por 2 cm. de alto, protegiendo las superficies externas de manera que sólo quedaran libres las caras superior e inferior. A un grupo de tres probetas se las impregnó por las dos caras con el hidrófugo, aplicado con brocha superficialmente dos veces sucesivas, a otras tres probetas se las impregnó solamente la cara superior, y el tercer grupo se dejó sin tratamiento de hidrófugo. Todas las probetas se colocaron en una bandeja que contenía una disolución salina (4 gr/l. SO₄HK; 1,2 gr/l. Ca (OH)₂; 2 gr/l. NO₃NH₄; 2 gr/l. Cl₂Mg; 2 gr/l. ClNa), (2), estando en contacto las caras inferiores con el líquido, todo ello dentro de un túnel donde se establece corriente de aire para obtener la evaporación en superficie que fuerza la

absorción capilar, (3). Se repitieron 15 ciclos de una semana de duración cada uno (cinco días en contacto con el líquido y tres días de secado a temperatura ambiente). La misma experiencia se repitió con otras tantas probetas pero con disolución de guano (mezcla de guano, recogido en la parte alta de la Catedral, y agua en proporción de Kg/l, filtrando el líquido obtenido después de una semana).

Elegimos estas dos disoluciones por ser las que tienen más semejanza con casos reales.

Durante el desarrollo de los ciclos de tratamiento, y final de cada periodo de humedad y secado, se fueron observando los efectos sufridos en la superficie de las probetas y pesándolas para conocer el contenido de humedad de las mismas.

En los casos en los que se forman costras y eflorescencias en la superficie, se estudiaron en el Microscópio Electrónico de Barrido, el microanálisis químico se hizo por Energía Dispersiva de Rayos-X.

RESULTADOS E INTERPRETACION

El valor medio de los resultados obtenidos en los ensayos de absorción de agua, permeabilidad al vapor de agua, así como el % del incremento de peso de las probetas después del tratamiento, respecto al peso seco, están expresados en la tabla 1.

TABLA 1

	TIPO F		TIPO M		TIPO G	
	Sin Con trat.	Con trat.	Sin Con trat.	Con trat.	Sin Con trat.	Con trat.
% Absorción 10' Absorción 24 horas	5,7	2,3	9,5	1,9	12,1	1,6
Absorción 6 días	13,3	5,8	15,3	3,8	14,8	3,1
Permeabilidad vapor de agua g/m ² día	14,5	10,0	16,5	6,1	16,2	5,2
Norma:	97	95	93	94	92	89
Incremento peso con tra.	-	1,12	-	1,16	-	1,02

Los % de incremento en peso de las muestras, respecto al peso en seco, después del periodo de contacto con la disolución salina en cada ciclo, es decir la humedad retenida, están representados en la fig. 1 (a, b y c). Estos resultados coinciden con los obtenidos para la disolución de guano.

Cuando las muestras se pesan después de cada periodo de desecación a temperatura ambiente, los % de incremento en peso, humedad retenida, varían en unos intervalos muy amplios.

De los resultados expuestos se deduce que, no hay variación en los valores de permeabilidad al vapor de agua en las muestras tratadas con hidrófugo con respecto a las que no han sido tratadas, sin embargo sí varían sensiblemente los valores de absorción de agua por inmersión en un caso con respecto al otro. Este hecho nos confirma que, el producto experimentado, según sus propias especificaciones, impide el paso de agua en estado líquido pero no en forma de vapor. Hay que resaltar que el tratamiento se muestra más efectivo en las muestras

de los tipos G y M que en las del tipo F, que pueden interpretarse como mayor o menor penetración del producto según las características propias de cada tipo de arenisca.

Con respecto a los resultados obtenidos durante los ciclos del ensayo, podemos decir que, cuando las muestras son impregnadas con el hidrófugo sólo por la superficie superior expuesta al aire, la absorción de agua por capilaridad no varía respecto a las muestras no tratadas. Esta característica si se modifica sensiblemente cuando se compara con la de las muestras impregnadas con el producto por las dos superficies, la inferior en contacto con el líquido y la superior expuesta al aire, confirmando lo ya expuesto.

Todo esto lleva implícito la formación de costras y eflorescencias en superficie. En las muestras tratadas con el hidrófugo por las dos caras no hemos observado ningún cambio, las muestras impregnadas por la cara superior y las que no han sido tratadas, presentan costras formadas por agregados cristalinos de sales, fig.2, sulfatos cálcico y magnésico principalmente en las que han estado en contacto con la disolución salina, fig.3, y sulfato cálcico con alguna otra sal cálcica en las que han estado en contacto con la disolución de guano, fig.4. Costras y cristalizaciones semejantes aparecen en las muestras sin hidrófugo, fig.5. Ha habido un transporte de solución acuosa de iones por las cavidades y poros del interior de la piedra con evaporación de agua a través de la superficie, esté o no tratada, cuando las soluciones alcanzan la sobresaturación, precipitan las sales cuya humedad relativa de equilibrio es superior a la humedad relativa ambiente. Esta concentración de sales es más abundante siempre inmediatamente debajo de la superficie exterior en las muestras tratadas, al cristalizar aumentan el volumen de

los poros que ocupan produciendo una rotura entre partículas que permite la salida hasta la superficie exterior, haciendo ineficaz el tratamiento. La microfotografía inferior de la fig.3, es de un corte perpendicular a la superficie tratada de la muestra, en el centro de la mitad inferior pueden verse cristalizaciones de sulfato de calcio inmediatamente antes de que las cristalizaciones pequeñas de la superficie, parte derecha de la imagen.



Fig. 2 a) Probetas después de ser tratadas con disolución salina.

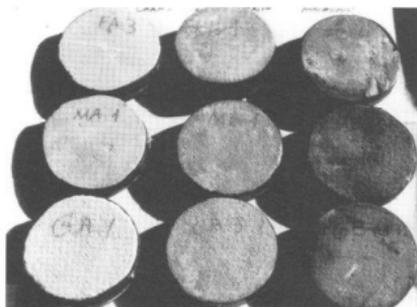


Fig. 2 a) Probetas después de ser tratadas con disolución de guano.

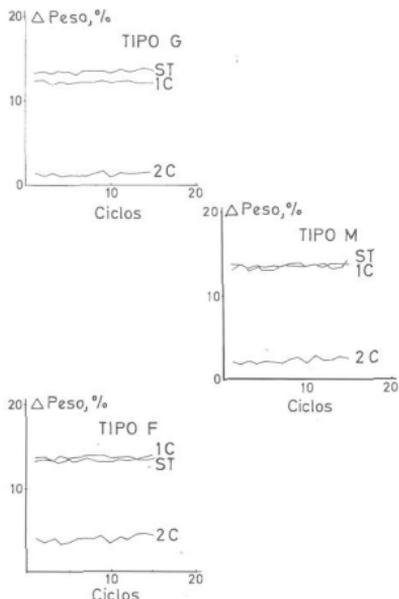


Fig. 1 % de aumento de peso, respecto al peso seco de las probetas al finalizar cada período de contacto con la disolución de sales. ST = sin tratamiento; 1c = tratamiento por la cara superior; 2c = tratamiento por las caras superior e inferior.

La formación de costras y eflorescencias en las fachadas de edificios es uno de los probosos físicos implicados en su deterioro, por ello la importancia de un tratamiento eficaz que evite su formación.

CONCLUSIONES

El tratamiento de la arenisca de Villamayor con un hidrófugo, basado en siloxanos de bajo peso molecular, es solamente eficaz cuando las condiciones del edificio aseguran la imposibilidad de la absorción de aguas subterráneas por capilaridad, infiltraciones laterales, de techumbre u otro tipo de humedad que no venga por la superficie tratada.

REFERENCIAS

1- Saavedra J. Madruga., M.T. Martín Patino., Diferentes comportamientos tecnológicos de las areniscas de Villamayor según su estructura interna. (en prensa), 1991.

2- Zehnder K., Arnold A., New experiments on salt crystallization., VI Inter. Congres on Deterioration and Conservation of Stone., Torun, Poland, 1988.

3- Alcalde M., Sintomatología de alteraciones de las catedrales de Sevilla, Cádiz y Almería., Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, 1988.

4- Norma CNR-ICR., Permeavilata al vapor d'acqua. Norma 21-85, 1982.

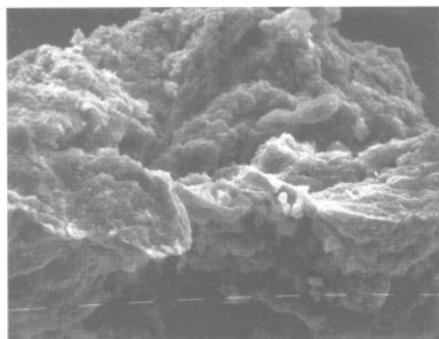
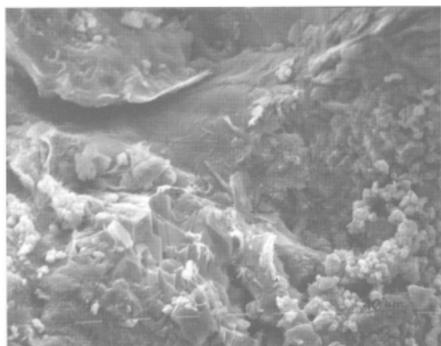
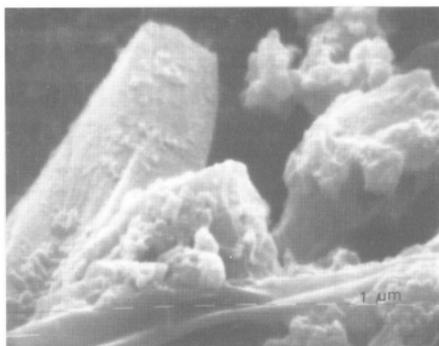
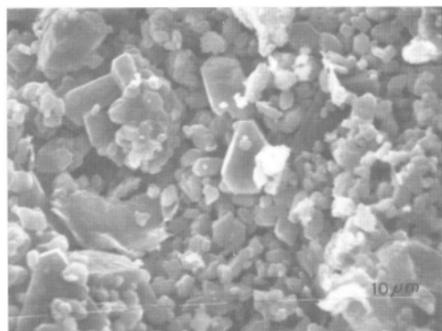


Fig. 3 Microfotografías SEM de cristales de sulfato de calcio en muestras tratadas por la cara superior con hidrófugo en disolución salina.

Fig. 4 Microfotografías SEM de cristales de sales cálcicas y sulfato cálcico de muestras tratadas por la cara superior con hidrófugo en disolución de guano.

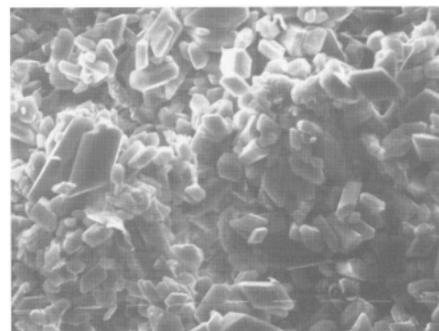
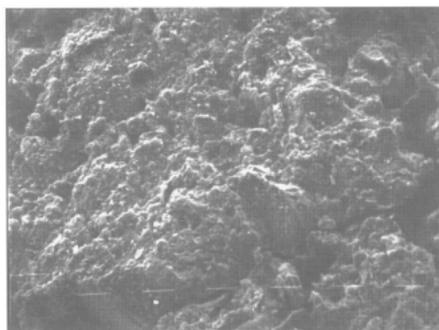


Fig. 5 Microfotografías SEM de muestras sin tratamiento de hidrófugo en disolución salina a) y en disolución de guano b).

ALTERACIONES MICROCLIMATICAS PRODUCIDAS EN LOS MONUMENTOS POR LAS TRANSFORMACIONES HISTORICAS Y URBANAS EN LA CIUDAD DE VALENCIA: IGLESIA DE LOS SANTOS JUANES (VALENCIA)

MAS TOMAS, A.; GALVAN LLOPIS, V.; ALONSO MATILLA, L.; GIL BENSO, E.
ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA. VALENCIA.

SUMARIO:

El presente trabajo tiene por objeto introducir en la sistemática general para el estudio del deterioro de los materiales pétreos y en los monumentos factores que han contribuido en dicho deterioro y que tienen su origen en la propia transformación del edificio y en la del tejido urbano circundante al monumento. Estos se han visto sometidos a continuas intervenciones a lo largo del tiempo, así mismo, las modificaciones del trazado de calles y plazas, las sustituciones edilicias en solares colindantes han sido, entre otros, factores que han contribuido en la variación de las condiciones microclimáticas y, por lo tanto, en las morfologías del material que constituye el edificio.

SUMMARY:

The aim of the present work is to include the factors which have contributed to the deterioration of the stony materials of monuments resulting from changes in the building and from the surrounding urban changes, in the systematic study of the said deterioration. The buildings have been subjected to a continuous increase and transformations in the course of time, the modifications made in the planning of streets and squares, the replacement of building in neighbouring sites conditions and as such, the changeability of the material properties constituting the building.

PALABRAS CLAVE: Rehabilitación, diagnosis, patología, material pétreo.

INTRODUCCION:

Los edificios monumentales se han visto sometidos a un proceso de crecimiento hasta alcanzar una imagen propia correspondiente al siglo en que éstos se reconstruyen. Estas intervenciones a lo largo del tiempo pueden incluirse dentro de una línea de actuaciones que consiste en adiciones de elementos correspondientes a etapas distintas en una historia que podríamos definir como acumulativa. Las distintas etapas quedan reconocidas por la utilización de la arquitectura como lenguaje, creando un repertorio de signos que se materializan en el proceso constructivo. La lectura del edificio es recíproca con la de su propia historia existiendo una relación de mutua interdependencia.

La historia define su estilo, espíritu que se traduce en la construcción de una época, el edificio recibe esta historia asumiéndola como un eslabón de una cadena de superposiciones de lenguajes, cuya formación será pieza clave para entender su valor y sus significados.

Este crecimiento se ve originado por unos añadidos a la arquitectura existente para conseguir mayor relevancia del edificio, allí donde está situado, o bien a terminar planos de fachada, muchas veces inacabadas justificadas por el compromiso adquirido en el entorno donde estaban ubicadas.

Con este mismo fin, y en un afán de alcanzar el perfeccionamiento del edificio, éste empieza a valorarse únicamente en sí mismo transformando muchas veces el lugar donde éste se encuentra. Con esta idea se contribuye a desfigurar los entornos próximos con unas concesiones que no sólo suponían modificaciones en cuanto a alturas

de la edificación próxima, sino a nivel tipológico y morfológico que ha afectado a la propia área donde se encuentra inmerso.

Las áreas urbanas han sido objeto de transformaciones, unas, debidas a las sistemáticas sustituciones de la edificación que han operado cambiando la fisonomía de éstas; otras, por cambios motivados por transformaciones morfológicas que de manera lenta y gradual han eliminado los primeros estratos que se habían configurado. Estos hechos han funcionado por ideologías cambiantes en las que han intervenido contradicciones derivadas de los propios legados urbanísticos y culturales en los que en algunas ocasiones se primaban motivaciones de pura "funcionalidad" urbana, adoptadas en nombre de la circulación, la higiene, la especulación,...

Estas son entre otras, las causas principales que han originado un cambio en la morfología de los entornos próximos a los monumentos alterando las condiciones microclimáticas iniciales. Los cambios en la sección de alturas de los edificios próximos al monumento provocan una variación de los ángulos de aislamiento, en la direccionalidad del viento y de la lluvia. Los cambios geomorfológicos del trazado provocan alteraciones climáticas en el edificio alterando el grado de humedad y el gradiente térmico motivados por la implantación de determinados edificios o por una mayor aglomeración urbana. La adaptación de los viales circundantes al edificio para tráfico ambiental próximo al monumento. La implantación de zonas verdes ajardinadas próximas al edificio contribuyen a la consiguiente producción de microorganismos que el aire transporta.

Estos hechos que nos relacionan unas causas, de tipo histórico o urbano, se materializan en las distintas respuestas que el material muestra, es decir, no puede ser entendido el deterioro de los edificios sin tener en cuenta la interacción entre las variaciones microclimáticas producidas por estas variables en el propio edificio.

1. TRANSFORMACION DEL EDIFICIO

La datación de esta iglesia es incierta, ocupa el solar de una antigua mezquita musulmana del siglo XIII, cedida posteriormente para convertirla en ermita y citada documentalmente como parroquia en 1240 (1).

Según V. Montoliu (2) el templo de los Santos Juanes pertenecía a la corona de parroquias góticas procrístianas de Valencia, con una estructura típicamente valenciana que se reedificó en el mismo estilo tras el incendio de 1311. Para J. Berchez (3) es a partir de este incendio cuando el templo adquiere su configuración gótica.

El resultado es una iglesia de planta longitudinal, con una nave única y la capilla entre los contrafuertes de seis tramos de crucería simple y presbiterio poligonal.

Para otros historiadores se construyó el templo según el modelo de nave de salón con cabecera plana y contrafuertes entre las capillas laterales (1).

Sus muros responden a una austeridad de formas, paramentos lisos, esbeltez de proporciones, no se muestran las capillas al exterior siendo, éstas, características propias del gótico valenciano.

Pero fué a raíz del incendio de 1592 cuando la iglesia cambia de aspecto ya que éste había afectado al retablo de la capilla mayor y todo el testero, y su reconstrucción adquiere un carácter renovador.

Para otros autores las obras que entonces se realizaron se aplicaron sobre todo a la reconstrucción del testero, ampliando el ábside, ahora de cinco caras, para lo que se adelantaron los muros de la cabecera dando lugar a una portada de gran efecto en la fachada que da a la plaza del Mercado. Fig. 1.



Fig. 1.- Iglesia de los Santos Juanes.

"La solución más acabada e ingeniosa fue el frontispicio exterior añadido al muro correspondiente a la cabecera de la iglesia. Esta parte, en realidad, no suele constituir el núcleo exterior principal de las Iglesias dado que no puede llevar ninguna portada grande, presentaba la singularidad de ser el punto de conjunción con la Lonja y el Mercado" (4).

Con esta nueva cabecera se conseguía por una parte enmascarar la parte poligonal de la iglesia gótica adaptándose para una continuidad geométrica de la plaza del Mercado y por otra, esta ampliación permitía a nivel tipológico, conseguir un paso por detrás del altar mayor, así como el trasagrario y sacristías de acuerdo con las exigencias litúrgicas de la Contrarreforma.

Entre 1643 y 1653 se construye al lado del Evangelio la capilla de la comunión, de planta uniforme, esquemáticamente adaptado para los recintos eclesiásticos.

En 1693 la nave gótica, con sus flancos de capillas y su bóveda ya con un presbiterio protobarroco, se modifica por la obra pictórica de Palomino en la bóveda recubierta, al efecto, por un intrados de medio cañón adherido en cierto modo a la plementería y curvaturas góticas.

Hacia el 1700 se comenzó a reformar el revestimiento exterior del edificio. Este afectó a la fachada de la plaza del Mercado, a la portada de los pies de la iglesia, y a la del paramento lateral de la Calle Vieja de la Paja.

Sobre la fachada recayente a la plaza del Mercado se coloca un campanil triangular flanqueado por aletas de recurvadas líneas barrocas y dos estatuas de los titulares sobre basamentos.

Este conjunto ha sido citado por los historiadores por ser uno de los ejemplos barrocos más singulares de la ciudad, no sólo por lo atrevido de su colocación en el edificio sino por la "poderosa sensación de movimiento" que su lectura (visión) produce (1). Aunque carente de referencias documentales, la torre campanario situada a los pies del templo debió construirse a mitad del siglo XVII. Torre de formas clásicas pero con detalles decorativos en el remate del campanario de carácter barroco que parece indicar que finalizó su construcción a finales de siglo.

De las reformas realizadas a principios del siglo XVIII tenemos las dos portadas situadas en el lateral de la iglesia, calle Vieja de la Paja y otras a los pies del templo.

Las intervenciones, ya en nuestro siglo comenzaron en 1946 y han ido encaminadas a obras de reparación y consolidación del edificio (sacristía, forjado y escalera), reconstrucciones parciales y la capilla de la Comunión.

La historia que nos muestra la iglesia de los Santos Juanes queda reconocida por la utilización de un lenguaje arquitectónico adscrito a un estilo en lo que se refiere a los elementos que proceden directamente de un vocabulario.

Esta arquitectura se nos presenta no sólo como sistema espacial constructivo o compositivo sino también como conjunto de formas articuladas en la estructura del edificio. Y es la historia la que nos descubre en sus etapas constructivas, ese lenguaje como clave para entender la sucesión de relaciones recíprocas entre las formas y los significados.

2.- TRANSFORMACIÓN DEL TEJIDO URBANO

El análisis deberá realizarse en un doble sentido: la repercusión de la evolución urbana en el edificio y el edificio como condicionante en la evolución urbana.

El área donde se ubica la Iglesia de los Santos Juanes es uno de los ejemplos de persistencia de los entornos monumentales. Queda incluida dentro de la ciudad al levantarse las murallas cristianas (s.XIV).

La ciudad en esos momentos quedaba estructurada alrededor de las juntas parroquiales establecidas en los nuevos templos, entre ellos la parroquia de los Santos Juanes, junto con los vacíos edificatorios que ellos formaban, acotados por el recinto amurallado.

La morfología urbana de la Valencia del siglo XVIII es la de una ciudad cuyo trazado es de calles estrechas e irregulares pero, a la vez, con muchos espacios abiertos correspondientes a jardines y huertos de los conventos repartidos por la ciudad (5).

La configuración del área hasta el siglo XVIII se mantiene como una constante, en parte debido a que su entorno contenía bastantes edificios singulares (La Lonja, la Iglesia de los Santos Juanes, el convento de las Magdalenas, el Convento de la Merced...) que definían una alineación intocable, y por otra debido a que las pequeñas modificaciones, los ensanchamientos, los cambios de alineación más que modificar sustancialmente la trama urbana, trataban de acomodarla a las nuevas necesidades.

Estos hechos urbanísticos se producen como principios de continuidad histórica cuyas transformaciones responden a una adaptación progresiva a los nuevos tiempos.

Pero los cambios socioeconómicos que experimenta la ciudad también repercuten en este fragmento de centro urbano, materializándose internamente a finales del siglo XIX y, sobre todo, en los principios del XX.

Cambios que quedan reflejados en la evolución de la tipología de viviendas, ya que de un proceso de subdivisión y densificación horizontal se pasa a un proceso de fusión de parcelas y a una densificación en vertical (tipología de vivienda constituida en altura).

Muchos de estos hechos urbanísticos supusieron una ruptura con el pasado traduciendo hechos históricos en una base de representación simbólica (apertura de la Av. del Oeste, cuya escisión en el trazado antiguo no consigue paliar uno de sus objetivos, al edificar en altura y aumentar por lo tanto la densidad de ocupación).

También tiene, para esta área, una trascendencia urbanística la demolición en 1838-39 de los conventos de Santa María Magdalena y el de Madre de Dios de la

Merced que propicia la ubicación del nuevo mercado sobre el vacío irregular dejado por el Convento de las Magdalenas.

Otro hecho importante que afecta a la remodelación del área son las reformas propiciadas por la reglamentación sobre la ubicación de los cementerios como la apertura de la plaza del Cementerio de San Juan, solar ocupado por el cementerio tras la iglesia y próximo al mercado.

Estos hechos como el derribo del convento de las Magdalenas, los distintos contenedores del Mercado hasta la creación del nuevo Mercado, la apertura de la avenida del Oeste... han supuesto transformaciones en la morfología urbana del espacio, y con ello, la transformación del papel primordial que representaba la Iglesia de los Santos Juanes, no sólo cambiando la fisonomía y morfología del lugar, sino también sus condiciones de asentamiento (soleamiento, incidencia de viento, direcciones de tráfico rodado, etc.) condiciones éstas que, como vemos, juegan un papel fundamental en el estado de deterioro de material pétreo que compone el edificio.

3.- ANALISIS DEL MATERIAL CONSTRUCTIVO

El material pétreo utilizado en la construcción de la obra de fábrica de la Iglesia de los Santos Juanes corresponde mayoritariamente a una caliza microespárrita con un bandeado de carbonato de diverso colorido, fuertemente porosa, con poros de tamaño muy variable e intercomunicados entre sí.

En general, este material pétreo muestra dos tipos de porosidad genéticas unas de relleno granular y formación de calcitas secundarias y otras de porosidad tapizadas con microcristales carbonatados.

La caracterización del sistema poroso se lleva a cabo desde la observación directa de los poros de las muestras obtenidas de distintas partes del edificio, a través de la observación macro-microscópica (lupa binocular, microscopio petrográfico, microscopio electrónico) hasta la cuantificación de parámetros relativos a la porosidad y porometría de las rocas, a través del porosímetro de mercurio.

Se han obtenido las medias de las muestras ensayadas, agrupándolas según la fecha de su construcción que se corresponde con el análisis histórico del edificio. Los resultados obtenidos han sido:

Los resultados de algunas de ellas los reflejamos en la siguiente tabla:

MUESTRAS	VTOTAL	AI	SPV	SPS	Da	DR/AI	% CAP
M011	0'0610	2'1220	32'8054	0'0087	2'7137	3'2522	18'1487
M011	0'0209	0'9819	33'38	0'01	2'0866	3'0461	8'6522

VT= Volumen total de intrusión cc/g

AT= Área total de poros m²/g

PV= Diámetro medio de los poros (volumen) µm

PA= Diámetro aparente g/cc

DR/H= Densidad de la muestra con porosidad cerrada

g/cc

% CAP= % de volumen de Hg que ha penetrado en la muestra.

Pudimos observar como el diámetro de los poros obtenidos en todas las muestras eran similares, pero el volumen de poros abiertos era mayor para las que corresponden a las utilizadas en el siglo XVI que las empleadas posteriormente, datos que se mantenían constantes en todas las muestras ensayadas.

La morfología de los poros de este material pétreo nos muestra la fácil movilidad del agua contenida en el material con el medio ambiente, comportamiento éste directamente relacionado con el grado de alterabilidad que muestra el material.

Estos parámetros nos servirán de base para interpretar el material dentro del monumento, estudiando las causas principales que originan la presencia de humedad en el edificio correlacionándolas con las morfologías de deterioro. Así se ha comprobado que la humedad derivada del subsuelo incluso considerando las diferencias de espesor de los muros, no justifica la presencia localizada de humedad en ciertas partes del edificio y dentro de un mismo parámetro que se encuentra básicamente ante unas mismas condiciones de lluvia, viento, orientación, etc.

Los motivos que justifican este comportamiento se deben:

En primer lugar a la correspondencia entre las líneas marcadas por la humedad cronológicamente con la ampliación de la iglesia en su etapa barroca y corresponden, por lo tanto, al cambio en la edad del material pétreo.

En segundo lugar por los condicionamientos urbanos del paramento de la iglesia. Dada su proximidad al Mercado Central tanto en su primitiva función, como soporte de tenderetes hasta la construcción del edificio del Mercado; como actualmente, este paramento forma parte de la limpieza periódica general con el consiguiente riego de agua en su base y superficie.

Otra disposición anómala que encontramos es en una zona de la fachada oeste que por su orientación protegida parcialmente por los edificios vecinos, tanto de los vientos como de la radiación solar debida a la sombra que éstos arrojan sobre la iglesia, se refleja la retención de mayor humedad por su menos rápida evaporación.

Las infiltraciones por humedad atmosférica se producen en la fachada expuesta al norte sobre la que no se produce soleamiento, además de estar escasamente ventilada por la proximidad de las edificaciones contiguas, que dejan calles estrechas, facilitando que se alcancen las condiciones de condensación, provocando infiltraciones más rápidas y en profundidad que en el resto de los paramentos. También se han analizado las fachadas que presentan humedad por infiltración de la lluvia observando como dicha humedad se concentra en juntas abiertas, grietas y fisuras, así como aquellas partes del edificio que por su propia forma o disposición retienen el agua.

Se han estudiado las principales causas que motivan la presencia de agua en el edificio por ser el vehículo esencial en los procesos de deterioro.

La comprobación del deterioro del material se ha realizado mediante observación en lupa binocular y por microscopio petrográfico, así como el análisis puntual del deterioro del material por microscopio electrónico de barrido equipado conEDX para análisis químico. De todas las muestras obtenidas se han realizado ensayos con el porosímetro de mercurio, alterando partes internas y externas para comparar resultados de diferentes muestras obtenidas de distintas partes del edificio sometidas a acciones diferentes.

Los resultados de algunas de ellas los reflejamos en la siguiente tabla:

MUESTRAS	VTOTAL	AI	SPV	SPS	Da	DR/AI	% CAP
M11	0'0610	2'1220	32'8054	0'0087	2'7137	3'2522	18'1487
M1E	0'0723	1'3352	63'5922	0'029	2'5806	3'1726	21'5095
M13	0'0341	0'9121	24'9927	0'0090	2'7797	3'0705	11'5950
M1E	0'0939	1'5459	25'8301	0'014	2'4795	3'2322	25'8787
M11	0'0214	1'1263	36'9408	0'019	3'0401	3'2516	5'3774
M1E	0'0332	1'6967	30'8691	0'0103	2'9142	3'2266	9'4104

Estos datos junto a los obtenidos en la observación macro-microscópica nos han mostrado:

En las zonas o paramentos del edificio que por sus condiciones de forma y situación, en donde la velocidad de

evaporación del agua es menor que la velocidad de migración hacia la superficie se observa la formación de concreciones y eflorescencias constituidas por una capa superficial de carbonatos y sales con textura sacaroidea recubierta con glomérulos y cristales de carbonatos, y con neoformaciones de microcristales en los huecos y en los poros concentrados en la superficie. A estas formaciones se le adjuntan variables cantidades de partículas de contaminación atmosférica. (fig.2).

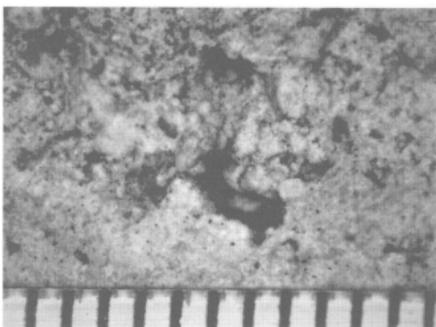


Fig.2. Observación por lupa binocular.

En las partes del edificio donde la velocidad de evaporación del agua supera la de migración hacia la superficie se forman costras constituidas por abundantes partículas, formas redondeadas y globulares fruto de composición sulfatada debido a la deposición en seco y en mojado de los gases contaminantes.

Bajo esta capa se encuentran depósitos de carbonatos cálcicos y sales solubles que reducen el tamaño medio de los poros del material debido al proceso de cementación que se da por estos carbonatos y sales, es decir, la porosidad genésica de la caliza microesparita tiene desarrollada una cristalización que cierra parcialmente el tamaño de los poros favoreciendo estas formaciones la propia morfología del material al estar constituido por muchos poros pequeños y pocos poros grandes según la clasificación de Rossi-Manaresi (6) (fig.3).

En los paramentos, donde se alcanza el régimen estacionario, es decir, que se igualan las velocidades de evaporación y migración del agua se forman escamas que se desprenden de la superficie de la piedra.

En otras zonas del edificio la frecuencia entre el mojado-seco del material y su descarbonatación sucesiva ha provocado la desagregación y pérdida de fragmentos en mol-

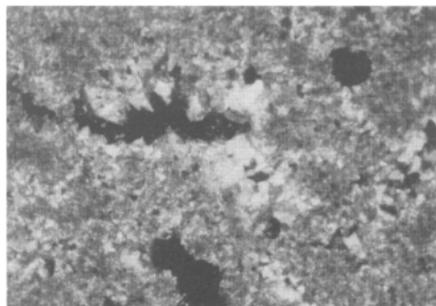


Fig.3. Observación en lámina delgada NC 40 x.

duras y cornisas.

Dentro de cada una de estas zonas aquéllas que se ven sometidas a la acción directa del agua, sobre todo por escorrentía, se denota una descarbonatación y descohesión del material, aumentando la porosidad abierta y el diámetro medio de sus poros a la vez que desaparece su desarrollo cristalino. (fig.4).



Fig.4. Observación por microscópio electrónico M.E.B.

El material pétreo presenta diferentes morfologías de deterioro en función del elemento arquitectónico que configura este elemento forma parte del edificio y su alterabilidad está condicionada a su situación y orientación. Por otra parte el edificio se encuentra inmerso en un enclave urbano donde sus particulares condiciones de ubicación (calles anchas y estrechas, concentración de tráfico rodado, contaminación, etc) contribuyen aún más, a poner de manifiesto la diversidad de morfologías de deterioro que un mismo material pétreo muestra.

REFERENCIAS

- (1) SEBASTIAN LOPEZ, S.; ZAMEN DOMENECH, M.R. "Historia y mensaje del templo de los Santos Juanes". Ed. Federico Domenech, 1989.
- (2) MONTOLIU SOLER, V.; GARIN ORTIZ DE TARANCO; F.M. "Real y parroquial Iglesia de los Santos Juanes o de San José del Mercado". Catálogo Monumental, 1983.
- (3) BERCHEZ, J. "Catálogo de monumentos y conjuntos de la Comunidad Valenciana". Generalitat Valenciana, 1983.
- (4) SIMO, T. "Barrio de Mercat. Valencia Centro Histórico" Diputación Provincial, 1983.
- (5) TEIXIDOR, M.J. Valencia: "La construcción de una ciudad". Valencia 1982.
- (6) ROSSI MANARESSI, R. "Pietre poroso: Alterazione e conservazione". Bolletino d'arte del Ministerio per i Beni Culturali e Ambientali. Supplemento n. 41/1987.

VIEWS OF RECOVERY AND VALORISATION OF THE FORTIFIED TOWN WALLS OF VERONA.

Arch. Fiorenzo Meneghelli

Charged by the Municipality of Verona

VERONA, was born, and evolved, as a military city, and its role as such is evident from the construction of a formidable fortification system, built in response to the various defensive problems of the different ages (Roman, Civic, Scaligero-Viscount epoch, Venetian, Austrian). The recovery of the town walls represents the search for a new urban model that considers the walls as an essential element connecting the city with both the urban and natural environments.

HISTORIC EVOLUTION OF THE FORTIFIED SYSTEM OF VERONA

The first defensive works

Verona, because of its geographic position, has always been a fundamental point of communication between Northern Europe and Italy. For this reason, already from the Roman age, Verona played an important strategic and military role, which during the centuries to come, significantly affected the destiny of the city.

Its defensive structures, renewed in the late imperial period of Gallieno, were reinforced by Teodorico and amplified successively in the Civic, Scaligera and Viscount epochs.

The "scaligera" walls, completed by Cangrande in 1325, were built to extend the perimeter of the city and thus enclose within the walls the monasteries and the flourishing external boroughs. The new city walls of this period circumscribe an area of 1112 acres, that would later be reaffirmed by the Venetians and then by the Austrians; this same area contained Verona's successive urban developments up until the nineteenth century.

THE VENETIAN AGE AND SANMICHELÌ'S BASTION-PROTECTED FRONT (1405-1797).

In 1405 the Venetian domination of the city began and was to last (excluding the brief imperial age) for four centuries. The old defensive works of the Viscount age, unable to support the new capacity of fire and range of the artillery, were partially destroyed in 1509 during the war between Venice and the Cambrai's league and during the next Venetian siege in 1516.

After reconquering the city, the Venetians decided to renew Verona's defensive system, an undertaking that continued until 1520 with the rebuilding of a section of the walls in the south front, the reinforcement of the city walls in the hilly area, and the realization of the Vescovo's and S. Giorgio's gates and, later, with the building of the Maddalena and Campo Marzio bastions. During these interventions Venice called upon the collaboration of various military architects, among them Michele Leoni and the Duke of Urbino, F. M. Della Rovere.

Michele Sanmichelì's plan for the fortification system of Verona, began in 1530-1531 and finished, with his death, in 1559. Sanmichelì found not only technical solutions, drawn from the new science of fortification, but also considered all matter of strategic problems, territorial contests, communication lines, etc.

He also involved the cities of Peschiera and Legnago, thus demonstrating the important relationship between urban and territorial planning.

Sanmichelì, did not plan the city like a geometrical fortress (in accordance with the "ideali city" theory of the Renaissance) but rather he considered the relationship between the defensive and urban and natural areas, connecting these to the historical-cultural context of the city (Roman, Scaligera and Venetian).

Sanmichelì spoke a "modern" language, related to that of the ancients. He also renewed the urbanistic structure of the city, making it vital and efficient until the last century.

In 1517 a separation between Verona and the surrounding territory was created due to construction of a miledeep "spianata", (eplanade) around the city, which forced removal of all buildings and trees along its path. Sanmichelì's plan for the southern front of the city tended to reestablish a relationship between the city and the countryside, safeguarding the civic life of the urban organism and not just that of the military. With the insertion of bastions (S. Francesco, S. Trinito, Riformati, S. Bernardino, S. Zeno, di Spagna) that extends out toward the countryside, Sanmichelì created a distinctive articulation in the existing wall structure.

In a monumental way, Sanmichelì defined the city walls with magnificent gates (described by Vasari as the most beautiful in all of Italy), which open the city outward to the countryside and define the layout of the internal urban growth.

The gates of Verona, in particular "Porta Nuova" and "Porta Palio," manifest in their monumentality not only the function and symbolism of the city-culture, but also the role of this pivotal city and the borders of the Venetian State ("Stato di Terra").

The city walls consist of a curtain in brickwork with a sloping external wall, a stone torus situated under the parapet, a "terrapieno" or embankment in and out of the walls to protect them from the grenades of enemy artillery and bastions situated at strategic distance.

Sanmichelì used, on large scale, the bastion-protected front, both in Verona and in the other cities of the Veneto (Peschiera, Legnago, Orizuri, Padova) and he also supervised the fortifications of the Dalmazia (Zara, Sebenico), and of the Greek isles of Corfù and Candia (Creta).

Venice, involved in a continuous renewal of the Levant fortifications that were exposed to the expansionism of Turkey, would eventually abandon all maintenance and renovation work on the defensive system of Verona; this system would, in fact, remain unchanged for a full two centuries.

AUSTRIAN AGE: FROM THE BASTION-PROTECTED FRONT TO THE FORTIFIED CAMP (1814-1866)

The brief French occupation led to the demolition in 1802 of the defensive works, saving only S. Francesco's bastion and the Spanish bastion.

In 1814, during the Austrian domination Verona became once again a strategic military and defensive point.

The principal phases of the Austrian plan were:

- renovation and reinforcement of the city walls and the urban defensive system (1832-1844).

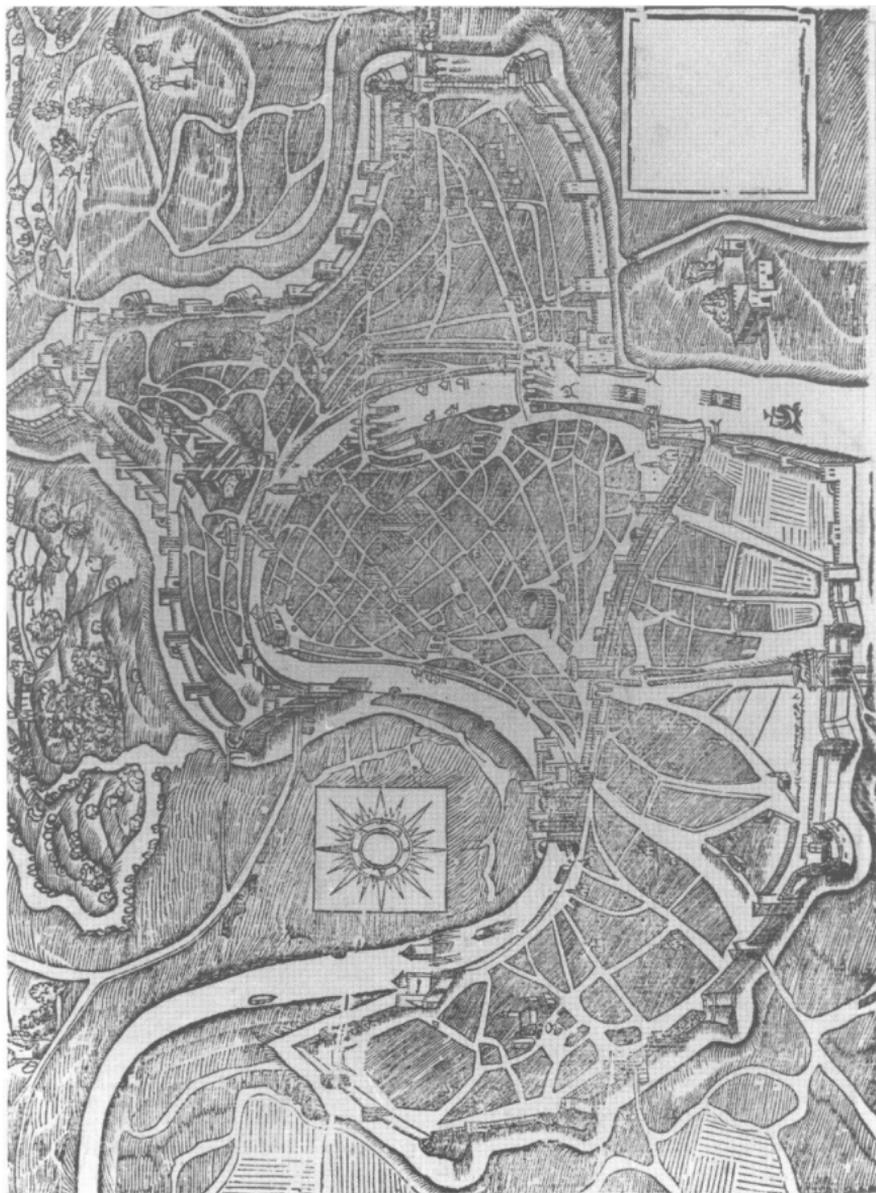


Fig. 1 - Map of Verona, 1540 (Municipal Library, Verona)

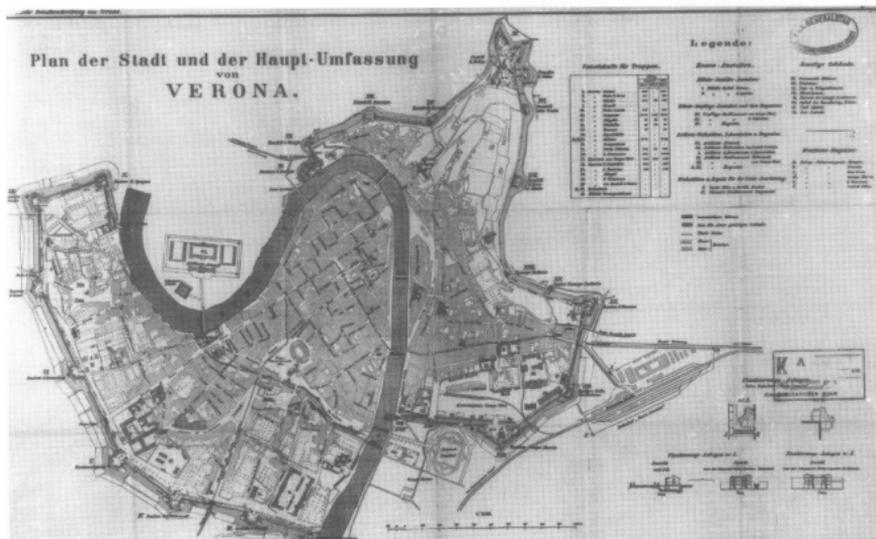


Fig.2 - Map of Verona, about 1860 (Kriegsarchiv, Vienna)

The plan drawn up by Franz Von Scholl (a general of the engineering corps) consisted, first of all, of a renovation of the already existing city walls, then of relating them to some forts far from the stronghold. Sanmichel's city walls were rebuilt with the new bastions of S.Trinità, Riformati, S.Spirito, S.Bernardino, S.Zeno and S.Procolo; moreover, the city walls were reinforced in the hilly part.

Von Scholl, returning to the theories of Montalambert and Carnot, again built the lowest bastions with a polygonal form, with "terrapieno" (terraplain) in the external part to better absorb the artillery blows.

Far from the bastions, he positioned a wall, formed by pentagonal hewn stone arranged "opus incertum", placed on the bottom of the ditch (Carnot's wall), where the infantry were posted and connected by a gallery in the wall screen to the military street of circumvallation.

According to Von Scholl's plan, Verona is not seen as an isolated stronghold, containing the Austrian gar risons but rather as the pivot of the wider strategic plan of the "Quadrilatero" (four-sided stronghold) - Verona, Peschiera, Mantua, Legnago — for the defense of Lombardy-Veneto. In the second phase of the work, planned by Von Scholl for the stronghold of Verona, a series of fortifications, far from the urban circle, were built from 1833 to 1844, but only partially completed. From 1837 to 1842, in accordance with the wishes of the archduke Maximilian, four Maximilian towers inspired by those of Linz's fortified camp were built along the back of the hills; in the same period three forts that present a greater development of the external defensive works were also realized.

In 1839 Von Scholl's fort (now destroyed) was built. Finally, the "Procolo" fort was erected.

After Von Scholl's death in 1844, the realization of his strategic plan was suspended.

- The fortified camp: the first circle of forts far away from the urban city walls (1848-1859).

The Piedmontese military campaign in 1848 and the political tension in Europe demonstrated the necessity of the fortified camp, as planned by Von Scholl.

Twelve new forts (three still extant), 1 km to 2,4 km. from the fortified front, were built to prevent enemy troops from approaching the city. In addition, the Sanmichelians gateways, "Porta Nuova" and "Porta Vescovo" were enlarged.

After General Von Scholl's death, Colonel Tunkler Von Treuimfeld, his disciple, succeeded him as director of the Engineering Corps of Verona. Tunkler brought to completion the defensive system already planned.

The forts were generally built on a trapezoidal plan formed by a "terrapieno" (perimetral terraplain),

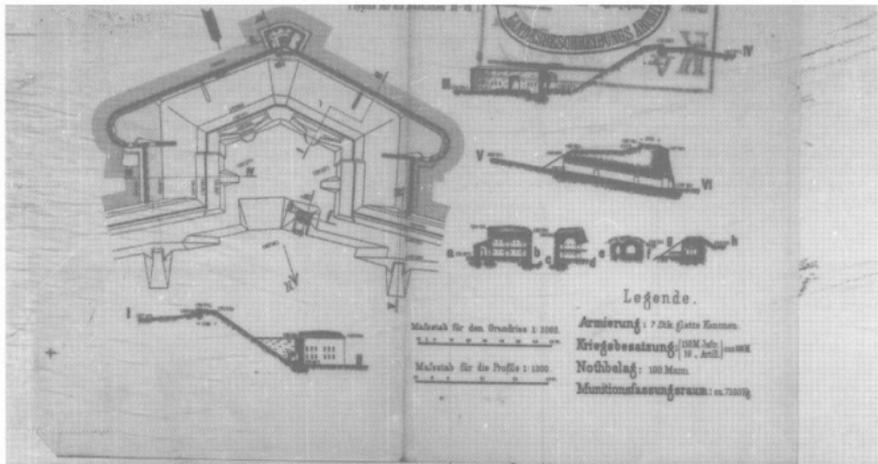
bounded by a ditch with a "Carnot's wall" at its base; some of them had lodgings for the troops.

-The fortified camp: the second circle of forts far from the city walls (1860-1866). After the defeat of Lombardia, Austria clearly understood that Verona was the most important defensive link in the Veneto.

Using the most up to date military strategies, it was necessary to insert the "Quadrilatero", consisting of Verona, Peschiera, Mantua and Legnago and their fortified camps, in a wider and more complex defensive system (fortified region), that represented one of the most important fortified systems in Europe.

Colonel Tunkler, one of the leading figures in the German art of fortification, extended the defensive system with a second circle of nine forts (six extant), 3-4 km away from the stronghold.

Verona became, in this way, a great "barracks" where all the civil and military services for the maintenance, of about 20,000 men were centered.



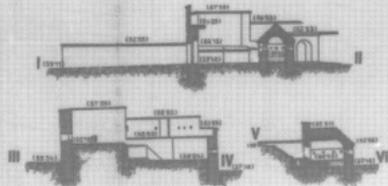
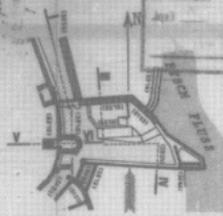
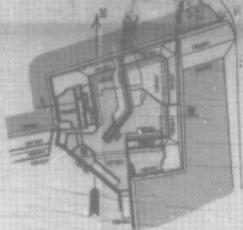
Historische Detailbeschreibung von Verona

Beflage 6



Bastion di Spagna.

Halbbastion Catena.



Maßstab für den Grundriß: 1:2000. Maßstab für die Profile: 1:500.

Maßstab für den Grundriß: 1:1000. Maßstab für die Profile: 1:500.

Legende.

- Armierung: { Bastion di Spagna: 7 Stk glatte Kanonen.
Halbbastion Catena: 2
- Kriegsbesatzung: Bastion di Spagna } 200 M. Inf. (150 M. Artill.) 172 Mann.
Halbbastion Catena } 22 . Artill.
- Nothbelag: Bastion di Spagna: 100 Mann.
- Munitionsfassungsraum: Bastion di Spagna ca. 8000 Kg.

Fig.3 - Bastions "Riformati, di Spagna, Porta Catena" (Kriegsarchiv, Vienna)

Verona also became the logistical centre of the whole fortified region of the "Quadrilatero" with an installation of 120,000 troops.

The construction of the great fortified system and the realization of the big civil and military infrastructures (barracks, depots, plants) required the labour of 10,000 men in 1834 alone.

Once again the interventions of urban planning are a direct consequence of the military and strategic interests that have always driven Verona's urban and economic growth.

Verona's ties with the military, preserved until 1892, were reduced progressively beginning in 1896.

From about 1850 to the first years of the 1900s, many European (Vienna, Paris, etc.) and Italian cities (Bologna, Florence, etc.), began the demolition of their walls, considering that this was a step toward guaranteeing a further development of the urban fabric. The walls of Verona were saved from demolition because the city, until the end of World War I, maintained a military interest and the whole area of city walls still remained state property.

Furthermore, conditions favourable to a great expansion of the city were not present, due to weak economic growth,

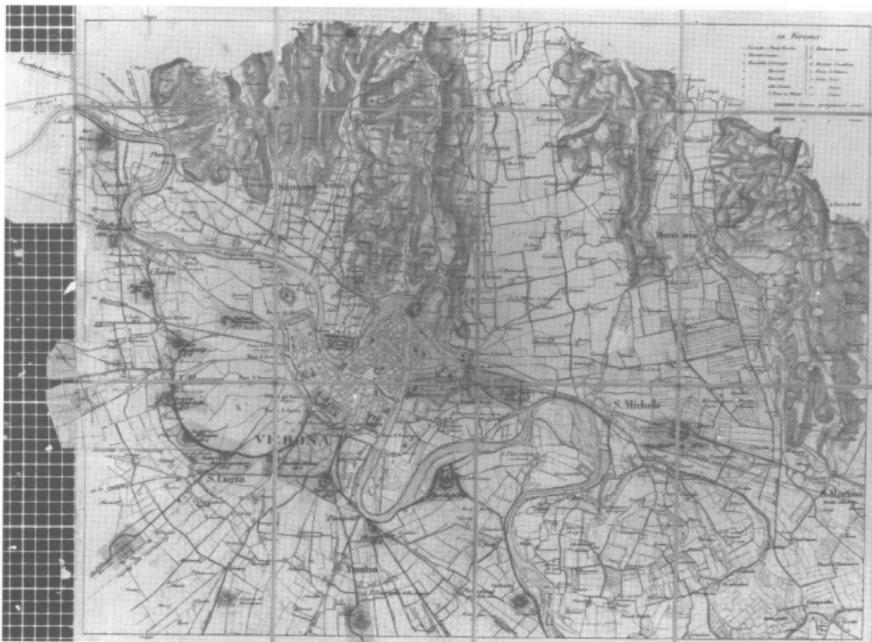


Fig. 4 - Fortified camp of Verona, 1860-1866 (Kriegsarchiv, Vienna)

FROM THE "WALLED" CITY TO URBAN EXPANSIONISM.

When Verona became, in 1866, part of the Italian Kingdom, the city lost a major part of its strategic and military importance, but it still maintained, in a smaller way, its function as logistical center of the front, at this point distanced toward the north east.

In this new economic and political context, the municipal authority of Verona asked permission of the military authority to obtain the state property areas, both within and beyond the City walls — a total area equivalent to one fifth of that of the city. The city's request was justified, first of all by the possibility of resolving the problematic state of the roads and, secondly, by the expansion of the productive and residential installations.

vast areas available for building within the city walls and limited demographic growth.

Moreover, other urgent "social works" took priority, such as the construction of the bank of the river Adige after the flood of 1882.

From the first years of 1900, small tracts of the walls near the urban gates were destroyed in order to construct new streets. These interventions must be seen in relation to the rapid economic and urban growth verified in Verona after World War I.

The City walls, thereafter, lost their function as a dividing line between the city and the surrounding country and began to be seen only as a physical obstacle to urban expansion.

During the Second World War the walls' galleries were used as an air-raid shelter for the city's population; later

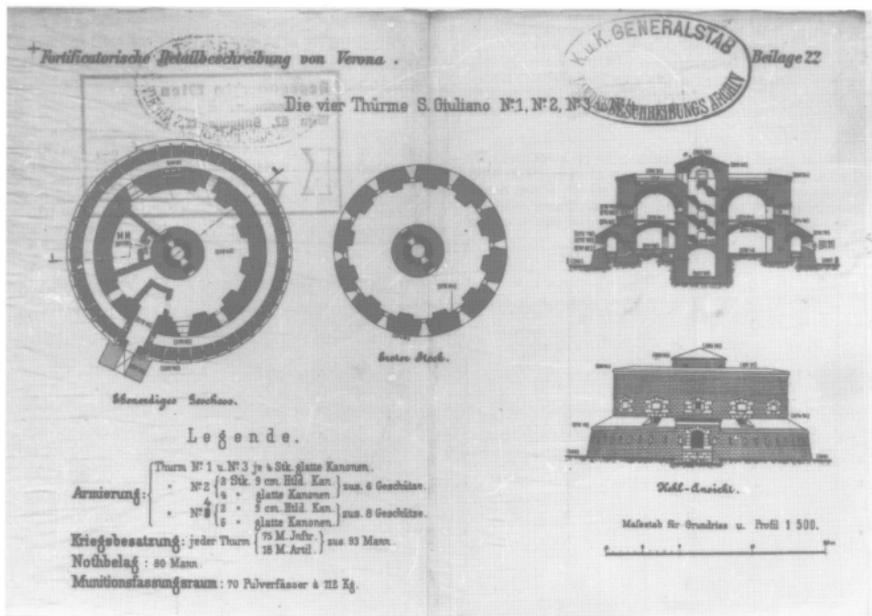


Fig. 5 - Maximilian towers, 1837-1842 (Kriegsarchiv, Vienna)

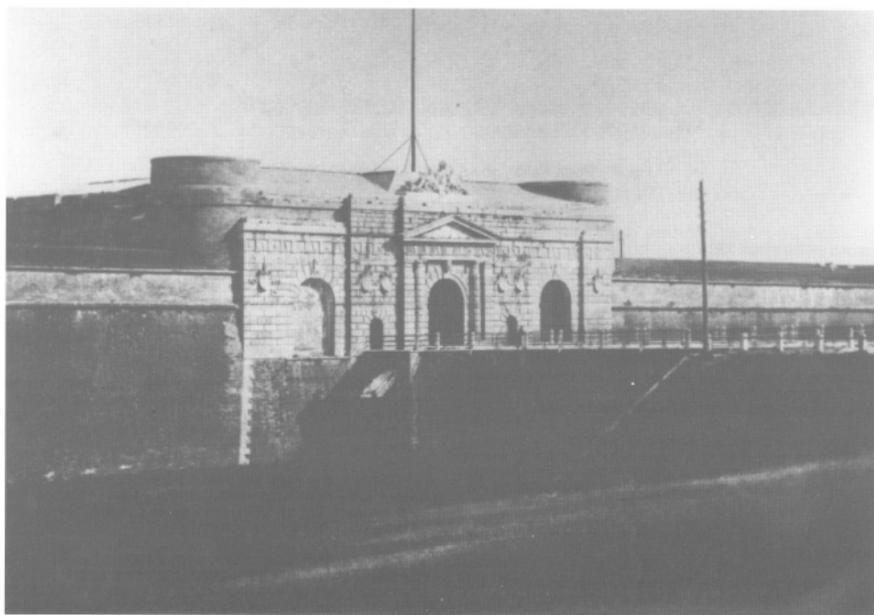


Fig. 6 - "Porta Nuova", 1861 (Heeresgeschichtliches Museum, Vienna)

they would become a temporary lodging for evacuated persons. After war time, the urban growth extended beyond the city walls, because the state, and to a degree military, ties again impeded any tampering with the walls. In this way, Verona's walls, due to the city's tie to the state, became a ring of green area that surrounds the old city and separates it from the new developments without creating a real urban relationship with the latter.

The band of green of the city walls, both on level and hilly terrain, was reaffirmed in the next town plan in 1957-1958 and in a successive variant in 1975 in which some areas were designated as sporting installations. These installations are a dangerous threat to a real preservation of the walls.

PROSPECTS FOR THE RECOVERY AND APPRECIATION OF AN HISTORICAL—ARCHITECTONIC—ENVIRONMENTAL ASSET.

Verona's fortification system conditions to this day the urban of the city: the walls act a barrier, limiting urban expansion southward toward the plain and north toward the hillsides. Each of the tracts of wall built in Verona over the centuries has constituted not only an efficient physical barrier, but also a symbolic separation between two adjacent realities "inside" the city, which assumes a predominant

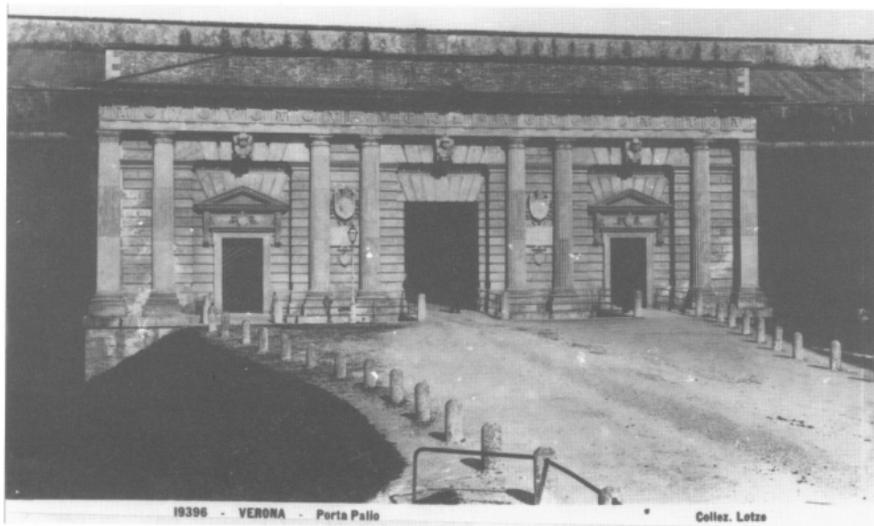


Fig. 7 - "Porta Palio", about 1860 (Municipal Library, Verona)

In addition, a bond for protection of the landscape in the hilly areas exists since 1924.

These norms, not supported by sufficient cultural knowledge, supply only some generic notions of guardianship and do not identify the walls as an historic, architectonic and environmental asset included in a specific urban and natural context.

Thus private citizen and public bodies, from post-war time to the present, have freely inflicted damage and unjustified transformations on the walls and their context.

The resulting erosion of the walls, is "justified" by the conviction that the wall area is a suitable location for all those services that haven't found a place either in the densely populated city center or in the residential areas outside the walls.

In 1991 the city walls passed from state domain to the municipality of Verona.

This provides an outstanding opportunity for a renewed appreciation and true recovery - in every sense of the word - of one of Verona's most precious physical assets.

role, and "outside," or the natural environment (today largely urban).

Essential to a recovery of the city walls is a recognition of this spatial connection between the historic City and the areas of recent urban expansion, and evaluation of the existing architectonic and environmental possibilities. The Veronese fortification system consists essentially of: city walls; military barracks and warehouses in the urban area; military structures and zones in the periphery.

The intervention for recovery of the walls must, necessarily, connect with the most general urban planning of the city, and coordinate with the plan for programmed cession of the military areas and infrastructures, both urban and otherwise.

Verona's city walls represent an exceptional summary of defensive works from various epochs (from the Roman to the present ages), unique in all of Europe, with a linear extension of more than 15 km.

Inserted within an urban center, they sit in an enviable landscape context. One cannot, therefore, speak of a restoration akin to that of a monument, but rather one that deals with the whole complex organism in which diverse episodes of monumental architecture (the urban gates) coexist with defensive wall structures from various periods, using diver-

se materials and techniques (curtain wall, towers, bastions, etc.), and also vast structural changes to the surrounding terrain (ditches, esplanades, and so forth).

For all of the complex problems it might present, the opportunity to undertake the restoration — or rather recovery, in the most general sense — of a structure as monumental and exceptional as the Verona city walls represents a veritable laboratory for architectural renovation.

Restoration of the walls should not be undertaken in order to produce "useful" spaces for new functions, nor should it become simply a way to create a "museum" of the past; rather it should strive to provide a point of contemplation, of reflection, a qualitative pause in the urban fabric. Given that the walls' original function, as a military barrier, is no longer significant, it is difficult to imagine another use; one should therefore consider how the walls might be host to a variety of activities (free time, cultural, tourism, etc.) that will not leave irreversible traces on the structures themselves.

The initiative of the Comune of Verona to program an exhibition and conference for 1993 has the objective of uniting historical, architectonic and urbanistic knowledge of the fortification system and to examine the problems inherent in its recovery; the preliminary element being support for a restoration effort of the walls themselves. The city walls have always been a fundamental element for the historic city, and today they are conditioned by the city.

The loss of their urban role signifies for Verona loss of that which — *forma urbis* — characterizes and distinguishes it from all other cities.

A city such as Verona, with its vast historical and architectural patrimony, can, with the recovery of the city walls, represent the search for a new urban model that is closely tied to its own history and surrounding natural environment and because of this be able to establish a new relationship between the city and its territory.

ANALISIS DE LA DEGRADACION DEL ILUSTRE COLEGIO NOTARIAL DE PALMA DE MALLORCA, ESPAÑA, PARA SU RESTAURACION.

F. Mingarro*, R.Fort** y M.C. López Azcona.

* Dpto. de Petrología y Geoquímica. Universidad Complutense. 28040. Madrid.

** Inst. Geología Económica. C.S.I.C. 28040 Madrid.

RESUMEN.-

Con objeto de restaurar la Torre del Ilustre Colegio Notarial de Palma de Mallorca (España), se estudia la piedra caliza conocida localmente con el nombre de "Marés", el medioambiente con sus características meteorológicas y de contaminación atmosférica.

Para el estudio de la roca, se utilizan las técnicas de Microscopía de polarización, Difracción de Rayos X y Microscopía electrónica.

Entre los caracteres petrofísicos y comportamiento hídrico se han efectuado las determinaciones de: Saturación, Porosidad a altas presiones, Sorción, Desorción y Capilaridad.

Con objeto de conocer la durabilidad de la roca se han sometido las probetas a ciclos de Humedad-Sequedad para deducir de que manera afecta este mecanismo de deterioro a la roca carbonática.

En estas rocas se han realizado ensayos de Consolidantes, Hidrofugantes y Biocidas para seleccionar los productos utilizables como más idóneos y la manera en que deben de ser aplicados para evitar su deterioro.

SUMMARY.-

In this paper we study the building limestone named locally "Marés" that we used in the tower of the Ilustre Colegio Notarial of Palma de Mallorca.

Several types of analysis have been carried out to know the weathering degree of the building stone: thin section studies, X-R Difracción and Electronic microscope. Moreover, standard petrophysical techniques have been used to determine specific characteristics of the rocks (porosity under high pressure...).

Standard-size samples have been submitted to several wet-dry cycles to know these processes affect the behaviour of the rocks. Moreover, different chemical products are being tested to check their effectiveness in view of their use in the conservation and restoration of the Monument.

PALABRAS CLAVE: Palma de Mallorca, Marés, caracteres petrofísicos, consolidantes, hidrofugantes, biocidas, restauración.

INTRODUCCION

El Ilustre Colegio Notarial de Palma de Mallorca, se encuentra situado en la Calle Via Roma nº 4 de Palma de Mallorca, en un edificio construido con material calcáreo. La parte del torreón presenta en la actualidad un grave deterioro, fundamentalmente en la balaustrada de la terraza, con desprendimiento de bloques en algunas zonas (Fig.1).

En líneas generales, se puede decir, que la Torre presenta como problemas más importantes, encostramientos en numerosas zonas, fisuraciones y un alto grado de descomposición por procesos de arenización, disolución, sulfatación y enmugrecimiento. Algunos arreglos puntuales



Fig. 1. Aspecto general que presenta la balaustrada del Torreón.

como sujeción de los adornos de la balaustrada con calzos de madera, enfoscados con cemento, grapas de hierro... etc unido a pequeñas roturas, son a primera vista los mayores deterioros que se observan (Fig.2).



Fig.2. Aspecto de la crestería con musgos y líquenes, se observa también una fisuración en la parte central superior.

El objetivo de este trabajo fue conocer la naturaleza del material pétreo, los problemas que presenta y una vez efectuados en el laboratorio los ensayos oportunos con tratamientos adecuados al material calcáreo con el que se construyó el edificio, proceder a su aplicación en el Colegio Notarial.

ENTORNO MEDIOAMBIENTAL

Las características medioambientales que rodean a un edificio, son los factores fundamentales que regulan su degradación; por esta circunstancia, se ha intentado estudiar en el entorno del Colegio Notarial de Palma de Mallorca.

Dos son los factores que definen el medioambiente: las condiciones meteorológicas y la composición del aire (contaminación atmosférica).

Características Meteorológicas

Para su determinación, se han tomado los datos facilitados por Instituto Nacional de Meteorología, procedentes de la Estación de Palma de Mallorca, durante los últimos treinta años, y, en resumen, serían los siguientes:

Temperaturas

Máxima absoluta	39,00° C (9/7/1968)
Mínima absoluta	-1,00° C (6/2/1963)
Máxima oscilación mensual	18,04° C (Julio)

Precipitaciones

Máxima en un mes	150,3 mm (Noviembre 1962)
Máxima en un año	715,4 mm (1962)

Media anual

Lluvia	408,94 mm
N. días de lluvia	103,66
N. días de nieve	0,57
N. días de niebla	5,79

Vientos

Direcciones dominantes del sur en un 30,67% del año (Verano). Direcciones dominantes del Norte en un 23,32% del año (Primavera-Otoño). Los vientos flojos, predominando en un 38%, con velocidades comprendidas entre 6 y 12 Km/H (seguidos de los muy flojos en un 33% con velocidades inferiores a 6 km/h y algo más fuertes en un 22%, con velocidades de 13 a 20 Km/H).

Meteorológicamente de Mayo a Noviembre, se puede considerar como estación de verano, y el resto de los meses corresponderían a Primavera y Otoño, ya que prácticamente no existe estación de Invierno, con lo que queda el clima definido como MESOTERMICO-MEDITERRANEO TÍPICO, de verano seco.

Composición del aire

Los datos existentes son muy escasos, ya que corresponde únicamente a tres días, 21, 22 y 23 de Julio del año 1988, tomados en la Plaza de España, localizada al E-NE del Colegio Notarial, y otras tres medidas correspondientes a los días 28,29 y 30 de Julio del año 1989, tomados en la Estación de Servicio Avenidas-Palma, zona localizada al SW del mencionado Colegio.

En la Plaza de España se registraron un total de 102 g/m³ de partículas, correspondiendo 42 g/m³ a partículas inorgánicas, y 60 g/m³ a orgánicas, asimilables en su mayoría a restos de combustibles fósiles no quemados, mientras que en la Avenida-Palma, la cantidad de partículas fue 175 g/m³, de las cuales, 72 g/m³ corresponden a partículas inorgánicas y el resto a orgánicas.

Si se tiene en cuenta, que cuando se realizan estas determinaciones la lluvia fue de 65,5 mm, que se precipitó en sólo 6 días y que el viento predominante era del S-SW con un recorrido de 172 Km/día, se podrá comprender la importancia de ese depósito de partículas orgánicas de 103 g/m³ en su mayoría material carbonoso que ensucia los edificios.

Respecto a la composición de las partículas inorgánicas, se detecta en la Estación de Avenidas-Palma un mayor porcentaje de Fe, Pb, Cu, Mn y Cl⁻ y menor de vanadio y sulfatos comparado con la de Plaza de España. EL vanadio, es capaz de catalizar los posibles óxidos de azufre, y oxidarlos, para combinarse con el agua y ocasionar lluvias

ácidas, capaces de sulfatar la caliza de los edificios, sulfatando el material de construcción.

Queremos hacer notar, que las cantidades de humos, son suficientemente altas como para ennegrecer las fachadas, la cantidad de óxido de azufre también es alta, aunque no desde el punto de vista sanitario, pero sí para alterar y yesificar ampliamente el material calizo (Marés), con el que se construye tradicionalmente en la ciudad de Palma de Mallorca.

ESTUDIO PETROGRAFICO

Este capítulo se ha dividido en tres apartados: Microscopía de polarización, análisis por Difracción de Rayos X y Microscopía electrónica.

Microscopía de polarización

Los estudios de microscopía de polarización, se han realizado mediante preparación de la roca en lámina delgada, de 0,02 mm de espesor, y tinción de carbonatos con solución de Alizarin.

Observadas estas rocas al microscopio, se aprecia que la roca de naturaleza calcítica está formada por restos de fósiles que están flotando en una masa de calcita micrítica, más o menos organizadas en pellets y a veces algo recristalizada en microesparita. Presenta numerosos poros y algunas veces intercomunicados entre sí en forma de geoda de 0,30 a 0,90 mm. Se reconocen asimismo algunos clastos de cuarzo de tamaño 0,09 a 0,15 mm. Petrográficamente las rocas del torreón, se pueden definir como MICRITAS FOSILIFERAS, este tipo petrológico corresponde a un sedimento playero, que localmente se define con el nombre de "Marés", aunque se debe de aclarar, que de este tipo de material existen muchas variedades petrológicas con la misma denominación local (Fig.3).

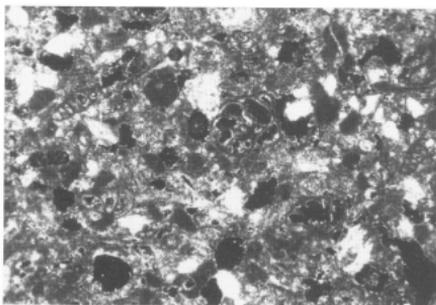


Fig. 3. Fotomicrografía de la Micrita fosilífera (Marés), ejemplar de gran porosidad. Nicoles cruzados, 10 aumentos.

Análisis por Difracción de Rayos X

Como complemento del estudio por Microscopía Petrográfica se realiza este tipo de análisis, ya que determinados componentes mineralógicos secundarios o accesorios pueden no detectarse en la lámina delgada. Se han realizado dos difractogramas de la piedra carbonática, uno correspondiente a la parte externa de la misma, considerada como más alterada y pulverulenta (Difractograma 1), aunque no siempre se puede definir como costra de alteración, y otro de la parte interna, menos alterada (Difractograma 2) (Fig.4).

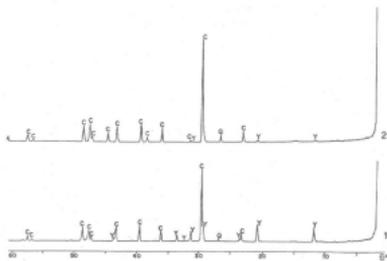


Fig. 4. Difractogramas. 1.- parte externa de la roca, 2.- parte interna. C= Calcita, Q= Cuarzo, Y= Yeso.

Por medio del análisis semicuantitativo de los difractogramas se obtienen los siguientes datos:

Calcita (%) Cuarzo (%) Yeso (%)

Difractograma 1	89	1	10
Difractograma 2	95	4	1

Estos datos indican, que se han producido en la roca, unos procesos de sulfatación, los cuales no existen prácticamente en la parte interna de la misma, y que con toda certeza, son los causantes del grado de deterioro que presenta la roca.

Análisis por Microscopía Electrónica

Con objeto de identificar visualmente determinados componentes mineralógicos, que aparecen en cantidades muy pequeñas en las rocas (productos de alteración), se realizan los estudios por Microscopía Electrónica.

En la Figura 5 se observa con nitidez la existencia de grandes cristales de carbonato con formas exagonales. Estos cristales aparecen recubiertos por cristales de yeso de menor tamaño, que se originan a expensas de los anteriores.

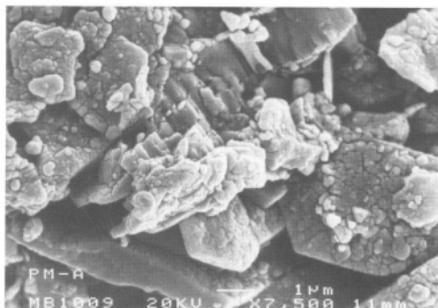


Fig. 5. Fotografía realizada en el Microscopio electrónico. Se pueden ver los cristales de carbonato con formas exagonales. 7500 aumentos.

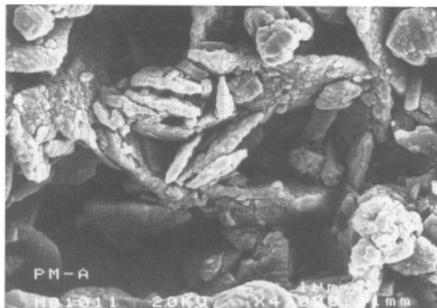


Fig. 6. Fotografía realizada en el Microscopio electrónico. Se observan los cristales lenticulares de yeso. 4.000 aumentos.

En la Figura 6 se identifican fácilmente los cristales lenticulares de yeso, sobre la base carbonatada.

El estudio efectuado con ayuda de las tres técnicas seleccionadas para el trabajo, nos da un conocimiento total del estado en que se encuentra la roca denominada "Marés", ya que se ha podido comprobar: su composición mineralógica total y la disposición superficial e intercristalina de la neoformación de yesos en la parte externa de la roca.

CARACTERÍSTICAS PETROLÓGICAS Y COMPORTAMIENTO HIDRICO

Todas estas características se reúnen en la Tabla 1, datos que reflejan claramente el alto deterioro sufrido por la roca, y como casi la mitad del volumen de la roca puede estar ocupado por agua. La diferencia entre volúmenes aparentes y real 49,46, determina que el 6,16% de la roca esté ocupado por poros llenos de aire, o son condicionantes físico-químicos debidos a la composición mineral presente en los poros, seguramente neoformaciones.

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS HIDRICAS

Densidad real	2703,13 kg.m ⁻³
Densidad aparente	1531,88 kg.m ⁻³
Saturación	28,19 %
Porosidad eficaz	43,30 %
Sorción	22,73 % en 100 horas (80,6 de su saturación)
Desorción	19,17 % en 25 horas (97,71 de la satur.)
Capilaridad	1ª 0,70 kg.m ⁻² s ^{-0,5} 2ª 0,426 kg.m ⁻² s ^{-0,5}
Humedad-Sequedad	10% de pérdidas en 30 ciclos.

La cinética del comportamiento hídrico se refleja en los gráficos de la Fig.7. Respecto a la sorción o absorción libre de agua se obtienen valores máximos de 22,73 % después de 100 horas de inmersión, que representa el 80,63 % del total de agua de saturación, y lo que es más significativo que en la primera hora de inmersión ya había tomado el 68,75 % del total de agua admisible, o el 67,7 % en sólo los primeros cuatro minutos, lo que indica la presencia de una gran microporosidad eficaz en la roca.

TABLA 2. RELACION COMPARATIVA DE SORCIONES

T en horas Sin consolidante Impregnaciones de consolidación

1 minuto 5 minutos

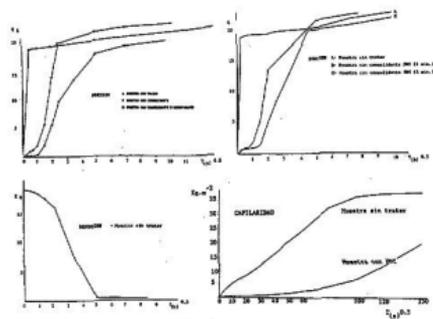
0,06	19,09	0,91	0,63
2,25	19,46	5,66	1,53
20,25	20,34	21,36	19,96
52,52	21,93	22,18	20,79

La cinética de la Desorción, refleja un primer tramo de pérdidas lentas correspondientes al agua gravitacional, seguido de otro de pérdidas rápidas correspondientes al agua capilar, y mucho más lentamente la pérdida de agua de adsorción, lo cual refleja el gran tamaño de los poros de la roca.

Los resultados obtenidos en el estudio de la capilaridad (Fig.7), muestran un coeficiente de $0,426 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-0,5}$, valor que por sí no dice demasiado, pero al observar la distribución, succión-tiempo, este coeficiente se conserva mucho, hasta determinar en sus puntos finales, con en casi tres horas, es capaz de succionar $37,69 \text{ Kg} \cdot \text{m}^{-2}$ de agua. En detalle, se observa que hay dos inclinaciones o coeficientes, uno hasta los 6-7 minutos ($C_c = 0,70 \text{ Kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-0,5}$) y el ya indicado. El primero más fuerte (absorbe $2,5 \text{ Kg}$. de agua por m^2 en sólo 15 segundos) puede interpretarse como una mayor interacción sólido-líquido por la presencia de minerales neoformados como la halita, procedente de aerosoles clorurados (la costra de la roca contiene $373 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de cloruros).

De todas formas el coeficiente de capilaridad indica que esta succión aún no siendo muy rápida si es muy constante y duradera, luego el sistema poroso corresponde a poros grandes comunicados.

Respecto a la durabilidad de la roca, sólo se han considerado aquellos factores denunciados por las condiciones medioambientales a que está sometida, y los resultados observados en la misma (no existen efluorescencias ni temperaturas inferiores a 0°C) luego no se considera el efecto de la neoformación de sales ni el de heladicidad. Sólo se sometió la roca al efecto de humedad-sequedad obteniéndose después de treinta ciclos, un aumento de la saturación de un 10 % y un fuerte efecto de disolución superficial, lo que quiere decir, que es más importante el mecanismo de disolución química que el efecto físico para



el que determinar la degradación de la roca.
Fig. 7. Cinética de hidratación

PRODUCTOS CONSERVANTES

Estudiadas las causas del deterioro sufrido por la roca, un Convenio de Investigación establecido entre el Inst. de Geología Económica del CSIC y la firma TEXSA para la investigación de sus fabricados en diferentes tipos pétreos nos llevó a analizar el comportamiento de las rocas, antes biocidas, conservantes e hidrofugantes.

Biocidas

Los principales organismos que degradan, ensucian y enmascaran el aspecto pétreo del edificio, son hongos y líquenes que localmente pueden producir protosuelos, donde enraizan las plantass superiores. Se ha tratado la piedra con un biocida, a base de cloruro de tetraalquilo fosforado, y posteriormente con solución nutriente de Knop sin alterar resultado alguno, por lo que este producto se considera suficientemente eficaz, siempre que posteriormente, la roca, sea hidrofugada convenientemente para evitar la fijación y desarrollo de nuevos organismos.

Este biocida puede ser innecesario, cuando después de ser eliminados físicamente tales organismos, la roca sea tratada con algún producto consolidante que utilice como diluyente, el tolueno o el xileno, con caracteres biocidas suficientemente fuertes.

Consolidantes

Dado el alto estado de deterioro que presenta la roca (pulverización), es evidente la necesidad de consolidarla, para lo cual, se ha estudiado su comportamiento con poli-metil-metacrilato (PMC), con tratamientos anti-ultravioleta, para evitar amarillamientos, diluido al 20 % en xileno.

De los resultados obtenidos se infiere que muestra pocas condiciones como consolidante que un éster orgánico de ácido ortosilícico (EOS), pero se considera mejor como preconsolidante, antes de las funciones de limpieza y eliminación de organismos, e incluso es aconsejable desde el punto de vista económico.

El citado PMC, se ha ensayado con diferentes diluyentes, más o menos evaporizables, según la época del año a aplicar, teniendo en cuenta que al utilizar el xileno su encajecimiento se atenúa al poder suprimir el biocida.

También se ha considerado el modo de aplicación obteniéndose un resultado muy significativo (Tabla 2), ya que con sólo un minuto de inmersión en PMC, se obtiene un aumento de la sorción, a partir de 20-25 horas, mientras que con cinco minutos de inmersión, la sorción siempre está por debajo de la normal; lo cual demuestra que en este tipo de rocas tan deterioradas una impregnación corta, sólo consolida suficientemente la parte más externa de la roca, mientras que en el interior, poco consolidado, los poros se hacen más pequeños y la succión por lo tanto, es mayor: se ha provocado una mayor sorción y un aumento potencial del deterioro.

Respecto al comportamiento capilar, los resultados obtenidos son análogos, consiguiendo un primer coeficiente de $0,077 \text{ Kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-0,5}$ seguido de otro tramo con coeficiente de $0,551 \text{ Kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-0,5}$, lo que dice que en los primeros instantes hay una reducción del 90,42 %, mientras que después, se presenta un incremento del 48,34 % respecto a la probeta sin tratar.

Hidrofugantes

Con objeto de aumentar la conservación de la piedra y preservarla de la acción del agua, causante fundamental del deterioro, se tratarán las probetas con un hidrofugante de resina de silicona (RS).

Se aprecia un descenso de la sorción en un 98,51 % respecto de la roca sin tratar, y de un 76,00 % habiendo sido tratada previamente con el consolidante; o lo que es igual, que la roca después de dos horas puede sumar $19,46 \text{ Kg}$ de agua sin tratamiento alguno, tratada con consolidante 13,72 % (1 minuto) o 5,43 % con hidrofugante también durante un minuto.

El hidrofugante al aumentar el ángulo del menisco para repeler el agua, hace disminuir la velocidad de penetración de la misma, y por lo tanto la cinética del proceso.

POROSIMETRIA POR INTRUSION DEL MERCURIO

El valor medio de la porosidad para el intervalo entre 100-0,005 μm es de 39,26 % al 37,94 %. La diferencia de esta porosidad con la obtenida por accesibilidad del agua por medio de la saturación, nos indica que en este material existe entre un 3,99 % y un 5,36 % de poros superiores a 100 μm .

En la tabla 3 se puede ver el tanto por ciento del volumen de poros existentes en cada intervalo de tamaño de poros estudiado, apreciándose que el 77,10 % de los poros de tamaño inferior a 100 μm corresponde a poros de diámetro entre 100 y 10 μm , el 12,86 % a poros entre 10 μm y el 10,03 % restante, lo configura un sistema de poros de tamaño inferior a 1 μm .

El máximo de frecuencia se localiza entre 20-30 μm e incluso entre 10-20 μm , con valores volumétricos de 15,16% y 14,93 % respectivamente. Otras modas secundarias aparecen para el intervalo de 1-2 μm , con un 2,666 % entre 0,1-0,2 μm , con un 1,58 %. El tamaño medio de la distribución de los poros es de 1,07 μm .

TABLA 3. RESULTADOS DE POROMETRIA

	SI	EOS	EOS+RS	PMC	PMC+RS
Vol. Intruida (cc)	0,1845	0,1596	0,1053	0,1905	0,1329
Porosidad %	39,26	33,16	22,18	41,30	29,38
Tamaño Medio Poro	1,07	0,37	0,19	1,18	0,75
100-10 μm	77,10	87,54	74,56	76,58	69,97
10-1 μm	12,86	5,17	7,56	14,08	15,56
1-0,1 μm	7,65	3,68	9,22	7,26	7,33
0,1-0,01 μm	2,38	2,46	5,19	1,30	2,38
0,01-0,05 μm	0	0,80	1,54	0,08	0,09

El comportamiento de la porosidad ante el tratamiento de la roca por medio de distintos consolidantes e hidrofugantes puede apreciarse en la Tabla 3 y en la Fig. 8.

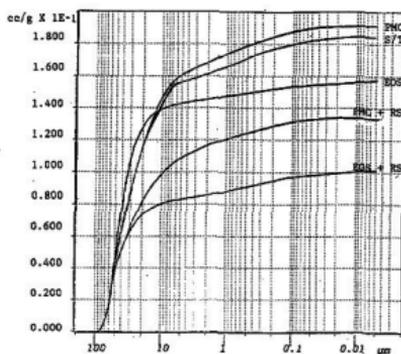


Fig.8. Volumen intruido con diferentes tratamientos.

Los consolidantes utilizados han sido un éster orgánico de ácido silícico (EOS), y un poli-metil-metacrilato (PMC). El hidrofugante corresponde a una resina de silicona (RS). La forma de dar el tratamiento a las probetas de ensayo fue por empapamiento total de la superficie durante cinco minutos.

El tratamiento realizado con PMC indica que no afecta en absoluto a la porosidad de la roca, ni a su distribución de poros, mientras que al realizar el ensayo con probetas de PMC+RS, existe una pérdida importante de porosidad al alcanzar un valor de 29,38 %, en donde los poros de tamaño inferior a 10 μm , presentan la misma distribución que la muestra sin tratar. Por el contrario, la distribución de poros para diámetros superiores, presenta una disminución del volumen de poros entre 10-60 μm , y un aumento entre 60-80 μm . Este aumento puede ser debido a una pérdida de porosidad de tamaños superiores, cerrados parcialmente por la resina de silicona.

La utilización de EOS, produce una disminución importante de la porosidad, alcanzando un valor de 33,16 %. Esta porosidad se presenta, fundamentalmente, entre 20-60 μm existiendo un valor modal entre 30-40 μm . Igualmente, existe un aumento de la porosidad de tamaños inferiores a 0,04 μm . Por lo tanto, el efecto que produce la aplicación de éster orgánico es una disminución del tamaño de todos los poros de la roca, principalmente, los de diámetro superior a 100 μm , lo que da lugar a un desplazamiento de toda la distribución de poros de la muestra hacia tamaños más pequeños. Al aplicar EOS+RS, sigue produciéndose este mismo efecto de cerramiento de poros, producido por el efecto de la resina de silicona, lo que da lugar a una disminución de la porosidad, dentro del intervalo estudiado, con un valor de 22,18 %.

El tamaño medio de los poros para diámetros inferiores a 100 μm muestra como la aplicación de PMC y PMC+RS no afecta en gran medida este valor, mientras que la utilización de EOS y EOS+RS lleva consigo una disminución importante del tamaño medio de poros, con respecto a la roca sin tratar.

EL MÁRMOL DE MACAEL (ALMERIA) EN LOS MONUMENTOS HISTORICOS DE GRANADA (ESPAÑA).

ZEZZA, U(1) y SEBASTIAN PARDO, E. (2)

(1) Dip.to Scienze della Terra. Univ. Pavia (Italia). (2) Dpto. Mineralogía y Petrología. Univ. Granada. (España).

SUMARIO

Se presentan los resultados del estudio de las características físico-mecánicas más significativas de los mármoles de Macael, en relación a su utilización y durabilidad en la construcción. El análisis detallado resalta la íntima dependencia del valor de resistencia con la anisotropía estructural específica. Este análisis señala, además, el comportamiento elástico en el punto de comienzo de la descohesión intraintergranular, que a su vez es el principal fenómeno de deterioro al cual está sometido el mármol Blanco Macael puesto en obra en los monumentos. Se presenta, además, una nueva hipótesis respecto a la evolución del deterioro selectivo que se manifiesta en la columna de la Galería de Dos Hermanas-Patio de los Leones (Alhambra).

ABSTRACT

Data about physical and mechanical properties of Macael marbles are given in relation to usefulness and durability buildings. Detailed analyses demonstrate the intimate relation between resistance values and specific structure anisotropy. In addition, the elastic response just at the Macael white marble used to build the monuments. A new hypothesis on selective decay evolution of the "Galería de Dos Hermanas" colonnade in "Patio de los Leones" (Alhambra, Granada, Spain) is detailed.

PALABRAS CLAVE: Mármol, Almería, Propiedades físico-mecánicas, Durabilidad, Alhambra.

1. INTRODUCCION

Las variedades de mármol del distrito extractivo de Macael, objeto de investigación de este artículo, son el mármol blanco (Blanco Macael y Blanco Río) y el mármol gris (Gris de Macael). Además se considera el mármol blanco veteadado (Blanco Tranco) que es explotado en Zurgena.

El análisis de sus características petrográficas y físico-mecánicas tiende a valorar, sobre todo, el grado de anisotropía de este mármol y la influencia que este parámetro ejerce sobre el comportamiento de piezas marmóreas manufacturadas en la construcción, y en la evolución de su deterioro (6), en situaciones de similar grado de ataque ejercido por los agentes naturales y contaminantes atmosféricos.

La anisotropía estructural y elástica, ha sido determinada con técnicas de ultrasonidos sobre probetas del material, que después han sido sometidas, a ensayos mecánicos (resistencia a la compresión, tracción, flexión y comportamiento elástico), con el fin de encontrar la relación existente entre estos parámetros y ser utilizada, en la investigación de los procesos de alteración en Monumentos (Palacios Arabes de la Alhambra, Hospital Real, etc.), trabajando únicamente con técnicas no destructivas.

2. CARACTERIZACION GEO-PETROGRAFICA.

Los niveles de mármoles afloran en la región de Macael, en la parte nororiental de la Sierra de los Filabres (Provincia de Almería) y pertenecen al Complejo Nevado-Filábride, el cual constituye la unidad tectónica inferior de

las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas.

Desde el punto de vista estratigráfico el Complejo Nevado-Filábride, está formado esencialmente por dos series litológicas distintas (4): Serie inferior; potente formación (más de 4000 m), de edad supuestamente paleozoica, constituida por una monótona sucesión de metapelitas, cuarcitas y, ocasionalmente, mármoles, todos ellos muy ricos en grafito; Serie Superior permotriásica, mucho menos potente (400 m), y formada por metapelitas, cuarcitas, mármoles y rocas básicas y ultrabásicas metamorfozadas.

Tectónicamente la complicación existente es mucho mayor. Los mármoles de la región de Macael, denominados de distintas maneras (Mármoles de Macael, Mármoles de la Atalaya o Mármoles de las Casas), están situados en la parte superior de la Unidad de Bedar-Macael (3). Afloran con una potencia máxima de 200 m. y están constituidos por bancos de potencia variable de mármoles calcíticos y dolomíticos entre los que se intercalan niveles de rocas más pelíticas, calcosquistos y cuarcitas. La composición mineralógica de dichos mármoles es la siguiente: calcita y/o dolomita, cuarzo, mica incolora, anfíbol, tremolita, epidota, albita, clorita y menas opacas.

En particular, los mármoles blancos de Almería, se engloban en el grupo de mármoles eminentemente calcíticos (tipos Blanco Macael y Blanco Tranco); aunque el tipo Blanco Río contiene cantidades muy reducidas de dolomita. El mármol Gris Macael, sin embargo, es casi calcio-dolomítico (conteniendo además pequeñas cantidades de ankerita). Así mismo, contienen proporciones reducidas de otros minerales: cuarzo, albita, mica, clorita, epidota, y opacos. Datos químicos de estos mármoles se presentan en la Tabla I.

La foliación, más o menos marcada, está ligada principalmente a variaciones granulométricas y a determinadas isorientaciones de cristales de calcita, más que a variaciones mineralógicas.

La microestructura es de tipo granoblástico; variando desde equigranular de grano medio (Blanco Macael), medio-fino (Blanco Río) o fino (Blanco Tranco), a heterogranular (Gris Macael). Los límites de grano de los carbonatos varían desde rectilíneos, curvos (sobre todo) a lobulados.

3. PARAMETROS FISICO-MECANICOS.

Los agregados cristalinos de los mármoles de Almería se presentan, en general, muy compactos; la porosidad total es normalmente inferior al 1%; aunque en el caso del mármol Blanco Río puede alcanzar valores del 2%.

A partir de los datos obtenidos mediante porosimetría de inyección de Hg (determinaciones realizadas en el Centro-CNR, Conservazione Monumenti di Firenze), se observa que la relación macro a microporos ($R < 2.5 \mu\text{m}$) es muy baja (Tabla II).

La experimentación realizada con el material de cantera de las variedades del mármol Blanco Macael y Blanco Río, trabajado con pújarra y cincel, ha permitido apreciar un incremento de la porosidad total, en el caso del Blanco Macael del 3.4% al 5.6% y en el del Blanco Río desde 2.6% a 4.3%. Esta forma de elaboración del mármol continúa en uso actualmente.

%	BM	BR	TB	GM
SiO ₂	0.08	0.23	0.11	8.31
Al ₂ O ₃	0.01	0.01	0.01	2.20
Fe ₂ O ₃	0.22	0.03	0.02	1.02
MnO	0.01	0.01	0.01	0.02
MgO	1.67	1.55	1.35	1.71
CaO	54.70	55.10	55.40	48.30
Na ₂ O	0.06	0.06	0.05	0.16
K ₂ O	0.01	0.01	0.01	0.53
P ₂ O ₅	0.02	0.02	0.01	0.04
TiO ₂	0.01	0.01	0.01	0.12
LOI	43.90	42.20	43.60	37.80
Suma	100.69	99.23	100.58	100.21

Tabla I. Datos químicos de los mármoles de Almería (BM = Blanco Macael; BR = Blanco Río; TB = Tranco Blanco; GM = Gris Macael).

Mármol	BM	BR	TB	GM
d	2.71	2.72	2.70	2.73
P _{Hg}	0.08	1.93	0.40	0.15
R _{pm} 10-1	14.29	1.30	42.27	22.73
1-0.1	62.50	1.30	27.84	38.64
0.1-0.01	23.21	45.45	29.90	38.64
0.01-0.001	-	51.95	-	-
Macro/micro	0.12	0.01	0.62	0.27
TmR poro	0.106	0.005	6.683	0.75

Tabla II. Distribución de tamaños de poro (R = Radio; TmR = Tamaño medio de radio).

Mármol	V(L)1	V(L)2	V(L)3	ΔM %	Δm %
Blanco Macael	5581 70 5485-5707	6345 99 6233-6462	6228 106 6044-6416	11.2 1.6 10.3-13.3	1.9 1.0 0.4-3.1
Blanco Río	5909 95 5804-6057	6550 82 6388-6664	6397 81 6264-6505	8.7 1.0 7.7-10.1	2.4 1.1 0.8-3.7
Blanco Tranco	5266 178 5014-5493	5727 93 5586-5833	5425 101 5238-5560	5.6 1.8 3.0-7.4	5.4 0.6 4.7-6.3
Gris Macael	5440 225 5013-5766	6337 146 6020-6549	6158 196 5905-6429	12.9 2.3 9.8-16.4	2.9 1.7 1.3-5.6

Tabla III. Velocidad de ondas longitudinales en m/s. V(L)1, V(L)2 y V(L)3 = dirección de transmisión. El primer dato, se refiere a la media, debajo de éste la desviación estandar y más abajo el rango de variación.

Mármol	σ_c	σ_{tr}	σ_f	σ_c	σ_{tr}	σ_f
B. Macael	17.8	1	2.5	17.2	1	3.0
B. Río	16.2	1	2.6	21.2	1	2.6
B. Tranco	18.1	1	3.1	20.4	1	3.3
Gris M.	20.8	1	3.2	24.9	1	3.1

Tabla IV. Numero de ensayos de resistencia a compresión, tracción indirecta y flexión: 15, 20, 8 para cada una de las tres direcciones de carga, para los mármoles Blanco Río, Blanco Tranco y Gris Macael; 20, 40, 14, para el Blanco Macael.

Los índices de anisotropía estructural (5) de estos mármoles han sido determinados (Tabla III) con medidas de ultrasonidos: índice de anisotropía total $\Delta M\% = 100[1 - (2V_L1/V_L2 + V_L3)]$; índice de anisotropía relativa al plano de foliación, $\Delta m\% = 100[2(V_L2 - V_L3)/(V_L2 + V_L3)]$.

El tipo mármol Blanco Tranco se ha ensayado en un ángulo de 30° respecto al plano de foliación, de acuerdo con su forma de elaboración más usual. Los valores específicos de V(L) según los tres ejes de la fábrica: son 5210 m/s, perpendicularmente al plano de foliación, 6250 m/s y 6070 m/s en este plano, con $\Delta M\% = 15.4$ y $\Delta m\% = 2.9$.

En líneas generales, el mármol de Almería presenta índices de anisotropía elástica y estructural bastante similares a la mayor parte de los mármoles utilizados en la construcción; valores más bajos se encuentran en los mármoles de Attica ($\Delta M\% = 7.0$ y $\Delta m\% = 2.5$).

El análisis de los parámetros mecánicos determinados de acuerdo a las normativas ASTM y UNE, en más de 600 probetas (Tabla IV), subraya la dependencia de los valores de resistencia respecto a la anisotropía estructural, a las características texturales y a la composición mineralógica de los diferentes mármoles. La máxima anisotropía mecá-

nica se ha encontrado en el mármol Gris de Macael y entre las variedades de color blanco para el tipo Blanco Macael (ver Tabla V). La correlación (ver Tabla IV) entre parámetros mecánicos para diferentes orientaciones de carga (perpendicularmente a la foliación, las tres primeras columnas; paralelamente las restantes columnas) diferencian el comportamiento mecánico de los mármoles blancos respecto al Gris Macael.

En particular, el mármol Blanco de Macael revela una resistencia cúbica a compresión más baja, para carga transmitida paralelamente a la foliación respecto al Blanco Río, así, esta disminución es del orden del 30 % (ver Tabla V).

Además, se observa que la relación porcentual de la resistencia prismática a compresión respecto a la cúbica siempre para sollicitaciones paralelas al plano de foliación de Blanco Macael, es superior al 50%. El valor medio de la resistencia prismática (relativo a 20 probetas prismáticas de 5x5x15 cm) es igual a 349 ± 80 Kg/cm² (rango de variación, 260-539).

Este dato de resistencia prismática a compresión del mármol Blanco de Macael se ha determinado con el fin de alcanzar la hipótesis más plausible acerca de la importan-

Compresión	⊥		
Blanco Macael	1183 159 835-1366	723 61 608-834	767 110 611-951
Blanco Rfo	1274 151 1054-1582	1043 111 807-1183	1128 70 992-1257
Blanco Tranco	1091 72 925-1204	948 130 771-1146	1027 90 879-1141
Gris Macael	1350 140 1124-1630	1045 98 834-1191	1137 145 935-1394
Flexión	⊥	⊥	
Blanco Macael	165.7 17.4 153.6-195.7	163.0 23.6 145.3-205.0	128.9 5.1 117.4-134.0
Blanco Rfo	213.9 12.7 204.1-235.5	201.9 18.3 172.7-229.6	134.6 4.8 128.4-144.8
Blanco Tranco	184.2 5.0 174.8-191.6	185.3 13.9 165.2-201.7	159.1 9.2 147.2-170.1
Gris Macael	208.5 22.0 187.5-254.2	205.5 18.7 170.3-223.2	135.4 13.4 118.1-159.7
Tracción	⊥	⊥	
Blanco Macael	70.1 11.7 56.2-86.2	63.1 9.1 45.7-79.5	43.5 7.6 32.6-60.9
Blanco Rfo	79.9 12.5 61.5-104.0	77.3 9.2 60.0-92.5	51.3 7.6 41.5-66.4
Blanco Tranco	61.2 7.1 54.6-85.1	59.6 8.0 46.2-70.2	48.5 7.2 35.4-57.1
Gris Macael	69.8 9.3 56.2-90.6	60.3 12.5 43.1-82.8	43.8 8.4 30.2-59.2

Tabla V. Parámetros mecánicos: carga de ruptura (kg/cm²) en tres planos perpendiculares, según las direcciones de transmisión de ultrasonidos V(L)1, V(L)2 y V(L)3, características texturales peculiares (Blanco Macael, Blanco Rfo y Gris Macael) o configuración de trabajo (mármol Blanco Tranco), carga perpendicular (⊥) y paralela (||) a la foliación.

Los estensómetros eléctricos aplicados de 50 mm de longitud (tipo 50/120L Y 41) permiten controlar la deformación que se produce en un espacio más que suficiente y el agregado cristalino de grano medio. La adquisición y el

Las determinaciones se han llevado a cabo sobre probetas prismáticas de base cuadrada (21x27 cm) de material de cantera, con carga transmitida perpendicularmente y paralelamente al plano de foliación del mármol, para analizar las deformaciones longitudinal y transversal, el módulo de Young y el coeficiente de Poisson, y para verificar la influencia que tiene la anisotropía estructural del mármol en características de deformabilidad (Fig. 2).

4.1 Características de deformabilidad.

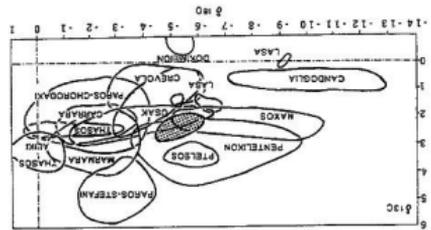
La presencia de algunas estructuras en más o menos estado avanzado de deterioro (por ejemplo, el columnado de la Galería de Dos Hermanas, el grupo escultórico de los leones de la Fuente), o deformación plástica (por ejemplo, estipite en la Fachada de Comares) o con lesiones de tipoogía diversa (basas y fustes de columnas en algunos patios), y la evidencia de sustitución de material, realizado durante siglos, llevan a considerar el comportamiento elástico del mármol blanco de Macael y su implicación en el proceso de degradación.

Recalza en el Conjunto Monumental de la Alhambra el actual buen estado de conservación de este tipo de mármol, en relación a las condiciones microclimáticas. Ello se debe, en parte, a la línea de salvaguarda del Patrimonio de la Alhambra y del Generalife, que tiende a controlar, incluso si es posible eliminar, los diversos factores de contaminación antropica.

recientemente mediante análisis de isótopos estables del carbono y oxígeno (Fig. 1) de mármol procedente de las canteras y de pequeñas escamas de conchas; capas de la estructura columnar del Patio de los Leones (1, 2).

Barbín y U. Zezza.

Figura 1 . Campo isotópico de los diferentes mármoles blancos de la Cuenca Mediterránea, con especial señalización de la zona relativa al mármol blanco de Macael (zona punteada), definido sobre la base de datos inéditos de V.

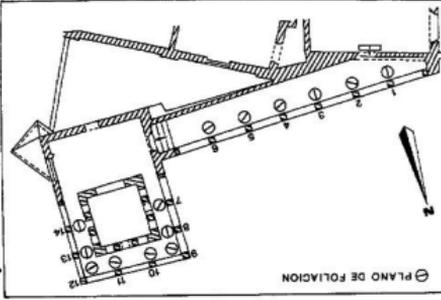


El Blanco Macael representa el tipo de mármol más ampliamente utilizado en todas las épocas en la arquitectura grandiosa. Su uso más conocido es en los Patios Arabes de la Alhambra. Esta teoría ha podido confirmarse

4. EL MÁRMOL BLANCO MACAEL EN LOS MONUMENTOS

Alhambra).
Galería de dos Hermanas-Patio de los Leones (la de los Mármoles del Hospital Real y en la columnata de la los constructivos. Por ejemplo, en las columnas del Patio la pérdida de material mármol en determinados elemen-

Figura 3. Dirección del plano de foliación en los fustes cilíndricos de mármol Blanco Macael, en el Peñador Alto de la Reina.



Un mejor comportamiento elástico, determinado mediante medidas experimentales, ha sido el del mármol Blanco

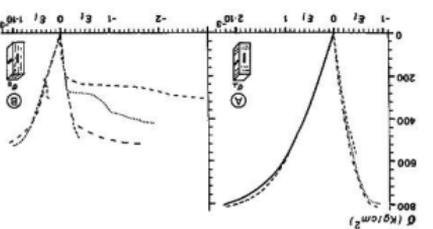
ojo. Las curvas esfuerzo-deformación, tanto longitudinal como transversal, para carga transmitida paralelamente al plano de foliación (Fig. 2/B), muestra el siguiente comportamiento: a) semi-elástico para tres de las cuatro muestras, aun que con deformación permanente acentuada sobre los 280 a 420 Kg/cm² y con $\epsilon > \epsilon_{el}$ para $\sigma = 280$ -500 Kg/cm² (b) no elástico y con extrema deformación plástica para la carga de 200 Kg/cm² y con $\nu > 1$ a $\sigma = 240$ Kg/cm². Para la totalidad de las muestras, el coeficiente de Poisson es alto, incluso para cargas bajas: $\nu = 0,31$ -0,35 y $\nu = 0,32$ -0,37, $7,9 \times 10^5$ Kg/cm² y $E = 6,9$ -7,8 $\times 10^5$, para las mismas solicitaciones.

100 Kg/cm² son respectivamente: $\nu = 0,14$ -0,23, $E = 6$ -6,7 $\times 10^5$ Kg/cm²; $\nu = 0,18$ -0,27, $E = 6$ -6,7 $\times 10^5$ Kg/cm²

Después se registra la instauración de una deformación plástica hasta el punto de rotura. El valor del coeficiente de Poisson y del módulo de Young registrado para $\sigma = 50$ y 100 Kg/cm² son respectivamente: $\nu = 0,14$ -0,23, $E = 6$ -6,7 $\times 10^5$ Kg/cm².

Las curvas de esfuerzo-deformación longitudinal y transversal, para esfuerzos aplicados perpendicularmente al plano de foliación (Fig. 2/A) presentan un comportamiento prácticamente elástico del mármol por debajo de los 280 Kg/cm².

Figura 2. Curvas esfuerzo-deformación para siete muestras prismáticas de mármol Blanco Macael.



Muestras	V(L)1	V(L)2	V(L)3	$\Delta M\%$	$\Delta m\%$
Canteras de Macael	5581	6345	6228	11.2	1.9
	5485-5707	6233-6462	6044-6416		
	70	99	106		
Alhambra Taza Leones copia	5558	6149	6090	9.2	1.0
	5428-5742	6040-6316	5961-6250		
	156	120	120		
$\Delta V(L) \%$	0.4	3.1	2.2		
Alhambra Guitarra original	2904	4409	4244	32.9	3.8
	2839-3069	4381-4458	4200-4288		
	110	34	36		
$\Delta V(L) \%$	48.0	30.5	31.9		

Tabla VI. Velocidad de propagación (en m/s) del impulso ultrasónico (transmisión directa) en relación a la anisotropía estructural del mármol Blanco Macael (para V(L)1, V(L)2 y V(L)3, se indica la media, rango y desviación estándar).

4.2 Verificación por Ultrasonidos

Valores de V(L) y $\Delta M\%$, similares a los obtenidos en los materiales de cantera, se han encontrado (Tabla VI) en el mármol utilizado en la elaboración de la copia de la taza de la Fuente de los Leones, y del grupo escultórico.

Al contrario, muestras de mármol original de fábrica árabe, sustituido (por ejemplo, fragmentos de guitarra), presentan disminuciones de V(L) del orden del 30-48% en las diversas direcciones, y un índice de anisotropía total muy elevado ($\Delta M\% = 32.9$): ello se debe a la descohesión intergranular sufrida por el material en obra, lo cual es posible verificar por microscopía de polarización y SEM.

Las medidas de V(L) y las diferencias existentes entre material de cantera y en obra, por ej., para las columnas del Patio de los Leones y del Peinador Alto de la Reina, indican la presencia de distintos estados de deterioro: incipiente y superficial en general, para la estructura marmórea del Peinador de la Reina; extremadamente desarrollada solo para la mayor parte de los fustes de la columnata de la Galería de Dos Hermanas del Patio de los Leones. En esta segunda estructura se detectan cuatro fases de deterioro (esquemáticamente indicadas en la Tabla VII): I, bien conservada, con probable descohesión intragranular, por la pequeña disminución de V(L); II, con descohesión intergranular baja y superficial ($\Delta M\% = 25-35$); III, moderada ($\Delta M\% = 35-45$), con descohesión intergranular interna; IV, grave ($\Delta M\% > 45$ y $\Delta V(L) \pm \% = 68-81$), incluso con separación de escamas.

4.3 Ensayo de tracción

La prueba de resistencia por tracción indirecta (ensayo brasileño) ha sido efectuada sobre un número importante de probetas obtenidas a partir de las mismas muestras en las que se determinó la V(L). Los valores de resistencia (Tabla VIII) indican una disminución de la carga de ruptura del orden del 31-35.5% y del 32% (cargas transmitidas perpendicularmente y paralelamente a la foliación) para el material puesto ya en obra en relación al de la cantera. Esta disminución no se encuentra, obviamente, en el mate-

rial utilizado en la elaboración de la copia de la taza: las mínimas diferencias registradas en las cargas unitarias de ruptura pueden situarse en el rango de variabilidad de estos parámetros; pero, también, pueden ser debidas al efecto de elaboración, como parece indicar la disminución de resistencia del 7.1% para la carga transmitida paralelamente al plano de foliación.

5. CONSIDERACIONES FINALES

Los valores de los parámetros físico-mecánicos de los mármoles de Macael son, en conjunto, normales para mármoles calcíticos. La principal causa del deterioro, que es muy avanzado y selectivo en los fustes de mármol Blanco Macael de la Galería de Dos Hermanas se debe a una probable excentricidad de cargas sobrepuestas y a hundimientos del sustrato por dos clases de motivos:

1) la evolución del deterioro del material in situ sigue rigurosamente los planos de menor resistencia mecánica (planos de foliación), y se manifiesta respecto a estos, más que respecto a las superficies con específica exposición a los agentes atmosféricos. De hecho, como se observa en la mayor parte de las columnas, la descohesión intergranular muy acentuada, con o sin desprendimiento de fragmentos se encuentra también en la parte interna, a la sombra de la galería y, por tanto menos expuesta a la acción directa de los agentes atmosféricos.

2) el mármol de Macael cuando es sometido a cargas de compresión paralelas a su plano de foliación tiene un comportamiento elástico por debajo de 200 Kg/cm² por encima sufre una extrema deformación plástica antes de llegar a un colapso total.

La influencia de las variaciones térmicas es importante (7), pero secundaria en la evolución del deterioro de las columnas. Por tanto, más oportuno que un proceso de consolidación del mármol, sería la sustitución de algunos fustes de columnas y la reconsideración de las condiciones estáticas globales de la estructura columnar de la Galería de Dos Hermanas.

Este trabajo ha sido efectuado en el ámbito del Contrato EV4V-0108-I de la Comisión de las Comunidades Europeas, y del Grupo de Investigación 4065 de la Junta de Andalucía.

Nr°	VL \perp	VL \parallel	$\Delta M\%$	$\Delta VL\perp\%$	$\Delta VL \parallel \%$
1	3343	4278	21.8	40.1	32.6
2	3887	4685	17.0	30.4	24.8
3	4081	4982	18.1	26.9	20.0
4	4000	4680	14.5	28.3	24.9
5	4367	5082	14.1	21.8	18.4
6	3693	5046	26.8	33.8	20.5
7	3753	4742	20.9	32.8	25.3
8	3913	4743	17.5	29.9	23.8
9	3716	4609	19.4	33.4	27.4
10	3989	5000	20.2	28.5	21.2
11	4167	5169	19.4	25.3	18.5
12	4451	5544	19.7	20.2	12.6
13	3984	5335	25.3	28.6	15.9
14	4098	5425	24.5	26.6	14.5

Fase

I	3877	4955	21.8	30.5	21.9
II	2516	3860	34.8	54.9	39.2
III	1940	3315	41.5	65.2	47.8
III	1703	2918	41.6	69.5	54.0
IV	1785	3433	48.0	68.0	45.9
IV	1141	2105	45.8	79.6	66.8
IV	1104	2068	46.6	80.2	67.4
IV	1022	1932	47.1	81.7	69.6

Tabla VII. V(L) en m/s, para transmisión directa, perpendicular (VL \perp = VL.1) y paralela (VL \parallel = VL.2 o bien VL.3) al plano de foliación, índice de anisotropía ($\Delta M\%$) y disminución de V(L) relativa al mármol de cantera en las mismas direcciones ($\Delta VL\perp\%$ y $\Delta VL \parallel \%$) para los 14 fustes de columnas (Peinador alto de la Reina), y cuatro fases (I-IV) de deterioro selectivo en fustes de la Galería de Dos Hermanas.

Muestras	\perp (1)	\perp (2)	\parallel
Canteras de Macael	70.1	63.1	43.5
	56.2-86.2	45.7-79.5	32.6-60.9
	11.7	9.1	7.6
Alhambra Taza Leones copia	69.2	62.8	40.4
	50.4-90.3	47.2-83.1	25.5-62.1
	13.9	11.8	12.0
$\Delta \sigma_{Tn}\%$	1.3	0.5	7.1
Alhambra Guitarra original	48.2	40.7	29.4
	35.5-68.5	21.7-64.4	16.2-43.4
	12.3	11.5	7.0
$\Delta \sigma_{Tn}\%$	31.2	35.5	42.4

Tabla VIII. Correlación del parámetro σ_{Tn} (kg/cm²) entre material de cantera y de la Alhambra. Plano de carga, c-b (1) y c-a (2), perpendiculares al plano de foliación; carga transmitida paralelamente (\parallel) al plano de foliación (a-b).

6. REFERENCIAS.

1. Barbin V., Burns S., Decrouez D., Oddone M. y Zezza U., Cathodoluminescence, REE and stable isotopes characterization of marbles from Crevoia, Candoglia, Lasa (Italy) and Pteleos (Greece), Proc. lith international symposium, 'The conservation of monuments in the Mediterranean Basin', Geneve, 1991. In press.
2. Barbin V., Zezza U. y Sebastian Pardo E., The cathodolumicrofacies on Macael white marbles (Almería, Spain), In press.
3. García Dueñas V., Martínez Martínez, J.M. y Soto, J.I., Los Nevado-Filábrides, una pila de pliegues-mantos separados por zonas de cisalla, II Cong. Geol. España, 1988, p. 17-26.
4. Gómez Pugnairé M.T. y Franz G., Metamorphic evolution of the paleozoic series of the Beric Cordilleras (Nevado-Filábride Complex, SE Spain) and its relationship with the alpine orogeny, Geol. Rundschau, 77, 1988, p. 619-640.
5. Zezza U., Physical-mechanical properties of quarry and building stones, Proc. 'Analytical Methodologies for Investigation of Damaged Stones', Pavia, 1990, 20 p.
6. Zezza U., Decay evolution depending on the textural anisotropy of marbles in monuments, Proc. lith international symposium 'The conservation of monuments in the Mediterranean Basin', Geneve, 1991. In press.
7. Zezza U., Previde Massara E., Massa V. y Venchiarutti D., Effect of temperature on intergranular decohesion of the marbles, Proc. VII international congress on 'Deterioration and Conservation of Stone', Lausanne, 1985, p. 131-140.

CARACTERIZACION MICROQUIMICA DE LOS MATERIALES PETREOS EMPLEADOS EN LA CATEDRAL DE GRANADA

Martín, L.; Bello, M. A.; Martín, A.

Departamento de Química Analítica, Facultad de Química, Sevilla. (España)

SUMARIO

Mediante el estudio de la composición microquímica, se establece de forma inequívoca la procedencia de los principales materiales pétreos empleados en la construcción del Conjunto Catedralicio de Granada. El estudio de la variación de la composición microquímica en muestras alteradas del monumento permite establecer diversas conclusiones.

SUMMARY

By means the study of the microchemical composition, the provenance of the main stony materials used in the Cathedral Whole of Granada has been established. From the study of the variation of the microchemical composition of altered samples from the building, some conclusions have been obtained.

Trance Elements, microchemical Composition, Granada Cathedral, Provenence, Stone.

INTRODUCCION

El Conjunto Catedralicio de Granada (1506-1783), constituido por la Catedral de la Encarnación, Iglesia Parroquial del Sagrario, Capilla Real y Lonja, se encuentra situado en pleno centro histórico y comercial de la ciudad; y escasos metros del Conjunto Catedralicio se encuentran dos de las principales avenidas de la ciudad, que soportan un muy elevado tráfico rodado.

Recientemente se ha completado un diagnóstico del estado de alteración de los materiales pétreos usados en el monumento (1-2). En la actualidad se están realizando tareas de restauración del edificio, debido a que el monumento se encontraba en un muy avanzado estado de alteración.

CONDICIONES AMBIENTALES

La ciudad de Granada, a una altitud de 664m., está situada en la denominada Iberia Parda (clima mediterráneo), en la región continental, subregión continental extremada, Meseta Sur. De acuerdo con las características de la zona climática en que se encuentra situada Granada, los inviernos son muy fríos y los veranos bastante calurosos; son asimismo muy importantes las oscilaciones térmicas diarias. Hay que resaltar también que gran parte del monumento se encuentra en un permanente estado de elevada humedad debido a diversos factores.

Debido a su situación en el núcleo urbano, el Conjunto Catedralicio de Granada soporta unos elevados niveles de contaminación; especialmente significativos son los altos valores de SO₂, NO_x, y partículas en suspensión, siendo todos unos parámetros con una influencia muy directa sobre la alteración de la piedra, y el último, la principal fuente de aporte de elementos metálicos a la superficie de la piedra. Como es sabido, la principal influencia de estos elementos metálicos estriba en la capacidad de muchos de ellos de actuar como catalizadores de la oxidación del dióxido de azufre, siendo este proceso el principal causante de la alteración de muchos de los monumentos situados

en áreas urbanas.

MATERIALES PETREOS EMPLEADOS

En primer lugar, y mayoritariamente en todo el edificio, se ha empleado una caliza porosa y blanda de color amarillento procedente según la bibliografía (3) de las canteras de Santa Pudia, en la zona del Cortijo de Santa Pudia, en el término municipal de Escuzar, a 23km. al Suroeste de Granada. Desde el punto de vista geológico (4) los materiales corresponden a sedimentos terciarios de edad Miocena (Tortonense medio-Messiniense) que forman parte del borde meridional de Granada.

El segundo litotipo, utilizado principalmente en el Sagrario, es una caliza compacta y dura de color gris procedente según la bibliografía de las canteras de Sierra Elvira, que se encuentran en el término municipal de

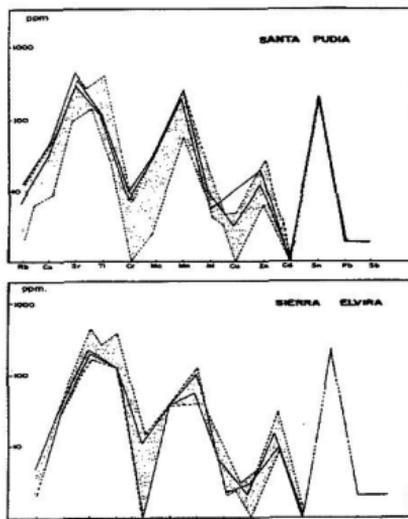


Figura 1. Diagramas de enriquecimiento de elementos traza (EDTE) para varias muestras del Conjunto Catedralicio (punteado: límites establecidos para la correspondiente cantera).

Atarfe, en la provincia de Granada. Dichas canteras, en número superior a treinta, siguen actualmente en explotación utilizándose esta caliza como roca de construcción y ornamental.

Además de estos dos litotipos se han empleado, de forma muy localizada y generalmente con fines ornamentales, materiales de muy diversa procedencia.

IDENTIFICACION DE LAS CANTERAS

Al objeto de identificar de forma inequívoca las canteras

de procedencia de los materiales pétreos mayoritariamente empleados en el edificio, se recurrió al contraste de muestras inalteradas del edificio con muestras de las probables canteras mediante sus diagramas de enriquecimiento de elementos traza (EDTE) (5,6), que son representaciones gráficas de la composición microquímica poniéndose en ordenadas la concentración en ppm y en abscisas los distintos elementos analizados. Como se puede observar en la figura 1, los diagramas correspondientes a las muestras del edificio, quedan dentro de los límites establecidos para las canteras de Santa Pudia y Sierra Elvira (en punteado), lo que confirma la procedencia de las muestras.

VARIACION DE LA COMPOSICION MICROQUIMICA EN EL EDIFICIO

Como ya ha sido comentado, resulta de importancia el estudio de la variación experimentada en la composición microquímica en las muestras del edificio, para ello, se analizaron una serie de muestras alteradas del monumento correspondientes a los dos litotipos predominantes (Santa Pudia y Sierra Elvira). En la Figura 2 aparecen superpuestos los diagramas de enriquecimiento de elementos traza de muestras alteradas y sin alterar para los dos litotipos mayoritariamente empleados en la Catedral de Granada.

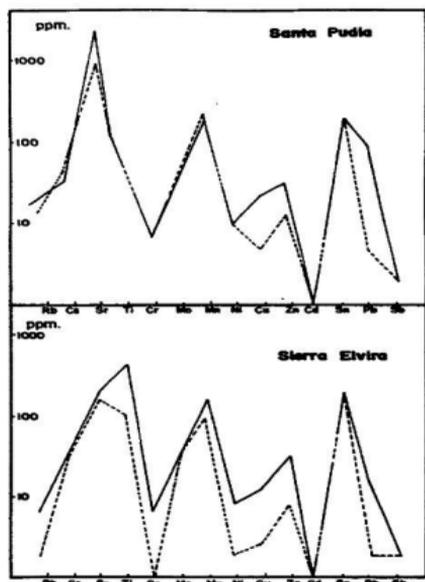


Figura 2. Diagramas de enriquecimiento de elementos traza para muestras alteradas () e inalteradas ().

El estudio comparativo de los valores obtenidos con aquellos de muestras sin alterar, de canteras, permite sacar las siguientes conclusiones:

- Se produce un aumento generalizado en la concentración de casi todos los microcomponentes analizados. Estos incrementos son especialmente significativos para Cu, Zn y Pb.

- De acuerdo con investigaciones previas (7), la principal fuente de aporte de zinc podría ser la incineración de residuos urbanos.

- La combustión de gasolinas parece ser la principal

fuentes de aporte de plomo.

- Los aportes de níquel podrían tener su origen en la combustión de fuel en las calefacciones y motores diesel.

- No tienen origen tan claro los aportes de otro elementos, aunque posiblemente, su fuente principal puede ser la erosión del suelo.

De acuerdo con el enclave del edificio, en el centro urbano de la ciudad, así como con estudios realizados con anterioridad (7), cabría esperar que el aporte de óxidos de azufre procediese en su mayor parte de los vehículos que circulan por los alrededores. Por ello, pareció de interés establecer una posible correlación entre el contenido de sulfatos y el de plomo procedente de las gasolinas. Como puede apreciarse en la Figura 3, en la que se representan los contenidos de sulfatos y plomos para diversas muestras tomadas en el edificio, en general, las muestras que han sufrido más intensamente procesos de corrosión por efecto de óxidos de azufre, presentan los mayores contenidos de plomo; asimismo, el origen externo de dicho aporte queda patente a la vista de los diversos perfiles en profundidad representados (muestras agrupadas). Los resultados obtenidos permiten invocar el tráfico, junto con las calefacciones, como principal fuente de aporte de SO₂.

REFERENCIAS

1. Martín, L., Diagnóstico sobre el estado de alteración de los materiales pétreos de la Catedral de Granada, Tesis Doctoral, Sevilla, 1992.
2. Martín, L., Alcalde, M., Bello, M.A., Martín, A., Macroscopical Morphology of deterioration of the stone used in the Cathedral Whole of Granada (Spain), Materiales de Construcción, en prensa.
3. Rosenthal, E., The Cathedral of Granada, Princeton, University Press, 1961.
4. Gonzalez-Donoso, J.M., Estudio geológico de la Depresión de Granada, Tesis Doctoral, Universidad de Granada, 1967.
5. Bello, M.A., Martín, A., Microchemical Characterization of Building Stone from Seville Cathedral, Spain, Archaeometry, 34, 1992, 21-29.
6. Bello, M.A., Martín, L., Martín, A., Identificación microquímica de mármol blanco de Macael en varios monumentos españoles, Materiales de Construcción, en prensa.
7. Bello, M.A., Caracterización y estado de alteración química de los materiales empleados en la construcción de la Catedral de Sevilla, Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, 1988.

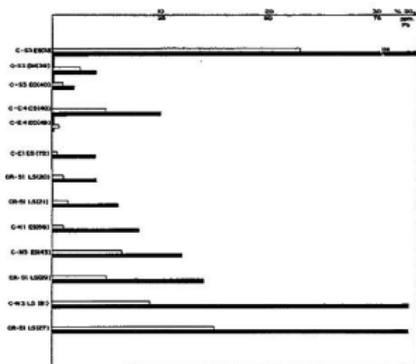


Figura 3. Contenido de sulfatos y plomo para varias muestras del Conjunto Catedralicio.

RECOVERY OF A TOWN AFTER 23.11.80 EARTHQUAKE IN IRPINIA (ITALY): THE CASE OF SAN GREGORIO MAGNO

Ingg. e Arch. C. Badaloni (*), A. Cherubini (*), A. Di Bene detto (*), R. Mariotti (**), V. Savi (*)

(*) S.T.E.C. - Ingegneri ed Architetti (**) Studio G.R.A.U.

San Gregorio Magno is a little town of Irpinia, that was hardly damaged during 23.11.80 earthquake. A multidisciplinary team, appointed by the Municipality, studied the problems of the Town Recovery in seismic area, carrying out the survey first of all by means of a deep knowledge of zone seismicity (microzoning) and working out various instruments for the design, operation, administration and training, not only for the town renewal but also for its future life, trying to ensure it an adequate level of safety.

San Gregorio Magno es un pueblo de Irpinia (comarca del Sannio, Italia) notablemente dañado por el terremoto del 23 Noviembre de 1980. Un grupo de expertos de varios sectores, comisionados por la Administración, ha abordado los problemas específicos de la recuperación urbana de un pueblo de una zona sísmica. El plan ha sido desarrollado basándose principalmente sobre un estudio detallado del nivel de riesgo sísmico de estos lugares (microzonificación) y elaborando un conjunto de proyectos-operativos, administrativos y de entrenamiento - encaminados no sólo al renacimiento de un pueblo, sino también a garantizar, para su futuro, un nivel satisfactorio de seguridad.

Key-words: Earthquake, methodology of survey, town-planning.

1. San Gregorio Magno is a little town with a population of six thousand people in Salerno's hinterland, which was so seriously damaged by 23.11.80 earthquake that it was classified among the disasterer Municipalities. San Gregorio was hit by an eighth degree earthquake on the MSK scale, and its epicenter was about 24 kilometers from the town.

A year and a half later in September 1982 the Municipality charged us with a very wide task: town planning, public works projects, planning and scheduling of repair interventions, organization of everything involved in the reconstruction and assistance to Municipal Offices. An article of May '81 Special Act establishes that Municipalities can agree upon so wide a convention with technicians teams.

At the same time, many private citizens asked for our cooperation and assistance in repairing and/or rebuilding their own houses.

2. A multidisciplinary team, made up of architects, structure engineers, town planners, as well as auxiliary technical staff, was constituted. First of all it carried out an accurate survey of the damages, which lasted twenty consecutive days.

The principal aim was to draw up an efficient Recovery Plan, as called for by a 1978 Act.

According to it, relevant areas must be divided into individual small portions and Minimal Units, including one or more buildings, but in any case being the minimal size of the area where it is possible to assure a structural and/or architectural recovery.

In our case, as we had to work in a seismic area, we tried to take into consideration the structural-seismic parameters, together with the urbanistic, architectural, and stylistic ones, introducing a new methodological scheme of analysis (Fig. 1), examining:

- The microzoning, geologic-geotechnical input to determine the most likely range of answers (Fig. Nr. 2);

- the masonry structures, inspected from different points of view.

In the Recovery Plan thus we took into consideration two levels of the seismic-structural aspect.

The first level of analysis and proposal of intervention began with the definition of the Minimal Unit, the minimal size of the area where it was possible to assure a repair or a restructuring, characterized not only by architectural parameters but also by elements of structural organization and response to earthquake.

The Minimal Unit could coincide or not with a building; it was important to define it above all in the Centre, where the buildings were always in contact or sharing walls.

The second level of analysis aimed to correlate damages with geologic situation, namely to check a distribution of spotted damages. This strategy resulted in a proposal of a so called "earthquake-engineering" intervention, aiming to the following:

- sufficient road width
- ring-road closing
- adequate building height
- dimensioning of squares and open spaces such as to create "safe areas", which can be easily reached after an earthquake
- safe routes inside historical centres in their innermost parts (i.e. vaulted routes)
- way outs either towards the countryside or outdoors or open spaces, etc. (Fig. Nr. 3).

The "antiseismic town" seems to be an open space, where its inhabitants have the constant impression to be able to reach safe areas or to be easily reached.

On the basis of these criteria a survey of the whole town was carried out so as to draw up a damage map (Fig. Nr. 4).

As far as masonry structures are concerned, the accurate evaluation of masonry building resistance was particularly important; it was carried out by utilizing a number of surveys of the present conditions of damaged buildings to be restored or reconstructed.

They consisted of plans, front views and cross sections on 1:50 scale of masonry buildings, whereof a precise geometric and crack survey, a description of the damages due to the earthquake, as well as all data relevant to masonry nature and its condition of degradation before the earthquake were carried out.

These buildings were divided by areas, each of them corresponded to different geologic situations and damage levels; another classification was done according to masonry category (concrete block or brick masonries, stone masonries, concrete and stone mix masonries, the so-called "two-wallboxes"). Furthermore, inside each category, the buildings with a minimum twisting effect and the ones with enormous twisting effects were separated.

Above subdivisions were carried out so as to be able to get informations on masonry resistance. In fact, by analyzing the buildings, when the effective equivalent static force



of the earthquake is known with a fairly good approximation, resistance evaluation could be obtained by means of damage ascertainment.

Together with above surveys, experimental tests were carried out in situ on masonry panels of different topologies, 2 meters wide and 3 meters high, cut on site and kept on their foundations (Fig. Nr. 5).

These surveys, which we have here synthetically described, allowed us to estimate the level of degradation of the buildings and their actual response to earthquake. Together with the historical, social-economic and cultural surveys, they made it possible for us to draw up San Gregorio Magno Recovery Plans; the whole town was divided into three parts, each of which had its Recovery Plan different from the others (Fig. Nr. 6).

3. - The First Recovery Plan included the most recent construction in the town suburbs: Damages in this area were usually less serious than elsewhere and, apart from rare exceptions, the buildings, on average two-storied, were generally detached. In this plan we placed more attention on town planning than on building designing, namely interventions involving roads, networks and node distributions, and public utilities design.

Survey results in this part of the town were in accordance with planning directions: The choice of the Minimal Units was not fixed, and private planners could act according to their own well-grounded criteria of choice, as well as of structural or architectural unity, or by making reference to cadastral units.

- The Second Recovery Plan included the old part of the town, a historical center dating back to late Middle Age, full of buildings being placed one on top of the other for years until the last century. Here, partial collapses and very serious cracks damaged most of the area; nevertheless buildings were still standing. Once we limited this area and checked every structure in it, a map of all damages was drawn up according to a standard schedule. (Fig. Nr. 7).

It collected all data relevant to the building location, its utilization, and the metric data, as well as the results of a survey on masonry constitution and quality, damage situation as to vertical and horizontal structures, ceilings, and external or internal stairs.

Data on damages are worked out in order to give an evaluation of their degree on a Map by means of letters, as follows:

- A. Light or insignificant damage
- B. medium damage; more or less significant crack
- C. serious damage
- D. very serious damage which caused total collapse or required demolition.

In order to evaluate the significance of damages, we made reference to standard crack classifications for masonry and reinforced concrete buildings, providing also for training of surveyors. Every class of damage is represented by a different building taken as a sample. In this way we recorded structures covering more or less 260,000 sq. m..

This map of damages (Fig. Nr. 4) showed the extent of the earthquake's effects, and it allowed to point out which areas were exposed to a greater seismic risk from a geological point of view. We thus succeeded in making urbanistic decisions on a large scale: Widening streets, creating squares, reducing maximum building heights per area, and increasing the distance between buildings so as to create free areas, etc. As regards single buildings this means:

1) To define whether to maintain previous utilization or not. This is particularly valid for stables and agricultural premises in the old town center.

2) To define whether to maintain the original number of stories and preexisting foundation or not, mostly relying on the first geological map of San Gregorio Magno.

3) To decide which kind of intervention is preferable in order to recover town buildings, defined as follows:

LI - Repairing

L2 - Building restructuring so as to restore or rebuild parts or elements of the structure

L3 - Building restructuring so as to totally rebuild "in situ"

L4 - Urbanistic restructuring so as to totally rebuild the structure, remodelling the facades

L5 - Urbanistic restructuring with demolition of the pre-existing buildings

RC - Restoration or conservatory recovery

Thus we obtained a second Map: The Map of the Minimal Units with levels of intervention. Enclosed herein there is a list of all buildings with relevant data subject to regulations or recommendations as well as every aspect to safeguard or take care of during the project (Fig. Nr. 8).

The Third Recovery Plan concerned six particular areas of the town, not included in the whole, to be entirely restructured since they were completely razed by the earthquake, as in the case of 5 areas out of 6, where there were 32 victims, and also because they were intended for the Administrative Head-offices, hence remarkably important and to be urgently recovered.

A very detailed urbanistic and building design was drawn up for these areas, trying to rebuild the town regularly and respecting preexisting architectural and urbanistic elements (Fig. Nr. 9).

Also for the Third Recovery Plan, apart from a huge quantity of technical data for a well-defined rebuilding intervention, all data subject to regulations and recommendations for each Minimal Units as to particular aspects to be cared of during design were considered.

It is noteworthy that in these areas, where a total rebuilding was necessary, all citizens required to delegate the right to make all relevant decisions to the Town Council: so the Council was allowed to form new condominiums with a distribution of flats different from the original patterns.

As regards the restructuring of the area to be used as Administrative Offices, we decided to repair two buildings, the first one intended for a Social Centre and the second one for the Town Hall offices; it was also created a new open space in order to widen the present shape of the square. A step-like arrangement will give new premises to the Town Hall (Fig. Nr. 10).

All described urbanistic means together with plans for a public service building for homeless people, and plans for restarting of industrial activities, were approved by the Competent Government Authorities. They were strict regulations to be observed.

We also started with a design of public works, such as road networks and schools. We then agreed with the Council upon a technical program of intervention according to the availability of public funds in the next years.

Furthermore the General Town Planning was drawn up according to a scheme of social and economic development, and above all by means of a constant check of the

outcomes attained by the Geologic Study and by the survey on structure Resistance and Vulnerability.

It concerned the future development of the town (according to a supposed model) and it will be carried out jointly with the reconstruction intervention, allowing many emigrants to go back home, and consequently reducing a phenomenon that has remarkably increased in the last decade.

Talking about town planning was a unique opportunity to meet the public and to get input from citizens with the support of the Council, engaged in a much deeper cultural approach with people, leading them to a new style of life through a gradual process of osmosis.

The interdisciplinary team worked on different levels: the historical-architectural and the scientific-technical ones. Together with town planning a research on the town history, customs, traditions, popular arts, and architectural environment referred to the surrounding area was carried out; the applied research on buildings was worked out in connection with the permanent training of technicians, the promo-

tion of congresses and meetings on architectural-urbanistic problems linked with the issue of site seismic hazard.

On the other hand an agreement was reached with the University of Rome and C.N.R. ("National Council of Scientific Research") for the applied research on buildings with tests in situ, permanent training of technicians and establishing of drill sites. A further agreement with the Geophysical Observatory of Trieste was worked out for drawing up a map of soil stability and seismic hazard, as well as for testing new techniques of seismic shocks survey, using a mobile network of oscillographs.

Which will the new San Gregorio Magno be?

A town to be rebuilt in the best way, a new consciousness of its history and resources, and a community prepared to talk about its problems. In a word, it will be an intelligent answer of society to nature's destroying power.

SCHEMA METODOLOGICO

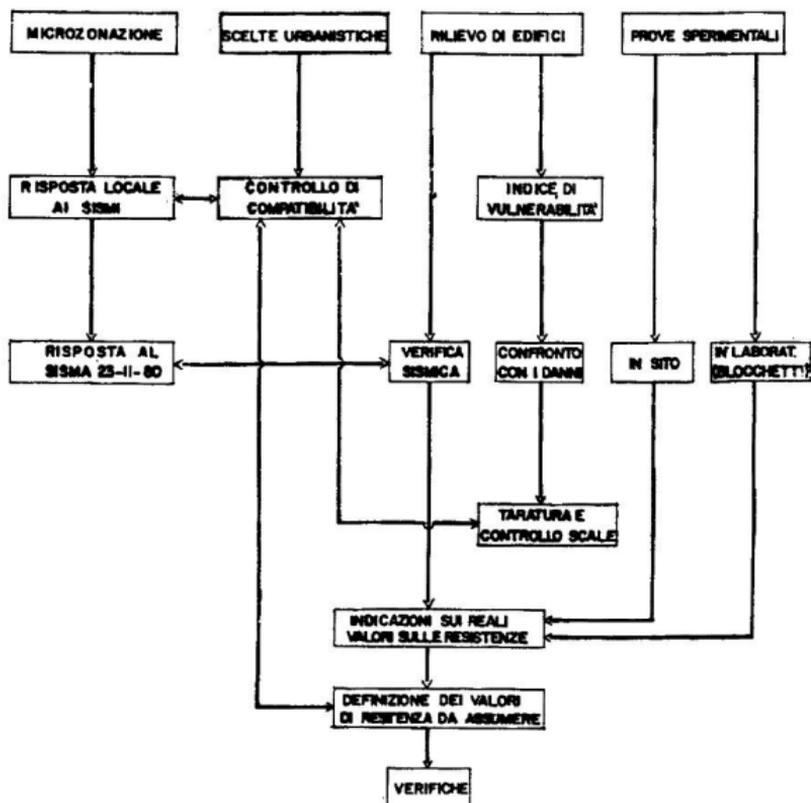


Fig.1. Methodological Scheme

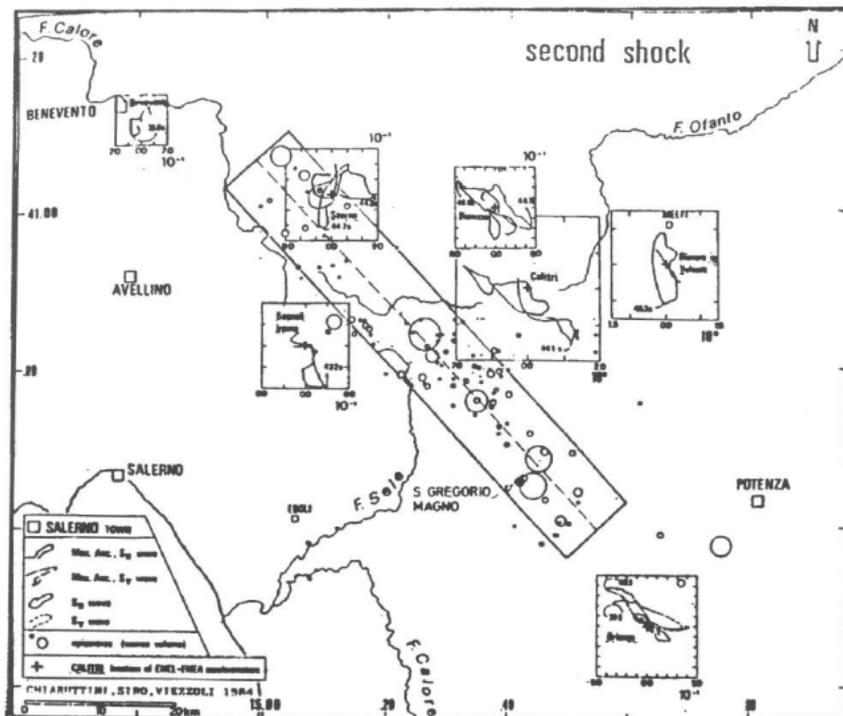


Fig.2. Microzoning



Fig.3. Road Network

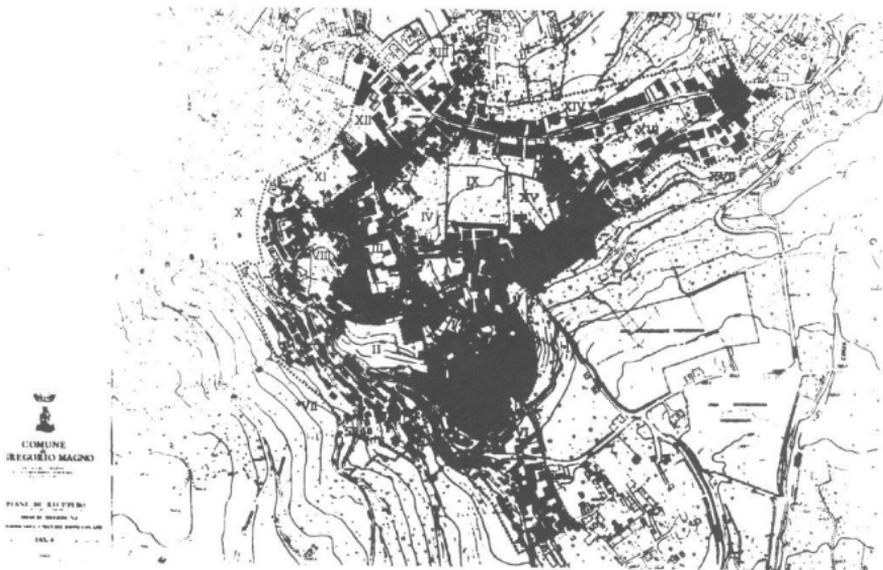


Fig.4. Damage survey

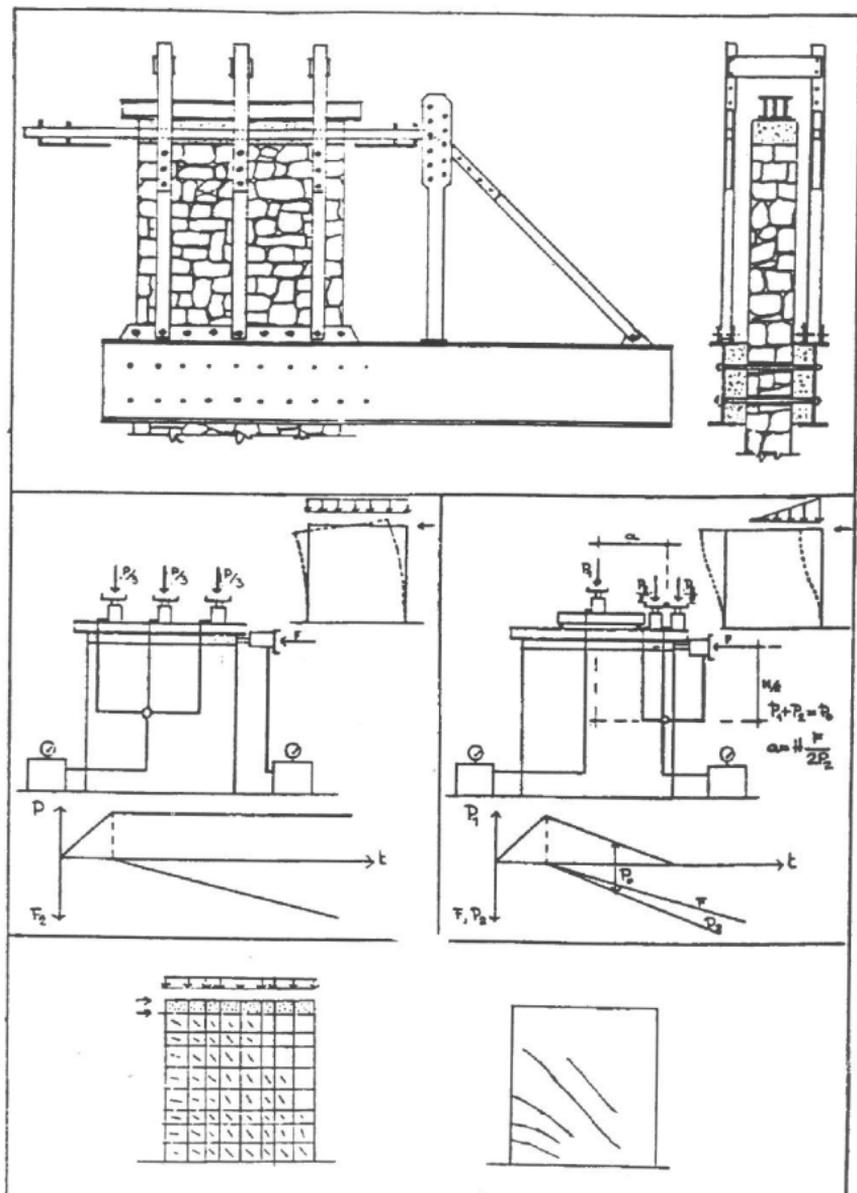


Fig.5. Device for test on masonry "in situ"

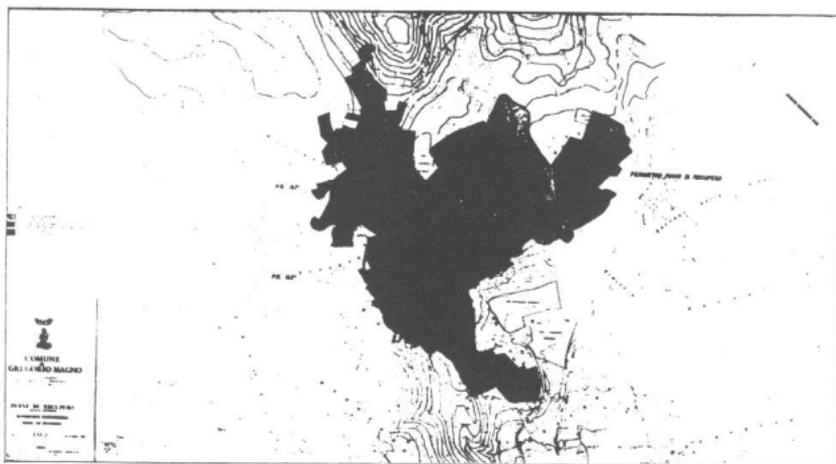


Fig.6. Recovery Plans

ZONA I° - VIA MAZZINI - VIA MANELI - VIA DANTE - VIA S. ZACCARIA - VIA DIASCELIO

UNITA' MUNICIPALE	RILEVAMENTO DEL DANNO							INTERVENTO				NOTE
	VIA O LOCALITA'	DEST. USO	CUB. MC	N° PLANI	LIVELLI DI DANNO	CARAT. STRUT. PLOM.	REGOL. PLOM.	DEST. USO	N° PLANI	LIVELLI DI DANNO		
1	Via Mazzini	a+g	828	2,5	B	N	N	a+g	2,5	L1	adeg. fronte su piazza	
2	Via Guerrazzi	a	1.988	2	B	P	V	a	2	L1	Interesse ambientale	
	" "	a	1.988	2	C	P	V	a	2	L2	" "	
3	Via Mazzini	a+c	350	2	B	O	N	a+c	2	L1		
4	" "	d	184	1	D	F	V			L5		
5	" "	d	63	2	D	P	V			L5		
6	" "	a+g	294	2	B	M	N	a+g	2	L1	Tra Umi 6 e 13 siste mazione muro recinz. orto.	
7	Via Guerrazzi	a+c	483	2	D	P	V	a+c	2	L3		
8	" "	a+c	637	2	D	P	V	a+c	2	L2	Riprendere intonaci	
9	" "	a	1.337	2	B	P-N	V	a	2	L1		
10	Via Mazzini	a c+d	1.197	2	C	P	V-N	a c+d	2	L2	. risan. igienico	
11	Via Manoli	a	3.117	2	B	P	V	a	2	L1	Uniformare intonaci plem. arch. in pig tra da salvare.	
12	Via Mazzini	a	682	3	C	P	V	a	3	L2-R.C.	Intervento rest. da uniformare con VIII 14.	
13	Via Marconi	a+d	1.222	/3	B	P-N	V	a+d	/3	L1	R.I. Elem. arch. in pietra da recup. ca rattere ambienti uni formare intonaci.	
14	Via Mazzini	a	1.585	3	C	P	V	a	3	L2-RC	Ripris.archit.passtagr.	
TOTALE CUBATURA												

Fig.7. Standard Survey-Schedule

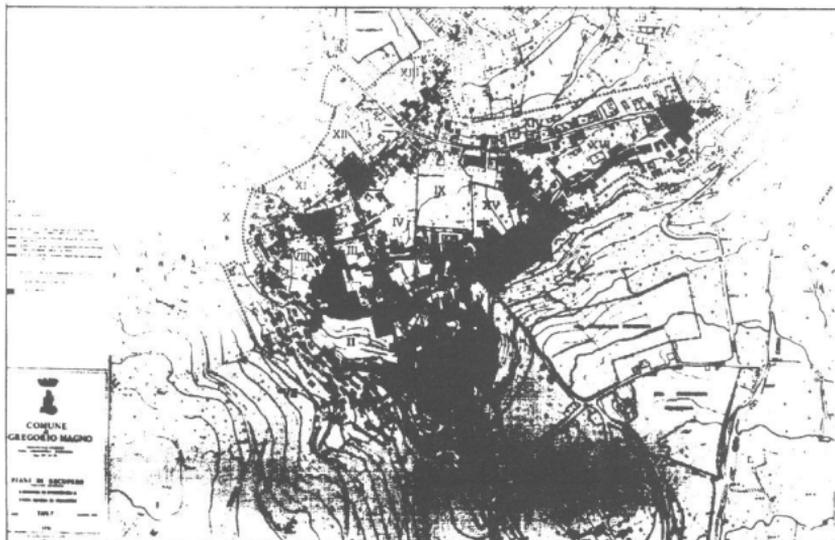


Fig. 8. Levels of intervention and minimal units

UMI 2 - PV 4		Piazza Anfunziata		DATI SCHEDE SR 403.00 mq PR 3 SMI 460.00 mq		AREA SEGRE mq 246.6	
PIANTA 0 107 40	PIANTA 0 110 40	PIANTA 0 113 40	PIANTA 0				
		SOLUZIONE 1 SR N° 2 TIPOLOGIA U3/US 80 mq N° 2 TIPOLOGIA U3/UA ... mq N° 2 TIPOLOGIA US 423.205 mq N° TIPOLOGIA U7/UA ... mq SAR N° 3-4 A-E + 24.028 mq C/D + 126.8 mq TOT. S. RESIDENZIALE = 292.8 mq TOT. S. NON RESIDENZIALE = 202.8 mq	SOLUZIONE 2 SR N° TIPOLOGIA U1/U2 ... mq N° TIPOLOGIA U3/UA ... mq N° TIPOLOGIA U3/UA ... mq N° 2 TIPOLOGIA U7/UA 288 mq SAR N° 3-4 A-E + 24.028 mq C/D + 126.2 mq TOT. S. RESIDENZIALE = 292.8 mq TOT. S. NON RESIDENZIALE = 202.8 mq				
PIANTA 0 104 40	SEZIONE A-A	TOT. S. RESIDENZIALE = 292.8 mq TOT. S. NON RESIDENZIALE = 202.8 mq SAR mq 20.80	TOT. S. RESIDENZIALE = 292.8 mq TOT. S. NON RESIDENZIALE = 202.8 mq SAR N° C/D ... mq TOT. S. NON RESIDENZIALE = ... mq				
				LEGENDA B = livello 0-000, voce. mq (vertical) I / I = livello = c-c B = livello = m-c - spazio (e bnd) 3 B ₁ = livello = m-c - spazio - bnd L = livello = 0-000 - spazio 10 mq S = camera - due letti - stanza 12 mq S = camera - un letto - stanza 9 mq spazio tetto: mt 2.70 - per vertici a volume mt 2.40 SAR = 45% SUR, 0.7 - 18 mq			
				NOTE Segno mq 50 Sottolinea per UMI = mq 144 Solo 2 gruppi			

Fig. 9. Standard Schedule for Plainvolumetric



Fig.10. Details of San Gregorio Magno Square

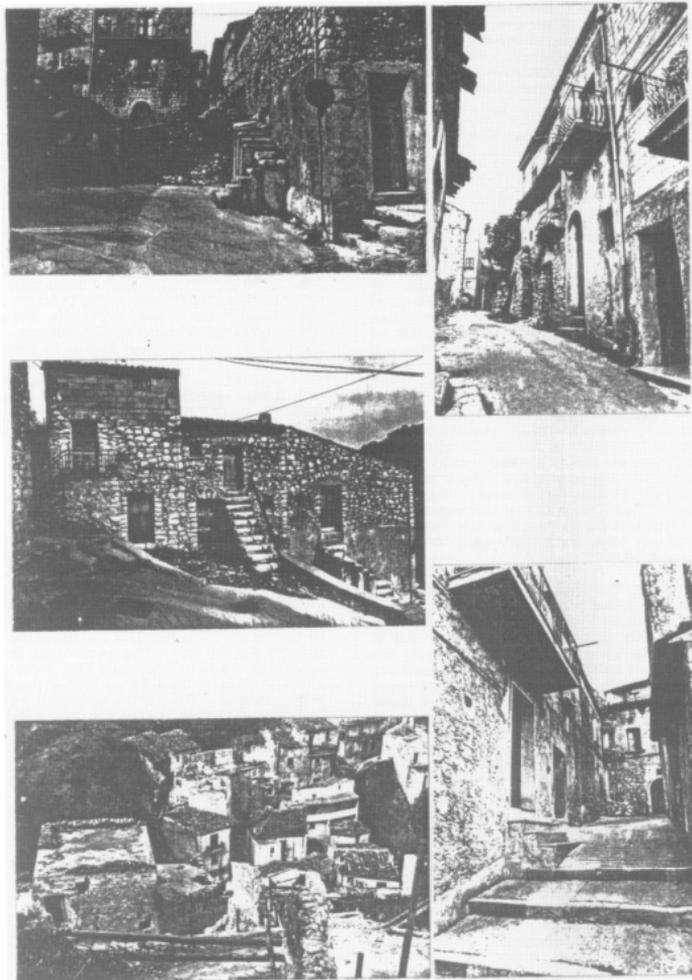


Fig.11. San Gregorio Magno pictures

ASSESSMENT OF INTERVENTION TECHNIQUES FOR SEISMIC STRENGTHENING OF MASONRY BUILDINGS

by Fillitsa V. Karantoni and Michael N. Fardis
University of Patras, Greece

ABSTRACT

The effectiveness of various seismic strengthening interventions in stone masonry buildings is assessed, through Finite Element Analyses. The strengthening techniques examined are: reinforced concrete tie-beams at the floor and roof levels; replacement of timber floors by reinforced concrete slabs; reinforced concrete tie-columns at all junctions of load-bearing walls; shotcrete jackets over the entire external and/or internal surface of the walls; horizontal prestressing of the spandrels; vertical prestressing of the piers. Combinations of methods are also examined. The easy-to-construct combination of RC slabs and a RC tie-beam at the top, comes out as the most effective combination of strengthening techniques, after the two-sided shotcrete jackets.

Keywords: Buildings, Earthquakes, Masonry, Strengthening, Seismic design.

INTRODUCTION

Article No. 1 of the Charter of Venice (1964) includes in the definition of monuments any architectural work which constitutes a testimony for past civilization or historical events, regardless of how humble and unimpressive this work may be. This concept of a monument includes the buildings of the 19th century, regardless of whether they are individual cases or they belong to old urban nuclei or to traditional towns or villages. In this latter case, even old buildings with little individual architectural or historical value, may be worth preserving as part of a group that should be preserved. This is more so, as, according to the Amsterdam Declaration (1975), the restoration and preservation of old urban nuclei and of traditional towns and villages contributes to the historical continuity of the built environment, which in turn reinforces the historical identity of the people and their feelings of security against the rapid changes of today's societies. Furthermore, the restoration and preservation of ordinary old buildings and their continued operation and use, is often less costly than their demolition and the construction of new ones, and contributes to savings in material and human resources.

Stone or brick masonry buildings constitute the majority of the building stock in Southern Europe. Many of them have been constructed in the 19th, or early in this century, and have suffered significant deterioration of strength, due to environmental actions, including past earthquakes. As Southern Europe is an earthquake-prone area, seismic repair and strengthening is one of the main objectives of any intervention needed to restore and rehabilitate these old masonry buildings. Seismic strengthening of masonry buildings is often based on non-engineered measures. This may be satisfactory, in view of the complexity of the seismic response of masonry buildings and of the disproportionately large effort required for detailed design. Although in-depth analysis and design may not be necessary for every single strengthening project, a sound quantitative basis needs to be established for the alternative strengthening techniques which are at the engineer's disposal.

An extensive study has been undertaken by the present authors, of the seismic performance and response of typical (two storeys plus a basement) stone masonry buildings in the town of Kalamata, Greece, after the strong 1986 earthquake. Comparisons of field observations with the predictions of various alternative analysis methods lead to the conclusion that a linear elastic Finite Element analysis, under equivalent static lateral loading computed from the

elastic Response Spectrum of the recorded ground motions, is a reliable tool for the prediction of the location and magnitude of seismic damage. The results of the Finite Element analyses and the observed damage in most of the stone masonry buildings in Kalamata, show that nearly horizontal tensile stresses, due to bending of the walls or to the transfer of out-of-plane inertial forces to the transverse walls, are dominant and hence responsible for most of the observed damage. This observation stresses the importance of horizontal devices for seismic strengthening of masonry buildings.

Three buildings are considered herein to be strengthened in 14 different ways, and subjected to the same seismic loading: a uniformly horizontal response acceleration of 0.42g, applied statically and separately in the two horizontal directions. For each strengthened building principal tensile stresses are computed over both faces of the walls, for each one of the four load combinations considered. To assess the effect of each strengthening technique, the so-computed principal tensile stresses in the walls of the strengthened building are divided by the corresponding principal tensile stress at the same point in the unstrengthened building. The average value for this stress ratio over the wall or storey, or over the entire building, shown in Figs. 1-3 and in Table 1, provides a measure of the effectiveness of the strengthening technique in question. Figs 1(a) and 1(b) refer to the ground floor, and to those walls which are parallel or normal, respectively, to the direction of seismic action considered in each case. In Fig. 1(c) the averages shown are for envelope principal tensile stresses, regardless of the direction of seismic action relative to the wall in question. Figs 2(a) to 2(c) are the corresponding figures for the second and most critical storey, and Fig. 3 refers to the entire building, regardless of direction of seismic action. The mean values of the above-mentioned average principal tensile stress ratios for all three buildings, are presented in Table 1.

DESCRIPTION AND EFFECTIVENESS OF INTERVENTION MEASURES

Horizontal Reinforced Concrete Tie-Beams

(TB): RC tie-beams in all loadbearing walls at the floors and roof levels, as well as at intermediate locations (at that level of lintels and of window sills) for high seismicity and/or for tall storeys, is strongly recommended or even required for new masonry buildings. In this study three horizontal RC tie-beams are considered: at the top of the walls and at the levels of the two floors. The depth of the tie-beams is generally taken equal to 0.3m, and their width in the horizontal direction equal to the full thickness of the wall, i.e. to 0.6m, in general and to 0.8m at the basement. Figs 1-3 and Table 1 show that tie-beams (TB) are quite effective in reducing tensile stresses in the masonry: in the 2nd and most critical storey, average reduction is about 30% when the earthquake loading is parallel to the walls and close to 50% in the more critical case of loading normal to them. In the ground storey the corresponding reductions are about 15% and 30%. The large reductions in the walls which are normal to the seismic loading are due to the effectiveness of tie-beams in resisting out-of-plane bending. The average principal tensile stress reduction over the entire building (including the basement) respectively of direction of seismic loading, approaches 30%.

Reinforced Concrete Floors (SL). Replacement of flexible timber floors by reinforced concrete slabs is a common intervention in the renovation of stone masonry buildings, because the RC slab exhibits superior durability with very little maintenance, has better serviceability (deflec-

tions) and provides a flat ceiling surface. From the point of view of seismic resistance, cast-in-situ reinforced concrete slabs anchored to the walls, provide spatial interconnection of the latter and distribute, through their in-plane rigidity, lateral forces to the walls according to their stiffness. They also resist out-of-plane bending, as they reduce the free span of the wall in the vertical direction. Finally, their weight increases compressive vertical stresses in the wall and thus decreases principal tensile stresses for the combination of gravity and earthquake loads.

In the present study the flexible timber floors of the 1st and 2nd storey are considered to be replaced by a 0.14m thick RC slab. No slab is introduced at the level of the roof, because its construction requires extending the interior load-bearing walls up to the level of the roof for intermediate support of the slab.

Average tensile stress reductions in the walls due to replacement of the two timber floors with RC slabs are shown in Table 1 and in Figs. 1-3. In the ground storey this intervention measure is nearly twice as effective as the horizontal RC tie-beams. In the 2nd storey, however, RC slabs are slightly less effective than the tie-beams, for the walls which are parallel to the seismic loading, but far less effective for those normal to it, which are also more critical. As no strengthening element is introduced at the top of the walls, average principal tensile stresses in the 2nd storey walls which are normal to the seismic loading, are affected very little by the construction of RC slabs at the floors below. Principal tensile stresses for the entire building (the basement included) and for both horizontal directions of seismic loading, are reduced on the average by more than 25%, almost the same as by the previous intervention technique.

RC. Floors and Horizontal Tie-beam at the Top of the Walls (SL+TB). As the previous intervention technique is found to have poor effectiveness in the upper part of the 2nd storey, a horizontal RC tie-beam is considered to be added at the top of the walls of this latter storey. When RC slabs are constructed, full-thickness horizontal tie-beams at floor levels are redundant.

This combination intervention method is more effective than either of its two components: in the walls which are parallel to the seismic loading, masonry principal tensile stresses in the two main storeys are lower than in the unstrengthened buildings by about 35%. The stress reduction in the walls which are normal to the seismic loading is about 50% in the 2nd storey and 60% in the ground storey. For all three storeys and regardless of direction of seismic loading, the average reduction of principal stresses is close to 35%.

RC. Tie-Columns at Intersections of Load-Bearing Walls (TC). Full-height RC tie-columns are considered to be constructed at the four corners of the building, and reduced-height ones, up to the 2nd storey floor, at the intersections of the exterior walls with the interior load-bearing walls in the ground storey and the basement. The horizontal dimensions of tie-columns are taken equal to the thickness of the wall.

As shown in Figs. 1-3 and in Table 1, RC tie-columns alone have no significant positive effect on masonry stresses, especially when the seismic loading is parallel to the walls. However, this result, obtained from a linear elastic analysis, only means that RC tie-columns do not delay cracking of the wall. They are expected, though, to improve the behaviour of the wall after cracking.

RC. Tie-Columns at Wall Intersections, and R.C. Tie-Beam at the Top of the Walls (TC+TBtp). Addition of an easy-to-construct RC tie-beam at the top of all exterior walls improves the effectiveness of the RC tie-columns only in the 2nd storey, and mainly in the walls which are normal to the seismic loading (reduction in principal tensile stresses by 40%, see Figs. 1-3 and Table 1). The reduction in principal tensile stresses in the whole building is about 10%

R.C. Tie-Columns at Wall Intersections, R.C. Slabs and R.C. Tie-Beam at the Top (TC+SL+TB).

This combination of all individual intervention measures considered so far, does not offer any advantages over the combination of two of its horizontal elements: RC floor slabs and RC tie-beam at the top. As shown in Table 1 and in Figs. 1-3, this combination is slightly inferior to that of the horizontal strengthening elements, and slightly better than the tie-beams at all three levels of the floors and of the roof. It is noticeable, however, that these results are valid only within the linear range, i.e., up to cracking. The post-cracking ultimate strength of the building is certainly improved by the confining effect of the combination of tie-columns with the horizontal strengthening elements.

Two-sided Shotcrete Jacket (DJ). Construction of continuous reinforced concrete jackets over all internal and external surfaces of the exterior (at least) load-bearing walls, is certainly the most effective but costly intervention technique. Shotcrete jackets are more convenient and less costly than cast-in-situ ones. For relatively thick masonry walls, like the ones considered herein, the minimum shotcrete thickness necessary to achieve a meaningful strengthening effect and to protect the reinforcement from corrosion is around 60mm.

The effectiveness of the two-sided jacket is demonstrated by the very large reduction of tensile stresses in the extreme fibres of the masonry effected by the introduction of the jacket. The effectiveness is greatest in the most critically stressed parts of the building: in the walls of the 2nd storey which are normal to the seismic loading, tensile stresses are reduced by about 75%. In all other walls, stress reductions are about the same as those effected by the combination of RC slabs with a tie-beam at the top. However, because of the large reduction in the afore-mentioned walls, the overall effect of the two-sided jacket is to reduce stresses in the building by 50%. Average over the storey tensile stresses at the extreme fibres of the shotcrete are below its estimated tensile strength. At the points of peak stresses in a storey this tensile strength seems to be exceeded. Nevertheless, for a jacket reinforced with the minimum steel for crack control, the resulting cracking will not be a problem.

One-sided Shotcrete Jacket (SJ). One-sided jackets are often preferred over the two-sided ones, either for convenience (when added to the exterior surface of the walls), or to leave the exterior facade of the building unaltered. Table 1 and Figs. 1-3 show, however, that one-sided jackets are about half as effective as two-sided ones. Their effectiveness is comparable to that of the three tie-beams, but inferior to the effectiveness of two RC floors combined with a RC tie-beam at the top.

Two-Sided Shotcrete Jacket, R.C. Slabs and R.C. Tie Beams at the Top (DJ+SL+TB).

It is reasonable to expect that this major intervention, which aims at an overall strengthening of the building, such as the two-sided shotcrete jackets, will be combined with other easier interventions, such as the RC tie-beam at the top and the replacement of timber floors with RC slabs. This combination may be considered as the most comprehensive and costly intervention likely to be tried in practice, and its effectiveness may serve as a yardstick for any other intervention. As shown in table 1 and Fig. 1-3, the reduction of masonry tensile stresses effected by this combination intervention exceeds the maximum of the corresponding reductions effected a) by the combination of RC slabs and a tie-beam at the top, and b) by the two-sided shotcrete jackets. The reduction is largest at the 2nd storey, in which tensile stresses are reduced by 85% in the walls normal to the seismic loading, and by 75% regardless of direction. The overall reduction is about 55%. These numbers point to limited improvement in effectiveness over the two-sided jackets.

One-sided Shotcrete Jacket, R.C. Slabs and R.C. Tie-Beam at the Top (SJ+SL+TB).

As shown in Table 1 and in Figs 1-3, the effectiveness of this triple combination of interventions is better than of the

beam is constructed there. Such a tie-beam can have adequate strength to allow direct anchorage through standard anchoring devices, without using large steel plates instead. These tie-beams have a significant strengthening effect as well as a beneficial effect on the horizontal tensile stresses induced at the top of the wall by out-of-plane bending due to the seismic forces. This strengthening effect is demonstrated by the very significant improvement of the effectiveness of vertical prestress, shown in Table 1 and in Figs. 1-3. This improvement is greatest in the 2nd storey, for seismic action normal to the walls or regardless of direction (Reduction of tensile stresses by about 50%).

TABLE 1. Point Estimate of Average Ratio of Principal Tensile Stresses in the Strengthened to Those in the Unstrengthened

Strengthening Technique	Walls Parallel to seismic action		Walls Normal to seismic action		Irrespective of direction	
	1st Storey (2)	2nd Storey (3)	1st Storey (5)	2nd Storey (6)	1st Storey (8)	2nd Storey (9)
RC Tie-Beams (TB)	0.85	0.71	0.68	0.53	0.69	0.81
RC Slabs (SL)	0.70	0.77	0.51	0.88	0.73	0.74
RC Slabs & top Tie-Beams (TC)	0.67	0.64	0.42	0.51	0.58	0.61
RC Tie-Columns (TC)	1.16	1.09	1.17	1.06	0.94	1.09
RC Tie-Columns & top Tie-Beams	1.12	0.89	1.09	0.98	0.81	0.71
RC Tie-Columns, Tie-Beams	0.86	0.75	0.93	0.59	0.62	0.77
Two-sided Shotcrete Jacket (SJ)	0.76	0.53	0.78	0.51	0.39	0.62
One-sided Shotcrete Jacket (SJ)	0.96	0.77	0.95	0.57	0.66	0.63
Two-sided Jacket Tie-Beam	0.69	0.42	0.70	0.38	0.30	0.58
One-sided Jacket Tie-Beam	0.95	0.69	0.95	0.59	0.62	0.81
Horizontal Prestress (HP)	0.82	0.78	0.85	0.84	0.92	0.85
Vertical Prestress (VP)	0.81	0.82	0.76	0.77	0.68	0.79
Vert. Prestress & top Tie-Beam	0.79	0.59	0.67	0.74	0.57	0.76
Horiz. & Vertical Prestress (HVP)	0.62	0.59	0.60	0.61	0.59	0.67

about 1.7 MPa). For this level of prestress extreme compressive stress induced in the masonry by the combination of one-half and two-thirds of the compressive strength. Table 1 and Figs. 1 to 3 show that such horizontal prestressing reduces the mean principal tensile stresses in the wall by only 10 to 15%. It is noteworthy, however, that the positive effect of prestressing on principal tensile stresses is more uniform among the different storeys and the different directions of the seismic loading, and more consistent among the three buildings, than the corresponding effect of

Vertical Prestress (VP). Vertical prestressing of the piers is taken also at a level including in them a uniform nominal compressive stress of 10% of the compressive strength of the masonry (170kPa), and to act along the axes of the (narrowest among the storeys) piers. Because of the almost unrestrained flow of prestressing forces from the top to the foundation, principal compressive stresses in the walls due to the combination of gravity loads and prestress follow a smooth pattern, similar to that due to gravity loads alone. Due to the smoothness and regularity of the stress system it produces, vertical prestressing has a slightly better and more consistent effect than horizontal.

Vertical Prestress and R.C. Tie-Beam at the Top (VP+TB/tp). Anchorage of the vertical tendons at the top of the wall is made easier if a horizontal RC tie-

Horizontal Prestress (HP). Similarly to jacking, prestressing of the masonry walls may be used not only to strengthen them, but also to repair heavy and widespread cracking. Because of the convenience of anchoring the tendons at the corners of the walls, horizontal prestressing of the spandrel is more convenient than vertical, along the piers. It is also more in accordance with the high horizontal tensile stresses due to out-of-plane bending and the transfer of forces to transverse walls. In this study all spandrels of the walls are considered to be prestressed, and their prestressing force is taken equal to the vertical cross-sectional area of the shallow spandrel, times 10% of the compressive strength of the masonry (estimated to be

one-sided shotcrete jacket, but less than the effectiveness of the RC slabs with a RC tie-beam at the top. Only in the 2nd storey is this combination of techniques better than its components.

Horizontal and Vertical Prestress (HVP). If the horizontal and vertical prestressing are combined, the resulting positive effect is higher than the sum of the individual effects of the two techniques. The reduction in principal tensile stresses is about 35%. The consistency and uniformity of this effect in different storeys of the same building and in different buildings is noteworthy.

CONCLUSIONS

A linear elastic Finite Element investigation is presented of the effectiveness of various intervention techniques for seismic strengthening of stone-masonry buildings. Overall fourteen different interventions have been examined for three buildings, consisting of two main storeys and a basement. Among them, 60mm. shotcrete jacketing on both surfaces of the walls, a technique which is not only costly, but also has the disadvantage of covering the facades of the building, is found to reduce masonry tension on the average by 50%, or by more than 65% in the most stressed regions of the wall. Other techniques, which offer the advantage of leaving the facades essentially unaffected, are found less effective: One-sided shotcrete jacketing is found to reduce extreme tensile stresses in the masonry by about one-third, on the average, and by less than 50% in the most critically stressed regions. Replacement of flexible timber floors by reinforced concrete slabs, along with construction of a reinforced concrete tie-beam at the top of the walls, is found slightly more effective, reducing extreme masonry tension by about 35%, on the average, and by almost 50% in the most critical regions. A slightly lower reduction results from full-thickness 0.30m deep reinforced concrete tie-beams at the levels of the floors and at the top of the walls, an intervention that may partly affect the facade of the building, and is difficult to construct. Easy to construct full-thickness reinforced concrete tie-columns, at all intersections of load-bearing walls, used alone or in combination with reinforced

concrete slabs and/or tie-beams, contribute very little to seismic strengthening of the building, as critical seismic tensile stresses in the walls are close to horizontal and far from vertical. Prestressing of the walls by internal prestressed tie-rods, at a level of prestress that will not endanger wall integrity due to compression (approximately 10% of the compressive strength of masonry), is found more effective than one-sided jacketing, and almost as effective as the combination of reinforced concrete floors and a tie-beam at the top, provided that prestressing is applied both horizontally (along the spandrels of openings) and vertically (along the piers, from the foundation to the top). Prestressing only in the vertical direction is significantly less effective, as it affects the nearly horizontal maximum principal tensile stresses indirectly, through the increase in vertical compressive stress. However, if vertical prestressing is supplemented with a RC tie-beam at the top of the wall, to facilitate anchorage of the tendons and to take the horizontal tensile stresses there due to the out-of-plane bending and the prestress, the effectiveness of vertical prestressing improves drastically, approaching or exceeding that of RC slabs or tie-beams or that of one-sided jackets. Easier to apply horizontal prestressing alone, has a minor strengthening effect, as, along with suppressing nearly horizontal tensile stresses in the spandrels, it introduces significant tension in the piers. The strengthening effect of prestressing, however, exhibits better consistency and repeatability in different buildings than any other of the methods considered. Finally, when two or more strengthening techniques are combined, their composite effectiveness is only slightly better than that of the most effective of the individual techniques combined, with the exception of horizontal and vertical prestressing, which is more effective than the sum of its components.

ACKNOWLEDGMENT

This research has been supported in part by the Greek Earthquake Planning and Protection Organisation.

GROUND STORY

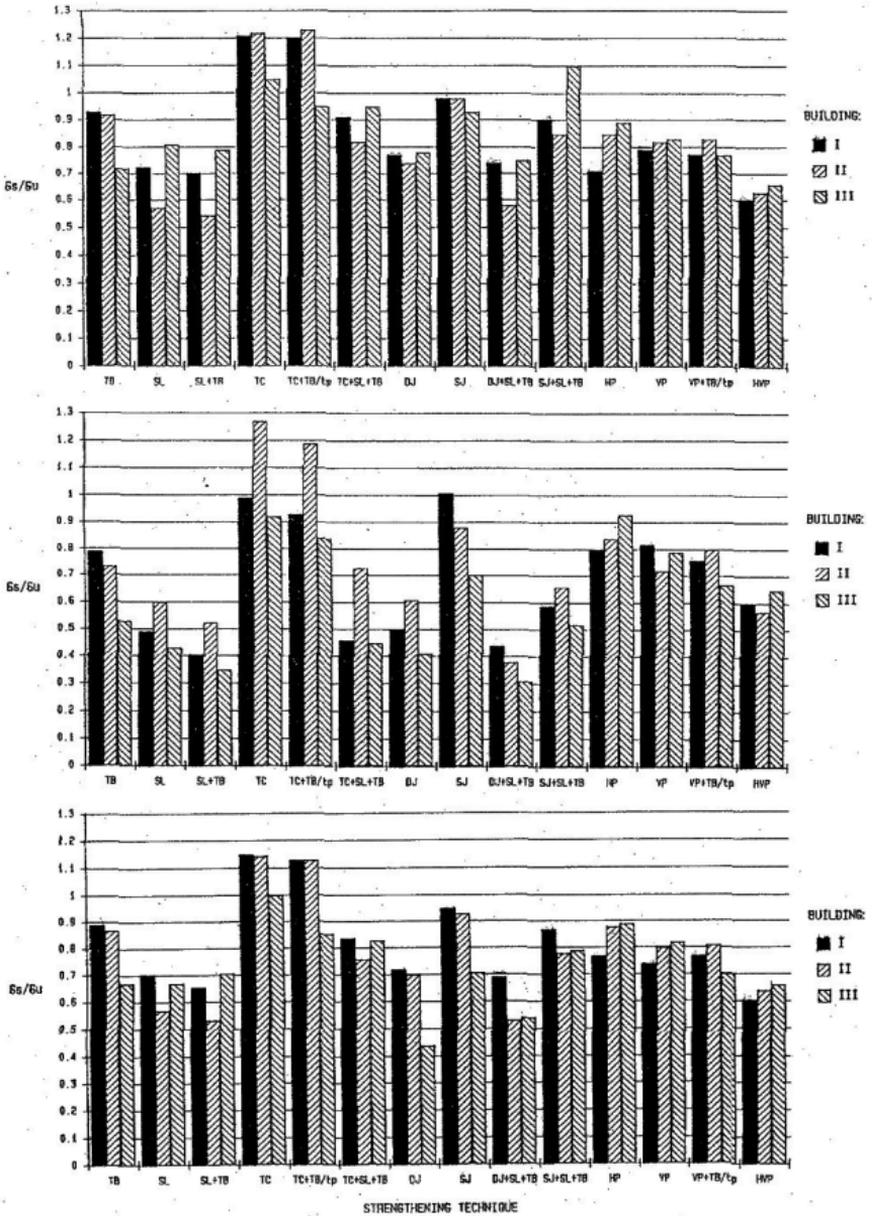


Fig1.- Average ratio of the maximum masonry principal tensile stress in the strengthened building to the corresponding value in the unstrengthened, in the ground storey walls: a) parallel to; b) normal to; and c) regardless of direction of seismic loading.

SECOND STORY

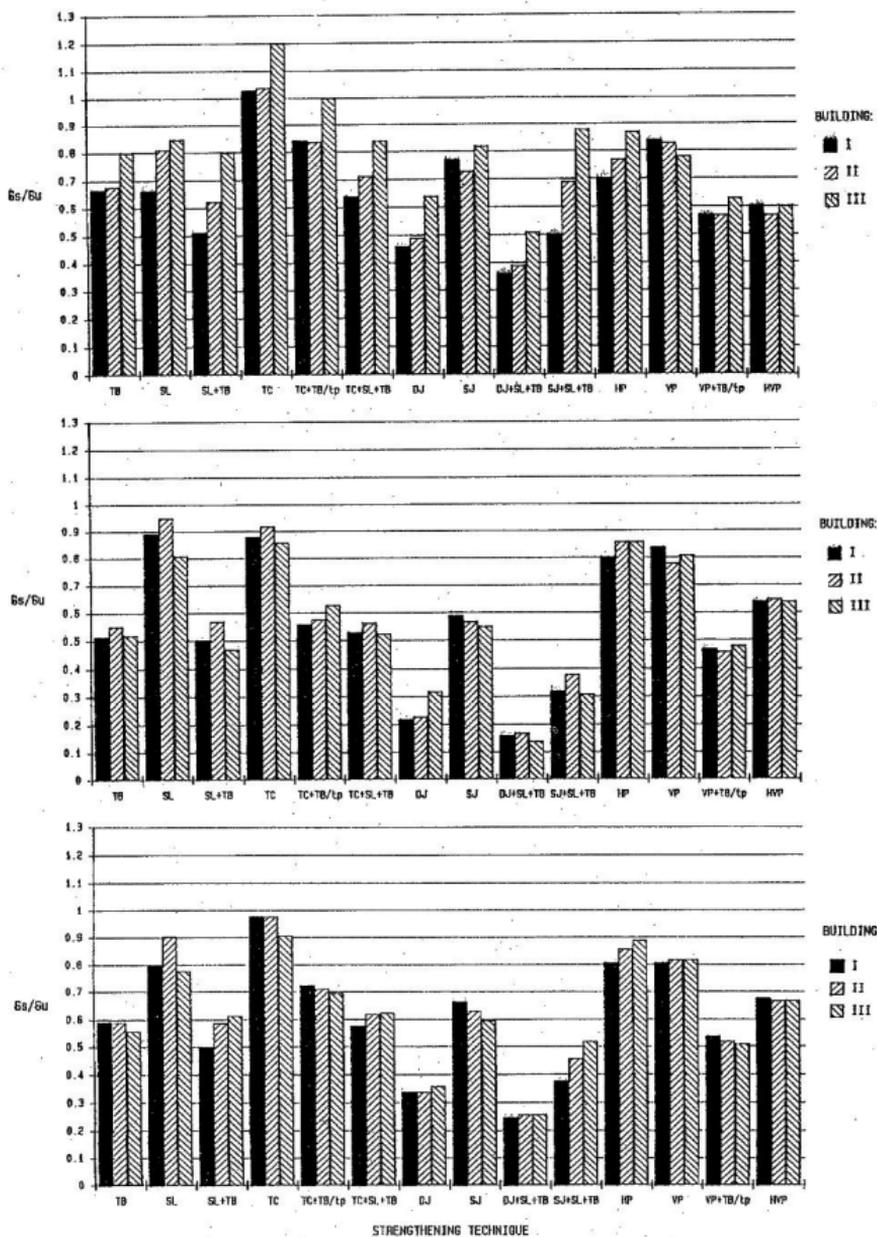


Fig 2.- Average ratio of the maximum masonry principal tensile stress in the strengthened building to the corresponding value in the unstrengthened, in the 2nd storey walls: a) parallel to; b) normal to; and c) regardless of direction of seismic loading.

WHOLE BUILDING

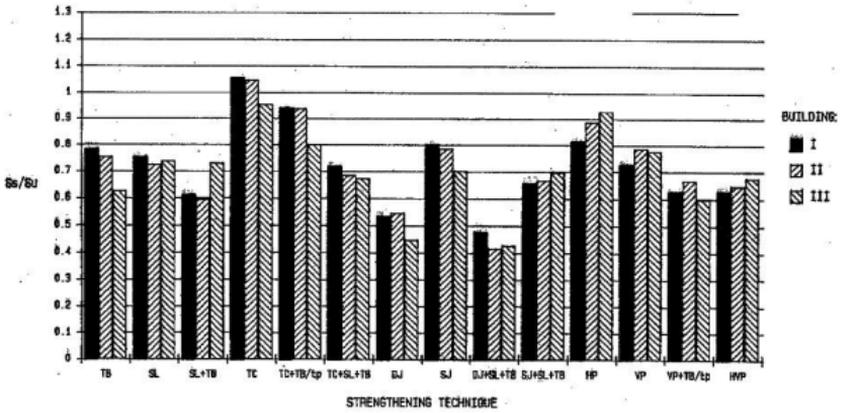


Fig3.- Average ratio of the maximum masonry principal tensile stress in the strengthened building to the corresponding value in the unstrengthened, over the entire building and regardless of direction of seismic loading.

SETTLEMENT MONITORING MATHEMATICAL DATA TREATMENT

Manuel Rechea, Dr. Ingeniero de Caminos. Luisa Baseet, Dr. Arquitecto. Arquitectura, Universidad Politécnica de Valencia.

SUMMARY

Formulae are presented to separate building movement into rigid and deformation movements. Since any solid movement can be superimposed to a deformation movement, the solid movement is obtained by minimisation. This way allows to describe what is happening in terms of few simple variables. An example is shown where the obtained description gives an important clue to the repair solution.

RESUMEN

Se presentan fórmulas para separar los movimientos medidos en movimientos como sólido rígido y movimientos que producen deformación. Como cualquier movimiento como sólido rígido se puede superimponer al movimiento deformacional, aquel se obtiene mediante minimización. Esto permite describir lo que pasa mediante pocas variables sencillas. Se presenta un ejemplo en que la descripción obtenida da una importante clave para la solución de reparación.

KEYWORDS: Foundation movement, settlement measurements

INTRODUCTION

Burland and Wroth (1) and many other researchers have mentioned that, when investigating the effects of differential settlement on buildings, the movement as a rigid body has to be taken off the overall movement. This paper shows a way to do this.

The movement of a deformable body can be decomposed in a variable deformation and a translation plus rotation, as a rigid body.

If \mathbf{u} is the displacement vector, the deformation tensor is

$$e_{ij} = \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$$

The unit strain tensor is the symmetrical part of the strain tensor

$$e_{ij} = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right]$$

and the rotation is the antisymmetrical part

$$e_{ij} = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right]$$

It is easy to show that the displacements of a rigid body form an antisymmetric and constant tensor, so that the addition of a rigid body movement does not alter the unit strain tensor.

This paper shows a way of separating the rigid body movement from the strain movement by minimizing the norms of the strain movement vectors.

THE STRAIN VECTORS

If in a body displacements are measured \mathbf{u}_i at \mathbf{N} points placed at positions represented by their situation vectors, \mathbf{r}_i , a decomposition of movements is possible in the form

$$\mathbf{u}_i = \mathbf{u}_{di} + \mathbf{u}_{ri}$$

where the index \mathbf{d} refers to the strain and the index \mathbf{r} refers to the rigid movements. If the rigid movement is written as a moment field

$$\mathbf{u}_i = \mathbf{u}_{di} + \mathbf{u}_o + (\mathbf{r}_o - \mathbf{r}_i) \Delta w$$

where \mathbf{r}_o is an arbitrary point and w is a rotation.

The norm of the strain vector, $\|\mathbf{u}_{di}\|$, is the square of its modulus, and the function to be minimized is

$$F = \sum \|\mathbf{u}_{di}\|^2$$

MINIMIZATION

In the minimization problem, the unknowns are the three components of the \mathbf{u}_o vector and the three components of the rotation vector, w . If the \mathbf{r}_o arbitrary point is any one, a set of six equations with six unknowns is obtained. Direct observation of these equations shows that, if the arbitrary point is the center of gravity of the measured points, the system is reduced to two systems of three equations with three unknowns each, where the center displacement is separated from the tilt. The system is undetermined, since a straight line and not a point is enough to situate the rotation.

The center displacement is

$$\mathbf{u}_G = (\sum \mathbf{u}) / N$$

that is, the average of the measured displacements.

If the position origin is the center of gravity of the measured points, the tilt equations can be reduced to the vectorial equation

$$W \cdot \sum \mathbf{r}^2 - \sum \mathbf{r} (\mathbf{r} \cdot w) - \sum \mathbf{r} \Delta \mathbf{u} = \mathbf{0}$$

Using the foregoing equations, a rigid body displacements field is obtained which has the property that the sum of deformation displacements vanishes, because

$$\sum \mathbf{u}_{di} = \sum \mathbf{u} - N \cdot \mathbf{u}_G + (\sum \mathbf{r}) \Delta w$$

and $\sum \mathbf{r} = \mathbf{0}$ because \mathbf{G} is the center of gravity.

AN EXAMPLE

A study was made in the Communion Chapel of St Mary's Church, Elche, Alicante (Spain) to determine the cause of fissures and apparent movements, 34 points were leveled in the 14X14 m plant. Levels were taken at the floor and the assumption that these were the structure movements was made.

Figure 1 shows the situation of the measured points and the subdivision of the chapel, made after the main fissure lines. Table 1 gives the levels referred to an arbitrary datum (point S14)

Table 2 gives the translation and rotation of each of the parts. The rotations are shown in their situation and magnitude in figure 2. It can be seen that each portion tends to rotate in a form similar to the opening of an orange in four parts. The values of rotations give separations in the upper part which are in agreement with other calculations based in structural reasons, as shown by Abcilla and others (2)

REFERENCES

- (1) Burland J. B. and Wroth C. P.; "Settlement of buildings and associated damage". Conference on settlement of structures. Pentech, London, 1975.
- (2) Abdilla E., Monfort J. and Rechea M. ; "Estudio de las causas de los daños y análisis de posibles soluciones en la Capilla de la Comunión de la Iglesia de Sta María de Elche." This volume.

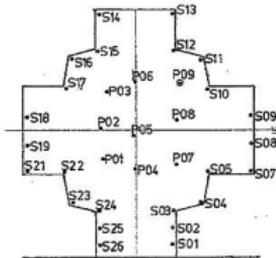


Figura 1.- Puntos de control.

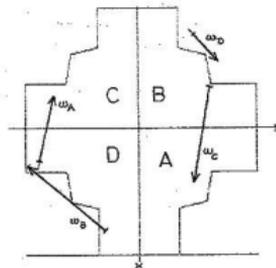


Figura 2.- Giros.

Table 1. - Control points coordinates.

SECTOR	POINT	X COORD (m)	Y COORD (m)	Z COORD (m)
A	S01	6.600	2.600	-0.007
	S02	5.600	2.600	-0.009
	S03	4.600	2.600	-0.011
	S04	4.300	4.300	-0.011
	S05	2.600	4.600	-0.005
	S06	2.600	7.500	-0.014
	S07	1.000	7.500	-0.021
B	S08	-1.000	7.500	-0.012
	S10	-2.600	4.600	-0.022
	S11	-4.300	4.300	-0.027
	S12	-4.700	2.600	-0.029
	S13	-7.000	2.600	-0.010
C	S14	-7.000	-2.600	0.000
	S15	-4.700	-2.600	-0.018
	S16	-4.300	-4.300	-0.027
	S17	-2.600	-4.600	-0.020
D	S19	-1.000	-7.200	-0.016
	S20	1.000	-7.200	-0.010
	S21	2.600	-7.200	-0.004
	S22	2.600	-4.600	-0.013
	S23	4.300	-4.300	-0.010
	S24	4.700	-2.600	-0.005
	S25	5.700	-2.600	-0.008
	S26	6.600	-2.600	-0.006
	FLOOR	P01	1.792	-2.163
P02		-1.280	-2.173	-0.018
P03		-2.463	-1.593	-0.002
P04		2.397	-0.008	-0.016
P05		0.305	-0.120	-0.020
P06		-3.004	-0.050	-0.029
P07		1.793	2.668	-0.012
P08		-0.651	2.596	-0.023
P09		-2.911	2.743	-0.030

Table 2. - Calculated Rotations situation and values

SECTOR	AXIS OF ROTATION SITUATION			ROTATION		
	x (m)	y (m)	z (m)	ω_x (rad)	ω_y (rad)	ω_z (rad)
GLOBAL	21.1598	0.0000	-0.0004	-0.000443	-0.000694	0.000000
A	-27.2420	0.0000	0.0162	-0.002097	0.000409	0.000001
B	8.0190	0.0000	-0.0012	-0.002177	-0.002494	0.000001
C	29.9410	0.0000	0.0296	0.003174	-0.000541	0.000003
D	-11.0090	0.0000	0.0010	0.001099	0.000727	-0.000000

SISTEMAS TRADICIONALES DE CONSOLIDACION EN MEXICO.

María Margarita SEGARRA LAGUNES.
Arquitecto. (México)

SUMARIO.

En el texto se examinarán algunas técnicas de consolidación estructural utilizadas entre los siglos XVI al XIX en los edificios monumentales de las zonas sísmicas del sur de México. El estudio de estos refuerzos se inserta en una nueva corriente, surgida en años recientes, que pone en discusión la utilización exclusiva de los materiales "modernos" en las obras de restauración, vistos los daños que éstos han ocasionado al emplearse en modo indiscriminado y sin tomar en cuenta la afinidad y la compatibilidad de éstos con los materiales tradicionales.

Materiales y técnicas constructivas tradicionales.

INTRODUCCION.

En México, como en numerosos países de América Latina, se ha estado llevando a cabo en los últimos años, un proceso de reflexión referente a la validez de la utilización de los materiales "modernos" (cemento, acero, productos sintéticos, etc.) en las operaciones de restauración. La cuestión asume aún mayor relevancia dado que, en nuestros países, no se ha verificado una verdadera rotura entre la arquitectura moderna y las técnicas y los sistemas tradicionales de construcción.

En efecto, si se analiza apenas superficialmente el contexto cultural del que se trata, será fácil darse cuenta de que las intervenciones de restauración que se realizan en edificios monumentales -o no- son el resultado de una experimentación continua en la cual los sistemas tradicionales de autoconstrucción, el uso de materiales locales y los oficios artesanales han permanecido vigentes hasta nuestros días, mientras que los sistemas "modernos" constituyen todavía un problema, tanto desde el punto de vista económico, como desde el de la operatividad misma de las técnicas y materiales.

En este documento se intentará examinar con mayor detalle algunas técnicas, de carácter pre-industrial (o pre-moderno) utilizadas en el pasado para la prevención del riesgo sísmico en zonas altamente amenazadas como son la Ciudad de México y los estados de Oaxaca y de Guerrero.

Se tratará, en particular, de los refuerzos -tales como contrafuertes, arbotantes, tapiados, etc.- aplicados a las grandes masas de mampostería de las edificaciones monumentales, durante los siglos XVI al XIX, que constituyen un acervo valiosísimo de experimentación estructural. Asimismo, se intentará colocar el argumento en el actual debate entre quienes sostienen que las técnicas y sistemas modernos deban ser utilizados en todo y para todo, como parte del progreso tecnológico del país, y quienes están en favor de una revalorización de las intervenciones "homeopáticas" (1), es decir, utilizando los mismos materiales que constituyen las edificaciones históricas o, simplemente, con materiales y técnicas tradicionales, utilizados desde siempre y que son más compatibles y afines a ellas.

SISTEMAS TRADICIONALES DE CONSOLIDACION.

En México, el patrimonio monumental de la época virreinal está constituido por edificaciones que son el resultado

de la fusión técnica y del intercambio de tradiciones constructivas que tuvo lugar entre el mundo europeo y el mundo prehispánico.

A los constructores españoles -herederos de las tradiciones gótica y mudéjar- correspondió la introducción de sistemas constructivos avanzados a base de arcos, bóvedas y contrafuertes, que eran desconocidos por los indígenas. A estos últimos correspondió la aportación del trabajo manual de los diferentes materiales -tallado en piedra, en madera, estuco, pintura mural- altamente desarrollado durante los períodos anteriores y que contribuyó notablemente al enriquecimiento de los edificios, en particular de aquellos del período barroco.

Algunas de las primeras construcciones, en especial los conventos de frailes dominicos y agustinos (2), portento de audacia técnica, corrieron con poca fortuna, muchos, por ser demasiado ambiciosos fueron detenidos por las autoridades seculares o civiles (3). Otros no resistieron debido a la inexperiencia y escasa preparación técnica de algunos frailes. Así por ejemplo, en 1581, durante la construcción de la Capilla Real de Cholula, se derrumbaron las bóvedas cuando fueron retirados los andamios. Lo mismo había sucedido en San Juan Bautista en Coyoacán -al sur de la Ciudad de México- mientras que, por el contrario, en la iglesia de San Francisco en Puebla "el sofite del coro estaba tan rebajado que el constructor tuvo miedo de remover la cimbra y escapó. Los frailes decidieron entonces quemarla y la bóveda permaneció firme". (4).

Otros edificios fueron destruidos sistemáticamente por las frecuentes inundaciones -en particular en la Ciudad de México-. Baste pensar que el convento de San Francisco tuvo que ser reconstruido a finales del siglo XVI -a los pocos años haber sido terminado- debido a que las constantes inundaciones y la escasa capacidad de carga del suelo de la capital contribuyeron a que el edificio se hundiera más de dos metros y, en 1697, casi un siglo después, los hundimientos del piso del nuevo edificio ya alcanzaban aproximadamente 3.50 mts. (5).

También la actividad volcánica contribuyó a deteriorar algunas construcciones, pero el factor que seguramente ha incidido con mayor fuerza en la destrucción y deterioro de los edificios es el factor sísmico, en especial en las zonas del sur de México, en los estados de Guerrero, Michoacán, Chiapas y Oaxaca. Obviamente el fenómeno no era nuevo y ya en una crónica del inicio del siglo XVI se hace notar que, debido a la frecuencia con que los terremotos asolaban la ciudad de Oaxaca, se había decidido construir "una ermita a la advocación de San Marcial, abogado contra los temblores y patrón desta ciudad, porque, como fuese grande la tribulación y trabajo que el pueblo padecía por causa de los grandes y continuos temblores que solía haber en esta tierra, determinaron los vecinos, para que Dios fuese servido la de liberarles desta affliction, tomar por patrón y abogado desta ciudad a cierto santo. Y cúpole por suerte serio al glorioso San Marcial, cuya fiesta se hace en esta ciudad a los siete días del mes de julio con grande solemnidad y devoción, porque se cree que, por los méritos e intercesion desde santo, los temblores de tierra, que solian ser muy ciertos en algunos tiempos y días del año, havan cesado". (6). No obstante la ermita, la región se ve afectada continuamente por terremotos de intensidad superior a los 6 grados en la escala de Richter equivalentes, en daños ocasionados, a grados 8 y 9 en la escala de Mercalli (7).

A partir de algunas experiencias funestas en los primeros años del siglo XVI -por ejemplo, en Chilapa un sismo destruyó completamente el convento en 1537- el factor del

riesgo sísmico cobra mayor importancia y condiciona en modo determinante las soluciones estructurales adoptadas sobre todo en los conjuntos religiosos pero también en los edificios civiles.

Se empiezan a delinear caracteres estilísticos que diferencian notablemente la arquitectura del norte de aquella del sur y del este del país. En San Luis Potosí, localidad situada en una región considerada asísmica, se obtienen composiciones de fachadas de acentuada verticalidad con torres elevadísimas como las del Santuario de Guadalupe y, en la cercana Querétaro, los claustros de los conventos presentan soluciones de arcadas de gran esbeltez arquitectónica que contrastan con la solidez y pesada volumetría de las iglesias oaxaqueñas, amenaza-

estructurales que los prepararon para resistir al deterioro ocasionado por los sismos. Por ello, en la mayor parte del territorio del Estado de Oaxaca es posible observar hoy ingeniosas soluciones a base de contrafuertes exteriores colocados en los puntos en donde se recibe una mayor concentración de cargas y esfuerzos provenientes de los pisos superiores (9), de pilares suplementarios colocados en el interior de los edificios, de tapiados, de ampliación de las secciones de los muros -que llegan a tener espesores de más de dos metros-.

Así, siempre en Oaxaca una solución estructural de gran interés es aquella de la basílica de Nuestra Señora de la Soledad en la que la fachada es en sí misma un sólido contrafuerte, colocado con el fin de contrarrestar los



La fachada del Santuario de Guadalupe en San Luis Potosí se caracteriza por la esbeltez de sus torres, típica de la arquitectura de las regiones asísmicas del norte de México, y que contrasta con la volumetría sólida y pesada, apta para contrarrestar la fuerza sísmica, de la fachada de Santo Domingo en Oaxaca. (Fotos: 1986 y 1989).

das continuamente por los terremotos.

Las malas experiencias enseñaron a los alarifes españoles -poco habituados a los movimientos sísmicos- que no debían fiarse de sus conocimientos técnicos adquiridos en España. En algunas ocasiones se llamó a "expertos" extranjeros a colaborar en las obras de refuerzo de alguna construcción. La iglesia de Yanhuitlán, en el límite entre Puebla y Oaxaca, "fue iniciada hacia 1550 y su construcción se prolongó por veinticinco años. (...) Más tarde, después de la terminación del ábside, se llamó a un experto italiano para reforzar con arbotantes los muros agrietados" (8).

De la gran cantidad de edificios religiosos iniciados en el siglo XVI, muchos se hallan hoy en ruinas o gravemente lesionados por el abandono y los fenómenos sísmicos. En los que se han conservado hasta nuestros días es posible notar cómo ello se debió en parte a las intervenciones



empujes paralelos a la nave principal que podrían surgir en el momento en que la dirección de la fuerza sísmica coincidiera con la dirección de aquella.

Pero para equilibrar los esfuerzos en el caso que éstos fuesen perpendiculares a la nave, en la fachada lateral fueron colocados, en un primer momento, dos masivos contrafuertes, a los que, posteriormente, fueron aplicados posteriores refuerzos -siempre contrafuertes- para no tener mayor duda de que la basílica resistiría en el tiempo. Gracias a ello sigue siendo una de las pocas iglesias oaxaqueñas que no han sido dañadas gravemente con los fenómenos sísmicos (10).

En el Estado de Morelos son frecuentes las fachadas de iglesias reforzadas en las esquinas por medio de contrafuertes dispuestos en forma diagonal que siguen la dirección de las nervaduras de la nave. El ejemplo de mayor simplicidad está representado por el convento de



La fachada de la Basílica de la Soledad en Oaxaca cumple una doble función estética-estructural funcionando como contrafuerte de refuerzo de la nave principal. (Fotos: 1989).



Oaxtepec pero también la fachada de Yecapixtla, la de Tlayacapan y la de San Gabriel en Cholula presentan refuerzos análogos. También los ábsides de las iglesias cubiertas con bóvedas nervadas -Cuahtlinchan, Totolapan y muchas otras- fueron reforzadas exteriormente a través de sistemas de contrafuertes repartidos en forma de abanico, y las estructuras de las capillas abiertas de Cuernavaca y de Coixtlahuaca están sostenidas por una especie de arbotantes de afinadas proporciones.

En la fachada lateral del convento agustino de Acolman es posible observar una serie de contrafuertes distribuidos en posición irregular cuyos intervalos y tamaño son producto de diferentes etapas de reconstrucción.

Caso semejante al anterior es el del convento de Atlaltlauha en el que "los contrafuertes, a manera de sólidas torres de mampostería, se colocaron en los puntos en donde las fallas estructurales se consideraban inminentes" (11). A pesar de la dificultad para datar estos contrafuertes es evidente que corresponden a etapas de reconstrucción posteriores al proyecto original dadas la forma y las características que presentan.

En numerosos casos cumplían además con funciones suplementarias. En Tlayacapan, por ejemplo, en uno de ellos se aloja la escalera que lleva al techo, en Tepeaca se utilizaban para canalizar el agua de lluvias hacia una cisterna. En ocasiones, cuando no se contaba con espacio suficiente para construir contrafuertes exteriores, éstos se colocaban por el interior utilizándose además como muros divisorios de capillas laterales, como sucede en la Catedral de Oaxaca, en la Merced y en el templo de Santo Domingo. En este último las capillas laterales son de tales proporciones que casi se obtiene un espacio interior semejante al de un templo con tres naves.

La práctica de la "restauración" -a veces unida indisolublemente a la de la reconstrucción- se había vuelto casi

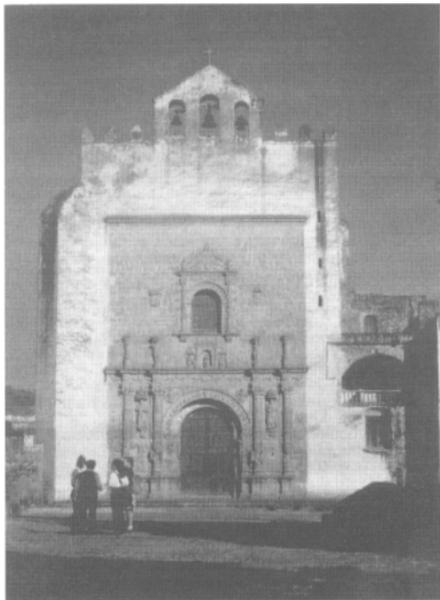
habitual en las regiones sísmicas ya que la mayor parte de los edificios tenían que ser reparados, o por lo menos reforzados, a continuación de los terremotos que los afectaban (12). Así por ejemplo, el convento de Santo Domingo de Oaxaca, cambió su emplazamiento original y fue reconstruido de las ruinas numerosas veces. Ya en el siglo XVI se da cuenta en las Relaciones Geográficas que "por estar el templo y casa muy cascado y lastimado de los temblores por estar en lugar bajo, determinaron pasar el monasterio a otra parte de la ciudad más segura y fuerte" (13).

Los constructores de estas regiones se encontraban permanentemente ante el dilema de elegir entre una solución arquitectónica sólida y pesada pero funcional, o un diseño que considerase primordialmente el aspecto estético, de proporciones armónicas, esbeltas, pero más sujeto al riesgo sísmico.

Para solucionar el dilema se recurrió a soluciones mixtas, en las que se trató de conciliar funcionalidad y estética. Por ejemplo, en el mismo claustro de Santo Domingo, para poder ampliar las secciones de las columnas, sin tener que sacrificar las proporciones, se proyectó un pilar que podría definirse un haz de pilares -como lo llama González Pozo- que cumplía con el doble requerimiento estético-funcional. También se idearon pilares con fuste en forma tronco-piramidal -como los empleados en el claustro del hospital de Betlemitas, también en Oaxaca- que bien contrarrestan los esfuerzos generados por los movimientos sísmicos.

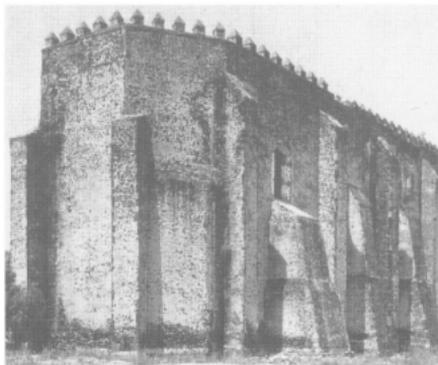
En otras regiones cuando, después de repetidos intentos, se comprobó que las cubiertas a base de bóvedas de cañón corrido poco o mal respondían a los movimientos telúricos, éstas fueron sustituidas por bóvedas de pañuelo, que permitían un mejor control de las fisuras y de las lesiones; o bien se volvió a las primitivas soluciones de techumbre de madera, como en el caso de la iglesia de la

Concepción de Nuestra Señora en Tehuacán, en la que "durante el siglo XVII, la iglesia fue abovedada, pero como se desplomaron las bóvedas, en 1697 la iglesia fue cubierta nuevamente con madera" (14). Un caso similar se presentaba en Etla. La primitiva iglesia de San Pedro se derrumbó en 1575, al parecer durante una representación teatral. Los constructores que iniciaron el nuevo edificio de proporciones muy ambiciosas, desaconsejaron techarla como bóveda, por lo que se procedió a engrasar los muros, alojando en ellos capillas laterales menos profundas, y se construyó un techo de madera que se concluyó hacia 1595 (15).



nen que ver con las fiestas, con el sincretismo religioso, con el folklore, con la artesanía, las técnicas "modernas" no han podido ocupar enteramente el campo de la restauración.

Es en los grandes centros urbanos y en los monumentos "mayores" en donde más intenso ha sido el empleo de sustancias y tecnologías importadas de países industrializados, cuya eficacia no ha sido debidamente experimentada en los materiales locales -piedras calizas o volcánicas, maderas tropicales, arcillas utilizadas en la fabricación de ladrillos y de adobes o en la preparación de morteros y



La fachada principal de la iglesia de Acolman presenta un contrafuerte que sigue la dirección de las nervaduras de la bóveda. En la fachada lateral y en el ábside se observan diferentes fases de consolidación antisísmica. (Fotos:1988).

EPOCA CONTEMPORANEA.

Los ejemplos anteriores muestran como los constructores del pasado tuvieron que recurrir al ingenio, a la imaginación y sobre todo al conjunto de conocimientos empíricos o científicos, adquiridos a través de los siglos para lograr que sus edificios resistieran en el tiempo.

Como se ha visto, las técnicas y los materiales que se utilizaban en cada una de las intervenciones eran aquellos que se habían usado desde siempre y, si se aportaban cambios o mejoras, ello se hacía solamente en los casos en los que se comprobaba la eficacia y las mayores ventajas en la utilización de una determinada técnica o material.

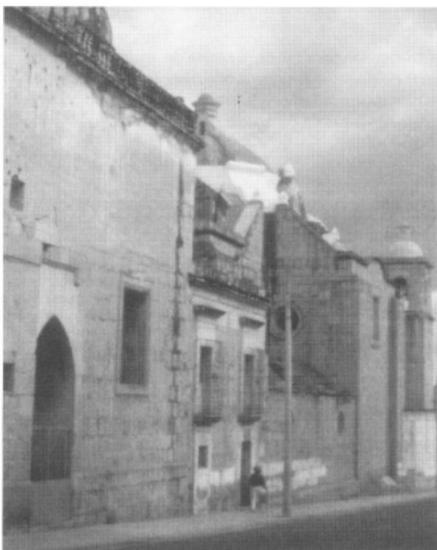
Sin embargo, es a partir del siglo XX, con la introducción de las modernas tecnologías a base de materiales nuevos: cemento, acero, resinas, etc., que empiezan a sustituirse aquellas tradicionales. En países altamente industrializados, la adopción de las técnicas modernas se lleva a cabo de inmediato y se llega a romper casi completamente con la tradición. En ello tuvo una influencia decisiva el movimiento moderno, que en cierta forma volvía la espalda a las tradiciones constructivas del pasado (16).

En países como México, en los que éstas se encuentran ligadas a una serie de manifestaciones culturales, que tie-

nevoques- y es ahí precisamente en donde algunos resultados negativos, a distancia de pocos años, empiezan a hacerse evidentes.

Sin entrar en mayores detalles se podrían citar numerosos casos en los que los materiales "modernos" mal empleados no han dado el resultado que se esperaba en el proyecto. Entre otros, algunas intervenciones masivas de consolidación que han rigidizado excesivamente la estructura sin obtener que por ello, en caso de terremotos, la mampostería tenga un comportamiento homogéneo. Y es notorio que, por ejemplo, en el último terremoto que tuvo lugar en la Ciudad de México en 1985, las edificaciones históricas, de dos o tres pisos, a base de muros de mampostería y techumbres de vigas de madera y terrado fueron las que mejor resistieron a la fuerza sísmica mientras que los daños mayores se produjeron entre los edificios construidos con estructura de concreto armado. Pero también las inyecciones de cemento -tendientes a reforzar bóvedas o cúpulas con decoraciones pictóricas- que han ocasionado fenómenos de eflorescencia de sales o bien han favorecido el crecimiento de organismos vegetales -hongos y líquenes- por no haber considerado que el cemento absorbe con mayor facilidad el agua. Del mismo modo han sido dañinas las inyecciones armadas con barras de hierro, que sin un adecuado mantenimiento, suelen oxidarse, aumentando el volumen y ocasionando la fractura de los bloques de piedra (17).

Por el otro lado, hay que enfrentarse a la escasa experiencia de los operadores en este sector. Mientras que para el constructor -albañil, pintor, carpintero, cantero- la utilización de ciertos materiales y técnicas tradicionales forma parte de su quehacer cotidiano y de su herencia cul-



Reutilización de contrafuertes. En el costado de la Catedral de Oaxaca se emplean como muros divisorios de las capillas laterales mientras que en San Felipe Neri, los espacios libres, han sido aprovechados para alojar otras construcciones. (Fotos: 1990).

tural, el empleo de materiales sintéticos, de maquinaria y herramientas sofisticadas representa para él un problema. Sin duda, la utilización de tales técnicas aumenta considerablemente los costos de ejecución de algunos trabajos que, realizados con sistemas tradicionales se intergrarían mejor a las realidades económicas de nuestros países y ofrecerían garantía de mayor afinidad y compatibilidad con la naturaleza misma de los edificios históricos. Y no es necesario ir demasiado lejos. En la arquitectura popular, las prácticas de mantenimiento regular de los edificios siguen efectuándose como se llevaban a cabo hace cinco siglos y se colocan en un nivel de intervención "preventivo" y no "curativo". No se debe olvidar que la restauración, puede ser siempre "traumática" para el edificio, mientras que una intervención de mantenimiento regular representa el mayor augurio de larga vida para éste.

No se trata de negar, de ningún modo, que en ciertos casos, la utilización de técnicas modernas pueda ser la solución para determinados problemas complejos de restauración, pero ellas deberían utilizarse (como además ya se había recomendado desde la redacción de la Carta de Venecia) "solamente cuando las técnicas tradicionales se demuestren inadecuadas".

Y por ello será necesario tener presente que las intervenciones en los monumentos realizadas en el pasado, como se ha visto, recurriendo al ingenio, a la imaginación y sobre todo a la experiencia constructiva acumulada durante siglos, serán siempre más adecuadas que aquellas realizadas con materiales que poco tienen que ver, en cuanto a características físicas y químicas, dilataciones, oxidaciones, transformaciones químicas, etc. - con los originales.

En México, las autoridades competentes en materia de protección de monumentos, conscientes de este problema, han empezado a recopilar sistemáticamente y a difundir a través de publicaciones especializadas, manuales, o "recetarios", de técnicas, de materiales y de sistemas constructivos que poco a poco se van perdiendo y que será necesario recuperar para evitar que se pierda un acervo cultural fundamental que forma parte de la historia de la construcción y de la restauración en México. En ellas se hace especial énfasis en la necesidad de dar prioridad a las técnicas tradicionales respecto a las "modernas" (18).

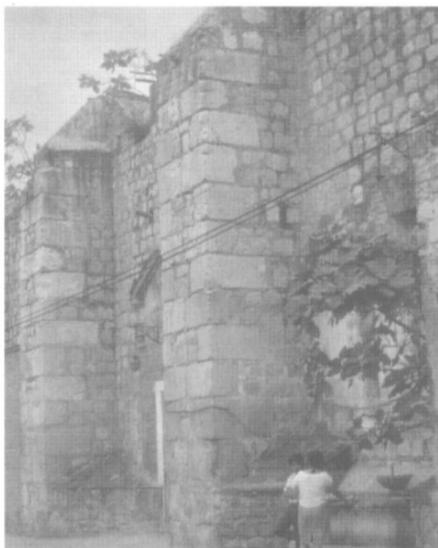
Se podría concluir citando las palabras de Tiziano Mannoni, en las que afirma que "(Nos encontramos hoy) en una posición de enorme superioridad respecto a los productores del pasado, que eran por otra parte, los únicos, en el mundo pre-científico, que realizaban investigaciones prácticas sobre los materiales y, sobre todo, que transmitían los conocimientos adquiridos en tiempos más o menos largos, a través de medios de comunicación manuales, visuales y orales. Se trataba en efecto de un conocimiento empírico, carente de toda explicación verdadera, o acoplada a explicaciones filosóficas, mágicas o religiosas, que el artesano no podía fácilmente separar de aquellas prácticas, aprendidas en un taller o en la obra, porque ambas convivían en la misma cultura" (19).

Toca entonces a los constructores y restauradores de hoy el saber emplearlas, discerniendo entre lo que verdaderamente pueda tener un significado científico y aprendiendo, al mismo tiempo, de la lección que proviene de la historia de la arquitectura del pasado para solucionar los problemas en forma racional, con conocimiento de las causas y no aplicando simplemente fórmulas de cálculo aprendidas en los bancos de la universidad.

NOTAS:

1. Término empleado recientemente por Paolo Marconi referente a las intervenciones de restauración realizadas no sólo con tecnologías apropiadas sino también recurriendo a materiales compatibles y afines a los del edificio que se restaura.

2. Es frecuente en el territorio mexicano que en los claustros de sus conventos las órdenes de agustinos y dominicos emplearon sistemas constructivos constituidos por arcos y bóvedas, reforzados por contrafuertes, mientras que los franciscanos siguieron utilizando sistemas pesados de techumbre plana estructurada con viguería de



Detalle de refuerzos tradicionales de mampostería característicos de las zonas sísmicas del sur del país. A la derecha un detalle de las diferentes etapas constructivas de los contrafuertes laterales de la Basílica de la Soledad en Oaxaca. (Fotos: 1990).

madera.

3. Es, entre otros, el caso del convento dominico de Cuilapan, Oax., del cual la Audiencia de México ordenó la suspensión de la construcción hacia 1570. Cfr. BURGOA, *Geográfica descripción*, I, pp. 403-405.

4. Cfra. KUBLER, George, *Arquitectura Mexicana del Siglo XVI*, Ed. FCE, México 1982, p. 562 y p. 576.

5. Cfr. George KUBLER, *op. cit.*, p. 572.

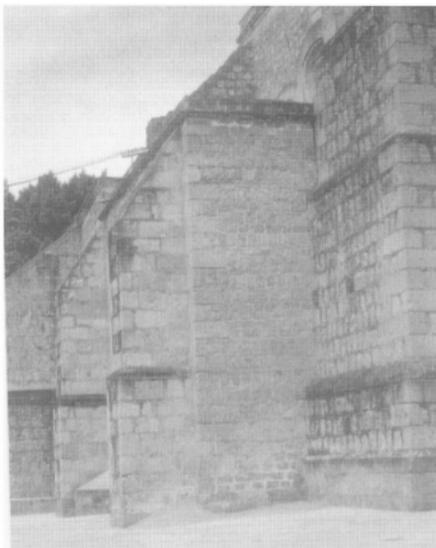
6. *Relaciones Geográficas del siglo XVI: Antequera*, Tomo Primero, editadas por René Acuña, Ed. UNAM, México 1984, p. 40.

7. Se puede tener una idea de la actividad sísmica de la zona a partir de la cantidad de sismos registrados solamente en la primera mitad del siglo XIX: 1801, 1815, 1821, 1825, 1836 y 1837. Cfr. Alberto GONZALEZ POZO, *Oaxaca. Monumentos del Centro Histórico. Patrimonio Cultural de la Humanidad*, Ed. SEDUE, México 1987, p. XXV.

8. *Instrucciones que los virreyes...*, I, p. 48, cit. por George KUBLER, en *op. cit.*, p. 639. Kubler afirma que el antecedente español de este tipo de contrafuertes podría localizarse en la mezquita remodelada de Santiago, en Cáceres, Extremadura, construidos por Rodrigo Gil de Hontañón en la fachada lateral. Cfr. *Ibidem*, 286.

9. Tales contrafuertes tienen dimensiones poco usuales y se proyectan hacia el exterior en distancias que oscilan entre la mitad y dos tercios del claro cubierto por la nave. Cfr. Alberto GONZALEZ POZO, *op. cit.*, p. 163.

10. Una crónica del siglo XVII describe los terribles efectos de un terremoto que sacudió a la ciudad de Oaxaca: "cuya duración sería de más de dos credos" y en los referentes a la Basílica de la Soledad apunta que: "...no recibí lección chica ni grande en su iglesia y convento..." cit. por



Alberto GONZALEZ POZO, *op. cit.*, p. 264.

11. George KUBLER, *op. cit.*, p. 312.

12. Entre otros se recuerdan especialmente los ocurridos en 1603, 1676 y 1698. Cfr. BURGOA, *Palestra historial*, pp. 181, 302-303., cit. por George KUBLER en *Ibidem*, p. 634.

13. *Relaciones...cit.*, p. 39.

14. VETANCURT, *Crónica Teatro*, Pt. IV, p. 29.

15. BURGOA, *Geográfica...cit.*, II, pp. 4-7.

16. Baste pensar en lo expresado por Lazlo Moholy-Naghy en 1963: "La musa de Gropius, Mies van der Rohe, Le Corbusier, Aalto, Oud y decenas de otros no admitía amores ilícitos con la historia", cit. por Bruno Zevi en *Il futuro del passato in architettura*, en "L'architettura, cronache e storia", n. 98, 1963, p. 578.

17. De igual modo ha sido nocivo el empleo de resinas sintéticas aplicadas a superficies de piedra que, envejeciendo, cambian color o bien modifican la estructura superficial del material, desprendiéndola después de algún tiempo. Pero también han sido dañinas las operaciones de limpieza de fachadas recurriendo a tecnologías sofisticadas como los chorros de arena que, si no se controlan con la debida atención, provocan la rotura de los poros superficiales de la piedra aumentando el deterioro.

18. A continuación de los terremotos de 1985, el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), así como otras instituciones encargadas de la conservación del patrimonio, elaboraron una serie de manuales que contienen recomendaciones para las intervenciones de urgencia y de mantenimiento regular a efectuarse en los edificios dañados. Esas se basan en un criterio común de recurrir, en lo posible, al uso de técnicas y de tecnologías tradicionales. Por ejemplo, en lo referente a la consolidación contra sis-

mos de estructuras de mampostería, el IMAH recomienda: "se conservarán las deformaciones que por efecto del tiempo se hayan producido en los paramentos del muro. Por ningún motivo se deberán adoptar morteros a base de cemento. Cuando, por efecto de la expulsión del material disgregado se desprendan las piedras del mamposteo, se procederá a retirar los elementos de piedra o de ladrillo y, después de una cuidadosa limpieza, se prepararán nuevamente las hiladas, utilizando mortero a base de cal y gránzón, para recibir nuevamente los bloques desprendidos y así obtener una mejor consolidación del área deteriorada". Se recomiendan asimismo los métodos de "remiendo" de las lesiones, de reintegración de los paramentos del muro por medio de operaciones de cuci-scuci, al mismo tiempo

que se insiste en la no realización de inyecciones armadas. Cfr. para todo lo anterior AA. VV., Manual de normas y procedimientos de intervención en inmuebles históricos del proyecto de renovación habitacional del centro histórico de la Ciudad de México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Dir. de Mon. Hist., México sin fecha.

19. Tiziano MANNONI, Dalle analisi dello stato attuale alla conoscenza dei modi di produzione degli intonaci, en AA. VV., "Scienza e Beni Culturali - Superfici dell'architettura: Le finiture", Atti del Convegno di Studi, Bressanone 26-29 de Junio 1990, Ed. Librería Progetto, Padova 1990, pp. 699-707. La cita es de las p. 699-700.

SIMULACION DE PATOLOGIAS OBSERVADAS EN MONUMENTOS. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS DE PROTECCION.

Villegas Sanchez, R. Valle Parapar, J.F. Alcaláde Moreno, M. Dpto. de Ingeniería Química y Ambiental. Universidad de Sevilla.

SUMARIO

Cinco tipos de piedra caliza empleados en Catedrales de Andalucía han sido caracterizados y sometidos a ensayos de alteración acelerada, estudiándose el comportamiento de probetas sin tratar y otras tratadas con productos hidrofugos comerciales (organosilícicos, acrílicos y acrililicómi-co). En estos ensayos se reproducen con bastante aproximación los indicadores de alteración observados en las Catedrales y se comparaban los distintos grados de protección que ofrecen los tratamientos.

SUMMARY

Five types of limestone used in Cathedrals of Andalucía have been characterized and two accelerated weathering tests have been carried out in order to study the behaviour of samples untreated and treated with hydrorepellent commercial products (organosilicic, acrylic and acrylilicomi-co). On these tests the same deterioration indicators observed in the Cathedrals are obtained and it is possible to evaluate the degree of protection given by the treatments.

Palabras clave: Piedra. Alteración. Tratamiento.

Hidrofugo. Consolidante.

1. INTRODUCCION

La reproducción en el laboratorio del comportamiento de los materiales cuando están expuestos a un determinado ambiente, plantea grandes problemas, sobre todo si se pretende conseguir resultados a corto plazo: los factores extrínsecos que actúan sobre el material suelen ser numerosos y presentan acciones sinérgicas entre ellos, y las características intrínsecas de los materiales de cantera difieren de los envejecidos en el monumento. Sin embargo,

son de gran interés los ensayos que, tratando uno o pocos

factores de alteración, puedan ayudar a conocer los principales mecanismos de deterioro, reproducir indicadores de alteración observados en monumentos y ayudar a conocer la durabilidad de la piedra. Otro campo donde son muy útiles es en la evaluación de productos de tratamiento para la piedra, pudiéndose obtener resultados comparativos entre los distintos productos, y determinar la alterabilidad del sistema piedra-producto frente a la del material sin tratar.

En el presente estudio se han sometido a dos ensayos de alteración acelerada (cristalización de sales y ataque por atmósfera contaminada) cinco tipos de piedra caliza usados en Catedrales de Andalucía y procedentes de canteras de esta región:

- Catedral de Sevilla; piedras del Puerto de Santa María y de Espera.
- Catedral de Baeza; piedra de Ubeda.
- Catedral de Granada; piedra de Granada.
- Catedral de Almería; piedra de Almería.

Se han expuesto probetas de piedra sin tratar y otras tratadas con productos hidrofugos comerciales pertenecientes a tres tipos: organosilícicos (cuatro tratamientos), acrílico (uno) y acrililicómi-co (uno).

2. ESTUDIO EXPERIMENTAL

2.1. Ensayos realizados

De los ensayos de alteración acelerada que se han llevado a cabo en el presente trabajo, el de **cristalización de sales** ha estado constituido por 75 ciclos consistentes en:

- 24 horas de inmersión total en solución de Na_2SO_4 al 10%
- 21 horas de secado en estufa a 65 °C
- 3 horas de entramiento y pesada

Piedra	Catedral	Tipo	Composición media			Porosidad
			Macro	Micro		
Puerto de Sta. Marta	Sevilla	Calcarenita	30% SiO_2	67% CaCO_3	27 %	8 %
Espera	Sevilla	Caliza	10% SiO_2	85% CaCO_3	11 %	17 %
Ubeda	Baeza	Calcarenita	30% SiO_2	65% CaCO_3	20 %	8 %
Granada	Granada	Caliza	3% SiO_2	95% CaCO_3	19 %	6 %
Almería	Almería	Caliza dolomítica	7% SiO_2	53% CaCO_3 38% MgCO_3	17 %	27 %

TABLA 1. TIPOS DE PIEDRA ESTUDIADOS

En el ensayo de ataque con **atmósfera contaminada**, de 30 días de duración, se ha mantenido una concentración de SO_2 de 1000 ppm aproximadamente y se han realizado los ciclos siguientes:

- 24 horas de aire seco a 40 °C
- 1/2 hora de simulación de lluvia
- 24 horas de aire saturado de humedad a 40 °C

2.2. Piedras estudiadas

Se han estudiado cinco tipos de piedra caliza empleadas en catedrales de Andalucía, procedentes de esta región. Sus datos aparecen en la Tabla 1. Su caracterización la realiza Alcalde (1).

Producto	Fabricante	Comp. del agente activo	Dilución
BS 28	Wacker	Organosilícico (el fabricante no especifica más)	5% en Xileno
290 L	Wacker	Organosiloxano oligómero	5% en Xileno
Baysilone	Bayer	Resina de silicona	5% listo para usar
Tegosivin HL100	Goldschmidt	Organosilícico monómero	10% en Xileno
Consolidante 55050	Ard Raccanello	Resina acrilisilicónica	10% listo para usar
Paraloid B72	Röhm & Haas	Copolímero de metacrilato y etilmetacrilato	10%(p/v) en 1,1,1 tricloroetano

TABLA 2. PRODUCTOS DE TRATAMIENTO APLICADOS

2.3. Productos de tratamiento aplicados

Todos los productos de tratamiento estudiados tienen propiedades hidrófugas y con su aplicación se pretende proteger a la piedra y hacerla más resistente a los agentes de alteración. Los datos sobre composición, concentración de aplicación y fabricante se recogen en la Tabla 2.

Los dos productos acrílicos son también consolidantes, si bien no se van a estudiar aquí desde el punto de vista de este efecto.

2.4. Modo de aplicación

Para el estudio se han empleado probetas cúbicas de 5 cm de arista, obtenidas de bloques procedentes de las canteras originales, en los casos de Puerto, Espera y Granada, y de bloques de derribos en los casos de Ubeda y Almería. Antes de la aplicación las probetas se han limpiado, humedecido y dejado secar al aire hasta alcanzar el equilibrio con un contenido de humedad de 0-2 g. Esto se ha hecho así para simular el estado natural de la piedra en el monumento, y porque según trabajos publicados (2, 3, 4), la polimerización de los productos organosilícicos se favorece en presencia de una pequeña cantidad de humedad.

La aplicación de los productos se ha realizado por inmersión de las probetas durante diez minutos, para conseguir una penetración uniforme por todas las caras. Dada la gran porosidad de todos los tipos de piedra estudiados, se ha comprobado que este tiempo es suficiente, normalmente, para conseguir una impregnación total.

2.5. Resultado del ensayo de cristalización de sales

La cristalización de sales, sea cual sea el origen de éstas, puede considerarse el origen más frecuente de las

alteraciones. El sulfato sódico, empleado en este ensayo, se caracteriza por un elevado volumen molecular, al que contribuyen también las diez moléculas de agua con las que cristaliza a temperatura ambiente. Durante la fase de secado en estufa, se produce la cristalización del sulfato en forma de sal anhidra, tanto en el interior como en el exterior de la probeta. Al introducir las muestras en la solución, la sal se hidrata, aumentando su volumen y, finalmente, se disuelve.

2.5.1. Probetas sin tratar

El ensayo de cristalización induce tensiones al aumentar el volumen de las sales en capilares e intersticios en la cristalización e hidratación, provocando la decohesión y desprendimiento de granos. Esta pérdida de material se pro-

duce en toda la superficie de las probetas, pero concluye en alteraciones de morfología diferente según el tipo de piedra. Las probetas del **Puerto de Santa María, Ubeda y Granada** experimentan la caída de partículas en toda la superficie, quedando redondeadas las aristas y los vértices, mientras que las de **Espera y Almería**, más heterogéneas en su estructura física (porosidad), se alteran irregularmente y el desprendimiento de material se concentra en ciertos puntos donde se forman huecos, manteniéndose en muchos casos las aristas y vértices. Esta pérdida de material se pone de manifiesto en la pérdida de peso que experimentan las probetas, como se recoge en la Figura 1.

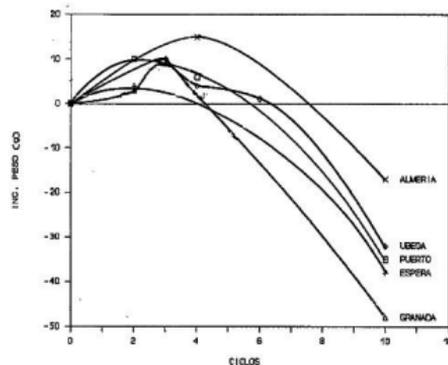


Figura 1. Evolución de peso de las probetas sin tratar sometidas al ensayo de cristalización de sales.

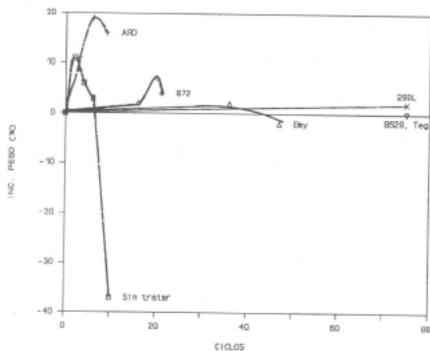


Figura 2. Evolución de peso de las probetas de Puerto de Santa María tratadas y sometidas al ensayo de cristalización de sales.

2.5.2 Probetas tratadas

Los tratamientos hidrófugos, al disminuir en general la entrada de agua en la piedra, mejoran la respuesta frente a los agentes de alteración. Las probetas tratadas resisten mayor número de ciclos sin alterarse, llegando en muchas ocasiones al final del ensayo (75 ciclos) sin ningún deterioro. Este hecho puede observarse en la Figura 2, donde aparecen las curvas de evolución de peso de las probetas del Puerto de Santa María.

Los productos acrílicos presentan un comportamiento muy característico. Dado que su efecto hidrófugo disminuye tras un contacto prolongado con el agua, después de un número más o menos breve (según el tipo de piedra) de ciclos, a lo largo de los cuales el peso de las probetas no varía, estas comienzan a absorber la solución, experimentando considerables incrementos de peso y progresando la alteración rápidamente. El tipo de alteración es siempre el mismo, con desprendimiento de placas de espesor variable que dejan al descubierto una nueva superficie arenizada. Esta alteración es típica de tratamientos con baja penetración, ya que las sales se acumulan tras la capa hidrofugada, donde se produce la evaporación del agua. Su posterior hidratación en la siguiente etapa de inmersión provoca el debilitamiento de esa zona y, por último, la pérdida de las placas así formadas. En la Figura 3 se recoge esta alteración en una probeta de Ubeda. Todas las probetas tratadas con Paraloid B72, que no ha impregnado en su

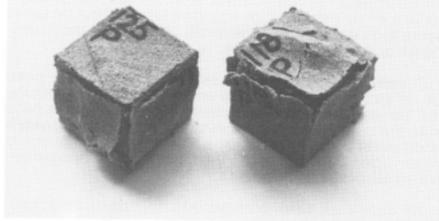


Figura 3. Disyunción de placas en probetas tratadas con productos acrílicos

totalidad a ninguna, sufren la alteración descrita anteriormente antes del ciclo número 20. La incorporación de un componente silicónico en ARD parece mejorar la respuesta de las probetas, excepto las del Puerto de Santa María, si bien cuando se alteran lo hacen de la misma forma. Tan sólo las probetas de Ubeda alcanzan los 75 ciclos de ensayo sin alteraciones.

Los hidrófugos de silicona ofrecen una protección claramente superior y resisten bastante bien el ensayo. Algunas de las probetas tratadas con ellos sí sufren deterioro, que comienza con la caída de algunos fragmentos y continúa con el desprendimiento de granos de la superficie que así queda expuesta. El producto que confiere una mejor resistencia es Tegosivin HL-100, mientras que 290 L apenas protege las probetas de Granada y Almería (Figura 4). Las características hidrófugas de los tratamientos, en aquellas probetas que permanecen sin alterar, no se han perdido, manteniéndose valores bajos de la absorción de agua, tanto superficial como globalmente.

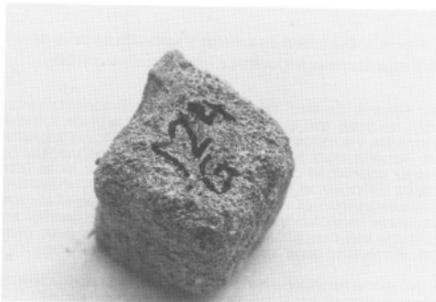


Figura 4. Arenización en probetas de Granada tratadas con 290 L

2.6. Ensayo de ataque con atmósfera contaminada

2.6.1. Probetas sin tratar

El ataque inducido en este ensayo provoca la formación de sulfato cálcico en todas las piedras y, además, sulfato magnésico en las de Almería. Estos compuestos tienen diferentes características que los carbonatos a los que sustituyen y se crea una discontinuidad que puede provocar fenómenos similares a los causados por tratamientos con baja penetración. La alteración es debida tanto a la transformación química, como a que la reacción va seguida (debido a la mayor solubilidad de los sulfatos) de procesos de disolución y recristalización que pueden terminar con la separación de la costra afectada, ofreciendo indicadores de alteración de diverso tipo: fisuraciones, disyunciones, ampollas, arenización, etc. Las piedras más alteradas son las de Espera y Almería, seguidas por las de Ubeda y, finalmente, las de Granada y Puerto de Santa María. La proporción de sulfatos en las capas superficiales analizadas se relaciona con la porosidad de las piedras y, por tanto, será mayor en las probetas de Almería y menor en las de Espera.

En la Figura 5 se recoge el contenido de sulfatos de las probetas junto con el incremento de peso que experimentan.

Existe una cierta correspondencia entre el contenido de sulfatos y el incremento de peso, excepto en las muestras

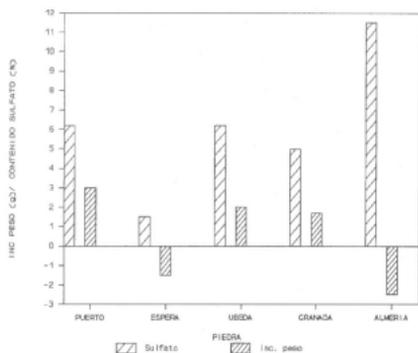


Figura 5. Contenido de sulfatos y variación de peso de las probetas sin tratar expuestas a una atmósfera con SO_2

de Almería. Tanto el contenido en sulfatos como la variación de peso son el resultado del balance entre sulfatos formados y sulfatos eliminados por disolución. En la piedra de Almería, muy porosa y con carbonato magnésico, la mayor solubilidad del sulfato magnésico hace que las pérdidas de material por disolución sean mucho mayores, pero estas mismas características permiten que el ataque progrese en profundidad; de esta forma, los contenidos en sulfatos son muy altos, pero las ganancias de peso muy bajas o incluso negativas.

No existe relación entre grado de alteración por un lado y el contenido en sulfatos y la variación de peso por otro. La alterabilidad depende de la composición química y de la porosidad y porometría del material. Las dos piedras más alteradas, de Almería y Espera, son las que presentan mayor porcentaje de poros finos y esta última, además, gran heterogeneidad. La piedra del Puerto de Santa María sufre una alteración homogénea en toda la superficie que se traduce en la formación de una costra superficial de sulfatos. La alteración macroscópica progresa lentamente, observándose pequeñas fisuraciones en vértices y aristas, que llegarían a provocar el redondeamiento de las probetas si continuara su exposición.



Figura 6. Efecto perjudicial de los productos acrílicos en probetas de Ubeda

2.6.2. Probetas tratadas

Las probetas tratadas con los productos acrílicos no sufren en este ensayo una alteración tan generalizada y característica como en el anterior. En algunos casos el tratamiento tiene un efecto perjudicial, como es el caso de las probetas de Ubeda (Figura 6), donde las alteraciones que aparecen son más graves que en las probetas sin tratar, mientras que en otros sí se muestra un efecto protector. Sin embargo, las propiedades hidrófugas de las probetas casi desaparecen tras el ensayo, absorbiendo cantidades considerables de agua. Esto puede explicarse por la degradación del producto, muy fácil en el caso de Paraloid B72, cuya penetración en todas las piedras es siempre inferior a un centímetro.

Entre los hidrófugos de silicona pueden destacarse dos productos; por una parte, BS 28 como el que mayor protección ha dado a todos los tipos de probetas, y por otra Tegosivin HL 100, que ha provocado la aparición de alteraciones considerables, fisuraciones, disyunciones y eflorescencias, en la mayoría de los tipos de piedra. En la Figura 7 aparecen probetas tratadas con este producto. Con los otros dos tratamientos los resultados son intermedios. En todas las probetas tratadas con los hidrófugos de silicona se mantiene la hidrofugación a nivel global, con valores de absorción de agua similares a los de las probetas inalteradas, aunque la hidrofugación superficial disminuye considerablemente, probablemente a causa de la degradación del producto en dicha superficie.



Figura 7. Bajo efecto protector del hidrófugo de silicona Tegosivin HL 100

3. LAS ALTERACIONES EN LOS MONUMENTOS

3.1. Puerto de Santa María

Es la piedra más usada en la construcción de la Catedral de Sevilla. Este monumento se ve sometido a importantes factores de alteración, principalmente los originados por la contaminación producida por la abundante circulación rodada en su entorno, y los ligados a la presencia de sales, sobre todo en las zonas afectadas por la humedad ascendente, que es muy abundante.

El estado de conservación es bueno en la mayor parte de los paramentos, cuando se emplea con fines estructurales. Se aprecia un endurecimiento superficial que la hace más consistente que en su estado original; esta **costra** endurecida por carbonatación y sulfatación coincide con la observación de la costra de yeso formada en la experiencia en atmósfera contaminada.

Allí donde las sales protagonizan importantes mecanismos de cristalización, como es en las zonas de humedad ascendente o en aquellas con depósitos de materia carbo-

nosas que retienen la humedad, las **arenizaciones** son abundantes y se desprende gran cantidad de materia. Cuando esto ocurre en elementos ornamentales, como es en las cresterías, los **redondeamientos** de formas recuerdan perfectamente lo observado en las probetas sometidas al ensayo de cristalización.

Ni en el monumento ni en las piedras sometidas a experiencias de alteración acelerada parece que la heterogeneidad en la composición química de las muestras conduzca a diferencias de alteración, por lo que, al ser la porosidad bastante homogénea, ante igualdad de factores extrínsecos los indicadores son similares. Esto contrasta con las piedras de Espera, como se verá a continuación.

3.2. Espera

La mayor representación de la piedra de Espera con fines estructurales se encuentra en los muros de los Archivos de la Catedral de Sevilla y, con sentido ornamental, en las cresterías, en elementos intercalados al azar con los del Puerto.

No puede hallarse mejor ejemplo de las diferencias de alteración relacionadas con las distintas características físicas del material que en los paramentos de los Archivos; allí se encuentran sillares en estado de ruina junto a otros bien conservados, sin que sea razonable atribuir este comportamiento a factores extrínsecos.

En esos mismos muros pueden observarse idénticos indicadores a los reproducidos en las experiencias de laboratorio. Los abundantes **picados** llegan a convertirse en **alveolizaciones** en las zonas más aireadas, y las **disyunciones** de placas, en las superficies más expuestas a las emisiones de vehículos, son similares a las obtenidas en atmósferas contaminadas de anhídrido sulfuroso. Las **fragmentaciones** encuentran su mejor representación en las cresterías, donde los remates contruidos con piedra de Espera se encuentran intercalados con los de piedra del Puerto de Santa María, por lo que puede apreciarse bien aquí el diferente comportamiento de ambos litotipos.

33. Ubeda

La piedra utilizada en la construcción de la Catedral de Baeza es fundamentalmente de dos tipos: una, la estudiada en este trabajo y que podemos denominar variedad franca, y otra más dura y compacta, variedad viva, y que no se ha estudiado por su baja permeabilidad a los productos de tratamiento.

Este monumento se encuentra en un magnífico estado de conservación gracias, más que a la bondad de la piedra, a la poca incidencia de factores de alteración sobre la misma. Por un lado, el enclave topográfico y urbanístico del edificio hacen que la contaminación del medio ambiente sea despreciable: se encuentra situado en un lugar alto, bien barrido por los vientos y rodeado de calles estrechas con escasa o nula circulación rodada. Por otro lado, además de que la humedad ascendente en el edificio es escasa, éste ha estado enlucado gran parte de su historia, al igual que el resto de los numerosos monumentos de esta ciudad, debido a un ordenamiento que así lo dispuso con motivo de una epidemia de cólera. Esto ha hecho que la superficie de la piedra se vea protegida de los mecanismos de aumento de volumen en capilares e intersticios, ya por cristalización de sales, ya por heladicidad.

De esta forma, entre las alteraciones en los ensayos en atmósfera contaminada y las encontradas en el edificio no tiene sentido buscar relación, pero las alteraciones reproducidas en el ensayo de cristalización de sales sí son de la misma morfología a las que se dan en el monumento. En aquellas zonas en que la decohesión alcanza el grado de arenización, la pérdida de material se produce de forma homogénea en toda la superficie, mayor en los ángulos y

vértices de los sillares afectados, lo que en los ensayos se traducía por un redondeamiento en la forma de la probeta.

3.4. Granada

La piedra de Santa Pudia aquí estudiada es una de las más representativas en la construcción del conjunto catedralicio de Granada. Los principales factores de alteración que actúan sobre el monumento son, uno natural de origen térmico, dadas las bajas temperaturas que se alcanzan en invierno, y los de origen antropogénico, fundamentalmente los de mal uso de elementos de sujeción metálicos oxidables y los de contaminación atmosférica debida a productos de combustión. De esta forma, los mecanismos de alteración primordiales son los de aumento de volumen en capilares e intersticios por gelivación, es decir, por la expansión producida por la congelación del agua retenida en los poros y microgrietas, y los de ataque químico, fundamentalmente por óxidos de azufre, en ambos casos con mayor fuerza en los elementos arquitectónicos de mayor superficie de exposición como es en las cresterías.

La presencia de sulfatos, sobre todo en las superficies más cercanas a la Gran Vía, de abundante tráfico rodado, ha sido atestiguada con los correspondientes análisis, sin que ello se haya traducido en pérdida de materia en los elementos menos labrados, tal y como ha ocurrido en la experiencia en atmósfera contaminada donde sobre las probetas se han formado costras de sulfato cálcico.

Sin embargo, los elementos más decorados sufren abundantes pérdidas de materia por arenización, muchos en estado de total ruina, lo que ha encontrado su justa correspondencia en la experiencia de cristalización de sales. También se encuentran episodios de picado, alveolización y estriado en superficies muy expuestas al viento, lo cual no ha sido reproducido en laboratorio.

3.5. Almería

La Catedral de Almería se encuentra en un medio ambiente poco contaminado pero es importante la presencia de sales y la acción del viento. Por las características físicas de este litotipo y ante los resultados obtenidos en las experiencias, cabía esperar que su gran porosidad, del mismo orden que la del Puerto, diese lugar a arenizaciones en los mecanismos de cristalización, y que la mayor coherencia de su superficie, como en el caso de Espera, llevase, con el concurso del viento y la humedad, a picados y alveolizaciones. Efectivamente, éstos son los indicadores de mayor implantación en la Catedral de Almería. Las arenizaciones han destruido gran parte de las bases de columnas del claustro y del interior, y afectan tanto a las zonas bajas, como a aquellas que reciben el aporte de sales de morteros. Son abundantes los huecos, desde picados a cavernas, favorecidos por la acción del viento. Las piedras empleadas en reconstrucciones, del mismo tipo, comienzan a ofrecer los mismos indicadores, en tan solo veinte años de exposición.

4. CONCLUSIONES

La alterabilidad de los materiales sin tratar es función de sus características intrínsecas; la intensidad de los agentes de alteración que actúan sobre ellos solo modifican la intensidad de la degradación. Las piedras de estructura heterogénea, como son las de Espera y Almería (con, además, alta proporción de microporos), sufren alteraciones diferenciales que en la exposición a la intemperie dan origen a la alteración alveolar. Por el contrario, en las del Puerto de Santa María, Ubeda y Granada, el indicador de alteración más representativo es la arenización, debida al desprendimiento uniforme de granos en toda la superficie, más acusado en las zonas donde la evaporación es más intensa, vértices y aristas, lo que conduce a un redondeamiento en las formas. Esto se encuentra representado tanto en las alteraciones producidas en los dos ensayos de laboratorio como en las encontradas en los monumentos. En el

ensayo de ataque por atmósfera contaminada se forma yeso en todas las probetas (más sulfato magnésico en las de Almería), en mayor o menor cantidad y profundidad según la porosidad. La posterior disolución y cristalización de sales de estos compuestos provocan nuevas alteraciones. Las probetas que mayor deterioro sufren son las de Espera y Almería, y las menos alteradas las de Granada y Puerto de Santa María. La resistencia a la alteración de las muestras tratadas es superior, en general, a la de aquellas sin tratar, pero sin que se modifique apreciablemente, salvo casos especiales, la morfología de las mismas. En el ensayo de cristalización de sales los tratamientos suponen, prácticamente en todos los casos, un aumento de la resistencia de las probetas, especialmente de las tratadas con compuestos organosilícicos que, en numerosos casos, no sufren alteraciones visibles en todo el ensayo. Las impregnadas con Paraloid B72 sufren el desprendimiento de la capa superficial tratada antes de los 20 ciclos de ensayo, al igual que las del Puerto de Santa María, Almería y Granada tratadas con ARD. En el ensayo de ataque con atmósfera contaminada, los productos que ofrecen mayor protección son también los hidrófugos de silicona y, sobre todo, BS 28, ya que los demás provocan algunos resulta-

dos negativos. Estos productos se alteran superficialmente pero no en profundidad. Entre los acrílicos, Paraloid B72 da resultados significativamente peores, y ambos pierden casi completamente sus propiedades hidrófugas, superficiales y globales, tras el ensayo.

BIBLIOGRAFIA

- (1) ALCALDE, M.; MARTIN, A.: Morfología Macroscópica de alteración acelerada de algunos materiales pétreos de monumentos de Andalucía / España. Materiales de construcción, 218, 5-27, 1990.
- (2) LEWIN, S.Z.; WHEELER, G.E.: Alkoxysilane chemistry and stone conservation. Vth Int. Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Lausanne, 1985, 831-844.
- (3) CHAROLA, A.E.; WHEELER, G.E.; FREUND, G.: The influence of relative humidity in the polymerization of methyltrimetoxisilane. Prepr. Cong. Adhesives and Consolidants. IIC Paris 1984, 177-181.
- (4) PAULY, J.P.: Qualité d'un traitement et teneur en eau. Vth Int. Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Lausanne, 1985, 817-829.

RECALCE MEDIANTE "JET GROUTING" DE LA IGLESIA DE LA MILAGROSA (HUELVA), Y EL CONTROL DE LOS MOVIMIENTOS DURANTE LA EJECUCION DE LOS MISMOS

FRANCISCO VALLEJO OSORNO (AYUNTAMIENTO DE HUELVA)
PEDRO SOLA CASADO (GEOCISA)
JOSE M^o CONDE-SALAZAR GOMEZ (GEOCISA)

SUMARIO

La Iglesia de la Milagrosa (Huelva) es de estilo neogótico, construida por José Pérez Larasa, discípulo de Violet-Le-Duc, fué terminada en 1.924 y desde el terremoto de los años 70 ha presentado una serie de patologías, que hizo necesario su cierre al culto en 1.987.

Realizado su estudio y dado que el origen de las patologías estaba en la cimentación, se decidió en una primera fase realizar un recalce de la misma.

En el proyecto original se propone el sistema tradicional del micropilotaje aunque se deja la posibilidad de ejecutarlo por el sistema "Jet-Grouting" novedoso en esos momentos en España.

Una vez adjudicada esa obra a GEOCISA, después de diversas consideraciones de carácter técnico, y ante la evolución en la experiencia del Jet-Grouting, se decide ejecutar el recalce por éste método, si bien para acotar y prevenir posibles daños se realiza una instrumentación y su seguimiento durante la ejecución de las obras.

SUMMARY

The Milagrosa Church (Huelva), neogothic built by José Pérez Larasa, Violet-Le-Duc's follower, was finished in 1.924 and since the 70s earthquake it has gone through series of pathologies which made necessary to shut it to service in 1.987.

Carried out a study it was found that the cause of the pathology was in the foundation, in a first stage it was decided to carry out an underpinning.

In the original project the micropiling traditional system was suggested although the possibility of using the "jet grouting system" was let, system then new in Spain.

The work was awarded to GEOCISA and after several considerations of technical nature, and taking into account the development of the jet grouting experience, it was decided to carry out the underpinning with this method, but for limiting and preventing possible damages an instrumentation and its following were implemented during the work.

PALABRAS CLAVE: Recalce, Jet-Grouting,

Instrumentación

TEXTO PRINCIPAL

Introducción

La Iglesia neogótica de la Milagrosa en Huelva, a partir del terremoto de los años 70, presenta una serie de patologías debidas al movimiento de la cimentación, y lejos de estabilizarse, fueron evolucionando hasta poner en serio peligro la estabilidad de su estructura con la abertura de innumerables grietas en muros y bóvedas, correspondiendo su mayor intensidad a la zona exenta existente on su planta.



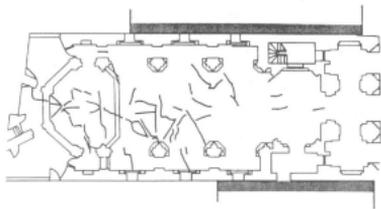
Iglesia de la Milagrosa y edificaciones aledañas

Una vez adjudicado el proyecto de la Fase 1^a, que contiene esencialmente el recalce por micropilotes, por consideraciones técnicas se decide cambiar al sistema de recalce de Jet-Grouting, ya previsto en el proyecto, sistema novedoso pero del que cuenta con numerosa experiencia la Empresa Adjudicataria de las obras. De cualquier forma y para minimizar los riesgos, se decide ejecutar una cuidadosa instrumentación y su seguimiento durante la ejecución de las obras.

En esta ponencia vamos a describir los trabajos realizados, mostrando que si bien este sistema de recalce es válido y más aun el mejor posible en ciertos casos, es necesario que durante su ejecución, la obra esté asistida por técnicos experimentados en el "Jet-Grouting", y en la instrumentación y su interpretación, de otra forma esta metodología puede poner incluso en peligro la estabilidad de la edificación.

Presentación del problema

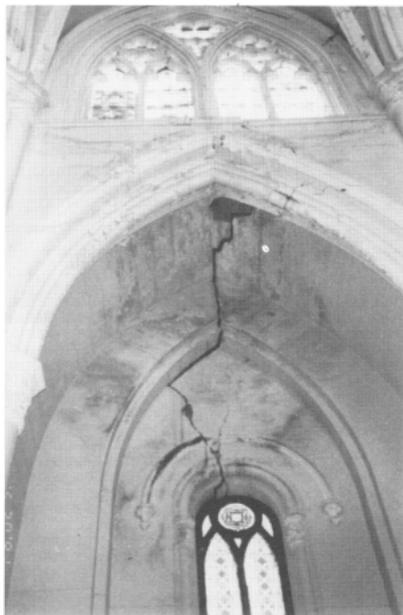
El edificio de la Iglesia se encuentra confinado en su lateral derecho por una edificación que se ha construido apoyándose en la estructura de la propia Iglesia, mientras que por la izquierda se apoya parcialmente en una Casa de Caridad, que en su tiempo debió pertenecer al Obispo, puesto que existe aún una comunicación con la Iglesia.



Planta de la Iglesia y fisuración.

Durante el terremoto estos edificios, fisurados también, confinaron y atenuaron los movimientos de la Iglesia, mucho más esbelta, mientras que la zona exenta se movió libremente, lo cual produjo de alguna forma la partición interior del edificio en dos zonas.

De otra parte, la estructura está formada por una bóveda central realizada en dos zonas de ladrillo que apoyan en arcos formeros contruidos con perfiles metálicos; las cargas son transmitidas al terreno por zapatas aisladas a través de los pilares de la nave central, y por zapatas corridas por los muros laterales. Toda la construcción está realizada en fábrica de ladrillo cocida con mortero de cal.



Fisura en el muro de fábrica.

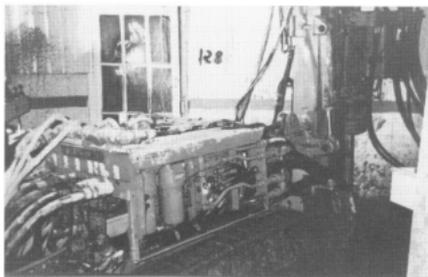
Además según manifestaciones de los vecinos de Huelva, el nivel freático ha cambiado mucho a través de los años. Cuestión que ha sido observada durante el recalce, verificándose oscilaciones del mismo superiores al metro. De cualquier forma este nivel freático en la actualidad está situado a aproximadamente 1 m de la rasante del pavimento.

Todas estas circunstancias han producido el deterioro de la cerámica y morteros, y que junto con las cavidades localizadas posteriormente durante el recalce, han llevado a la edificación al borde de la ruina.

Debido al deterioro de la fábrica en la cimentación se pensó que era más beneficioso un mejoramiento del terreno y de esta forma repartir las cargas en toda la zapata, que acudir al sistema de micropilotes que obliga a un trabajo más puntual de las mismas.

Proyecto de ejecución del "jet-Grouting".

El "Jet-Grouting" es una técnica de mejora de suelos por mezclado "in situ" de sus partículas con una lechada de cemento, inyectada a alta presión. Para ello se utiliza un equipo de bombas que impulsan la mezcla de inyección a través del varillaje de una sonda perforadora. Esta inyección se efectúa mediante toberas que lanzan chorros horizontales de mezcla contra el terreno circundante rompiendo su estructura y produciendo el mezclado de sus partículas con la lechada de cemento inyectada. De esta manera, se obtiene en cada punto tratado, una columna de suelo-cemento, cuyas dimensiones y resistencia pueden variarse entre ciertos límites.



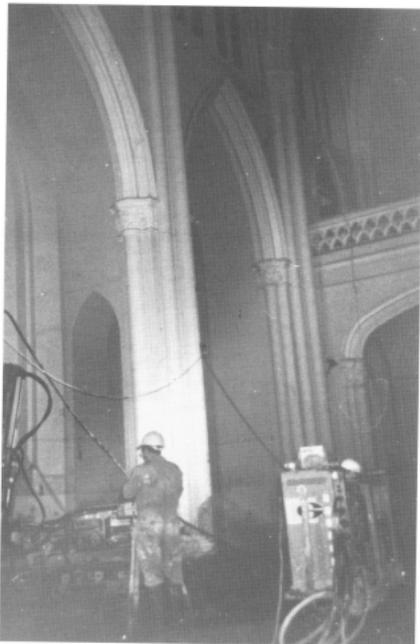
Máquina de inyección y perforación

En correspondencia con los muros laterales y posterior, las columnas de Jet-Grouting se disponen a modo de "cuchillos", es decir formando elementos resistentes que cortan al terreno con una inclinación de unos 45° con respecto al eje del muro. Estos elementos están formados por varias columnas, sobre cuyo número e inclinación de ejes respecto de la vertical, influye además la existencia o no de construcciones adyacentes. En el caso del muro lateral derecho (mirando a la Iglesia desde la entrada hacia el altar), que tiene una construcción adyacente cimentada sobre una placa, los "cuchillos" están formados por cinco columnas, en el muro posterior, que en general es de menor espesor que los laterales, y ante la existencia de un edificio en construcción con sótano, los "cuchillos" están compuestos por dos columnas, que se emboquillan a 40 y a 20 cm del muro.

En los casos descritos arriba, los esquemas adoptados para la colocación de las columnas que forman los "cuchillos", tienen el objeto de crear auténticos elementos resistentes macizos por debajo de las zapatas, respetando la limitación impuesta por las construcciones vecinas. Los "cuchillos" mencionados se han situado de modo que se concentran en las proximidades de las columnas o "machones", sobre los que se descargan los contrafuertes de los arcos principales, ya que como es evidente, dichas zonas están más cargadas que las que coinciden con las ventanas de los muros. Además, en el muro lateral izquierdo, a diferencia de los otros muros, estos "cuchillos" no se disponen en forma simétrica, sino que se orientan teniendo en cuenta el sentido en que se produjeron preferentemente los asentamientos en ese lugar, para lograr evitarlos de la mejor manera posible.

Por otro lado, bajo las zapatas de los pilares sobre los que se apoyan los arcos principales de la Iglesia, se hacen cinco columnas, cuatro verticales y una inclinada 10°. En correspondencia con cada uno de los cuatro pilares que sostienen la planta del coro, se ejecutan dos columnas, una vertical y otra inclinada 10°, y debajo de cada uno de los cuatro pilares del campanario, se realizan ocho columnas verticales. Las inclinadas se hacen así para lograr un mejor comportamiento frente a los esfuerzos horizontales transmitidos por los arcos y para mejorar el terreno bajo el centro del pilar.

Del mismo modo, en coincidencia con cada uno de los pilares situados detrás del altar, se colocan dos columnas de 13 m de longitud, emboquillados contra los mismos e inclinados 10°. Además, bajo el centro de cada uno de los tramos de muro ubicados entre pilares, se hace una columna de las mismas características que las anteriores y situadas de manera tal que la disposición de conjunto sea al tresbolillo.



Perforación en zona de pilares

Puede considerarse que, desde el punto de vista de su resistencia estructural, las columnas de Jet-Grouting tendrán una carga admisible del orden de 20 tm, con un factor de seguridad superior a 4.

Verificados teóricamente los asientos por el método Vésic, tanto como pilote aislado como grupo de pilotes se llega a resultados compatibles con las características de la estructura.

Asimismo, se estudia el comportamiento estructural del conjunto cimentación existente-columnas de Jet-Grouting, en los casos más desfavorables, es decir, en las zapatas sobre las que se apoyan los arcos principales, se obtienen valores de flexión, cortante y punzonamiento admisibles para la fábrica cerámica y mortero de cal de las zapatas.

Se define también el plan de ejecución de los trabajos de recalce, que se comenzará a realizar por la parte trasera lateral izquierda, porque es la zona más dañada y porque todo ese sector está separado prácticamente de construcciones vecinas, por un patio lo cual permite empezar por ahí, a modo de prueba, evitando toda posibilidad de introducir daños en ellas. No obstante esto, las columnas de Jet-Grouting se irán realizando de manera tal que haya una balanza o equilibrio entre las zonas recalzadas y las sin recalzar. Paralelamente a esto y a modo de control, se efectúa la instrumentación.

Las columnas "adyacentes" se definen los siguientes tiempos máximos y mínimos de ejecución:

- Tiempo mínimo minimorum: 24 horas
- Tiempo mínimo deseable: 48 horas
- Tiempo máximo maximorum: 15 días
- Tiempo máximo deseable: 10 días

La necesidad de establecer un tiempo mínimo de ejecución entre columnas "adyacentes" que estén recién inyectadas y las que se estén perforando, surge para evitar que el fluido de perforación puede contaminar o lavar la mezcla de inyección recién inyectada. A su vez el tiempo máximo se establece para lograr una mejor unión entre columnas soldadas (como en el caso de los "cuchillos"), para facilitar la perforación y la unión en el caso de columnas que se crucen entre sí y para evitar que un mismo soporte (como las zapatas bajo los pilares) esté parcialmente recalzado durante un tiempo largo, con los peligros que ello implica.

Por último se define para el control de los movimientos la siguiente instrumentación:

- Medidas de convergencias tanto longitudinales como transversales, entre pilares y muros.
- Medida de los asientos diferenciales, en pilares y muros.
- Control en la variación de las aperturas de las fisuras actuales y de las que pudieran producirse.

La instrumentación se irá implantando de forma paulatina y conforme se vaya avanzando en las obras de recalce, de manera que estén siempre controlados los elementos de sustentación durante su recalce y hasta que conste que su posible movimiento no existe.

Ejecución

En términos generales, tanto el número y disposición de las columnas de "Jet-Grouting" como la forma en que se han ejecutado, han respondido a lo especificado en el Proyecto con las siguientes matizaciones:

- Las columnas de consolidación perimetrales se han realizado con presiones bajas, del orden de 50 kg/cm², con el propósito de ir consolidando el terreno situado inmediatamente por debajo de la cimentación existente.

Por otra parte, las columnas resistentes se han efectuado en dos etapas para limitar al mínimo los movimientos de la estructura. En la primera de ellas se ha realizado la parte superior, hasta 6 ó 7 m por debajo de la cimentación existente, con una presión de inyección de 50 a 150 kg/cm². A su vez, en la segunda se ha completado la columna hasta los 13 m, luego de reperfilar, con una presión variable entre 150 y 250 kg/cm². En este último caso, cuando se han observado movimientos, se ha reducido la presión hasta llegar a valores que no los produjeran.

- Bajo los pilares en los que apoyan los arcos principales las columnas verticales se han realizado en dos etapas al igual que las columnas existentes de los "cuchillos" llegando hasta profundidades superiores a 11 m, con presiones de 50 kg/cm² en el tramo superior y de 150 kg/cm² en el inferior. La excepción lo han constituido las

columnas 46, 51 y 56, que se han hecho de una sola vez y con presiones de 350 kg/cm²

En coincidencia con cada uno de los pilares situados detrás del altar, se han efectuado dos columnas inclinadas a 10° y hasta profundidades superiores a los 11 m. Además, bajo el centro de cada uno de los tramos de muro ubicados entre pilares, se ha hecho una columna similar a las anteriores y situada de manera tal que la disposición de conjunto sea al trespelillo. De estas columnas, las 117, 119, 121, 123, 125, 126 y 127 se han hecho de modo similar a las verticales descritas en el párrafo anterior, mientras que las 118, 120, 122 y 124 se han realizado iguales a la 46, 51 y 56 mencionadas también el párrafo anterior.



Medida con nivel de precisión

- El seguimiento de la ejecución ha permitido comprobar tanto el cumplimiento de las especificaciones de proyecto para los parámetros del tratamiento, como la obtención de los datos más significativos relacionados con las manifestaciones del mismo.

Por medio de los partes de ejecución que se han hecho para cada una de las columnas, se han seguido los parámetros del tratamiento, es decir, la presión en la bomba, el caudal, el número y diámetro de las toberas, la velocidad ascensional y la cantidad de cemento inyectada. Por razones de espacio no se adjuntan dichas partes a este trabajo, pero sí se incluyen a modo de ejemplo unos cortes de las columnas más representativas, los cuales han sido obtenidos por medio del ordenador, a partir de los datos contenidos en las partes mencionadas.

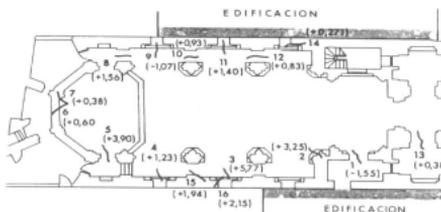
En el caso de la presión, la misma se ha ido variando en las columnas resistentes, dependiendo de que el control topográfico que se ha realizado simultáneamente con su ejecución, registrase o no movimientos. A su vez, en las

columnas de consolidación se ha trabajado directamente con una presión baja (50 kg./cm.2), porque ha tenido prácticamente el mismo objetivo que una inyección convencional. En cuanto a la admisión media de cemento, la misma ha superado levemente los 400 kg./cm.2, mientras que lo previsto era de 350 kg./cm.2.

Durante la ejecución de los trabajos se ha llevado a cabo un control de los movimientos de la estructura de la Iglesia y con excepción de las convergencias que sólo se ha medido antes de comenzar los trabajos y al final de los mismo, las medidas se han efectuado semanalmente como mínimo.

Además de lo anterior, se ha llevado a cabo un control de asentamientos simultáneamente con la ejecución de cada una de las columnas, variándose la presión e, inclusive, interrumpiéndose la inyección cuando los movimientos registrados han sido importantes.

Como consecuencia de los trabajos de recalce, en términos generales, el edificio ha sufrido un descenso en el costado derecho y un ascenso en el costado izquierdo y en la parte anterior. En el costado derecho, los descensos han oscilado entre 2,5 y 7 mm., en el costado izquierdo, los ascensos han oscilado entre 1 y 9 mm. y en la parte anterior entre 2 y 15 mm. a su vez, los asentamientos diferenciales máximos han oscilado entre 1,1 y 1,6 cm., dando lugar a distorsiones angulares variables entre 1/300 y 1/500, lo cual explicaría los movimientos registrados en las fisuras existentes y la aparición de otras nuevas.



MOVIMIENTOS DE FISURAS (VALORES EN mm.)

ORIGEN (ANTES DEL RECALCE) = 29-1-91

FINAL (DESPUES DEL RECALCE) = 11-6-91

Asimismo, con la excepción de las fisuras 1 y 9, todas las demás han sufrido aumentos en sus aberturas variables entre 0,4 y 5,8 mm. Los valores más altos se han obtenido en correspondencia con los lugares en donde se han producido los mayores ascensos de los pilares, es decir, el costado izquierdo. En cambio, las fisuras 1 y 9 mencionadas, han experimentado una disminución en su abertura de 1,5 a 1 mm., respectivamente. Con respecto a las fisuras es conveniente destacar además, que sobre su abertura han influido también los cambios de la temperatura, que fue de 12° al comenzar las mediciones de 29-1-91 y de 27°C al finalizarlos el 11-6-91.

Todas las variaciones en las convergencias entre los pilares (2, 3, 4, 5 y 7) han sido positivas y sus valores han oscilado entre 1,4 y 30 mm., mientras que entre los pilares y el muro lateral izquierdo (6 y 8) han sido negativas y han variado entre (-0,01 y 2,6 mm.). Dichos movimientos se corresponden en la abertura de las fisuras mencionadas en los párrafos anteriores. Adicionalmente, parece necesario mencionar que si bien algunos de los valores de las convergencias registradas son importantes (entre 2 y 3 cm.) la mayor parte de ellos se han producido al comienzo de los trabajos, cuando se realizaron en un sólo tramo hasta los 13 m. y con presiones elevadas (350 kg./cm.2) las columnas 46, 51 y 56. También, al igual que en el caso de las fisuras, sobre estos valores influyeron las

variaciones en la temperatura.

Finalmente se han realizado calicatas para la verificación de los diámetros, cumpliéndose ampliamente la previsión (40 cm. en suelos arcillosos y 60 cm. en suelos arenosos) y para la extracción de testigos para su ensayo. Concluyéndose que el suelo cemento que constituye las columnas carece de plasticidad y que presenta una resistencia a compresión simple de 46 kg./cm.2 en promedio.

Conclusiones

De todo lo expuesto anteriormente podemos concluir que la elección del sistema de recalce fue acertado, si bien se llevó a buen fin por el control a que fue sometida la ejecución y a los técnicos que en ella intervinieron.

Reconocimientos

Para la realización de esta obra es necesario reconocer que se contó con la colaboración inestimable del Excmo. Ayuntamiento de Huelva y de las siguientes personas:

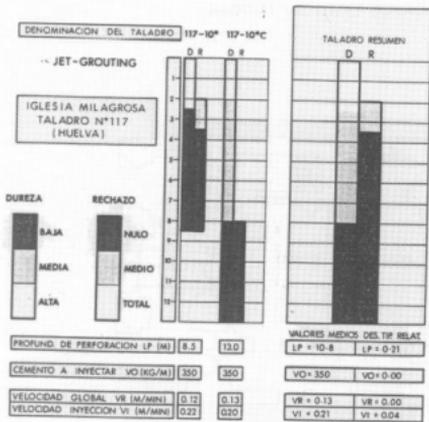
Joaquín García.- Aparejador del Ayuntamiento de Huelva

Jesús del Canto.- Jefe de Obra (GEOCISA)

Gustavo Armijo.- Ing. Encargado del Control y Estudios (GEOCISA).

APENDICE A

ENSAYO DE LAS COLUMNAS



TRABAJO..... 1045/1
S/REFERENCIA... SONDEO INYECCION N.25 (LA MILAGROSA)
TIPO DE MUESTRA... LEONADA DE CEMENTO. (ALTERADA DE OR)
PROFUNDIDAD..... DE 4.70 A 4.90 METRS.

L I M I T E S D E P L A S T I C I D A D (NORMA AET 105/72)

R E S U L T A D O S

- * LIMITE LIQUIDO..... NO PLASTICO.
- * LIMITE PLASTICO..... NO PLASTICO.
- * INDICE DE PLASTICIDAD: NO PLASTICO.

P E S O E S P E C I F I C O (NORMA UNE 70017)

- * P.E..... 2.577 g/cm3.

TRABAJO N.º 1045

REFERENCIA SONDEO INYECCION N.º 25 (LA MILAGROSA)

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE

MUESTRA N.º 1045/1

REFERENCIA PLASTICA PROFUNDIDAD DE 4.70 A 4.90 METRS.

TIPO PLASTIC LEONADA DE CEMENTO. (ALTERADA DE OR)

DIAMETRO SECC (CM/IN) 1.01

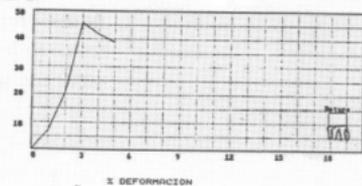
HUMEDAD EN % 36.0

RESISTENCIA (KG./CM²) 45.00 (SIN CORREGIR POR EMBLETES).

DIAMETRO (CM) 6.10

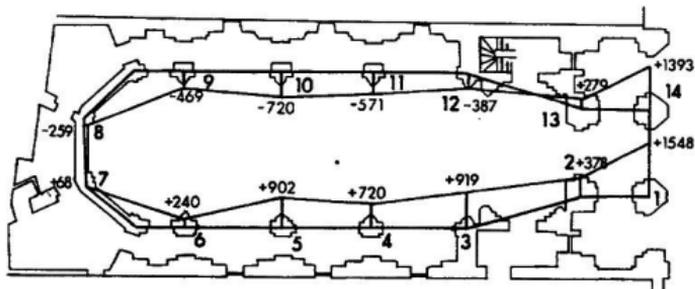
ALTURA (CM) 6.20

Kg./Cm²



APENDICE B

RESULTADOS DE LA INSTRUMENTACIÓN

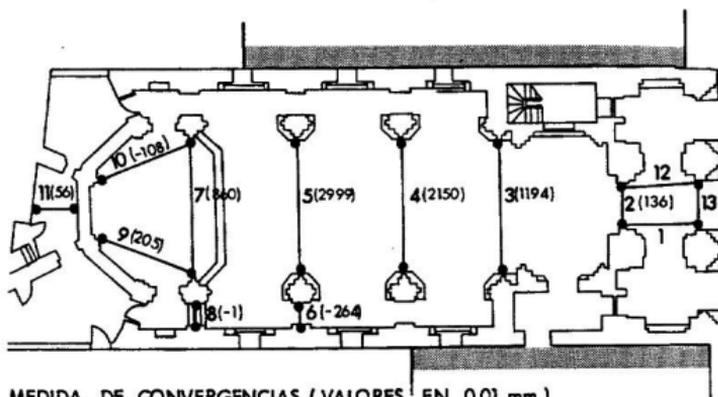


NIVELACION RESPECTO DE UN PUNTO FIJO SITUADO EN FACHADA DEL EDIFICIO DE ENFRETE (CIMENTACION POR PILOTES)

ORIGEN - 29-1 (ANTES DEL RECALCE)

FINAL - 11-6 - (DESPUES DEL RECALCE)

NOTA: LOS VALORES INDICADOS ESTAN EN 1/100mm



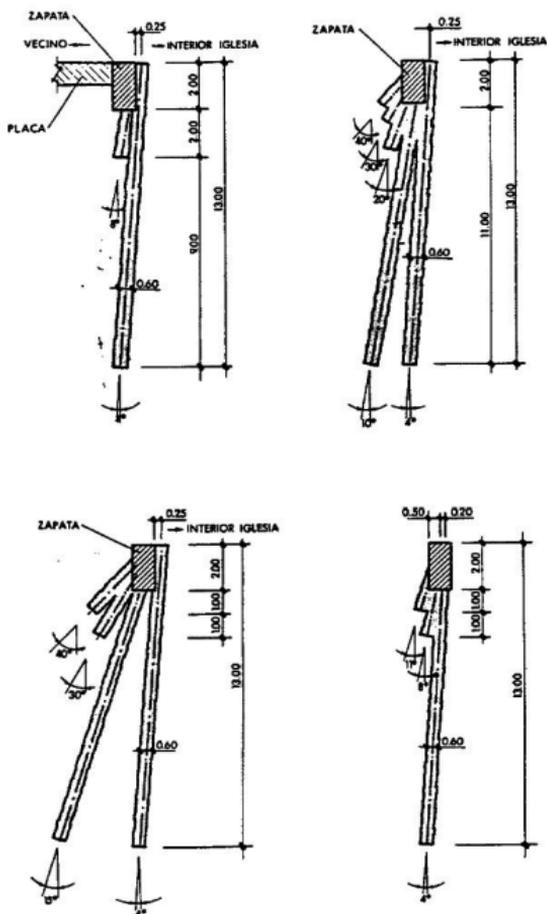
MEDIDA DE CONVERGENCIAS (VALORES EN 0,01 mm)

ORIGEN (ANTES DEL RECALCE) = 29-1-91

FINAL = 31-5-91

APENDICE C

RESULTADOS DE LOS CONTROLES



ARQUITECTURA DE TIERRA EN EL ALBAYZIN DE GRANADA

Pr. Ignacio Valverde Espinosa. Geólogo. Pr. Francisco Javier Gallego Roca. Arquitecto. D. José Manuel López Osorio. Arquitecto Técnico.

Dpto. Construcciones Arquitectónicas, E. U. Arquitectura Técnica. Universidad de Granada (España).

SUMARIO: Una parte importante de las edificaciones del barrio del Albayzín de Granada están construidas con tierra. El trabajo desarrollado en el Dpto. de Construcciones Arquitectónicas de la E.U. de Arquitectura Técnica, presenta los distintos aspectos que inciden en las construcciones de tierra del barrio. Se ha realizado un estudio histórico, un análisis de los sistemas constructivos y ensayos de laboratorio para identificar los materiales utilizados. El proyecto pretende elaborar propuestas de diagnóstico e intervención en los muros de tierra con un objetivo claro y definido: la conservación de la arquitectura de tierra.

SUMMARY: A significant proportion of the buildings in the old Arab quarter of Granada, the Albayzín, are built with earth. The research currently underway in the "Dpto. de Construcciones Arquitectónicas de la E.U. de Arquitectura Técnica de Granada", deals with the various aspects which affect the buildings in the area which are made of earth. The investigation includes a historical background, an analysis of the building methods, and laboratory test which have identified the soils used. The project intends to diagnose the problems suffered by these buildings, and propose future remedial action for them with a clearly defined objective: the conservation of earthen architecture.

Albayzín, Tierra, Conservación

GRUPO DE INVESTIGACION:

En el desarrollo de este trabajo han participado, con los autores que presentan la ponencia, las personas que se relacionan a continuación:

-M^{ra} Remedios Montoro García. Arquitecto Técnico. -M^{ra} Adela Parejo Fernández. Arquitecto Técnico. -M^{ra} Gracia Rodríguez Gállego. Est. Arquitectura Técnica. -Marina López Robles. Est. Arquitectura Técnica. -Esther Ontiveros Ortega. Geóloga.

INTRODUCCION

Las construcciones de tierra forman parte del patrimonio histórico artístico, expresando identidades propias en la denominada arquitectura popular y manifestando la longevidad y resistencia del material en edificaciones de carácter monumental.

Las cualidades de aislamiento térmico del material, la adecuación al entorno medio-ambiental y la conservación de nuestro patrimonio arquitectónico, justifican el interés por esta arquitectura, que aunque olvidada por los grandes tratados de arquitectura, perdura en la memoria de constructores y usuarios en muchos pueblos y ciudades de España.

En la primera fase del estudio, se ha elaborado un catálogo o inventario, que constituye el punto de partida y la base de conocimiento para realizar un análisis pormenorizado de las distintas tipologías y formas de trabajar la tierra en el Albayzín de Granada (Fig.1). Un acercamiento a la evolución histórica de estas construcciones y un estudio de las patologías e intervenciones realizadas completan la información.

A través de análisis de laboratorio, se han estudiado las tierras de los muros del barrio, con el fin de obtener un material base que permita construir prototipos reales en los que ensayar las propuestas y técnicas de conservación.



FIG. 1: EL ALBAYZIN DE GRANADA

1. ANTECEDENTES HISTORICOS.

Los primeros vestigios históricos de muros de tierra en la comarca granadina datan del periodo ibérico y se refieren a unos restos de edificaciones construidas en adobe en el yacimiento arqueológico de "La Molata" en la localidad de Puebla de Don Fadrique, todo ello según el testimonio de Don Vicente González Barberán.

El Albayzín de Granada tiene sus orígenes en la urbe romana de Illiberis. A esta época pertenecen los muros de adobe encontrados en las excavaciones de un alfar romano situado en los alrededores del Monasterio de la Cartuja. Esto demuestra que la tradición de construcción en tierra es anterior al periodo musulmán aunque son los árabes quienes implantan y desarrollan masivamente esta técnica constructiva.

Las murallas de la ciudad se construyen en tierra y la Alhambra de Granada tomará su nombre del color rojo de sus tapiales. Durante la época musulmana la construcción en tierra se extiende entre todas las clases sociales, la primitiva casa granadina respondía a un tipo determinado: unos machones de ladrillo conforman la estructura de los muros que se rellenarán con cajones de tapial. La tierra constituía en época árabe un material conocido y valorado tanto por sus características constructivas como por sus condiciones de aislamiento térmico.

A partir de 1492, la influencia de la arquitectura cristiana marca una nueva etapa. Se mantiene la tradición musulmana debido a que son los mismos alarifes o albañiles moriscos los que edifican la nueva ciudad, pero las construcciones cristianas de carácter monumental como iglesias, monasterios y palacios, se construyen con piedra de arenisca procedente de yacimientos de las sierras cercanas por lo que la técnica del tapial se restringe casi exclusivamente a las construcciones de carácter doméstico. La población cristiana ocupa la ciudad del llano, circunstancia que trae consigo un despoblamiento del barrio del Albayzín, que culmina con la expulsión de los moriscos en 1610.

La edificación de los característicos cármenes granadinos durante los siglos XVII y XVIII, impulsa de nuevo el desarrollo de la ciudad alta. Las tapias de los huertos y jar-

dines se levantan en tapial lo que constituye un nuevo apoyo de las construcciones de tierra.

En el siglo XX la apertura de la Gran Vía, que se traza paralela a la calle Elvira y que supone la edificación de una barrera de edificios de considerable altura, marcan la separación definitiva, tanto funcional como visual, del barrio del Albayzín. Por otro lado la incorporación del hormigón armado y los elementos prefabricados han supuesto la desaparición de las técnicas de construcción en tierra, aunque encontramos algunos edificios levantados con este material hasta finales de los años cincuenta.

2. CATALOGACION DE EDIFICIOS DE TIERRA.

Un estudio sobre los edificios construidos en tierra en el Albayzín de Granada debe hacerse a partir de un conocimiento exhaustivo y detallado de las características, ubicación y estado de conservación de cada una de estas construcciones.

Elaborar una relación de edificios de tierra no siempre resulta una tarea sencilla y es preciso apuntar la dificultad que existe en la identificación de dichas construcciones, ya que sus muros generalmente se encuentran revestidos y no siempre una detenida observación visual y un análisis de su textura exterior es suficiente para su localización.

Es por esto, por lo que tenemos constancia de la existencia de edificios de tierra en el Albayzín de Granada solo cuando sus revocos aparecen deteriorados. Así pues, el catálogo incluye las edificaciones en las que existe una evidencia clara de que fueron construidas originalmente en tierra. De cualquier modo, se han catalogado también todos aquellos elementos en los que se tiene certeza de que sus muros son de este material, observando el espesor de éstos, el sistema constructivo, su ubicación o su textura.

Se diseñó una "ficha de catálogo" que recoge datos precisos sobre la localización, tipología, patologías e intervenciones de cada una de estas construcciones. Esta información se somete a un proceso informático que permite ordenar y clasificar los registros según un criterio predefinido.

3. VARIEDAD TIPOLOGICA.

Las construcciones de tierra que encontramos en el Albayzín se levantan en todos los casos con la técnica del tapial y sus distintas variantes. Un muro de "jarcia", término por el que se conoce en la región a este sistema constructivo, consiste en apisonar por tongadas tierra arcillosa dentro de un encofrado de madera.

Cada "jarcia" o tapia se levanta directamente sobre el terreno o apoyada en una pequeña cimentación. Adosada a ésta se procede a la ejecución de otra tapia y así hasta completar el primer nivel del muro sobre el que se apoyan tapias sucesivas hasta alcanzar la altura deseada (Fig. 2 y 3).

La casa tradicional granadina utiliza la jarcia para rellenar los cajones que aparecen en los muros. La estructura principal del edificio la constituyen unos machones de ladrillo conectados horizontalmente con verdugadas de este mismo material (Fig. 4).

En la construcción de las murallas se utiliza el sistema del tapial calcastrado, que consiste en carear la tapia con mortero de cal. Esta operación se realiza por el interior de los encofrados y simultáneamente al proceso de apisonado de las tierras. Con este procedimiento conseguimos revestir el muro y protegerlo en parte de la erosión ambiental (Fig. 5).



FIG. 2: TAPIAL MONOLITICO



FIG. 3: TAPIAL CON VERDUGADAS



FIG. 4: CAJONES DE TAPIAL.



FIG. 5: TAPIAL CALICASTRODO

4. ESTUDIO DE PATOLOGIAS E INTERVENCIONES

La propiedad jurídica constituye un factor importante en la conservación de los elementos de tierras. Mientras que la propiedad privada posee la mayoría de los edificios y construcciones domésticas, es el Estado el propietario de todas las Puertas y Murallas del Albayzín de Granada.

Esta situación, sin importancia aparente, trae consigo distintas circunstancias en función del momento histórico y la situación social del barrio. Así, cuando las murallas cumplían la función para la que fueron construidas, el Estado se encargaba de conservarlas cuidadosamente. A partir de ese momento, las puertas y murallas sufren un abandono por parte de las distintas administraciones y se convierten en cobijo y refugio para las clases más desfavorecidas. En los últimos años, restauraciones en las Cercas Granadinas han dejado manifiesto el interés en la conservación de este patrimonio.

En el caso de las construcciones domésticas, son muchos los factores sociales que intervienen en los procesos de conservación y rehabilitación del barrio. Hay que tener en cuenta la degeneración progresiva que sufre el Albayzín después de la conquista cristiana y la Expulsión de los Moriscos, lo que provoca el abandono de los edificios árabes y su ruina. A partir de aquí, una población con un estatus social medio-bajo y limitado poder adquisitivo, ocupa amplias zonas del barrio, situación de la que se desprenden dos lecturas: Por un lado las viviendas no son sustituidas por otras, que a bien seguro ya no serían de tierra; no obstante la conservación de las que todavía existen, no se realiza quizás con suficientes medios económicos. En las últimas décadas, la Ley de Arrendamiento Urbano, que protegía al arrendatario, ha traído consigo la degradación de numerosos edificios de valor, cuyo propietario percibía bajas rentas y por tanto no acometía ninguna obra de reparación. Esta circunstancia ha supuesto el aumento considerable de patologías graves en estas construcciones donde las obras de conservación por parte de los inquilinos se realizan solo con carácter provisional y por tanto no gozan de la calidad deseada.

Se ha realizado un estudio pormenorizado de las patologías de las construcciones de tierra en el Albayzín de Granada. A continuación se muestra una relación de éstas, incluyendo también algunos comentarios sobre las intervenciones realizadas.

a) Humedades Ascendentes:

La ya comentada poca resistencia de la tierra al ataque del agua, se agrava en el caso de las humedades del terreno que penetran por el muro debido a la ascensión por capilaridad. Esta situación es muy grave en aquellas zonas donde el nivel freático es alto como en los depósitos aluviales de la Carrera del Darro, y en los muros de las Puertas y Cercas, donde su profundo cimiento toma contacto con niveles freáticos muy bajos, que en principio no afectarían a construcciones de menor porte.

Esta patología provoca el desprendimiento del revestimiento o calicastro original, que generalmente es reemplazado por enfoscados de cemento, que al tratarse de morteros impermeables, no permiten la transpiración del muro y solo consiguen elevar el nivel de agua por encima del nuevo revestimiento. En los casos donde ha desaparecido éste, o donde nunca lo hubo, la tierra del muro ha sufrido importantes pérdidas de material. La intervención realizada consiste en el recalce del muro y la reconstrucción con ladrillo o mampostería.

b) Pluviales en mal estado:

La falta de conservación de los canales y bajantes de pluviales trae consigo el vertido de las aguas de lluvia sobre la superficie de los muros. Esto provoca la agresión

directa del agua sobre los revestimientos observándose importantes deterioros.

c) Cubierta en mal estado:

El mal estado de conservación de las armaduras de madera en los edificios de viviendas, evidencia la penetración del agua en el interior del edificio, lo que produce no tanto el deterioro de los elementos de tierra, sino la ruina total de la vivienda.

d) Grietas estructurales:

La solidez del suelo en el área del Albayzín favorece la estabilidad de las construcciones que se apoyan en él, por lo que no es frecuente encontrar problemas graves de asentamientos diferenciales. No obstante, las construcciones realizadas con machones de ladrillo y cajones de tierra dibujan en algunos casos, grietas que se manifiestan en la superficie de contacto entre el ladrillo y la tierra, debido a la falta de adherencia entre ambos materiales.

e) Paramentos degradados:

Son muchas las causas que producen la degradación y desprendimiento de los revestimientos (Fig. 6). El problema se debe a la ya comentada falta de adherencia entre la superficie del tapial y la capa del revestimiento. A esto habría que añadir el ataque del agua, que al penetrar entre el muro y su revestimiento favorece el desprendimiento de éste.

Las soluciones e intervenciones son diversas. El reparado con mortero de cemento se completa en algunos casos con la colocación de aplacados de material cerámico.

Encontramos también numerosos tapiales en los que se ha enlucado directamente sobre la tierra. Se observa como



FIG. 6: PATOLOGÍAS EN MUROS

la cal actúa de estabilizante, consolidando la tierra e impidiendo el desmoronamiento del muro.

El tapial calicastroado de las murallas, gracias a su composición, dota al paramento de una superficie resistente. Aun así, la antigüedad de estas construcciones y las distintas agresiones a las que ha sido sometidas, han degradado los paramentos desaparecido por completo la costra de cal que los protegía. Varias son las intervenciones realizadas y distintos los criterios utilizados.

En la Puerta Monaita se aprecia un revestimiento con mortero de cal en el que se realizaron perforaciones que simulan los mechinales originales.

La Muralla de la Alcazaba Cadima fue restaurada con mortero de cemento pigmentado, evidenciando la textura del tapial y manteniendo testigos en la zona del paramento mejor conservada. El torreón anexo se somete a un enfoscado continuo que aunque de impecable acabado, no manifiesta las texturas originales.

En el Cerro de San Miguel encontramos un tramo de muralla y un torreón, restaurados con un revoco muy fino en las zonas más degradadas (Fig. 7). Recientemente la intervención en la Cerca de Don Gonzalo ha consistido en un revestimiento continuo con revoco simulando las texturas del tapial.



FIG. 7: RESTAURACION DE TORREON

f) Vegetación parásita:

La tierra utilizada en la construcción no debe llevar restos de semillas en su composición. A pesar de todo, tapiales abandonados dan cobijo a diversas especies vegetales cuyas raíces penetran en el interior del muro y levantan los revestimientos.

q) Factores humanos:

La colocación de líneas procedentes de instalaciones eléctricas y telefónicas atentan visual y funcionalmente a los paramentos de los edificios. A causa del abandono de las Murallas de Granada, éstas han servido de apoyo a numerosas viviendas autoconstruidas que dejaron su impronta y su huella en la superficie de los muros. En la muralla que corre paralela al camino de San Antonio se perforaron los muros para abrir huecos en las viviendas adosadas.

Otra patología, que no por curiosa deja de ser preocupante, consiste en utilizar el paramento como soporte para pintadas, que aunque manifiestan la expresividad de un pueblo, atentan gravemente contra el patrimonio histórico-artístico.

5. ANALISIS DE MATERIALES.

La distinta composición de los materiales que constituyen un muro de tapial incide directamente en la elaboración de unos criterios de intervención para su conservación. Se han analizado también muestras recogidas en puntos de la geografía cercana al barrio que podemos considerar como yacimientos o canteras de origen.

La elección del emplazamiento de la cantera se realiza en base a factores diversos. Hemos de tener siempre presente que uno de los fundamentos de la arquitectura de tierra consiste en utilizar un material barato, que no precise costos elevados en su extracción, elaboración y transporte. Debemos suponer, por tanto, que las tierras de los tapiales del barrio procedían siempre de lugares cercanos a la propia construcción.

Para definir las propiedades de un suelo se han seleccionado diversos ensayos. Estos pueden definirnos tanto parámetros intrínsecos del material (Curva granulométrica, mineralogía e índice de plasticidad), como información sobre el contenido en nuestra muestra de compuestos o materiales que puedan incidir en las características de la tierra y su puesta en obra (materia orgánica, sulfatos y carbonatos).

Se realizaron un total de 53 extracciones de material según la siguiente clasificación y número de muestras: Tapias (22J), Viviendas (16), murallas (6) y Canteras (8).

Para la discusión de los resultados obtenidos en los distintos ensayos realizados, se ha empleado una metodología comparativa, utilizando como patrón los resultados analíticos concernientes a las muestras extraídas en canteras, lo que nos ha permitido llegar a conclusiones puntuales y generales en relación con los objetivos de este trabajo.

La ejecución de estos ensayos ha tenido lugar en las secciones de Mecánica del Suelo y Química del Laboratorio de la Escuela U. de Arquitectura Técnica, y en el Laboratorio del Dpto. de Petrología y Mineralogía de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada.

a) Mineralogía:

El análisis mineralógico se ha realizado por el método de difracción de Rayos X. En lo que se refiere a muestras de tapiales extraídas en viviendas, tapias y murallas, los datos obtenidos presentan un margen de variación pequeño, con porcentajes de arcilla que oscilan entre el 4 y el 15 %, salvo alguna dispersión.

El resto de componentes son calcita, cuarzo y dolomía, junto con feldespato en menor proporción. Estos minerales también forman parte de los cantos y partículas tamaño arena.

El yeso encontrado en muchas de las muestras en proporción importante y descartando la presencia del mismo en el material madre, según se confirma también en otros ensayos, se puede asegurar que no se trata de yeso prima-

rio sino consecuencia de adiciones posteriores como aglomerante y/o contaminaciones por actuaciones antrópicas.

b) Plasticidad:

Utilizando como criterio el establecido en el PG-3 para terrapienes, en lo que se refiere a plasticidad, podemos apreciar que la totalidad de las muestras se encuentra dentro del grupo de suelos tolerables, apareciendo mayor calidad en las muestras de murallas. Cosa lógica si se piensa que este tipo de construcciones son públicas, de promotor único y están realizadas con cierto control y cuidada ejecución.

c) Granulometría:

En la discusión del análisis granulométrico, ha sido necesario agrupar las curvas según la procedencia de las extracciones y el estudio de las mismas a través de husos. En primera instancia y en base al análisis de los parámetros que se muestran en la gráfica adjunta (Fig. 8), se deduce que existe una cierta selección del material de cantera cuando pasa a ser utilizado en la ejecución del tapial, siendo más significativa en el caso de las murallas. En todas las muestras el tamaño máximo no supera los 40 mm., por lo que posiblemente, en algunos casos, se debió proceder a un cribado para eliminar los gruesos.

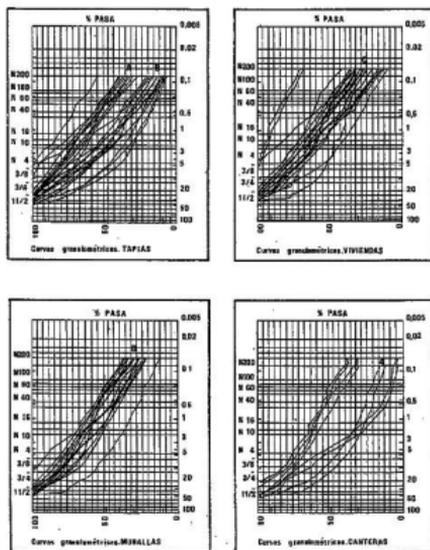


FIG. 8: CURVAS GRANULOMETRICAS

A la vista de estos resultados, se deduce que en estos elementos constructivos se han utilizado materiales similares a los de las muestras extraídas de las canteras 1 y 3, es decir, las ubicadas en el Cerro de San Miguel, próximas a la Cerca de Don Gonzalo.

En cualquier caso, debe destacarse que dentro de la formación Alhambra se han utilizado aquellos niveles estratigráficos con un contenido en finos relativamente elevado, oscilando entre el 30 y el 40 %.

d) Carbonatos

Para el estudio de los resultados de la determinación de carbonatos, se han acotado arbitrariamente tres intervalos de porcentajes que a continuación se presentan:

% Carbonatos	10 - 30 %	30 - 50 %	50 - 70 %
TAPIAS	41 %	59 %	0 %
VIVIENDAS	44 %	50 %	6 %
MURALLAS	0 %	57 %	43 %
CANTERAS	0 %	63 %	37 %

En el caso de las canteras y aunque todas pertenecen a la formación de la Alhambra, las dispersiones más notables obtenidas en el contenido de los carbonatos de las muestras analizadas, suelen darse entre las diferentes canteras y no entre las muestras de una misma cantera. Esto tiene su explicación en que las canteras corresponden a tramos o niveles estratigráficos distintos.

En cuanto a las muestras correspondientes al resto de elementos constructivos, en los que ya cabe pensar la presencia adicional de carbonatos agregados como material aglomerante del tapial, las dispersiones que se obtienen son, en general, muy importantes. En algunos casos los valores son totalmente anómalos, ya que se encuentran por debajo de los porcentajes medios correspondientes al material de cantera.

En cualquier caso debe reseñarse que los resultados de que disponemos no son clarificantes ni mucho menos concluyentes respecto al objetivo principal que se pretendía con el análisis de carbonatos: detectar las adiciones de cal y cuantificarlas.

e) Sulfatos:

Si analizamos como en el caso anterior se tiene:

% Sulfatos	0,20 - 1 %	1 - 10 %	10 - 30 %
TAPIAS	18 %	77 %	5 %
VIVIENDAS	6 %	75 %	19 %
MURALLAS	57 %	43 %	0 %
CANTERAS	0 %	0 %	0 %

Se aprecia claramente la adición de yeso como aglomerante en la ejecución del tapial. Sin embargo estas adiciones presentan cierta irregularidad en los elementos constructivos, siendo esta mayor en las tapias y viviendas, des-

tafacando que el 75% de estos elementos poseen un contenido en sulfatos que oscila entre el 1% y el 10%.

En el caso de murallas, los porcentajes que presentan una adición fuerte de sulfatos se reducen considerablemente en comparación con el resto de elementos, mostrando así una vez más, su mayor calidad constructiva.

f) Materia orgánica:

Analizando en primer lugar las muestras de las canteras, en el 75% de los casos los contenidos de materia orgánica son muy reducidos, no superando en nunca el 0,40 %. Las tapias, viviendas y murallas, presentan en general, un mayor contenido en materia orgánica que el material madre, con valores que oscilan entre un 0,40 % y un 3,40%.

Estudiando puntualmente los resultados, aparecen dispersiones notables en el contenido de materia orgánica, mostrando una distribución irregular. Esto confirma la hipótesis de que no se han utilizado suelos orgánicos, sino que solo existe contaminación producida por el medio ambiente, la manipulación del material y la existencia de pequeños niveles de suelos orgánicos en los taludes, descartando la posible adición de materia orgánica para la construcción en los muros del Albayzín de Granada.

6.CONCLUSIONES.

Un muro de tapial revestido puede durar siglos manteniendo su conservación. Por el contrario un pequeño desprendimiento del revoco actúa como vía de acceso por donde el agua penetra y provoca el desprendimiento total del revestimiento, quedando el muro libremente expuesto a la acción de los agentes atmosféricos. La falta de conservación, es por tanto, la causa evidente de la ruina de toda construcción, y mucho más de los edificios de tierra.

Estas circunstancias nos han conducido a plantear en estos momentos el desarrollo de este trabajo desde la perspectiva de la recuperación de los revestimientos originales, que cumplen la función de ser una sutil piel que en continua renovación, permita la conservación de la tierra como material de construcción.

ESTUDIO DE LA DEGRADACION DE LA MURALLA DE TARRAGONA, SECTOR PORTAL DE SANT ANTONI

Vendrell-Saz, M.; García Vallés, M.; Cid, E*; Molera, J.

Dept. Cristalografía y Mineralogía. Univ. Barcelona.

* C.C.R.B.M. Generalitat de Catalunya.

En este trabajo se estudia la litología de los sillares que forman el lienzo de la muralla de Tarragona en el sector del Portal de Sant Antoni, cuya construcción data del s. XVIII, aunque sigue el trazado de la muralla romana.

La presencia de ankerita como fase de sustitución del cemento calcáreo de las calcarenitas miocenas, justifica un aumento de la porosidad y un debilitamiento de los espacios intergranulares de la roca, que facilita la penetración y posterior cristalización de NaCl procedente del agua de mar, transportado eólicamente en partículas tamaño aerosol. La dilatación diferencial de las distintas fases presentes en la oscilación térmica diaria, sirve para justificar el modelo de degradación que se propone.

The aim of this work is the petrological characterization of the building stones which form the wall of Tarragona (area Sant Antoni S.XVIII), as well as the determination of its decay processes that.

The crystallization of ankerite as a substituting phase of calcite in the cement's rocks was the responsible of an increment of the porosity and of weakness of the integra nuclear spaces. This fact facilitates the penetration and cristallization of NaCl coming from the sea transported by the wind. The daily differential dilatation during the day by range of temperatures between NaCl and the surrounding carbonates produces the desagregation of grains' mineral.

Tarragona, Mineralogy, Roman wall, Decay, Marine salt.

INTRODUCCION

La muralla romana de Tarragona es uno de los monumentos más conocidos y visitados de esta ciudad, gracias en buena parte a la conservación de más de un kilómetro de su recorrido y al atractivo de su visita desde el llamado Paseo Arqueológico. Se trata de una construcción defensiva que ha actuado como tal hasta el siglo XVIII, constituida por una doble pared con la parte interna rellena de materiales fundamentalmente arcillosos. Las paredes interior y exterior tienen una altura de 12 m, y en numerosos puntos se han adosado edificios. Algunos tramos se han derrumbado y posteriormente reconstruido en distintas épocas debido a deslizamientos del relleno interior favorecidos por la plasticidad de los materiales y la supresión de la impermeabilización del paso superior entre ambos muros.

Los sillares que forman ambos lienzos de muralla presentan estados de conservación diversos, aunque en 1989 una comisión de expertos reunida en Tarragona dictaminó que el estado de conservación del conjunto, a pesar de la evidente degradación de algunos de sus elementos, no afecta la estabilidad estructural.

Sin embargo el sector que va desde el baluarte de Sant Antoni hasta el Museo Arqueológico (figura 1) presenta un aspecto distinto del resto del recorrido. Su trazado corresponde al del muro exterior de la muralla romana, del que se conserva la base denominada ciclopea, pero la construcción del muro actualmente visible data del s. XVIII. A su vez, el lienzo de muro interior fue suprimido y numerosas viviendas se han adosado al lienzo exterior, sobre el que se han abierto balcones y ventanas.

Los elementos pétreos de este tramo están en muy mal estado de conservación. La degradación de los sillares ha provocado la caída de algunos elementos a la vía pública, con el consiguiente peligro. Sin embargo, el elevado grado de deterioramiento de los sillares y la particular orientación



Figura 1. Plano de Tarragona, indicando la zona de muralla estudiada.

del tramo provocan unos efectos de luces y sombras característicos de este sector y de evidente estética (figura 2).

Existen evidencias gráficas de principios de este siglo que muestran que este tramo de muralla estaba cubierto por una capa de reboque, resaltando de este modo el marcado relieve de la puerta de Sant Antoni. Probablemente este fue el diseño previsto en el momento



de su construcción en 1757. Esta capa de reboque se

Figura 2. Portal de Sant Antoni. El distinto aspecto entre el Portal y los sillares del muro se debe a las diferentes litologías de construcción.

suprimió en el segundo cuarto del siglo XX, quedando al descubierto los sillares, que se han ido degradando hasta el estado actual.

En la década de los 80 se ensayó un proyecto de restauración en un pequeño tramo, que fue mal comprendido y ampliamente criticado por un sector de profesionales de la restauración y de la ciudadanía de Tarragona. Al margen de los criterios estéticos, sobre los que los autores no se sienten autorizados a opinar, las críticas vertidas sobre la aceleración del proceso de degradación causada por la citada intervención no son ciertas. En la actualidad se ha encargado un proyecto de restauración de este sector al arquitecto italiano Sr. Andrea Bruno.

El objetivo de este trabajo es la caracterización de las litologías presentes en los sillares de este sector de la muralla, y la determinación de los procesos de degradación, como paso previo al estudio de una solución de restauración que cumpla la doble finalidad estética y estructural, dentro del respeto histórico que el monumento merece.

METODOLOGIA EXPERIMENTAL

La determinación de la litología utilizada en la construcción del tramo de muralla de Sant Antoni, se ha realizado en base al análisis de fases minerales mediante difracción de rayos X. Utilizando un equipo Siemens D-500 bajo las condiciones experimentales siguientes: radiación $\text{CuK}\alpha$, 40 kV, 20 mA, monocromador de grafito, contador proporcional, step-scan $1.2^\circ 2\theta$, con un incremento angular de $0.05^\circ/2\theta$ y un tiempo de conteo de 5 seg.

La caracterización textural se ha llevado a cabo mediante el estudio por microscopía óptica de láminas delgadas, tanto de fragmentos de los sillares de la muralla, como de muestras de roca fresca obtenidas en canteras y afloramientos de la zona (entre otras, el Medol).

La microscopía electrónica de barrido (SEM) ha permitido localizar las fases minerales minoritarias y determinar su papel en el proceso de degradación. El equipo utilizado es un JEOL JSM-840 equipado con detector de energías dispersadas LINK AN 10.000 con ventana de berilio, bajo las condiciones experimentales siguientes: voltaje de aceleración 15 kV, corriente de sonda $0.6 \cdot 10^{-9}$ A y distancia de trabajo 39mm. Las muestras estudiadas fueron fracturas frescas y superficies, metalizadas con Au en un Sputtering.

Ocasionalmente se han realizado análisis elementales mediante microsonda electrónica, en secciones pulidas de muestras previamente embudadas en resina y recubiertas con grafito por sombreado.

LITOLOGIAS UTILIZADAS EN LA CONSTRUCCION.

La mayor parte de los sillares de la muralla romana de Tarragona están formados por calcarenitas miocenas, tradicionalmente atribuidas a la cantera del Medol. Los sillares de la base ciclópea son calizas masivas del Secundario y del Mioceno que presentan un grado de alteración prácticamente nulo.

Los sedimentos miocenos de alrededor de Tarragona, igual que los tramos romanos de la muralla, están formados por diversas litologías (1, 2) que presentan distintos grados de metasomatismo. Veremos que este aspecto es muy importante frente a la velocidad del proceso de degradación, y puede apreciarse perfectamente en los distintos estados de conservación de los sillares de la muralla (figura 3).

Sin embargo, el sector de Sant Antoni presenta una variación litológica mucho menor que el resto de la muralla. La mayor parte de los sillares están formados por calcarenitas (figura 4), con la fracción detrítica constituida mayoritariamente por granos de cuarzo, abundantes fósiles,

y el cemento está formado por carbonatos, originariamente calcita (CaCO_3), aunque una buena parte de esta ha evolucionado durante el proceso diagenético hacia ankerita - $\text{Ca}(\text{Mg,Fe}^{+2},\text{Mn})(\text{CO}_3)_2$ - como resultado de un metasomatismo de baja temperatura (3).

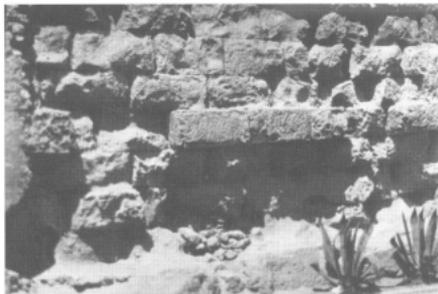


Figura 3. Estado actual de los sillares del tramo de muralla estudiado. Junto a unos pocos elementos apenas degradados, se encuentran otros cuya superficie ha retrocedido cerca de 50 cm.

Esta sustitución parcial del cemento de calcita por ankerita ha provocado una disminución de volumen de los cristales, con lo que el espacio intergranular queda ligeramente abierto, dando lugar a una elevada porosidad de la roca, y al desprendimiento relativamente fácil de la fase detrítica, lo que le da este aspecto arenoso, propio de la piedra del Medol.

El estudio de láminas delgadas con el microscopio de polarización pone de manifiesto la presencia de cristales eudrícos de ankerita y la recristalización de calcita de las cavidades de los fósiles (figura 4). En algunas de las muestras estudiadas aparece también feldespato potásico y óxidos de hierro (hematites) como aporte detrítico minoritario, y arcillas formando parte de la matriz de la roca.

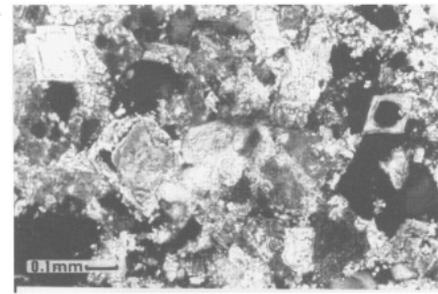


Figura 4. Fotomicrografía de una lámina delgada de la roca estudiada.

Esta mineralogía se ha detectado también en los espectros de difracción de rayos X. Los cuales, además de las fases minerales características de las litologías del Mioceno de esta zona, muestran la presencia, como fases minoritarias, de cloruro sódico y ocasionalmente de yeso (CaSO_4 hidratado). Estas dos fases no formaban parte de la roca original, se trata de un aporte reciente ocasionado durante la permanencia de los sillares en la pared, y juegan un papel importante en su proceso de degradación.

MECANISMO DE DEGRADACION

La velocidad de degradación de los elementos pétreos está íntimamente ligada a la litología de los mismos, lo cual se pone de manifiesto en el aspecto de los sillares de la muralla romana. En ella se aprecian dos tipos de roca distintos desde el punto de vista de su conservación: una que sufre una moderada degradación, y otra que se degrada muy rápidamente.

El sector estudiado en este trabajo (Sant Antoni) está construido de modo casi exclusivo por el segundo tipo de roca, con lo que la degradación ha llegado a hacer peligrar su estabilidad estructural.

Se trata de las litologías determinadas anteriormente, de aspecto arenoso, blandas, de color amarillento (provocado por la elevada concentración de ankerita) y de porosidad relativamente elevada. Como hemos visto, la presencia de ankerita comporta una disminución del volumen de la celda fundamental, y por tanto una falta de cohesión debida a la abertura de las zonas intergranulares (figura 5). Una sección de un elemento pétreo de la muralla podría esquematizarse como se presenta en la figura 7, y donde puede verse que la superficie expuesta a la intemperie presenta una porosidad abierta de tamaño muy diverso: desde el capilar (provocada por el citado fenómeno de reducción de volumen), hasta la macroporosidad móldica (provocada por cavidades donde la recristalización del cemento diagenético ha sido incompleta o no ha existido).

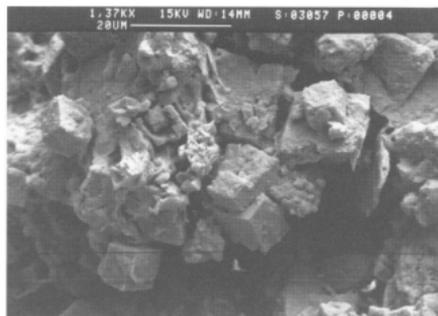


Figura 5. a)-b) Imagen SEM de una fractura de la roca. Se aprecian los cristales romboédricos de ankerita, cuya cristalización ha dejado los espacios intergranulares abiertos.

Si la roca permanece expuesta al viento procedente del mar, las partículas de agua marina tamaño aerosol transportadas eólicamente colisionan con la superficie, dando lugar a una humedad que se evapora en las horas de insolación, cristalizando NaCl en la superficie. El agua de lluvia o el rocío disuelven el cloruro sódico y la solución penetra en la roca a través de la porosidad. Durante las horas de máxima insolación, la evaporación del agua contenida en los poros produce la cristalización del NaCl en los mismos, que pueden quedar rellenados completamente. Mediante este sencillo mecanismo de transporte se explica la presencia de NaCl en las zonas intergranulares.

Los análisis realizados mediante microsonda electrónica corroboran este proceso: en las rocas no deterioradas (y por tanto poco porosas) los cloruros y sulfatos están en superficie, mientras que en las litologías muy deterioradas, la distribución del cloro es relativamente uniforme en el interior de la roca.

El coeficiente de dilatación térmica del NaCl en el rango de temperaturas de la oscilación diaria (4) es muy elevado en comparación con el de los carbonatos (figura 6).

Este mecanismo de dilatación-contracción diferencial entre el NaCl y su entorno encajante, produce tensiones en las juntas intergranulares, y puede ocasionar la rotura de éstas, dando lugar al desprendimiento de granos de la superficie de la roca. La figura 7 representa de manera esquemática las etapas del modelo de degradación expuesto. Este proceso explica el permanente aspecto pulverulento de las superficies de los sillares, y la existencia al pie de la muralla de grandes cantidades de arena fina, cuyo espectro de difracción muestra concentraciones notables de NaCl.

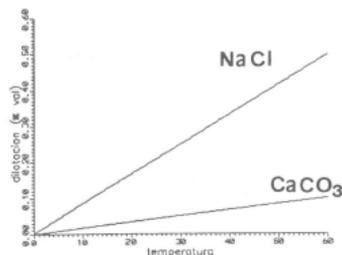


Figura 6. Curvas de dilatación del NaCl y del CaCO_3 en el intervalo de temperaturas ambientales.



Figura 7. Representación esquemática del modelo de degradación propuesto.



Figura 8 a) Imagen SEM de la superficie de la roca, en la cual los cristales romboédricos aparecen cubiertos por una capa de NaCl.

Este modelo de transporte del NaCl se ve corroborado por las observaciones y análisis realizados mediante microscopía electrónica. En las fracturas frescas de la roca se aprecian los cristales euédricos de ankerita, entre los cuales queda abierto el espacio intergranular (figura 5). En zonas cercanas a la superficie, observamos que los granos aparecen recubiertos por una capa de NaCl, cuyo análisis elemental se muestra en la figura 6. En algún caso es apreciable la marca del relleno intergranular de NaCl después de haber caído el grano de mineral (figura 9).

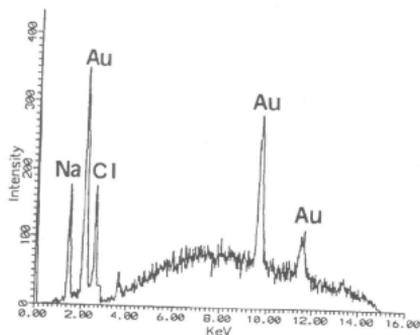


Figura 8 b) Espectro de rayos X dispersados adquirido en la zona marcada en la fotografía de esta misma figura. Los picos del Au corresponden al metalizado de la muestra y el elevado fondo está causado por el irregular relieve.



Figura 9. Imagen SEM de la superficie de la roca en la que se aprecian restos de juntas de granos que se han desprendido y queda parte del relleno de NaCl.

El sulfato cálcico, determinado mediante difracción de rayos X en algunas de las muestras estudiadas, tiene un origen distinto. En los análisis por microsonda electrónica siempre se han detectado cantidades apreciables de azufre (probablemente sulfatos) en la superficie de las rocas poco deterioradas. La presencia de esta fase obedece a una sulfatación de los carbonatos debida a la polución urbana, básicamente al SO_2 , que se transforma parcialmente a SO_3 por el papel catalizador de las partículas carbonosas (entre otros), para dar lugar a ácido sulfúrico al combinarse con agua. El ataque de este ácido sobre la calcita da lugar al sulfato de calcio. Este proceso, importante en ciertas zonas urbanas o industriales, es particularmente agresivo con los carbonatos en presencia de humedad ambiental (5).

En el tramo de muralla analizado el mecanismo de sulfatación no parece significativo. Independientemente del nivel de polución que existe en Tarragona, y aunque el tráfico rodado circule al pie de este sector de la muralla, el mecanismo de aporte de cloruro sódico antes descrito es tan importante que prácticamente no da tiempo a la sulfatación de la superficie: esta se degrada y desaparece antes de sulfatarse. Algunos de los sillares de este sector han retrocedido más de 60 cm respecto de la superficie inicial. Por el contrario, en los sillares poco deteriorados, los análisis de microsonda han determinado azufre en una delgada capa de pocas micras en la superficie.

Se podrían determinar, también, otros mecanismos de degradación, como la posible hidratación de las arcillas que forman parte de la matriz de la roca, sin embargo todos ellos tienen poca importancia frente a la velocidad de la degradación provocada por el NaCl marino.

REFERENCIAS

- (2) Barñoles, A.; Calvet, F. y Marzo, M., Sedimentología de las secuencias deposicionales del Mioceno del camp de Tarragona, X Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca, 1983, 7.28-7.31.
- (3) Deer, Howie & Zussman, An introduction to the rock forming minerals, London, 1983, 528 pp.
- (5) Del Monte, C.; Sabbioni, C. and Vittori, O., Urban stone sulphation and oil fired carbonaceous particles, The science of the total environment, 36, 369-376, 1984.
- (1) Solé Sabaris, L., Mem. Real Acad. de Ciencias y Artes, Barcelona, 1957.
- (4) Winkler, E.M., Stone: Properties, durability in man's environment, New York, 1973, 230 pp.

STUDIES TO EVALUATE THE ORIGIN OF CRACKS AND FAILURES IN THE HISTORY OF COLOSSEUM IN ROME.

G. Croci*, D. D'Ayala*, M.L. Conforto**

* Dip. di Ing. Strut. e Geotec., Università di Roma.

** Sovrintendenza ai Beni Archeologici del Lazio.

Summary

The research about the reasons of the progressive failures and the structural safety of the Colosseum, has followed three different approach, the history survey, the in situ survey and the f.e. analysis, in order to assess the past structural behaviour and to point out the best directions for repair and strengthening the monument.

Keyword:

Masonry, earthquake, historical survey, safety assessment

Body of Paper:

1. Introduction
2. The methodology
3. I Method: The Historical survey
4. II Method: The In Situ Observation
5. III Method: The Numerical Analysis
6. Conclusions
7. Acknowledgements
8. References

1. INTRODUCTION

In 1979 some of the pillars of the first level on the Celio side showed worrying signs of collapse, in such fast evolution that a shoring had to be done urgently. Consolidation works followed to ensure their stability. This fact gave us the opportunity to further enquiry the causes of this particu-



Fig. 1. Crack pattern on some pillars from the Celio side in 1.979

lar phenomenon and consequently the study spread to the globally of the monument to assess his safety levels. A careful in situ observation showed actually that cracks, localized failures, disjointed blocks as well as old strengthening works (brackets and tierods) were to be found almost in every structural element of the building. To answer the main question about the stability of the monument, a wider philosophy able to enlighten the safety levels has been provided, taking in account both the subjective and the objective aspects of the problem.

2. THE METHODOLOGY.

Generally speaking the safety assessment of a monument can be seen as a projection to the future of the structural performance which is, following the traditional approach, straight deduced from the study of the past and the careful observation of the present state of the building. Due to the structural complexity and variety of the Colosseum, the methodology adopted in this case supports the traditional approach with the structural analysis instruments, using History and Survey as input data of the Finite Element models and as interpretation keys of their results, with a continuous feed-back process.

The first cognitive process, that will be referred as historical-critic method, lies in the organic rereading and interpreting of the historical documents, writings, drawings and photographs in which informations about the monument and the seismic events arrived in the region, have been recorded. The second cognitive process, the empirical-qualitative method, represent the survey of the monument as it is today, through the observation of the distribution and quality of the materials it is made of, the crack and failure pattern, the foundation system, the ground morphology; this knowledge can be chemical tests, and by data deduced from monitoring techniques. This approach, that seems to give us an objective reality, not filtered by other people interpretation, for its synchronic character, doesn't allow us to generalizations.

Both criteria, therefore, lead to a subjective judgement of reliability, being, as they are, highly affected by one's intuition capacity and experience. From a philosophic point of view this "traditional approach" can be included in the inductive processes category, upon which the observation of a great number of particular phenomena can lead to generalizations and forecasts of the future.

The technology allows to follow a third way, abstracting from the course of time and reducing the reality to a mathematical scheme. A new problem is nevertheless put through: the mathematic analysis can not deal with the reality as it is, but only with simplified images of it, called schemes, which can be described in numerical terms. This third method, called analytic-quantitative, got then the merit of following the strict logic of mathematics, in this way leading to an apparently objective reckoning: the subjectiveness of the process, anyway, is held in the choice of the schemes that should be simple enough to be handled by the numerical tools and still representative of the complex reality of dishomogeneous masonry structures. The idea of scheme has been put through for the first time by Kant in the "Kritik der Reiner Vernunft", in the attempt to find a mediation between the world of ideas and the world of natural phenomena, between the subject and the object. The analytic-quantitative method can be ascribed in the field of the deductive philosophic process, which, once lain

out an organic system of hypothesis, allows to coherently and logically derive the consequences.

To sum up, each one of the three methods appears to need the subjective contribution of the experience and the intuition. The safety assessment, thus, should result from the synthesis of the informations coming from the three different approach following a logical flow, schematically represented in fig.2.

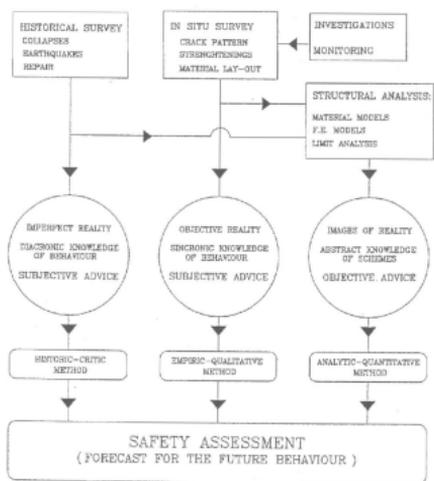


Fig.2. The research methodology

The researches about the Colosseum have followed contemporary these three approaches and it is really the transfer of informations from one cognitive field to the other, that allowed us to rightly interpret the phenomena occurred in the past and to derive the final judgement about the today safety levels.

3.1 Method: The Historical Survey

The historical approach is intended to point out occurrences and events that influenced the structural behaviour and produced cracks and collapses. The informations have been collected from different literature and iconography fields: from monographs and drawings concerning exclusively the Colosseum to writings about the history of Rome and the lives of emperors and popes; from the notebooks of the last century travellers to the works of archeology; from landscape pictures to the historical cartography of the city.

First results of the historical analysis is the detection of the causes that generated the failure of the Colosseum. It is quite strict the connection between physical phenomena (fires, inundations, earthquakes) and the documentation of damages or consequent restoring works. Summarising the most important events:

The Flavius Amphiteatri was dedicated and open to public the 80 a.C. during Titus reign, probably when the construction was not yet ended.

The first important damage, whose wide documentary evidence is there, is the fire set by a thunderbolt the 23 august 217: all the ligneous structures were burnt and some marble blocks of the attic level fell down. The restoring works took five years. Two other fires are recorded the years 250 and 321: no work has mentioned to restoring it.

So it can be expected that the building underwent the first important seismic event in 443 in no more optimum structural conditions. The earthquake is thought to have been of IX grade M.S., with the epicentrum sited in the roman region. Paulus Diaconus in his "Historia Romana" said that "tam terribili terremoto Roma concussa est, ut plurimae aedes eius et aedificia corruerint". The Colosseum suffered damages in the sitting grades, in the arena and podium area, and at the attic level. It took three consulates to be restored and some of the works can still be seen at the top of the external wall, where a chaotic cyclopic masonry was set.

After this the news about the building seem to fade: the last ludo meeting is recorded the year 523; then the year 663 Constantinus III ordered to tear down the bronze plates of the attic. It is likely believed that in this period the locking bars among the blocks were also taken out: this spoiling caused the rupture of many blocks, thus locally modifying the stress state distribution. Anyway, the building must still have been shown its integrity when the Venerabilis Beda saw it circa the 750. During the VIII century numerous non destructive earthquakes have been recorded in Rome. Then there was a IX grade, may 801, with probable epicentrum the Abbruzzese Appennino. The cyclopic order columns at the attic inner level fell down in the cavea, causing huge damages in the inclined barrelvaults and arena, and other less striking structural cracks occurred. We think that it can be now dated the loss of continuity in the elliptical walls.

The next informations about the monument are dated from the beginning of the 12th century. It was then inhabited by patrician families (Frangipane and Annibaldi) who fortified the two lower levels of the south eastern side, closing the arcades and opening holes in the barrelvaults to put stairs through to connect the two levels. Unfortunately there is no iconography available of this period, with the exception of a commemorative medal of Ludovicus the Bavarian (year 1328, see fig.3). It shows the Colosseum behind other building with the upper row still.



Fig.3: Commemorative Medal by Ludovic the Bavarian 1328.

Even if it was been ordered to destroy the fortifications by the pope Innocenzo IV, this must have been more or less how the Colosseum was in 1349 when another destructive earthquake occurred in Rome with VIII-IX grade. The most famous witness, Petrarca, said "magna cum partem collapsat". After this event in the following documents a "Coxa Colisei" is mentioned, a sort of hill mainly made out

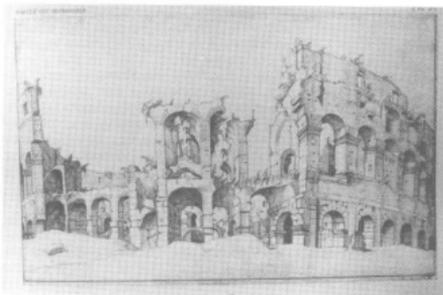


Fig. 4: A view of the Celio side dating 1505 (Van Heemskerck).



Fig. 6: A global view after 1703 earthquake (1779. Cassini)



Fig. 5: A view of the Meta Sudans side dating 1565 (Du Perac).

of marble and brick rubbles. The dismantling of this hill, and the relative quarrel concerning who it belonged to, lasted three centuries (fig. 4, 5).

The fall of three arches of the west side second ring without any apparent reason is recorded in 1646. So, the second ring was definitively tore down by a 1703 earthquake, that also opened a gap in the third inner ring (three arches). No other failures have been recorded after this, fig. 6. In the 1744 the Pope declared it a sanctus locus. The state of deep decay in which it was laying, together with the new archeological interest for roman architecture, brought to a start the restoration works in 1805 to rest rain and to fix what was left of the outer elliptical surface: two abutments were designed and realized while the central part of it was fixed with tie-rods to the inner rings partially rebuilt at the upper levels. The gap in the inner ring on the

west side was closed rebuilding seven arches in 1840. The next structural occurrence was the restoring work of 1979, mentioned above.

From what has been said some peculiar elements can be drawn: first, the discrepancy between the quantity of crumbled portions as it's shown today, and the description of historical collapses that have been recorded. Being documentary proved that human removal has been only an aside phenomenon that mainly concerned the Coxa Colisei and not the still part of the building, other reasons ought to be look for. While there is no doubt that the earthquakes have been the main cause of the ruin it must still explained why there is not quantification of the consequent collapses. This can be solved from a historical point of view, taking into count the lack of interest for the roman architectures since the fall of the Roman Empire: the Colosseum was just another ruin with no especial social or historical meaning

for the government and for the population of that time. From a structural point of view will see later that a particular mechanical behaviour can be formulated, whose signs can be yet recognized in the today crack and damage pattern, and of which the historical "spontaneous collapses" (1646, 1979) are a further prove.

4. II METHOD: THE IN SITU OBSERVATION

The architecture of the building is based on two modules that have been radially repeated 80 times along the elliptical plan: the outer one is formed by an arch resting on two pillars and it runs three times along the height of the building and three times along each radius, resulting in three elliptical vertical surfaces of travertine connected to each other by elliptical barrelvaults of roman co crete. The other module is the radial trapezoidal masonry wall the lower part of it made of tuff, the upper of bricks, every couple of them supporting a sloping barrelvault.

From a structural point of view the direct observation arises some problems that seem to need explanation on a global scale. The difference of strength shown by the eastern and western building sides can be explained by the peculiar situation of the foundation system. The building rests on a bed of tuff dipping toward the Colle Oppio, partially covered by altered piroclastis. On the Celio side the piroclastis are very close to the surface, so that the building basement is made out of big unconnected blocks of travertino .80 m. thick. On the other side, from the greater sym metry axis toward the Colle Oppio, it is a masonry basement made out of brick or tuff and roman concrete, from 10 to 13 thick. This morphology causes both different filtration of the seismic waves and different response of the upper structure, producing differential stress states and bigger deformations on the west side due to the smaller stiffness of the foundation. So it is highly probable that this is the area were the first big vertical crack or cracks took place, causing a solution in the continuity of the structure and so making it weaker to future seismic events.

The seismic weakness of the building is further proved by the survived part specially on the outer surface: along the horizontal plane the elliptical line is deformed in a sinusoidal line, and on the vertical plane the out of plumb is consistent, reaching in some cases some tens cms. of length. This irreversible deformation is a typical result of seismic action applied to a material with a dissipative nonlinear behaviour: this explains the blockwork gaps visible in



Fig. 7: The sinusoidal deformation of the cornice.

the Stern's Sperone area, and the resulting sliding down of some arch keystones, fig.8. Consequences of this outward movement of the elliptical travertino structure are both the cracks at the top of the annular barrelvaults and the disconnection between the outer structure and the radial masonry walls. Some of these.

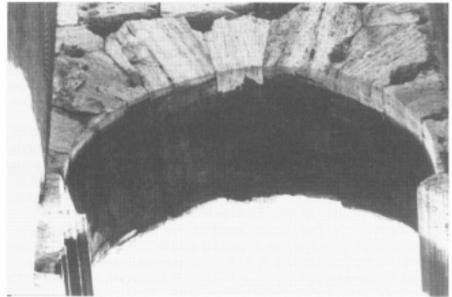


Fig.8: The sliding down of an arch keystone.

5. III METHOD: NUMERICAL ANALYSIS.

The Colosseum, for its huge dimensions, lays out different problems related to the realization of a global structural f.e. model that would be at the same time representative and handy. The structural global behaviour can be roughly reduced to three schemes:

- membrane behaviour of the three cylindrical elliptical vertical surfaces, that change to a flexural behaviour when the elliptical continuity is broken;
- annular slab behaviour of the toroidal barrelvaults that connect the vertical surfaces and of the coneshaped surface that sustain the cavea;
- shear-wall behaviour of the brick radial walls.

Obviously the real structure exhibits a complex three dimensional behaviour that can not be thought as the summatory of the previous ones, but it is function of their interaction, of the real distribution of the connections among structural elements and among single stone blocks, and

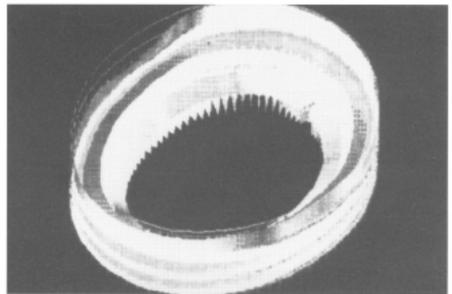


Fig.9: The global model: deformation for IX S.M. earthquake.

other variables hardly enucleable and valuable.

For this reason different models have been studied some with a local character to analyse the material features, others to analyse the global behaviour, some with the original shape, other partials to study the safety level of the today ruins. The right interpretation can only be given by a compared analysis of the results coming from the various schemes: some parameters are then needed to be able to formulate a global judgement and correlate the nonho-

mogeneous quantities.

The global original models demonstrate that the structure shows a stable behaviour with regard to the dead and superimposed weight actions: the thrust of the arches and barrelvaults systems seems easily held by the three-dimensional behaviour that arises from the elliptical shape.

The seismic analysis that, due to the dimensions of the structure could have been carried out only in the elastic field, takes into account the foundation dishomogeneity, both as a structural behaviour than as a difference of the input seismic action. The results shows a great difference in the response of the two sides, with a concentration of deformation on the upper level of the Celio side; the deformed shape looks as a sinusoid (fig.9), like it was already pointed out by the on situ survey. Tensile stresses are present in the finite elements at the interface between the travertine structure and the masonry structure, and in the finite elements that simulate the annular barrelvaults, along the radial direction.

So can be thought that, due to the incapacity of the materials to absorb these tensile stresses, the three dimensional behaviour reduced to the two independent mechanisms of the vertical cylindrical travertine surfaces, that acted as membrane, and the radial masonry walls that acted as slab.

Taking for granted the results shown by the elastic models, global displacements and stress level should have been so high that the building were completely collapsed after the first earthquake. The Colosseum being partially still there, this give the limit of the elastic analysis, which has proved its soundness in the search of the collapse causes. Next step is a more sophisticated model which can take into account the behaviour of the material which is, indeed, highly non-linear, being ruled by the dry friction coefficient between the block surfaces and showing a dissipating behaviour under dynamic actions.

The strength that the elliptical surfaces offer to seismic actions depends on the tie level with the radial shear-walls, on the flexing stiffness of the pillars and, above all, on the

possibility to develop an elliptical membrane strength due to the curvature. This last strength, anyway, can be locally overcome because the friction coefficient between the blocks is dynamically overcome, dissipating some energy during the associated sliding.

If the energy associated with the seismic action is amplified by the foundation system (as it is the case on the Celio side), the sliding phenomenon between blocks takes a global character, bringing with it a widespread release of thrust and loose of shape. The resulting out of plumb, causes a considerable increase of the flexing action on the pillars giving way to crash phenomena.

6. Conclusions

The studies about the Colosseum being still in progress, a first scheme can be drawn about the succession of the events that brought the Colosseum to its present state: due to the seismic actions the cylindrical outer surfaces suffered a loss in shape, with an increase of the elliptical length that caused both a detachment from the radial walls and an evolving out of plumb. Where the stresses reached during the seismic event the highest levels (being related with the point of lesser curvature) there the first collapse occurred, while the adjacent structural elements were left weaker because of the lack of continuity together with the sliding and the local microcracking due to the impact among blocks.

Once the stability has been in such a way compromised then even weaker earthquakes, slow decay of materials, the pushing of iced water in the small fractures, the pushing of roots of wild plants, all of these together can have been caused limited failures. So it can be said that some "uninduced failures" arrived even with quite big temporal gaps from the nearest known earthquake as it happened in 1646 e 1979. Having in this way explained what sort of mechanism took the Colosseum to its present state, it is left to work out its present safety level and need of repairs.

For this purpose the outer surface survived on the Colle

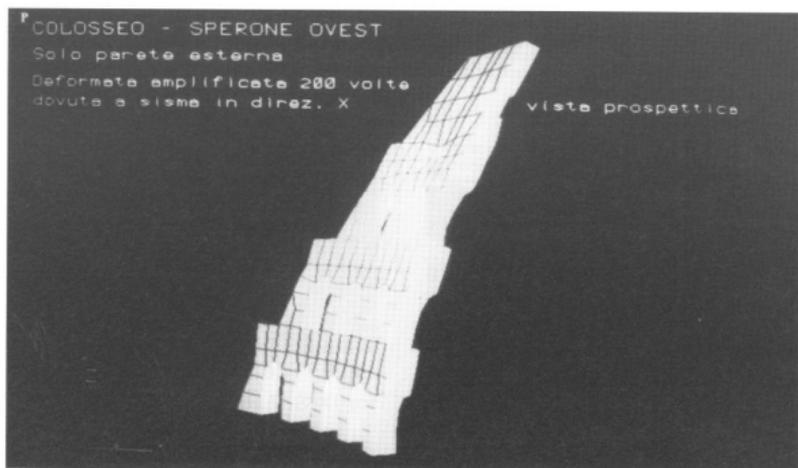


Fig.10. Model of the Valadier abutment under seismic action

Oppio side and the two speroni have been variously modelled, being this the portions in greater danger. The results show that to ensure the stability of this part the connection with the inner structure is essential. The stress state due to the dead load reaches in fact the limit of the strength material, while any further dynamic load will cause stress levels that can not be held by the surface in itself, without a three-dimensional collaboration.

7. Acknowledgements

The authors would like to thanks the Sovrintendenza ai

Beni Archeologici di Roma for the valuable informations and the kind collaboration offered.

8. References

1. G. Croci, La Scienza delle Costruzioni tra Teoria e Realtà, in L'Industria Italiana delle costruzioni 7/1979.
2. G. Croci, D. D'Ayala, A. Di Paolo, Studi e Ricerche sul Colosseo, Quad. del Dip. di Ing. Strutt. e Geot., Roma 1990.

"METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DE LAS MANIFESTACIONES PATOLOGICAS QUE AFECTAN A LOS INMUEBLES DEL ENSANCHE DE 1887 DE VALENCIA (ESPAÑA)"

FRAN BRETONES, J.M^º, Dr. Arquitecto; PEREPEREZ, B., Dr. Arq.; BARBERA, E., Dr. Arq.; BENLLOCH, J., Dr. Arq.; GONZALEZ, G. Dr. Arq.; VALCUENDE, M., Arq.; PASTOR, R., Arq.
Cátedra de CONSTRUCCION III, Dpto. Construcciones Arquitectónicas.
ETSAV. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.

SUMARIO:

En la presente ponencia se muestra la metodología adoptada para determinar los daños y lesiones que aparecen en las fachadas de los inmuebles del Ensanche de 1887 de la ciudad española de Valencia. Tras una introducción que manifiesta la necesidad de realizar estudios de patología constructiva que sirvan de herramienta de trabajo para la rehabilitación de edificios, se expone las diferentes fases que conforman el método.

Las conclusiones y consideraciones finales resumen los resultados a que se ha llegado, terminando con una reflexión acerca de la posible extrapolación de los mismos a otros ámbitos urbanos.

SUMMARY:

PALABRAS CLAVE:

Patología, vida útil, mantenimiento, rehabilitación, peritación, inspección.

I. INTRODUCCION.

Es un hecho constatado que, durante la euforia desarrollista posterior a la Segunda Gran Guerra, todas las inversiones y esfuerzos del sector de la construcción iban encaminadas a la promoción inmobiliaria de nueva planta. Las cuestiones relativas a la conservación o mantenimiento del parque edilicio existente pasaban a ser temas de segundo orden que en contadas ocasiones se planteaban.

Como consecuencia de la crisis económica de los años setenta, esta tendencia se invierte y, desde entonces, fundamentalmente en Europa, se ha abandonado la dinámica destrucción-construcción para abordar el hecho de la rehabilitación de edificios como una acción globalizadora que compromete a todos los profesionales implicados, a la iniciativa privada y a las diferentes administraciones públicas.

Por ello, la patología constructiva, entendida como el análisis y el estudio de las lesiones existentes en los edificios, de las causas subyacentes y de los métodos terapéuticos a emplear se ha convertido en un tema de actualidad que, sin embargo, no ha conseguido eliminar las dificultades que, desde un punto de vista técnico, entraña la rehabilitación de edificios y que, todavía hoy, obligan al profesional a adoptar soluciones no amparadas por las instrucciones y códigos vigentes.

En la mayoría de los casos, se trata de dificultades derivadas de que el objeto intervenido está compuesto por elementos y materiales de uso ya no generalizado, y con sistemas estructurales y técnicas constructivas poco convencionales.

Además, son muy escasos los estudios estadísticos que informen sobre los tipos de lesiones más frecuentes, excepción hecha del trabajo llevado a cabo en Francia

entre 1973-1974 por el BUREAU SECURITAS (1), en el que se analizó 2.974 lesiones de todo tipo acontecidas en aquel país, así como sus causas principales.

También debe reseñarse los siguientes trabajos que, con la misma finalidad, se han acometido en España: en primer lugar se dispone del estudio que, en 1984, realizó JOSE ANTONIO VIÉTEZ (2) sobre 586 informes relativos a obras con lesiones en estructura o cerramientos, y que sirvió de base para un análisis estadístico en el que se reflejaba la incidencia de las distintas causas posibles en la patología de las estructuras de nuestro país; posteriormente, en 1985, el Departamento de Construcción de la E.T.S. de Arquitectura de Valladolid desarrolló un trabajo titulado "Patología en Fachadas Urbanas" (3), en el que se realizaba un breve análisis estadístico sobre la patología constructiva en las fachadas de los edificios de esa ciudad; finalmente, en 1988, se publicó el artículo de JUAN MOJONJO CARRIO (4), titulado "Chequeo constructivo de las Fachadas de Madrid/España", en el que se diseñó un estudiado proceso de toma de datos, base fundamental para posteriores análisis estadísticos.

II. OBJETIVO.

Como consecuencia de la hasta aquí expuesto, y para ayudar a paliar la situación anteriormente descrita, se ha desarrollado un trabajo de investigación que, extendido al marco geográfico del Ensanche de 1887 de la ciudad de Valencia, se propone los objetivos siguientes:

- determinar y cuantificar las manifestaciones patológicas más frecuentes que afectan a las fachadas urbanas del área definida;
- establecer y analizar las posibles causas que, de modo más común, las han originado, y
- proponer y clasificar las técnicas de intervención específicas que las remedian,

mostrándose en esta ponencia la metodología empleada para alcanzar el primer objetivo descrito.

III. METODOLOGIA O PLAN DE TRABAJO.

El Plan de Trabajo diseñado consta de las siguientes etapas:

- 1.- Elección del ámbito del trabajo.
- 2.- Recopilación de información previa.
- 3.- Toma de datos.
- 4.- Resultados y análisis estadístico.

III.1. Elección del ámbito del trabajo.-

Se ha elegido el Ensanche de 1887 como ámbito urbano donde desarrollar los estudios y análisis que conforman el trabajo que se expone, por las siguientes razones:

- Se trata de un área con identidad propia dentro de la

ciudad. La clara estructura de viario y su rotunda geometría establecen unos límites territoriales inconfundibles.

- Sus dimensiones permiten definir un campo que, con 437 muestras, es lo suficientemente representativo a efectos estadísticos, y, al mismo tiempo, posibilitan acometer el trabajo por un equipo de personas no muy numeroso.

- La mayoría de edificios están destinados a un uso preferentemente residencial, con sector servicios en entresuelos y comercios en planta baja, por lo que constituyen un mismo conjunto en cuanto a comportamientos patológicos.

- Todas sus construcciones pertenecen a un período temporal que se inicia alrededor de 1870 y finaliza en las primeras décadas del siglo XX. En consecuencia, permiten ver con claridad la evolución de los comportamientos patológicos y, además, ya han superado su vida útil, convencionalmente establecida en cincuenta años, por lo que se encuentran en el momento adecuado para iniciar operaciones tendientes a su recuperación.

- Sometidos a análisis, se puede seguir la evolución en el tiempo de los sistemas estructurales (desde la fachada como muro de carga hasta los pórticos de hormigón), los procedimientos constructivos, y los lenguajes arquitectónicos, tal y como se fueron modificando con la introducción de los nuevos materiales resultantes de la Revolución Industrial.

- Finalmente, estos edificios responden a tipologías que, por primera vez, tomaron en consideración los criterios de las teorías higienistas por lo que introducen patios de ventilación, anulan alcobas sin contacto directo con el exterior, disponen de baños, retretes, etc. Es por ello que se ha conformado como el tipo edificatorio sometido a una mayor demanda rehabilitadora, lo que hace muy conveniente el estudio de sus manifestaciones patológicas.

En resumen, el Ensanche de 1887 reúne todas las condiciones necesarias para cubrir los objetivos del trabajo propuesto, ya que sus edificios forman la unidad más representativa del parque edilicio urbano que se podía someter a un proceso de reconocimiento y análisis de lesiones, asegurando la extrapolación de resultados más fiable de cuantos son posibles.

III.2. Recopilación de información previa.-

La finalidad de esta etapa es producir un primer acercamiento a los edificios, entendidos como objeto de estudio, antes de entrar de pleno en la fase siguiente de reconocimiento y toma de datos. Atendiendo a lo especificado por JUAN LOPEZ JAEN (5), este acercamiento debe plantearse al modo clásico, es decir, desde un punto de vista histórico, un punto de vista artístico y un punto de vista constructivo-estructural.

Desde el punto de vista histórico se ha distribuido la totalidad de los edificios en seis grupos diferentes en función de los criterios siguientes:

- Edificios construidos con anterioridad a 1939. Esta es la fecha límite del estudio patológico que se plantea, pues supuso una ruptura en muchos sentidos, y también en el campo constructivo al producirse el cambio conceptual de fachada-muro resistente al de fachada-cerramiento.

- Edificios construidos con posterioridad a 1939 y, por tanto, fuera del ámbito de este estudio.
- Edificios en construcción.
- Edificios en períodos de rehabilitación.
- Solares.

Desde el punto de vista artístico debe situarse el edificio en relación con los principios estéticos, concepciones compositivas y distribuciones especiales del momento en que se generó. Para ello, y ante la gran variedad de lenguajes arquitectónicos representados en el Ensanche, ha sido necesario plantearse una simplificación, abriéndose los siguientes grupos:

- Ecléctico.
- Medievalismo fantástico.
- Modernismo.
- Neogótico florido.
- Clasicismo académico.
- Art Decó.
- Racionalismo.
- Casticismo.

Desde el punto de vista constructivo-estructural se ha optado por clasificar los edificios en función de su pertenencia a uno de los cuatro grupos siguientes:

- Edificios construidos hasta 1900. Salvo que se demuestre lo contrario mediante una comprobación específica, edificio a edificio, durante la fase posterior de toma de datos, todos estos edificios fueron ejecutados según las técnicas constructivas tradicionales y con sistemas estructurales basados en fachadas resistentes, patios y cajas de escalera como núcleos rigidizadores, y tabiques de arriostramiento.

- Edificios construidos entre 1901 y 1920. Ya han modificado sus sistemas estructurales y sus técnicas constructivas al introducir los nuevos materiales (acero y vidrio) resultantes de la Revolución Industrial.

- Edificios construidos entre 1921 y 1939. Se ha comenzado a generalizar el uso del hormigón armado y las fachadas urbanas actúan como un mero cerramiento.

- Edificios construidos con posterioridad a 1939 que, como ya se ha comentado, quedan fuera del estudio.

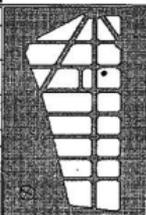
DATOS DE IDENTIFICACION		
DEL EDIFICIO		
NOMBRE/ETIQUETA		
POLEICIA/ORDEN		ALTIURA/FECHA
TIPO		
DE LA FACHADA		
MATERIAL/LENGUAJE		
ESTRUCTURA/VEGETAL		
		
MATERIALES		
ACABADO SUPERFICIAL	CONTROL LINEAL	COBERTURA
CARPINTERIA	ELEMENTOS DE PROTECCION	OTROS
LESIONES APRECIADAS		
LESION	MATERIAL Y ELEMENTO	OBSERVACIONES

FIGURA 1

Para finalizar, y dentro de este último punto de vista, interesa conocer el estado de conservación y mantenimiento de fachadas de los edificios objeto de análisis, de modo que se distribuyeron en tres grupos (bueno, regular y malo), evitando multitud de grados intermedios que dificultan y alargan la clasificación.

- Estado de conservación bueno es el de las fachadas recién rehabilitadas o el de aquellas que no manifiestan ninguna lesión.

- Estado de conservación regular es el de las fachadas que no manifiestan un buen mantenimiento y en las que se aprecian lesiones no consideradas graves.

- Estado de conservación malo es el del resto de fachadas.

III.3. Toma de datos.-

Es la etapa fundamental del trabajo, pues de ella depende la fiabilidad y la representatividad de los resultados finales. La recopilación de la información debe resultar lo más completa y objetiva posible y por ello se ha confeccionado una ficha donde recoger los datos de cada edificio en una triple vertiente: datos de identificación, de materiales que constituyen su fachada y de las lesiones apreciadas. Para ello se ha tomado como base un cuestionario experimentado, como el propuesto por el C.E.B. en su reunión de Budapest de junio de 1980 (6).

Por otro lado, el reducido número de personas que constituyen el grupo de trabajo, ha permitido desestimar el tipo de ficha que en cada estadillo de información introduce todas las posibles respuestas, tal y como suele hacerse cuando el número de observadores es amplio y poco experimentado. Consecuentemente, la ficha utilizada para la toma de datos (Figura 1) ha sido concebida para recibir la siguiente información:

A. DATOS DE IDENTIFICACION DEL INMUEBLE.

Son todos aquellos que permiten reconocer el edificio y su fachada.

A.1. Del edificio:

1. Manzana. A cada una de las veinte manzanas del Ensanche se le ha asignado una letra del abecedario (Figura 2), lo que permite una localización rápida del inmueble y obtener los datos estadísticos manzana a manzana.

2. Calle.

3. Número de policía.

4. Orden. Es el número que recibe la parcela en la que se asienta el inmueble en función de su posición relativa respecto de las parcelas vecinas (Figura 3).

5. Altura. Dato a reseñarse con una foto aérea que manifieste la existencia o no de áticos en la segunda crujía, los cuales no resultan visibles desde la calle.

6. Fecha. Debe reseñarse la fecha exacta de construcción del inmueble cuando ello sea posible. En caso contrario, el lenguaje arquitectónico de la fachada permitirá acotar un determinado período temporal.

7. Usos. Se indica, planta a planta, los diferentes usos que coexisten en un mismo inmueble, eligiéndolos de entre los siguientes: industrial, comercial, oficina, residencia comunitaria, religioso, vivienda, asistencial y de enseñanza.

A.2. De la fachada:

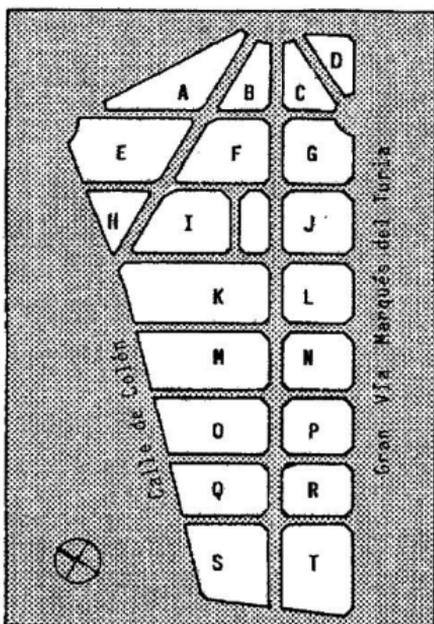


Figura 2

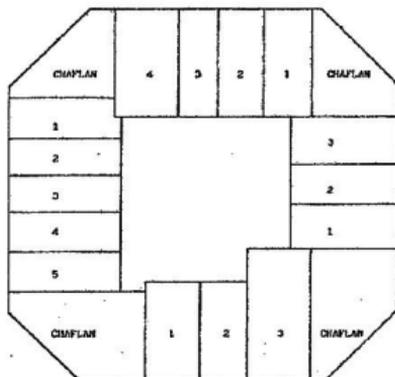


Figura 3

1. Orientación. La retícula del Ensanche está girada aproximadamente 45° respecto a los ejes cardinales, por lo que las orientaciones posibles son: a sureste y noroeste las calles longitudinales, a noreste y suroeste las calles transversales, y a norte, sur, este u oeste los chiaflanes.

2. Lenguaje. Cada uno de los edificios queda adscrito a un grupo estético en concreto de entre los reseñados en el epígrafe III.2 de esta misma ponencia.

3. Estructura vertical de la fachada. En función del len-

tar cada una de las lesiones observadas, el material y elementos donde se produce y alguna otra observación importante que apunte hacia la posible causa del daño. Así mismo, se dispone de 3 recuadros para insertar imágenes de las lesiones más significativas.

Se debe destacar que, con independencia de las manifestaciones patológicas específicas que se observe en cada inmueble, existen ocho grandes grupos de referencia: humedades, pudriciones, grietas o fisuras, desprendimientos o erosiones, oxidación, suciedad, transparencias y estéticas, referidas estas últimas a todas aquellas modificaciones del estado original de la fachada que transgreden la estructura compositiva de la misma, aportando una distorsión formal importante.

III.4. Resultados y análisis estadístico.-

En esta tercera y última etapa del plan de trabajo, se procede a relacionar y analizar estadísticamente los resultados alcanzados con la cumplimentación de las 437 fichas correspondientes a cada uno de los inmuebles del Ensanche.

Con la finalidad de ser operativos y estudiar la magnitud con que se presenta cada lesión, la influencia que sobre cada una de ellas tienen la antigüedad del inmueble, su orientación, etc., se ha confeccionado un conjunto de Tablas de Manifestaciones Patológicas, una por cada manzana (Figura 4), cuya estructura interna se explica a continuación:

(1) Recuadro de identificación de la Tabla, en el que aparece la letra distintiva de cada manzana, el número de parcelas de las que componen y el número de éstas objeto de estudio, es decir, anteriores a 1939.

(2) Reseña de las lesiones específicas apreciadas en las fachadas de los edificios, ya agrupados en las 8 lesiones generales citadas.

(3) Reseña del número de inmuebles afectados por cada una de las lesiones. El tanto por ciento de las lesiones generales está referido al número de edificaciones originales, y el de las específicas al número de edificaciones afectadas por la correspondiente lesión general.

(4) Número de construcciones pertenecientes a cada período temporal, con los porcentajes correspondientes.

(5) Recuadro de orientaciones, en que se sitúa las construcciones incluidas en cada grupo, del total de las afectadas por cada una de las lesiones, y sus respectivos porcentajes.

(6) Reseña del tanto por ciento que, en cada manzana, representa el número de edificaciones afectadas por cada lesión, referido al total de construcciones que presenta ese mismo tipo de lesión en el conjunto del Ensanche.

(7) Reseña del tanto por ciento que supone en cada manzana el número de edificaciones afectadas por cada lesión, referido al total de construcciones con cualquier tipo de lesión.

IV. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES.

Como conclusión al presente trabajo, se muestra a continuación los resultados obtenidos al ampliar hasta el ámbito del Ensanche los análisis estadísticos realizados para cada una de las manzanas en las Tablas de Manifestaciones Patológicas:

- Las lesiones más frecuentes son las estéticas, que suponen el 21,52% del total de las apreciadas. Los desprendimientos y erosiones con el 16,61%, las suciedades con el 16,27% y las oxidaciones con el 14,04%, son también muy importantes. Esto demuestra que las lesiones más representativas están vinculadas a una mala conservación de las fachadas y a una ligereza en la vigilancia del cumplimiento de la legislación vigente, más que a cuestiones relacionadas con patología constructiva o estructural.

- Las humedades, con el 12,04% del total de las lesiones, y las grietas o fisuras, con el 11,70%, se sitúan en un nivel intermedio y ya están relacionadas con las técnicas constructivas empleadas en la ejecución de los edificios.

- El resto de las lesiones son muy poco representativas; las pudriciones suponen el 6,02% y, por último, las transparencias, el 1,80% del total.

- De entre las lesiones específicas, el desprendimiento de las esquinas y bordes de los cuerpos volados, la oxidación de las barandillas y sus puntos de anclaje, la suciedad en elementos ornamentales y en la zona inferior de los cuerpos volados, y las modificaciones introducidas en las plantas bajas comerciales, suponen más del 40% del total de las lesiones existentes.

- Menos de un tercio de los edificios objeto de este estudio se encuentran en un buen estado de conservación (28,75%).

Finalmente, comentar el hecho de que la extrapolación de resultados de cualquier investigación debe ser valorada con cautela sin querer sacar conclusiones con un grado de confianza muy elevado.

Sin embargo, las características que reúne el Ensanche como ámbito urbano y sus edificaciones, anteriormente comentadas, permiten aceptar estas conclusiones en otras zonas de la ciudad, incluso hasta en otras ciudades del área mediterránea, sin riesgos difíciles de asumir.

V. BIBLIOGRAFIA.

1. AA.VV.: "Comportement en service, entretien et réparations", Bulletin d'information del C.E.B. nº 138, Budapest, agosto 1980. 436 páginas.

2. VIEITEZ CHAMOSA, J.: "Patología de la Construcción en España: Aproximación Estadística". Informes de la Construcción, vol. 36, nº 364, Madrid, octubre 1984, páginas 5-15.

3. AA.VV.: "Patología en fachadas urbanas", Universidad de Valladolid, Dpto. de Construcción, Valladolid, 1985, 455 páginas.

4. MONJO CARRIO, J.: "Chequeo constructivo de las fachadas de Madrid/España", Informes de la Construcción, vol. 40 nº 396, Madrid, julio-agosto 1988, páginas 49-60.

5. LOPEZ JAEN, J.: "Rehabilitación: concepción y metodología", Curso de Rehabilitación, Tomo 2-El Proyecto, Madrid, Servicio de publicaciones del C.O.A.M., 1985, páginas 37-51.

6. BUREAU SECURITAS: "Etude Statistique de 10.000 Dossiers de Sinistres". Annales de l'ITBTP, nº 378, diciembre, 1979.

ESTUDIOS PREVIOS Y ANALISIS DE PATOLOGIAS EN UN MONUMENTO DE MORELLA

F. GOMEZ LOPERA (1) y J.J. ALONSO PASCUAL (2)

(1) E.T.S. Arquitectura. universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera, s/n 46022-VALENCIA

(2) C.S.I.C./I.H.M.N. Universidad Politécnica de Valencia.

SUMARIO

Se presentan los resultados de diversas técnicas empleadas para caracterizar y cuantificar las patologías, de los materiales pétreos utilizados en la construcción de un monumento, en Morella (Castellón).

Se han estudiado muestras de cantera, a las que se han hecho ensayos físicos, y muestras del monumento, a las que se han realizado análisis químicos y diversas microscopías.

También se han estudiado aquellos datos del entorno físico que han podido influir en dichas patologías.

SUMMARY

Presentation is made of the results different techniques used to characterize and quantify the pathologies of the stone materials used in the building of a monument in Morella (Castellón).

Physical test were carried out the samples of the quarry samples that were studied. Samples from the monument were taken, carrying out chemical analysis and different microscopies on these.

Also studied were the data of the physical surroundings that could have been of influence in the aforementioned pathologies.

ALTERACION PIEDRA-SALES SOLUBLES-ENSAYOS FISICOS-MICROSCOPIAS.

1. INTRODUCCION

La sensibilidad que, desde hace unos años, existe en la población y por parte de las autoridades hacia la conservación del patrimonio histórico, ha propiciado que surjan por doquier inquietudes, y no está ajeno a ellas el campo científico.

Una de las características fundamentales del nuevo modo de ver el patrimonio es el de entender la necesidad de realizar "estudios previos", desde una amplia perspectiva, al tiempo que con la mayor precisión y criterio científico, antes de proceder a cualquier intervención.

En efecto, son numerosísimas, por desgracia, las muestras que, a lo largo de la historia, tenemos de intervenciones desafortunadas que más que proteger han sido causas de daños, en ocasiones, irreparables, casi siempre debido a la ausencia de un planteamiento previo, desde el punto de vista científico que permitiera conocer el comportamiento que los elementos sometidos a la intervención van a tener o el efectivo grado de protección del tratamiento empleado, o al menos, la inocuidad de dicho tratamiento.

En este contexto se enmarca el presente trabajo, que viene a constituir el reconocimiento íntimo de un material, que permite conocer la causa de las patologías que presenta y, por tanto, el modo en que se debe proceder a su tratamiento, tanto de represtinación como de consolidación.

Concretamente, se estudian los materiales pétreos con que se construyera, hace siglos, el monumento, así como los empleados en intervenciones posteriores. Para reconocer el grado de alteración a que se encuentran sometidos, así como sus características físicas y su composición química, que permiten identificar las patologías que presentan.

La metodología que se presenta necesita un sistema de autocombprobación, que consiste en estudiar, paralelamente, la piedra del monumento y la de la cantera, de forma que los parámetros se puedan ir referenciando, cuando ello sea posible, en una y otra, y así entender, de forma clara, que cualidades se han alterado a lo largo del tiempo, en el material del monumento. Esta tarea, lógicamente, requiere una labor de investigación previa para localizar las canteras originarias, así como la historia del edificio, de forma que cualquier incidencia importante, desde el punto de vista constructivo, se conozca y se analice la relación con la transformación del material. De la misma manera, es preciso conocer aquellos datos del entorno físico del monumento que pueden haber influido sobre el comportamiento de éste, en el tiempo, como son: climatológicos, contaminación, estado pasado y presente del subsuelo, etc.

2. EL MONUMENTO.

Tras la conquista de Morella, por el rey Jaime I, comenzó la construcción de la que sería Iglesia Arciprestal de Sta. María y que se terminó el año 1330, fecha en que puso la última piedra Pedro I. Se trata de un hermoso ejemplar del Gótico Mediterráneo y una de las piezas más interesantes de la Arquitectura Valenciana.



Foto 1

Toda la obra emplea la piedra de sillería labrada y el mortero, y su planta se encuentra distorsionada por su proximidad al castillo, ya que la nave lateral, que da al muro del castillo, es más estrecha que la opuesta, que podían extenderse hacia la plaza y en la cual se abren las dos portadas.

La portada principal, llamada de los Apóstoles, data de 1354 fecha en que un grave incendio afectó a la nave y hubo que recurrir a añadir dos grandes estribos exteriores

entre los cuales quedó la puerta. Ejemplar de primer orden, abocinada y enmarcada por un esbelto gablete. Su nombre lo recibe de las figuras de los doce apóstoles, bajo doseltes y apeados sobre ménsulas antropomórficas, embutidas en arquerías que partiendo de las jambas recorren los estribos. (Foto 1).

Existe otra puerta lateral, de similares características que la anterior, aunque de menores dimensiones, llamada de las Virgenes, y que data de 1400.

La torre campanario, construida sobre el ábside, se levantó entre 1414 y 1425. En el siglo XVIII fue sustituida por otra de poco acierto, mientras la primitiva quedó en desuso hasta que en 1967, con ocasión de la reapristinación del templo, fue rematado en forma de espadaña. Esta iglesia fue declarada Monumento Nacional en 1931.

3. LOS MATERIALES.

Son varios los tipos de piedra empleados en este edificio, tanto en los muros de cerramiento y contrafuertes como en las propias portadas; desde este punto de vista la construcción antigua es más correcta que las acciones posteriores, en las que se emplea una gran variedad de calidades mezcladas, frente a la uniformidad de la más antigua.

Concretamente, la parte antigua está, casi en su totalidad, resuelta con piedra caliza, que procede de unas canteras situadas en el paraje llamado "La Pedrera", junto a la carretera Morella-Alcañiz, a unos 5 Km. de la población. Se trata de una caliza de tono gris, muy compacta y algo blanda, con la particularidad de que su alteración superficial, con el tiempo, le da un tono ocre, con el que aparece el conjunto de la fachada.



Foto 2

Aunque esta piedra es bastante resistente, lo que podremos comprobar al estudiar sus características físicas, pre-

senta una lateración más bien de tipo superficial, a modo de escoriaciones, y de forma muy desigual en los distintos sillares. En algunas zonas, esta forma de alteración llega a desgajar trozos de una cierta profundidad, pero lo habitual es que sea una escoriación de poca profundidad, a modo

	Cl-	S04z	C03H-	Ca++	Mg++
Can't. Pedrera	21	24	26.8	17.6	3.8
Caliza Portada	212	480	56	265.8	7.7
Can't. Arenisca	11	12	41.5	12.9	4.8
Arenisca Ábside	12	24	36.6	9.6	9.6
Can't. Xiva	9	10	56	26	0
Pedestal Apost.	13	96	37.8	22.4	8.6

Tabla 1

de pequeñas lajas que dejan ver el tono azulado de la piedra base, dando la impresión en algunos sitios, de "picaduras".

Junto a esta piedra aparecen numerosos sillares, sobre todo en la parte exterior del ábside y en la espadaña y también en los parámetros de la parte posterior, de una arenisca con un aspecto margoso, con vetas muy diferenciadas de tonos ocre y marrones, e incluso, con estratos muy finos de aspecto ferruginoso. También se encuentra muy utilizada en el interior, próxima a la puerta de los Apóstoles. Esta piedra es llamada en el terreno, "Sauló" y procede de una cantera próxima al la Fábrica de Giner, a orillas del río Bergantes. Es de peor calidad que la caliza y, sobre todo en el interior, se encuentra en proceso de alteración muy avanzado, por arenización.

Existe un tercer tipo de piedra de la que básicamente están construidas las dos portadas, en su parte escultural y de ornamentación. Su aspecto se diferencia claramente de la caliza azulada, ya comentada, y aparece como una piedra lisa de tonalidad ligeramente ocre, en superficie, ya que interiormente es muy clara, casi blanca, muy compacta y microgranulada.

No ha sido posible localizar documentación que indique

CANTERA CALIZA AZULADA	
Abrasión (longitud media huella)	25,52 mm
" (volumen materia perdida)	139,32 mm3
Porosidad accesible al agua	1,4 %
Densidad aparente	2,655 gr/cc
Absorción de agua	0,55 %
Resistencia compresión estado seco	454 Kp/cm2
Succión capilar	0,0014 gr/cm2 min.
Dilatación lineal por absorción	0,04 mm/m
CANTERA ARENISCA "SAULO"	
Abrasión (Longitud media huella)	31,20 mm
" (Volumen materia perdida)	254,80 mm3
Porosidad accesible al agua	1,94 %
Densidad aparente	1,959 gr/cc
Absorción de agua	9,55 %
Resist. Compresión	79 Kp/cm2
Succión capilar	0,2502gr/cm2 min.
Dilatación lineal	0,20 mm/m
CANTERA CALIZA DE XIVA	
Abrasión (longitud media huella)	37,49 mm
" (volumen materia perdida)	443,56 mm3
Porosidad accesible al agua	1,7 %
Densidad aparente	2,655 gr/cc
Absorción de agua	0,55 %
Resistencia compresión estado seco	441 Kp/cm2
Succión capilar	0,0011gr/cm2 min.
Dilatación lineal por absorción	0,04 mm/m

TABLA 2

la procedencia de esta piedra, aunque en otros monumentos de Morella se ha utilizado una muy parecida, cuya cantera se encuentra en la sierra de Xiva, en Morella la Vella y muy cerca de Morella.

La alteración más habitual en esta piedra es por costras de ennegrecimiento o arenización, donde ha roto la costra. Este tipo de alteración aparece en casi todas las figuras de ambas portadas, así como en los pedestales (Foto 2). También se presenta una alteración, en forma alveolar, en algunos sillares próximos al dintel de la puerta de las Vírgenes, donde aparecen estos fenómenos de alveolización junto a desconchaduras de la capa de ennegrecimiento.

Por último, y en este tipo de piedra es más notorio, que en la caliza azulada, aparece una importante acción biológica; presencia de pequeñas plantas, lo que se propicia también por los huecos de las huellas, debido a la desaparición de las cales, quizá de mala calidad.

5. ANALISIS QUIMICO DE SALES SOLUBLES.

Se han analizado las sales solubles de una muestra de la caliza azulada, recogida del paramento exterior junto a la Portada de los Apóstoles; de una muestra de la arenisca "saúló", recogida del paramento posterior del ábside y de una pequeña muestra del pedestal de uno de los apóstoles, así como de las tres canteras. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla I.

Destacan, en las muestras de cantera, los relativamente altos valores de cloruros y sulfatos en la caliza azulada lo que unido a los de calcio y magnesio solubles, denota que se trata de una caliza algo dolomítica. También destacan los valores altos de bicarbonatos solubles de la caliza de Xiva, aunque los demás parámetros son normales por lo que podríamos decir que no se trata de una roca magnésiana.

Por lo que se refiere a las muestras del monumento, destacan de forma clara los valores de la muestra de la caliza azulada, sobre todo en sulfatos y calcio. Esto hace pensar en algún aporte puntual como serían las hogueras que tradicionalmente se encienden frente a esta fachada, con motivo de las fiestas, y por supuesto, durante años, los combustibles fósiles y vegetación que se consumen en una zona tan fría como es Morella. Lógicamente, no debe descartarse la acción de otras fuentes de contaminación que contengan, entre sus gases, SO_2 .

En efecto, el incremento de iones de sulfato y calcio, es decir yeso, es indicativo de la alteración por disolución y transformación del carbonato cálcico, cementante de la roca, por acción del agua acidificada (1).

En otros casos, podría deberse al aporte de yeso, no por acción atmosférica sino por acción antrópica, debido a intervenciones o acciones humanas con yesos y cales.

5. ENSAYOS FISICOS.

Por razones obvias, de cantidad de muestra necesaria para realizarlos, este tipo de ensayos sólo se ha realizado a las muestras de cantera. Los resultados figuran en la Tabla 2.

En general los resultados se pueden comparar con tablas de valores obtenidas de las normas ASTM así como recomendados por la RILEM (2) y (3).

Por lo que se refiere al ensayo a "comprensión seca", lo hemos referido a ensayos obtenidos para calizas por otros autores (Jiménez Salas y otros. 1981).

También se han hecho, dadas las características climáticas de la zona, ensayos de "heladicidad" de acuerdo con las recomendaciones de normas UNE. De la misma manera se han obtenido las curvas de saturación y evaporación para los tres tipos de piedra.

De esta serie de ensayos se desprenden, de forma somera, las siguientes consideraciones: En primer lugar la buena calidad de la "caliza azulada", desde el punto de vista constructivo lo que es acorde con su alteración que es, solo, de tipo superficial.

Respecto de la arenisca "saúló", podemos ver unos parámetros, en efecto, propios de una arenisca microporosa y por tanto propensa a la alteración vía esos poros, ya que todos los parámetros relacionados con su porosidad (absorción de agua, succión capilar, etc.) son muy superiores a las dos calizas.

Y en cuanto a la "caliza de Xiva", es posible ver unas cualidades intermedias entre la caliza y la arenisca, lo que, en efecto, la califica como una caliza microgranuda, que analizada en la situación geológica de la cantera, la confirmamos como una roca que presenta microfácies de intrabiomicrocristas o biomicrocristas. Sin embargo, hemos de destacar su alta densidad, en comparación con las calizas medias y su alta resistencia a compresión. Su porosidad evidencia una cierta propensión a la penetración de agua y gases a través de sus microporos.

6. MICROSCOPIAS.

La muestra de cantera de la caliza azulada, vista en microscopía de reflexión, se reconoce una bioesparita; caliza con bioclastos de tipo packstone con cemento sparry, intraclastos y bioclastos de moluscos, algas, gasterópodos y bivalvos.

La muestra del monumento, nos aparece, en lámina delgada, como una micrita tipo Sparse, con 10 a 15 % de aloquímicos bioclasticos. En microscopía de reflexión se reconoce una cierta alteración superficial y en otras áreas se manifiesta una franca desagregación, en la que se produce una especie de polvillo cristaino.

La de cantera, en SEM, aparece muy compacta y con alta cristalinidad, que llega a ser notable en la calcita de la pared de algún microfósil. Si se realiza un microanálisis en estas zonas, resulta prácticamente calcio; se trata por tanto de una caliza esparítica.

La muestra de arenisca, de cantera, se muestra sorprendentemente, en lámina delgada, como una calcoarenisca muy micáfera con aspectos de tectonización.

Las muestras del monumento, recogidas en sillares que presentan embolsamientos de lájas a punto de despegarse de la roca base, vistas en microscopía de reflexión muestran el carácter habitual de esta arenisca microgranuda, con abundancia de micas y manchas ferruginosas, que se destacan. Las micas, predominantemente biotíticas se presentan acumuladas en bandas. Es evidente que estos materiales vienen a constituir la motivación principal de la alteración química, física y biológica de esta roca, completando la posible acción medioambiental supuesta en la zona y que se denota en la presencia de yeso en algunas áreas de la muestra.

Vista en Scanning, el microanálisis de rayos X nos confirma la frecuencia con que, en muy diversos puntos, encontramos el hierro acompañado de minerales de la arcilla, lo que no es de extrañar después de la paragénesis de minerales vistos en lámina delgada, entre los que se encuentran los dos tipos principales de micas: moscovita y biotita, entre otras. La muestra de arenisca, recogida en el monumento, permite observar la desagregación de los minerales, así como la abundancia, en algunas zonas, de las formas aciculares de hierro hematítico-ilmonítico.

Respecto a la caliza de Xiva, la muestra de cantera presenta una altísima cristalinidad, así como densidad y compacidad, y poca porosidad en rotura espontánea. Si que es posible, en áreas fosilíferas, observar como destacan los microfósiles de esta bioesparita.

También se ha podido confirmar, en estas observaciones, alguna de las características físicas que se insinúan en los ensayos, como es la existencia de abundantes microporos.

En Scanning, la muestra del monumento, recogida en la base del capitel de uno de los apóstoles, nos confirma lo



visto en el microscópio petrográfico y la lupa zoom, por lo que se refiere a grado y forma de alteración, que consiste básicamente en una desagregación, que es casi arenización. Esto junto con el mX , nos confirma efectivamente, una piedra desagregable en sus carbonatos, que la caliza azulada. El microanálisis prueba el predominio de Ca, en parte ligado a yeso, y la presencia de elementos típicos de la arcilla (Al, Si, Cl, K y trazas de Fe).

Concretamente, de esta muestra se cogió una pequeña costra, que muestra en Scanning, la acción biológica de líquenes, entre otros vegetales y organismos, e inicio de formación de sales, con la desagregación que producen y la aparición de formas de oxalato cálcico monohidrato (Whedellita) que colaboran en esta alteración por arenización (Foto 3).

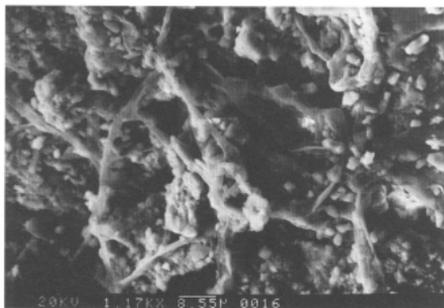


Foto 3

Hay algunas muestras que quizá por la acción antrópica, los valores de yeso se disparan por encima de lo que sería una alteración medioambiental de la caliza originaria; ha de corresponder a los apuntados del empleo de cales y yesos en algunas áreas de la portada.

CONCLUSIONES.

1.- Por las técnicas analíticas empleadas se encuentran diferencias notables entre los materiales de cantera y los del monumento, lo que hubiera sido más completo si se

hubieran podido realizar ensayos físicos a los materiales de los edificios, tarea difícil por razón de la cantidad de muestra necesaria y que arrojaría luz sobre el cambio en las cualidades de las rocas, pero que, en cualquier caso, es muy significativa para entender el comportamiento de la roca en el monumento.

2.- Por lo que respecta a las sales solubles, estas presentan unas posibilidades de conocimiento del aumento en sales del material del monumento que resultan muy importantes. Quizá el que más obvio resulta es el ión sulfato, ya que éste sólo puede provenir de intervenciones (enyesados o enlucidos) o por acción antrópica o medioambiental (algún tipo de contaminación que contenga compuestos de azufre).

3.- Como hipótesis de trabajo, de los efectos medioambientales están; el incremento del valor del azufre en la caliza azulada y en algún caso de los cloruros, cuyo origen no está en la propia piedra y, por tanto, ha de ser un aporte medioambiental.

4.- Por lo que se refiere a las causas de alteración, éstas son múltiples, complejas y están ligadas a cada tipo de piedra, a su colocación en el edificio, orientación, grado de exposición, etc. Destacan como provenientes del exterior, las pátinas, sobre todo de ennegrecimiento, que están en el origen de costras y escamaciones, por la formación de sales solubles en superficie. Estas se dan en todos los tipos de piedra aunque afecten más a las areniscas microporosas.

Las escoriaciones, en superficie, son más propias de la caliza azulada, compacta y poco porosa; mientras que los fenómenos de arenización y alveolización se dan en la arenisca y en la caliza microporosa de Xiva.

BIBLIOGRAFIA.

EUROPEAN COMMUNITY R/D ON ENVIROMENTAL PROTECTION RESEARCH RIEWIWS.: The effects of air pollution on historic buildings and monument. EUR No 11626. Brusells-Luxembourg 1989.

RILEM.: Essais recommandés pou l'alteration des pierres et évaluer l'efficacité des méthodes de traitement. Materiaux et Construction, 13. 1980.

UNE.: Catálogo de Normas UNE 1985. Instituto Español de Normalización. (C.S.I.C.) Madrid 1985.

DIAGNOSTICO CONSTRUCTIVO DE FACHADAS DE MADRID

Juan Monjo Carrió, Dr. Arquitecto, Catedrático
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid

RESUMEN

Se recogen y analizan los resultados estadísticos obtenidos de un BANCO DE DATOS PATOLOGICOS de las fachadas de Madrid, creado por el autor en el Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la U.P.M.

El análisis se refiere, sobre todo, a los datos relativos a las lesiones detectadas y sus causas, así como a los materiales y elementos constructivos afectados, llegando, como conclusión a un DIAGNOSTICO CONSTRUCTIVO de dichas fachadas en términos de "Estado patológico general", "Síntomas", "evolución" y "tratamiento".

SUMMARY

The statistical results obtained from a PATHOLOGICAL DATA BANK of facades of Madrid made by the author at the Dept. of "Construcción y Tecnología Arquitectónicas" of the U.P.M. are obtained and analyzed.

This analysis, referring mainly to the data related with the "wounds" detected and their causes, as well as the materials and constructive elements affected, reaching, as a conclusion, a CONSTRUCTIVE DIAGNOSIS of those facades in terms of "pathological situation", "symptoms", "evolution" and "treatment".

PALABRAS CLAVE: CONSTRUCCION, FACHADAS, PATOLOGIA

1.—INTRODUCCION

En el I CONGRESO LATINOAMERICANO DE PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCION, celebrado en Córdoba (Argentina) en Abril de 1991, presenté el trabajo titulado "Chequeo constructivo de fachadas" de Madrid en el que se describía el trabajo realizado bajo mi dirección en el Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la Universidad Politécnica de Madrid entre los años 87 y 90, consistente en la toma de datos patológicos de las fachadas urbanas de Madrid y en la confección, con los mismos, de un BANCO DE DATOS PATOLOGICOS de dichas fachadas para su uso en estudios y análisis relacionados con las mismas.

Asimismo, en el nº 396 de julio/agosto de 1989, de la revista "Informes de la Construcción" que publica el Instituto Eduardo Torroja, publicó un primer artículo sobre dicho trabajo, en el Ecuador de su trayectoria, y durante el presente año, espero publicar la segunda parte de dicho artículo en el que se ofrecen los resultados completos del mismo.

En este congreso, y como continuación a mi comunicación al que tuvo lugar en Argentina, quiero desarrollar uno de los usos más elementales que se le puede dar al BANCO obtenido, en base a los datos estadísticos que de él pueden salir. Me refiero al de alcanzar un DIAGNOSTICO GENERAL sobre el estado constructivo de las fachadas de Madrid, diagnóstico que nos permita conocer la situación patológica de dichas fachadas (lesiones más corrientes, materiales y elementos constructivos más afectados,

etc.) y proponer soluciones de reparación comunes así como las medidas de prevención más necesarias.

2.—PLANTEAMIENTO

En el estudio de un proceso patológico podemos distinguir tres fases claramente diferenciables, a saber:

- Identificación de los síntomas (de la lesión o lesiones constructivas, en nuestro caso)
- Análisis del proceso, con indicación de materiales y elementos constructivos afectados, así como estudio de la evolución de la lesión hasta alcanzar un diagnóstico adecuado
- Propuesta de reparación, para rehabilitar la unidad constructiva lesionada y, en su caso, de prevención para tratar de evitarla en casos sucesivos.

Indudablemente, si nos equivocamos en la primera ó en la segunda fase, el diagnóstico acaba siendo erróneo y la reparación inútil (incluso, contraproducente). Por ello, resulta fundamental disponer del máximo de datos que nos ayuden, tanto a la correcta identificación de las lesiones, como a un análisis del proceso patológico suficientemente documentado.

Por otra parte, en conjuntos edificatorios de características similares, sometidos a acciones externas comunes, es lógico suponer que se van a repetir los procesos patológicos, dentro de una determinada tipología, con causas coincidentes como origen del proceso, que siguen evoluciones parecidas hasta llegar a lesiones idénticas. Entonces, parece que tiene sentido buscar diagnósticos comunes que faciliten la labor de los técnicos profesionales y de los estudiosos del tema de comprender esos procesos patológicos, tanto para su conocimiento como, incluso, para su prevención.

Este razonamiento nos ha llevado a realizar un trabajo de chequeo constructivo de fachadas con los siguientes objetivos:

Identificar las lesiones constructivas que afectan a las fachadas urbanas de Madrid, como representativas de una gran ciudad.

Analizar los procesos patológicos que han llevado a dichas lesiones, con conocimiento de sus causas, detección de factores constructivos y ambientales condicionantes y propuesta de actuaciones de reparación y mantenimiento.

Crear un banco de datos patológicos relativo a las fachadas urbanas que, con el adecuado tratamiento informático, nos permita

- a) Conocer la importancia relativa (en porcentajes) de las lesiones en fachadas, materiales y unidades constructivas afectadas, y causas más corrientes, tanto directas como indirectas.
- b) Alcanzar diagnósticos comunes, con indicación de los principales factores condicionantes, tanto constructivos (material, técnica constructiva, época, uso, situación geométrica, etc.) como ambientales (orientación, contaminación, nivel de exposición, etc.)

c) Llegar a propuestas comunes de diseño constructivo, tanto para la reparación y mantenimiento, como para la prevención en fase de proyecto o de ejecución.

d) Estudiar temas constructivos concretos relacionados con la Patología, que nos ayuden a investigar procesos patológicos determinados, relativos a un material, un elemento o una técnica constructiva.

3.—DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

3.1.- Toma de datos

Se llevó a cabo durante tres cursos consecutivos (87/88, 88/89 y 89/90) con alumnos de 6º curso de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, en base a unas fichas confeccionadas "ex profeso" para recoger dos tipos de datos:

- Datos de identificación, para conocer la tipología de los edificios que se utilizaron de muestra y su entorno.

- Uso del edificio
- Edad del edificio
- Materiales principales de la fachada
- Nivel de contaminación de la zona, según datos del Ayuntamiento
- Orientación de la fachada identificada
- Existencia de lesión en la fachada
- Estado de conservación de la fachada

- Datos de lesión, para conocer, para cada una de las lesiones observadas, las características constructivas y ambientales que pueden haber tenido alguna incidencia en el proceso patológico, o han podido verse afectadas por él.

- Material afectado por la lesión
- Elemento constructivo afectado por la lesión
- Localización geométrica de la lesión dentro de la fachada
- Nivel de exposición de la zona de la fachada afectada por la lesión

Como resultado de esta labor, el número de fichas recogidas ha sido:

Datos de identificación: 8.190
Datos de lesión: 17.430

Para todo ello, se dividió la ciudad de Madrid en ocho zonas, utilizando el eje del Paseo de la Castellana como división vertical, con cuatro zonas a cada lado, según se indica en el plano de anejo 1.

3.2.- Estudio de las lesiones

De un 10% aproximado de las lesiones detectadas se ha realizado un análisis de su proceso patológico para conocer sus causas y su evolución. Para ello, después de un detallado estudio de dicho proceso, se anotaron los siguientes datos:

- Causas directas e indirectas que originaron el proceso
- Restauraciones practicadas hasta el momento
- Reparación que se proponía, tanto sobre las causas como sobre la lesión
- Prevención que se debería tener en cuenta para evitar la lesión en concreto

Se llevó a cabo un total de 2.100 estudios de lesiones

3.3.- Análisis estadístico

Para llevar a cabo esta parte del trabajo, se confeccionó un programa para un "banco de datos" informatizado, partiendo de una base de datos convencional (D base III-plus) y del sistema operativo MS DOS. Ello permitió el archivo de

los datos que se iban obteniendo hasta introducir los siguientes,

- Datos de identificación: 4.570
- Datos de lesión: 11.620
- Estudios de lesiones: 1.246

Con ellos se han obtenido los primeros resultados estadísticos relativos a la situación patológica de las fachadas de Madrid, que constan en los cuadros del 1 al 9 del anejo 2.

A partir de ellos, y completando los datos estadísticos necesarios, se puede proceder a los diferentes diagnósticos. De ellos, el primero y más general es el que incluye a continuación.

4.- DIAGNÓSTICO GENERAL DE LAS FACHADAS DE MADRID

Para alcanzarlo vamos a observar, en primer lugar, los datos estadísticos que podríamos llamar "primarios", que resumen los porcentajes generales obtenidos directamente de los diversos campos contenidos en las distintas fichas, y que están reflejados en los cuadros 1, 2 y 3.

De ellos podemos desprender los siguientes comentarios generales, como análisis previo, para pasar a continuación a un estudio más amplio de la distribución de las lesiones en función de los materiales y elementos constructivos afectados, lo que nos proporcionará la posibilidad de alcanzar un diagnóstico más completo. Veamos los aspectos más representativos.

4.1.- Datos de identificación

4.1.1.- El estado de conservación de las fachadas observadas sigue una distribución claramente gaussiana como era de esperar, tanto por el hecho de ser un "dato resumen" como por ser una "opinión" del observador, alcanzando la calificación "media" casi el 50% del total.

4.1.2.- En cuanto a la edad de los edificios observados dominan los construidos entre 1940 y 1979 (40%) seguidos de los ejecutados entre 1900 y 1940 (30%) lo que nos da un indicio de la edad de conjunto de los edificios de nuestra ciudad, donde dominan claramente los de mediados de siglo.

4.1.3.- El dato de existencia de lesión es bastante significativo del estado patológico de las fachadas urbanas, pues, aunque el estado de conservación general resulta ser "medio", sin embargo, la gran mayoría de ellas (el 74%) sufren más de dos lesiones de las nueve tipificadas, lo que es indicio, tanto de los problemas constructivos generales, como de la falta de mantenimiento. Por otra parte, el porcentaje de fachadas "sin lesión" (11%) es incluso inferior a la suma de las calificadas como "nueva" y "restaurada" en el primer dato (13%) lo que implica la aparición de lesiones incluso en estos dos tipos de edificios

4.1.4.- Por último, en cuanto a los materiales principales constitutivos de las fachadas observadas, sus resultados son muy interesantes para su comparación crítica con los lesionados de la siguiente ficha. Así los materiales de fachada más utilizados en Madrid son, a partes casi iguales, el ladrillo visto y el revoco, dominando este último. Si le añadimos los enfoscados, como "revoco de pobres" su dominancia es absoluta (39% sobre 25%). Del resto de materiales sólo cabe destacar los elementos metálicos y el chapado de piedra.

4.2.- Datos de lesión

Son los datos realmente orientativos del estado patológico de las fachadas y, por tanto los más interesantes, aunque necesitemos los anteriores, tanto para referencia general, como para medida de la incidencia de diversos facto-

res en cada una de las lesiones o estados patológicos concretos.

4.2.1.- En primer lugar, en las lesiones, de las que se tipifican las nueve de la ficha, se observa la predominancia de dos de ellas; los desprendimientos (20%), y las suciedades (21%) lo que es un índice evidente de la conjunción de dos factores; la contaminación, por un lado, y la falta de mantenimiento (limpieza) por otro.

El resto de lesiones se distribuye de un modo más o menos uniforme, destacando las humedades (14%) que, en cualquier caso, puede estar en el origen de otras lesiones (eflorescencias, erosiones, corrosión, desprendimiento, etc.) la erosión (12%) en la que influyen la pobreza del material, por un lado, y la crudeza del clima continental, por otro, y, por último, el conjunto de grietas y figuras (6 + 9 = 15%) con diversos orígenes mecánicos y térmicos. En el siguiente apartado analizaremos con más extensión esos porcentajes.

4.2.2.- Los materiales más afectados resultan ser los revocos (31%) aunque en una proporción superior a la de su presencia en las fachadas, lo que indica la debilidad general de este material. Por el contrario, el ladrillo visto sólo se ve lesionado en un 13% de los casos, cuando su presencia en las fachadas es del 25%, lo que es un índice evidente del buen comportamiento general del producto ante el ataque de agentes atmosféricos; así como de su capacidad para disimular las suciedades por depósito y lavado diferencial, tanto por su color, como por la textura horizontal de su fábrica.

En cuanto al resto de materiales, sólo cabe destacar el enfocado que con un 14% es perfectamente asimilable al revoco, y con un porcentaje de lesión muy similar al de su presencia general en fachadas (14 frente a 13). Los demás se ven afectados en proporciones pequeñas y muy similares y, a la vez, sensiblemente parecidas a las que nos daban los datos de identificación.

4.2.3.- Los elementos constructivos afectados suponen también un dato importante para conocer el estado patológico de las fachadas, ya que las lesiones constructivas lo son, sobre todo, de las unidades o elementos, más que de los materiales que los constituyen y, en cualquier caso, a la hora de estudiar los procesos de reparación o de tomarse las medidas de prevención, hay que hacerlo, primero sobre los elementos y después sobre los materiales.

En nuestro caso aparecen dos, de los 10 elementos referenciados, que destacan en sufrir procesos patológicos; "paño ciego" y "balcón". El primero (24%) debido, probablemente, a ser el más dominante en superficie, pero también a que resulta con menor protección ante los agentes atmosféricos que, como veremos, son los mayores causantes directos de la patología de las fachadas. Por otra parte, con los sistemas constructivos dominantes, existe una incidencia importante de la estructura en la fachada, por mala solución constructiva que se traduce en diversos tipos de lesiones precisamente en esos paños ciegos (erosiones, humedades, eflorescencias, etc.).

Los balcones, por su parte (21%) al ser elementos salientes del paño de fachada, están claramente más expuestos a los agentes exteriores y tienen, por tanto, mayores posibilidades de ser afectados por los procesos patológicos.

En tercer lugar destacan las "cornisas", con un 11% de casos lo que se puede explicar por la misma razón de mayor nivel de exposición (en este caso, la mayor de todas) al igual que las "molduras horizontales", con un 4%.

Caso aparte puede considerarse el "zócalo", con un 8% de casos, a pesar de estar más protegido que el resto frente a los agentes atmosféricos. sin embargo, resulta una situación muy expuesta a los ataques del propio uso del edificio (personas, vehículos, etc.) así como a la acción del agua de capilaridad, lo que puede explicar el porcentaje de lesiones. El resto de elementos tiene porcentajes muy poco significativos.

4.2.4.- La localización resulta un dato más adecuado para estudios pormenorizados de lesiones, elementos constructivos y materiales, aunque también nos puede dar unas pautas generales para medidas de prevención en diseño. Así, cabe comentar el hecho de que haya un 48% de casos en los que la situación patológica aparece generalizada en toda la horizontal de la fachada y un 31% que lo hacen en toda la vertical, lo que resulta un indicio claro de un factor importante: casi la mitad de las lesiones son de carácter general (no puntuales) por lo que demuestran defectos sobre todo de diseño, así como de ejecución. Ello exige urgentes medidas de prevención, de tipo global, que pueden deducirse de los datos de este banco patológico.

4.3.- Datos relativos al estudio de la lesión

Como complemento a los datos de lesiones y materiales afectados del punto anterior resultan muy útiles los datos generales correspondientes al estudio de los procesos patológicos con vistas a su restauración y prevención. Para ello los aspectos básicos son:

- causas (directas e indirectas)
- mantenimiento (restauraciones practicadas)
- reparaciones propuestas
- medidas de prevención necesarias

4.3.1.- Las causas de los procesos patológicos estudiados se distribuyen de la siguiente manera.

En cuanto a las directas, dominan claramente los agentes atmosféricos con un 46%, lo que coincide con el efecto del mayor nivel de exposición mencionado antes. Ello nos indica la necesidad de utilizar materiales resistentes a los mismos, además de protegerlos convenientemente.

En cuanto a las indirectas, que afectan a las medidas de prevención, se distribuyen entre tres factores fundamentales; ("Proyecto") "diseño constructivo" y "mantenimiento". Los dos primeros se pueden englobar en uno sólo ("Proyecto") que pasaría a ocupar un lugar muy destacado con el 50% de los casos lo que es de verdadera preocupación, sobre todo en la fiabilidad de la formación académica de nuestros proyectistas. En cualquier caso, habría que analizar la distribución de estos porcentajes a lo largo del tiempo para conocer su evolución (positiva o negativa).

En cuanto al otro factor, el "mantenimiento" con un 28% de los casos resulta también un dato significativo pues indica la importancia de esta actuación para asegurar el buen estado de los edificios, lo que, como veremos a continuación, no está arraigado todavía en la mentalidad de propietarios y usuarios. Estos datos coinciden, sensiblemente, con otros similares obtenidos en diversos países, referidos normalmente a problemas estructurales, aunque en nuestro caso cobra más importancia, si cabe, el proyecto.

4.3.2.- Los datos referentes a las restauraciones practicadas son, precisamente, un indicio de la falta de conciencia de propietarios y usuarios que mencionaba en el párrafo anterior. De hecho, en un 73% de las lesiones analizadas no se había tomado ninguna medida para su reparación. En el resto, dominan las reparaciones a base de nuevos revestimientos (9%) que normalmente son inadecuados e indican, una vez más, la falta de preocupación técnica y de conocimientos adecuados, al enfrentarse a un problema patológico de estos tipos.

4.3.3.- En cuanto a las reparaciones que se proponen, en general, debemos referirnos independientemente a la

1 Ver artículo del mismo autor titulado "Errores Sistemáticos en el diseño constructivo de fachadas aparecido en el n° 407 de la revista Informes de la Construcción"

causa y al efecto, para evitar el error común de preocuparse por igual entre "directas" e "indirectas", lo que produce el error de producir este último, olvidando aquella, lo que producirá (y produce) la nueva aparición de lesión al no anularse el proceso.

Con respecto a las causas, las propuestas se distribuyen por igual entre "directas" e "indirectas", lo que puede indicar un error de apreciación en la interpretación de datos, ya que la actuación sobre las causas directas es muchas veces imposible (agentes atmosféricos, por ejemplo) mientras que sí lo es sobre las indirectas a base de corregir errores constructivos o aplicar nuevos revestimientos. Habrá que analizar este hecho.

En cuanto a los efectos, los mayores porcentajes se lo llevan las actuaciones de "revestir" (31%) y "reponer" (36%) lo que tiene sentido si recordamos que las lesiones más frecuentes eran las suciedades (revestir) y los desprendimientos (reponer). Asimismo, tienen altos porcentajes las sugerencias de "sustituir" (19%) y "nuevo elemento" (14%) lo que indica, o bien errores de material (sustituir) o de diseño constructivo (nuevo elemento).

4.3.4.- Por último, las medidas de prevención propuestas coinciden, lógicamente, con las causas indirectas que se habían estimado como origen de los procesos patológicos, lo que, en cualquier caso, es muy buen índice de la fiabilidad del análisis realizado.

4.4.- Análisis de la distribución de lesiones en función de los materiales y elementos constructivos afectados, así como de las causas.

4.4.1.- Lesión y material

Los cuadros 4 y 5 recogen los porcentajes relativos entre la lesión y el material afectado, de tal modo que el primero contiene la distribución de las lesiones entre los diversos materiales, lo que nos permite saber cuales son los más débiles ante cada una de ellas, mientras que en el segundo, se refleja como se distribuyen cada uno de los materiales entre las distintas lesiones, con el objeto de conocer cuales son las lesiones que mas les afectan.

En cualquier caso, estos porcentajes hay que analizarlos comparándolos con los generales vistos en los puntos anteriores. Veamos.

4.4.1.1. Lesiones (cuadro 4)

- Las **humedades** afectan a los distintos materiales según una distribución muy próxima a la general, aunque se aprecie un ligero aumento en el ladrillo visto y en la madera, lo que resulta razonable dada su porosidad.

- Las **grietas** mantienen también su distribución semejante a la general, excepto para los metales, más incluso que las anteriores, lo que indica la debilidad general de los materiales empleados ante los esfuerzos mecánicos.

- Las **fisuras**, sin embargo, marcan ciertas diferencias interesantes. Disminuyen mucho en ladrillo visto (de 13% a 4%) y aumentan en revocos (de 39% a 49%) y algo en enfoscados, lo que resulta lógico al ser estos dos últimos materiales de acabado (mas "fisurables") y el primero, material constitutivo. En cualquier caso, acentúa la debilidad de los acabados continuos, en general.

- Los **desprendimientos** marcan también diferencias destacables, afectando, sobre todo, a materiales de acabado, con un incremento importante en enfoscados y pinturas (de 19% a 30%) que debe corresponder, sobre todo, a la pintura, y en plaquetas cerámicas (de 4% a 11%) probablemente por su errónea colocación.

- La **erosión** afecta, sobre todo, al ladrillo visto, con un incremento muy destacado (de 13% a 47%) con un importante aumento, también, en piedra maciza (de 2% a 7%) mientras que disminuye en enfoscados y revocos, todo ello

explicable por la estructura constructiva de esos materiales.

- Las **eflorescencias** tienen una distribución muy semejante a la anterior. Así, aumenta también en ladrillo visto (de 13% a 40%) y algo en piedra (de 2% a 5%) disminuyendo en enfoscados y revocos. Las causas hay que buscarlas en el contenido de sales de esos materiales y en la lesión previa de humedad que, como hemos visto, aumentaba también en los ladrillos.

- La **corrosión**, como es natural, se concentra en los metales (77%) quedando para el resto las consecuencias de los churruetones, aunque se puede destacar cierto aumento en el hormigón "in situ", donde pueda influir la "afioración" de su armadura.

- La **suciedad** se distribuye con bastante paralelismo en todos los materiales, aunque podemos destacar el aumento en piedra chapada (del 8% al 16%) debido, probablemente, tanto a su situación (antepechos y molduras) como a su porosidad.

- Los **organismos**, por último, presentan un cierto aumento en ladrillo visto, piedra maciza y hormigón "in situ", y aumentos importantes en hormigón prefabricado (de 3% a 8%) y, sobre todo, en madera (de 2% a 10%) debido a su textura superficial, el primero, y a su carácter orgánico, la segunda. Por el contrario, existe una destacada disminución en los enfoscados pintados (de 19% a 5%) probablemente gracias al carácter hidrófugo de las pinturas para exteriores.

4.4.1.2.- Materiales (cuadro 5)

- **Ladrillo visto**, aunque no sea uno de los más lesionados, se ve afectado, sobre todo, por las erosiones (33%) cuando estas tampoco son de las lesiones mas abundantes. Ello nos indica la debilidad del material ante esa situación patológica, debida, probablemente, a su excesiva porosidad en muchos casos. El origen suele estar en que el proyectista se preocupa más por el aspecto del ladrillo que por sus características físicas.

También se ve afectado por las suciedades y las humedades, aunque en porcentajes muy parecidos a los generales, por lo que no suponen novedad. No así, por el contrario, con las eflorescencias, donde aumenta sensiblemente (del 5% al 12%) lo que, de nuevo, es indicio de la falta de exigencia o estudio previo en relación a las características técnicas del material.

- El **enfoscado pintado**, aumenta, sobre todo, en desprendimientos (del 20% a 36%) lo que indica su debilidad ante esta lesión, y ligeramente en humedades, grietas y fisuras. Disminuye, sin embargo, en suciedades (del 21% a 15%) lo que nos muestra su mejor funcionamiento ante ellas. Por lo demás, no resulta un material muy representativo.

- El **revoco**, como material más utilizado, no presenta prácticamente variaciones con respecto a los porcentajes generales si exceptuamos ligeros aumentos en desprendimientos (de 20% a 26%) y en suciedades (de 21% a 25%) indicando la debilidad ante ellos, sobre todo los desprendimientos.

- La **plaqueta cerámica**, material poco utilizado y, sin embargo, con unas diferencias notables con respecto a los datos generales, con un importante aumento en los desprendimientos (del 20% al 45%) como consecuencia de su defectuosa colocación, y disminuciones apreciables en humedades (del 14% a 7%) y suciedades (del 21% a 13%) indicio de su mejor compacidad y textura superficial.

- El **metal**, no resulta en absoluto un material representativo, y lógicamente concentra sus situaciones patológicas en las corrosiones (75%) quedando el resto sometidos a desprendimientos y suciedades, aunque en proporciones sensiblemente inferiores a las generales.

- La **Piedra maciza**, material con muy poco uso, presenta un aumento importante en las erosiones (de 12% a 26%) y en los organismos (de 5% a 10%) lo que es consecuencia probable de su antigüedad y, en todo caso, de su porosidad.

- La **piedra chapada**, material más moderno, presenta, sobre todo, un aumento destacado en suciedades (de 21% a 41%) consecuencia de su textura y su situación, y una cierta disminución en desprendimientos (de 20% a 15%) a pesar de los evidentes errores en su colocación.

- El **hormigón "in situ"** muy poco usado, tiene, sobre todo, un aumento importante en organismos (de 5% a 17%) debido a su porosidad y textura superficial.

- La **madera**, por último, presenta aumentos destacados en su humedad (de 14% a 22%) y en organismos (de 5% a 14%) por su propia constitución, y disminuye sensiblemente en desprendimientos (de 20% a 7%) probablemente por su sistema de colocación.

4.4.2.- Lesión y elemento constructivo

Los cuadros 6 y 7 recogen los porcentajes relativos entre las lesiones y los elementos constructivos, con objetivos similares a los mencionados en el punto anterior (4.4.1.). Veamos.

4.4.2.1.- Lesiones entre elementos (cuadro 6)

- Las **humedades** presentan un aumento considerable en las cornisas (de 10% a 21%) debido a su situación expuesta, manteniendo los porcentajes generales en el resto, aunque disminuye en el apartado "general".

- Las **grietas** aumentan su porcentaje sensiblemente en huecos (de 2% a 12%) y en molduras, tanto verticales como horizontales, y en estructura vista, lo que demuestra la debilidad de los primeros, que suponen ya una "herida en el cerramiento", y la fragilidad de las segundas. Por lo demás, solo destaca cierta disminución en balcones (de 21% a 16%) y en "general" (de 10% a 4%).

- Las **fisuras** muestran unos porcentajes muy similares a los anteriores, aunque mantienen el correspondiente a los balcones.

- Los **desprendimientos** dan la sensación de ser la lesión más representativa, ya que mantiene los porcentajes generales excepto para las molduras verticales donde hay un aumento de 10% a 10%, lo que acentúa su debilidad en general.

- La **erosión** aumenta mucho en zócalos (de 8% a 19%) debido a la agresión mecánica directa y disminuye, sin embargo, en los balcones (de 21% a 9%) a pesar de ser un elemento más expuesto, como lo son los huecos y las molduras horizontales que sí aumentan.

- Las **eflorescencias** destacan, sobre todo, en los paños ciegos (del 24% a 33%) manteniendo sensiblemente los porcentajes en el resto.

- La **corrosión** se concentra, sobre todo, en barandillas, carpinterías de huecos y elementos sueltos, debido, seguramente, a los metales que los constituyen.

- La **suciedad**, disminuye claramente en los elementos más expuestos (cornisa, y balcón) y aumenta notoriamente en el apartado "general" (de 10% a 28%) ambos hechos, lógicos por el tipo de lesión.

- Los **organismos**, por último, aumentan en zócalos, cornisas, huecos y molduras (sobre todo horizontales) como es lógico debido a la existencia de rincones y zonas más protegidas en todos esos elementos, disminuyendo claramente en paños ciegos (de 24% a 11%) por la razón inversa.

4.4.2.2.- Elementos constructivos entre lesiones (cuadro 7)

- Los **zócalos** se ven afectados, sobre todo, por las erosiones, que aumentan su porcentaje con respecto al general (de 12% al 21%) debido a la mayor agresión mecánica en estos elementos, disminuyendo paradójicamente las suciedades (de 21% a 13%) a pesar de su mayor nivel de protección, debido, probablemente, a materiales más compactos y a mantenimiento más continuado.

- Los **paños ciegos** son los más representativos ya que mantienen, prácticamente, los porcentajes generales, debido, probablemente a ser los más abundantes.

- Las **cornisas**, aumentan sensiblemente en humedades (de 14% a 26%) y en desprendimientos (de 20% a 28%) lo cual tiene sentido por su mayor exposición, disminuyendo paradójicamente en erosiones (de 12% a 7%).

- Las **barandillas**, normalmente metálicas, concentran su mayor número de casos en las corrosiones, pasando del 8% general al 45%, disminuyendo, por tanto, en las otras lesiones.

- Los **balcones** destacan algo en humedades y desprendimientos, aumentando su porcentaje con respecto al general, y disminuyen en suciedades (de 21% a 11%) debido a su mayor exposición.

- Los **huecos** de puerta y ventana aumentan algo en las lesiones mecánicas (grietas, fisuras y desprendimientos) por su carácter de "herida" previa, así como en corrosión, por los materiales metálicos empleados.

- Las **molduras** tanto verticales como horizontales, sufren también las mismas lesiones mecánicas con cierto aumento sobre el porcentaje general, disminuyendo las verticales frente a las suciedades, debido, probablemente, a la facilidad de escorrentía del agua de lluvia.

- La **estructura vista**, aunque de poca frecuencia, destaca en cierto aumento de las grietas y fisuras, lo que puede ser índice de la falta de un tratamiento superficial específico al estar en fachada. Por la misma razón aparece también un aumento de las corrosiones.

- Los **elementos sueltos**, asimismo poco representativos, se ven afectados, principalmente, por los desprendimientos, la corrosión y las suciedades, dominando la segunda (40%) por los metales que suelen constituirlos.

- En cuanto al apartado "**general**", por último, como representativo de las lesiones que afectan a la fachada entera, destacan de un modo especial las suciedades (63%) y, en cierto modo, los desprendimientos (13%).

4.4.3.- Lesiones y sus causas

Por último, en este análisis específico de las lesiones y su evolución, veamos los porcentajes relativos entre las lesiones estudiadas (1,246) y sus causas, tanto directas como indirectas, reflejados en los cuadros 8 y 9, estudiando primero la distribución de lesiones entre las distintas causas, para saber su dependencia, y viendo después la distribución de las causas entre las diferentes lesiones.

4.4.3.1.- lesiones entre causas (cuadro 8)

- Las **humedades**, en lo que se refiere a las causas indirectas, suelen producirse, sobre todo, por error de proyecto y falta de mantenimiento, mientras que les afecta menos el diseño constructivo y los materiales, siguiendo muy de cerca los porcentajes generales. Con respecto a las directas, existe un dominio evidente de los agentes atmosféricos (55%) seguido de las lesiones previas, frente al resto.

- Las **grietas**, siguen una tónica similar en las causas indirectas, con aumento importante en el proyecto (de 27%

a 42%) y disminución en mantenimiento (de 28% a 19%). Por el contrario, en las causas directas dominan claramente los esfuerzos mecánicos (55%) lo que resulta lógico.

- Las fisuras, sin embargo, no presentan una causa indirecta dominante, a no ser el diseño constructivo. En las directas, sí encontramos dominancia en los agentes atmosféricos (dilataciones y contracciones) y los esfuerzos mecánicos, lo que era de esperar.

- Los desprendimientos presentan una situación algo similar a las fisuras en cuanto a causas indirectas, aunque con ciertos aumentos en ejecución y material. Por el contrario, en las directas dominan claramente los agentes atmosféricos (44%) y las lesiones previas (23%) lo que indica la influencia de los cambios de temperatura (sobre todo las heladas) ayudados por humedades y grietas.

- La erosión resulta con unos porcentajes parecidos a los generales, aunque aumente considerablemente la causa indirecta de diseño constructivo bajando la de proyecto. En cuanto a las directas, de nuevo aparece el dominio de los agentes atmosféricos (38%) aunque disminuya con respecto al porcentaje general.

- Las eflorescencias dependen, sobre todo, de errores de proyecto y diseño constructivo, con porcentajes muy similares a los generales. En las directas dominan claramente las lesiones previas y los agentes atmosféricos con aumento importante de las primeras (de 17% a 34%) lo que resulta lógico al ser consecuencia de humedades.

- La corrosión se debe, sobre todo, a mantenimiento (40%) con errores añadidos de proyecto y diseño constructivo. En cuanto a las directas, dominan los agentes atmosféricos (50%) seguidos de la contaminación, como era de esperar en una lesión de tipo químico.

- La suciedad es también consecuencia clara de la falta de mantenimiento (35%) con poca incidencia de la ejecución y del material. Entre las directas, dominio definitivo de contaminación y agentes atmosféricos a partes iguales.

- Los organismos, por último, siguen la tónica de ser consecuencia importante de falta de mantenimiento (34%) mientras que en las causas directas destaca el aumento de las lesiones previas (de 17% a 31%) como consecuencia de necesitar humedad.

4.4.3.2.- Causas entre lesiones (cuadro 9)

Causas indirectas:

- El proyecto afecta casi por igual a todos los tipos de lesiones, con porcentajes similares a los generales.

- El diseño constructivo también se distribuye de un modo uniforme, con cierto aumento destacable en las erosiones y las eflorescencias.

- La ejecución domina en los desprendimientos, pero destaca su aumento en grietas y su clara disminución en suciedades.

- El material destaca por su aumento en fisuras y erosiones, lo que era de esperar dada la característica de esas lesiones.

- El mantenimiento afecta, sobre todo, a la corrosión y a los organismos, con aumento de sus porcentajes respecto a los generales.

Causas directas:

- Las lesiones previas aumentan en eflorescencias y organismos y disminuyen en suciedades, propio del tipo de lesiones.

- Los agentes atmosféricos aumentan la corrosión y disminuyen las suciedades.

- La contaminación, por el contrario, aumenta mucho las suciedades (del 21% al 32%) y la corrosión (del 8% al 14%) disminuyendo considerablemente su efecto sobre humedades y desprendimientos.

- Los esfuerzos mecánicos actúan claramente en las lesiones mecánicas (grietas, fisuras y desprendimientos) con aumento importante en las primeras (de 6% a 33%) y no afectan prácticamente a las suciedades (del 21% al 4%).

- El capítulo de "otros", por último, mantiene sus porcentajes muy repartidos, destacando, si cabe, las eflorescencias con un 17%.

5.—CONCLUSIONES

Después de este pormenorizado análisis de los datos estadísticos podemos alcanzar, por fin, un diagnóstico global de la situación constructiva de las fachadas de Madrid, como una conclusión de este trabajo, que podemos expresar en los siguientes términos patológicos.

5.1.- Estado General

El estado general se puede deducir de los "datos de identificación" reflejados en el cuadro nº1 en el que el "estado de conservación" refleja una situación entre media (49%) y mala (20%) con un 74% de las fachadas con dos o más lesiones. En definitiva, existe un estado patológico claro en la mayoría de las fachadas.

5.2.- Síntomas (lesiones existentes y materiales y elementos constructivos afectados)

Se pueden deducir de los datos del cuadro nº 2, así como de los cuadros 4 a 7. Concretamente entre las lesiones destacan, por este orden, las suciedades, los desprendimientos, las humedades y la erosión, resultando como materiales más afectados, o más débiles, los enfoscados y revocos y las pinturas, ya que su porcentaje de lesión es mayor que el de aparición en las fachadas, lo que demuestra una mayor "debilidad" ante los agentes exteriores.

Por otra parte, los elementos constructivos más castigados son, por ese orden, los balcones, las cornisas, los zócalos y las molduras horizontales, como elementos destacados, además del paño ciego que, en cualquier caso, es el más abundante en proporción. En definitiva, hay indicios de mayor peligro patológico en los elementos salientes de la fachada, así como en sus extremos superior e inferior, lo que nos marca los puntos más expuestos a lesión.

5.3.- Evolución

Del cuadro nº 3 y de los nº. 8 y 9, se puede deducir que las "causas indirectas" principales que originan el estado patológico son, sobre todo, las decisiones del proyecto y el diseño constructivo, mientras que de las "causas directas" destacan, sobre todo, los agentes atmosféricos, todo ello confirmado por las lesiones de desprendimientos y humedades.

El estado patológico se agrava por una falta evidente de mantenimiento, con un número mínimo de restauraciones practicadas (27%) entre las sesiones analizadas, lo que se corrobora por la importancia de las suciedades.

5.4.- Tratamiento

Debemos distinguir entre el curativo (reparación) y el preventivo.

5.4.1.- Tratamiento curativo

Como regla general, debe ir orientado a una mayor respuesta ante los agentes atmosféricos como causa directa más abundante (46%) con una actuación de revestimiento protector adecuado (31%) o la reposición del material o elemento por otro más resistente (36%) con lo que cubriremos un 67% de las propuestas de reparación analizadas.

Naturalmente, ello debe incidir en los materiales mas afectados, a saber, enfoscados y revocos (revestimiento o reposición) y pinturas (reposición) tendiendo a dar mayor compacidad a los materiales de fachada para resistir ante los agentes atmosféricos, como causa directa más importante.

En el caso de los ladrillos, como segundo material mas abundante, aunque no de los más lesionados, se propone una actuación de revestimiento protector ante humedades para hacer frente a la erosión y a las eflorescencias, que suponen un 87% de las lesiones que les afectan.

En el caso de las suciedades, como lesión mas abundante, el tratamiento curativo se debe basar en la limpieza, que debe ser periódica y que, por tanto, entra en el capítulo de mantenimiento.

5.4.2.- Tratamiento preventivo

De acuerdo con las causas indirectas mencionadas, nuestra preocupación se deberá centrar en una más concienzuda toma de decisiones en proyecto sobre el diseño general de la fachada y las características de los materiales a utilizar, así como su disposición relativa (diseño constructivo) comprobando durante la ejecución sus caracterís-

ticas técnicas y nivel de calidad (control) así como su correcta colocación.

Concretamente, y dadas las causas directas más importantes (agentes atmosféricos) así como los elementos constructivos mas afectados, buscaremos materiales compactos, sobre todo en elementos salientes, zócalos y cornisas, procurando, en estas últimas, la impermeabilidad de la solución.

Los ladrillos cerámicos se deberán elegir, no sólo por su color y textura, sino también por sus características físico-mecánicas adecuadas. Asimismo, los revocos deberán estar bien ejecutados, para una correcta adherencia, e ir protegidos con productos impermeables de poro abierto; y los hormigones, sobre todo "in situ", deberán llevar protección adecuada contra la humedad.

Las plaquetas cerámicas y chapados de piedra deberán ir sujetos adecuadamente (lo que no suele ser habitual) considerando, sobre todo, dilataciones y contracciones, agua y heladas.

Por último, será fundamental establecer un sistema de mantenimiento adecuado como medida más segura de detectar y corregir cualquier proceso patológico.

ANEJO Nº1
ZONIFICACION DE LA CIUDAD



ANEJO Nº2
DATOS ESTADISTICOS MAS SIGNIFICATIVOS

CUADRO N° 1
Datos estadísticos primarios de identificación

ESTADO DE CONSERVACION	%	USO	%	EDAD	%	EXISTENCIA DE LESION	%	NIVEL DE CONTAMINACION				ORIENTACION		MATERIALES PRINCIPALES	%
								SO ₂ %	Part %	CO %					
Nueva	3	Residencial (propiedad)	47	≤ 1800	1	sin lesión	11					N	13	Ladrillo visto	25
Restaurada	10	Residencial (alquiler)	11	1800-1900	14	1 lesión	15	Alto	36	1	4	E	18	Revooco	27
Buena	14	Comercial	4	1900-1940	30	2 lesiones	74	Medio	55	31	25	S	14	Metal	13
Medía	48	Oficina	5									SO	10	Piedra (granizo)	3
Mala	20	Dotacional	4	1940-1970	40			Bajo	9	68	10	O	18	Piedra (chapado)	11
Pésima	4	Industria	2									NO	9	Hornal. "in situ"	1
		Mixto	27	≥ 1970	15			Sin datos	-	-	57			Hor. prefabricado	2
														Madera	3

CUADRO N° 2
Datos estadísticos primarios de lesión

LESION	%	MATERIAL	%	ELEMENTO CONSTRUCTIVO	%	LOCALIZACION	%	NIVEL DE EXPOSICION	%
Humedad	14	Ladrillo visto	13	Zócalo	8	VERTICAL		1 a	20
Grietas	6	Enfoscado	14	Punto ciego	24	De 0 a 4 m.	28	1 b	34
Fisura	9	Revooco	31	Columna	11	De 4 a 10 m.	23	2 a	33
Desprendimiento	20	Batuc	4	Barandilla	5	Más de 10 m.	15	2 b	13
Erosión	12	Hormigón "in situ"	2	Balcón	21	General vertical	31		
Elaboración	5	Horn. prefabricado	3	Ventana/puerta	2	HORIZONTAL			
Corrosión	8	Piedra (graniza)	2	Moldura vertical	2	Central	23		
Suciedad	21	Piedras (chapada)	8	Moldura horizontal	4	Lateral	19		
Organismos	5	Pisqueta cerámica	4	Estructura vista	1	Esquina	10		
		Pintura	9	Elemento suelto	2	General horizontal	48		
		Metal	8	General	10				
		Madera	2						

CUADRO N° 3
Datos estadísticos primarios del estado de lesión

CAUSAS				RESTAURACIONES FRACCTADAS	%	REPARACION PROPUESTA			PREVENCIÓN	%	
DIRECTAS	%	INDIRECTAS	%		73	SOBRE CAUSA	%	SOBRE EFECTO	%	En proyecto	26
Lesión previa	17	Proyecto	27	Nuevo revestimiento	9	Directa	51	Revestir	31	en diseño construc.	32
Agera atmosférico	46	Diseño constructivo	23	Sustitución	6	Indirecta	49	Sustituir	19	En ejecución	15
Contaminación	14	Ejecución	13	Reposición	7			Reponer	36	En puesta en obra	8
Daño mecánico	18	Materia	9	Nuevo climato	5			Nuevo elemento	14	En mantenimiento	29
Otras	5	Mantenimiento	28								

CUADRO N° 4

Distribución porcentual de las lesiones entre los distintos materiales

MATERIAL AFECTADO	Porcentaje General Cuadro 2	LESION								
		Humedad	Grieta	Fisura	Desprendimiento	Erosión	Eflorescencia	Corrosión	Suciedad	Organismos
Ladrillo visto	13	19	12	4	-	47	40	2	18	20
Enfoscado / pintado	19	19	23	22	30	10	10	3	12	5
Revoco	39	39	36	49	42	16	19	4	36	30
Piñueta cerámica	4	2	4	4	11	3	5	3	3	7
Metal	8	-	-	-	5	-	-	77	4	-
Piedra maciza	2	3	5	3	-	7	5	2	3	6
Piedra chapada	8	6	7	9	7	7	7	3	16	9
Hormigón "in situ"	2	4	6	4	-	4	6	3	3	5
Hormigón prefabricado	3	2	3	2	4	2	4	1	2	8
Madera	2	6	4	3	1	4	4	2	3	10
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

CUADRO N° 5

Distribución porcentual de los materiales entre las lesiones

LESION	Porcentaje General Cuadro 2	MATERIALES									
		Ladrillo visto	Enfoscado pintado	Revoco	Piñueta cerámica	Metal	Piedra maciza	Piedra chapada	Hormigón "in situ"	Hormigón prefabricado	Madera
Humedad	14	16	15	16	7	-	12	9	16	8	22
Grieta	6	6	10	8	6	-	10	5	15	8	7
Fisura	9	2	10	11	6	-	7	8	9	5	7
Desprendimiento	20	-	36	26	45	13	-	15	-	24	7
Erosión	12	33	7	6	7	-	26	10	14	8	15
Eflorescencia	5	12	3	3	5	-	7	4	11	7	6
Corrosión	8	1	2	1	4	75	6	3	7	5	5
Suciedad	21	24	15	25	13	12	22	41	19	18	17
Organismos	5	6	2	4	7	-	10	5	9	17	14
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

CUADRO N° 6

Distribución porcentual de lesiones entre los distintos elementos constructivos

ELEMENTO CONSTRUCTIVO	Porcentj General Cuadro 2	LESIONES								
		Humedad	Grieta	Fisura	Desprendimiento	Erosión	Eflorescencia	Corrosión	Suciedad	Organismos
Zócalo	8	6	11	9	6	19	7	2	4	13
Paño ciego	24	24	26	26	21	21	33	3	24	11
Cornisa	11	21	11	9	14	10	12	4	6	18
Barandilla	5	3	4	4	3	4	5	30	3	5
Balcón	21	27	16	22	22	9	17	20	13	23
Ventana/puerta	2	6	12	11	8	11	5	11	5	7
Moldura vertical	2	2	4	4	3	5	4	2	2	4
Moldura horizontal	4	6	8	9	10	9	7	3	7	11
Estructura vista	1	2	4	3	2	3	4	3	2	4
Elemento suelto	2	-	-	-	5	4	-	20	6	-
General	10	3	4	3	6	5	6	2	28	4
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

CUADRO N° 7

Distribución porcentual de elementos constructivos entre las lesiones

LESIONES	Porcentaje General Cuadro 2	ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS										General
		Zócalo	Paño Ciego	Cornisa	Barandilla	Balcón	Puerta/Ventana	Moldura Vertical	Moldura Horizontal	Estructura vista	Elemento suelto	
Humedad	14	12	16	26	7	20	10	7	11	9	-	5
Grieta	6	10	8	7	5	5	10	9	7	10	-	3
Fisura	9	10	10	7	6	10	11	12	10	10	-	3
Desprendimiento	20	19	22	28	11	26	22	24	28	21	27	14
Erosión	12	21	8	7	6	4	11	14	10	10	6	5
Eflorescencia	5	4	8	5	4	5	3	7	5	7	-	3
Corrosión	8	2	1	2	45	9	13	6	3	12	40	2
Suciedad	21	13	24	10	11	15	15	15	19	14	27	63
Organismos	5	9	3	8	5	6	5	6	7	7	-	2
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

CUADRO N° 8

Distribución porcentual de las lesiones entre causas (directas e indirectas)

CAUSAS INDIRECTAS	Porcentaje General Cuadro 3	LESIONES								
		Humedad	Grieta	Fisura	Desprendimiento	Erosión	Eflorescencia	Corrosión	Suciedad	Organismos
Proyecto	27	31	42	20	25	18	23	20	23	19
Diseño Constructivo	23	21	16	25	22	31	27	20	26	21
Ejecución	13	17	18	19	18	11	15	10	8	15
Materiales	9	9	10	20	14	13	15	10	8	11
Mantenimiento	28	22	14	16	21	27	20	40	35	34
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
CAUSAS DIRECTAS										
Lesión previa	17	18	11	15	23	15	34	14	8	31
Agente Atmosférico	46	55	17	28	44	38	35	50	40	38
Contaminación	14	9	7	9	9	18	14	23	40	14
Esfuerzo mecánico	18	9	55	35	18	18	8	6	6	8
Otras	5	9	10	13	6	11	9	7	6	9
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

CUADRO N° 9

Distribución porcentual de las causas directas e indirectas entre las lesiones

LESIONES	Porcentaje Gral. Cuadro 2	CAUSAS INDIRECTAS					CAUSAS DIRECTAS				
		Proyecto	Diseño Constructivo	Ejecución	Materiales	Mantenimiento	Lesión previa	Agente Atmosférico	Contaminación	Esfuerzo mecánico	Otras
Humedad	14	16	11	15	10	11	11	15	6	6	12
Grieta	6	18	7	13	9	6	6	5	5	33	12
Fisura	9	6	9	11	14	5	6	6	4	16	11
Desprendimiento	20	17	15	20	19	14	21	19	9	17	11
Erosión	12	9	16	9	13	13	11	12	14	13	17
Eflorescencia	5	8	11	9	11	7	17	8	8	4	10
Corrosión	8	9	10	7	8	17	8	13	14	3	9
Suciedad	21	11	13	7	8	16	6	13	32	4	9
Organismos	5	6	8	9	8	11	14	9	8	4	9
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

PROPUESTA METODOLOGICA PARA EL DIAGNOSTICO DE ALTERACIONES POR CAUSAS BIOTICAS DE LA MADERA, MEDIANTE ULTRASONIDOS.

AUTORES: PALAIA PEREZ, Liliana; GALVAN LLOPIS, Vicente; MONZO HURTADO, Vicente.

Depto. Construcciones Arquitectonicas. Escuela Tecnica Superior de Arquitectura. U. Politécnica de Valencia.

RESUMEN

La conservación de la arquitectura construida comprende la realización de estudios previos a toda intervención para lograr un conocimiento completo sobre el edificio incluyendo el grado de deterioro de sus materiales. La madera en servicio presenta especial dificultad para la determinación de sus características resistentes. Este trabajo es una contribución a la utilización de técnicas de auscultación no destructivas mediante la utilización de ultrasonido.

SUMMARY

Building conservation involves the realisation of several studies in advance to the restoration proposal including historical and constructive analysis, and building materials decay.

Specialy complicated is the diagnostic of wood in service, using a non destructive method. This paper is a contribution in this field by means of ultrasonic pulse.

KEYWORDS: building conservation, timber decay, diagnostic, ultrasonic pulse.

INTRODUCCION

La conservación de la arquitectura construida comprende la realización de una serie de estudios previos a cualquier intervención tendientes a lograr un conocimiento exhaustivo y completo sobre el edificio, su historia, su sistema constructivo-estructural, el estado de conservación de éstos y el deterioro de sus materiales.

Es especialmente compleja la diagnosis de las estructuras de madera de los edificios que están soportando determinadas actividades que no es posible modificar o alterar por un período de tiempo mientras se realizan los trabajos de inspección, como puede ser el caso de una vivienda o una actividad administrativa o comercial.

Muchas veces los estudios que permiten realizar una diagnosis se basan en la prospección individualizada de cada uno de los elementos ligneos mediante una inspección ocular directa de los mismos, con la ayuda de un punzón o un toma muestras para madera.

La extracción de muestras para su posterior examen se convierte frecuentemente en una cuestión accesoria debido al deplorable estado de conservación que el material presenta, donde las medidas provisionales y de emergencia que hay que adoptar son más inmediatas que la realización de ese tipo de exámenes.

Resulta necesaria la implementación de técnicas de auscultación no destructivas, entre ellas la de ultrasonidos, y que permitan al técnico tomar una decisión rápida y fundamentada con respecto a las medidas de actuación. No obstante ello, el examen sobre el estado de los elementos lineales de madera no ha de basarse exclusivamente en la observación de este material sino también del resto de los materiales y elementos que forman parte del sistema constructivo.

En este sentido se está trabajando desde el año 1987 por parte de este equipo de investigación en el seno de la

Cátedra de Materiales de Construcción, Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universidad Politécnica de Valencia, especialmente con la utilización de ultrasonidos.

El presente estudio intenta generar una metodología no destructiva de auscultación de la madera dentro de esa línea de trabajo.

ESTADO DE LA CUESTION

Varios han sido los trabajos realizados en este campo como los de J.I. Dunlop (1) dedicados a la determinación del grado de deterioro de postes para el tendido de líneas eléctricas para empresas de comunicaciones. Los agentes causantes de alteraciones más frecuentes en este tipo de elementos son los hongos de pudrición, los ataques de insectos, además de las colisiones de vehículos. La conclusión de sus trabajos preveían una posible aplicabilidad de esta técnica para la detección de las alteraciones de la madera originados por ataques de hongos e insectos xilófagos, aunque se indica asimismo la necesidad de seguir investigando en este campo.

Posteriores estudios del Profesor Dunlop se han basado en la resonancia de las ondas compresivas longitudinales en el fuste. En la madera alterada no se producen resonancias armónicas, sino no armónicas siendo ésta la clave del diagnóstico (2). Son muy importantes los estudios realizados por la profesora Bucur con respecto a las correspondencias existentes entre la propiedad de anisotropía de la madera y la velocidad de propagación del sonido en el material (3).

Trabajos más recientes corresponden a F.I. Mc Cracken (4), y a R. Birkeland (5), siendo los más recientes los realizados por W.W. Wilcox (6) y el de Y. Fujii y otros (7).

En este último se aplicaban las técnicas de auscultación ultrasónica para determinar el ataque de termitas.

La investigación referida de W.W. Wilcox se centra en la detección de formas precoces de alteración mediante ultrasonidos. Utiliza vigas de madera procedentes de derribo, deterioradas en cabezas y a lo largo de las aristas. También utiliza probetas de madera nueva para realizar comprobaciones. Su trabajo concluye, entre otros aspectos en la efectividad de la transmisión del sonido en la dirección transversal para detectar alteraciones en la madera.

Es interesante el trabajo de B. Konarsky y J. Wazny (8), de la Universidad de Varsovia, realizado en el año 1977. Realizan cultivos de Coniophora Cerebella en Laboratorio sobre probetas de pino silvestre, y determinan diferentes correspondencias entre determinados parámetros del material como son la velocidad de propagación del sonido, la densidad, el contenido de humedad, el coeficiente de elasticidad, y la resistencia a flexión.

VELOCIDAD DE PROPAGACION DEL SONIDO EN LA MADERA.

La velocidad de propagación del sonido en la madera varía según la dirección de las fibras y también según las especies, estando en relación al mismo tiempo con la densidad y con el contenido de humedad de la misma.

Las características de la pared celular de las fibrillas que constituyen la madera influyen en gran medida en las propiedades de propagación del sonido.

La variación en la propagación del sonido en la madera según las diferentes direcciones, se debe a la organización de las fibras y fundamentalmente a las fibrillas de la capa S2 de la laminilla media de la pared celular.

En las lecturas tomadas en la dirección de las fibras incide de manera directa la inclinación de las fibrillas de la S2 que puede variar entre 10 y 40° con respecto a la dirección de las fibras, siendo la velocidad de propagación del sonido en esa dirección de 3.000 a 5.000 m/seg. Para la dirección transversal tiene mayor influencia la presencia de lignina como ligante de las fibrillas. Los valores de la velocidad de propagación del sonido en esta dirección varían entre 1.170 a 4.300 m/seg. (9).

Esto hace que en los procesos de pudrición, según el tipo de hongo y alteración que producen, sea muy diversa su repercusión en las lecturas de ultrasonido. Más adelante veremos que la pudrición denominada parda altera la celulosa que constituye las fibras, mientras que la pudrición blanca altera fundamentalmente la lignina, materia ligante de las fibras.

Los valores que se recogen por el Prof. Peraza con respecto a la velocidad de propagación del sonido en la madera son 3.500 y 5.500 m/seg en dirección longitudinal y de 2.500 a 3.500 m/seg en dirección transversal (10), similares a los apuntados por J. I. Dunlop.

La incidencia de la humedad y de la densidad en la comprobación de la velocidad de propagación del sonido en la madera se ha verificado en el trabajo antes mencionado de Konarsky y Wazny.

INCIDENCIA DE LA ALTERACION DE LA MADERA EN LA PROPAGACION DEL SONIDO.

Las pudriciones producen pérdida de peso en la madera atacada, del mismo modo que los ataques de insectos. Pero las manifestaciones de estos ataques son diversas.

Los hongos actúan descomponiendo la lignina que une las fibrillas entre sí cortando las microfibrillas de celulosa, hasta llegar a la completa desintegración de la pared celular. Esto establece las diferentes pudriciones que se clasifican cromáticamente para facilitar su estudio en pudrición blanca y pudrición parda respectivamente.

Como consecuencia de este hecho se produce una reducción de la velocidad sónica en la dirección de las fibras, aunque podría suceder también que estas diferencias en las lecturas entre una probeta de madera y otra se deba a la diferente inclinación de las fibrillas en la S2 o a variaciones en el contenido de humedad.

Estas alteraciones también tienen influencia en la dirección transversal. En las investigaciones que se han realizado en este campo se ha determinado que es en esta dirección en la que se han manifestado incidencias más efectivas.

Recientes experimentaciones realizadas en el INIA por G. Prieto y por A. Fernández Cancio (11) se hallan en el camino de demostrar la aplicabilidad de esta técnica de auscultación para la detección y estimación de datos producidos por *Hylotrupes Bajulus*, aunque con ciertas limitaciones. La detección de las perforaciones se realiza debido al incremento del tiempo de propagación de ultrasonido.

Tiene influencia el tipo de perforaciones que producen los insectos en su ataque a la madera, con respecto a su tamaño y a su dirección, con relación a las distorsiones que se producen en las lecturas con ultrasonidos.

Diferente incidencia tiene el ataque de termitas debido a las grandes cavernas interiores que éstas ocasionan al elemento lineal de madera.

ANTECEDENTES.

Las primeras experiencias realizadas por este equipo de trabajo se basaron en la auscultación ultrasónica de probetas de madera nueva a las que se perforó al hilo, aumentando progresivamente la sección de los huecos. Las perforaciones se realizaron mediante brocas accionadas con taladro, aunque se detectaron inconvenientes en el método que hicieron desestimar su conclusión.

Los problemas consistían en la imperfección de las perforaciones variando su dirección y tamaño al producirse el pandeo de las brocas; estas se rompían con suma facilidad debido al largo de las probetas utilizadas. Al elevarse la temperatura por el rozamiento entre la broca y la madera, se quemaba la superficie interior de las perforaciones, con lo cual se alteraba sensiblemente la respuesta del material.

También hemos preparado probetas con madera de viguetas procedentes de derribo que presentan múltiples alteraciones a fin de realizar mediciones con ultrasonidos para determinar diferentes parámetros. Las dimensiones de las probetas son 12 x 20 x 25 cm, presentando todas ellas múltiples alteraciones así como defectos y anomalías. Ese trabajo se ha postergado a la espera de las conclusiones del que ahora se presenta.

EL METODO PROPUESTO

La mayor parte de los trabajos que se realizan en este campo se refieren a experimentaciones con madera limpia en probetas cortadas especialmente para ello, a las que se produce un ataque de insectos referenciándose la pérdida de peso o bien se practican perforaciones de tal modo que se determina un parámetro en relación de la pérdida de volumen experimentada por la probeta.

Este segundo camino es el que ha sido estimado adecuado para esta experimentación. Las probetas utilizadas tienen 7 x 10 x 20 cm, y son de madera de conífera comercializada bajo el nombre de madera de Flandes. Estas dimensiones son homotéticas con respecto a las dimensiones que tienen los elementos lineales de madera en la arquitectura tradicional.

Las perforaciones se realizaron partiendo en dos las probetas a mitad de su altura, lo cual permite la realización de perforaciones en el centro de cada semiprobeta con máquinas habitualmente utilizadas por el carpintero, utilizándose en este caso la tupinadora.

Se prepararon 12 probetas, de las siguientes características (ver fotografías 1- 12 A y B):

PROBETAS 11 Y 12:

Estas probetas están enteras. La probeta 11 presenta un nudo en el punto de lectura 3, y la probeta 12 es más corta, teniendo sólo 15 cm de largo.

PROBETAS 1 Y 2:

Estas probetas están cortadas por su mitad, sin perforaciones. La probeta 1 presenta un nudo en el punto de lectura 5, mientras que la probeta 2 está limpia.

PROBETAS 9 Y 10:

Estas probetas están cortadas por su mitad y perforadas en su centro con una sección de 1 cm². La probeta 9 presenta un nudo en el punto de lectura 3 y la probeta 10 está limpia.

PROBETAS 7 Y 8:

Estas probetas están cortadas por su mitad y perforadas en su centro con una sección de $3,4 \text{ cm}^2$. La probeta 7 presenta un nudo en los puntos de lectura: 3-4, y la 8 en el punto 1.

PROBETAS 5 Y 6:

Estas probetas están cortadas por su mitad y perforadas en su centro con una sección de $4,6 \text{ cm}^2$. La probeta 5 esta limpia y la probeta 6 presenta un nudo en los puntos de lectura 1-2.

PROBETAS 3 Y 4:

Estas probetas están cortadas por su mitad y perforadas en su centro con una sección de $6,2 \text{ cm}^2$. La probeta 3 presenta un nudo en los puntos de lectura 1-2-3, y la probeta 4 presenta un nudo en el punto 3.

En la TABLA I se han reflejado los datos morfológicos y las características ponderales de las probetas.

LAS LECTURAS

Se determinó una cuadrícula de $3 \times 3 \text{ cm}$ para realizar las mediciones de ultrasonido, aplicando esta retícula a las caras superior e inferior de las probetas, colocadas estas como si de viguetas se tratara. Es decir que se realizaron lecturas en caras opuestas de las probetas, en la dirección transversal de mayor distancia, coincidente con la dirección tangencial de la madera.

La humedad de la madera con la cual se ha trabajado es la de equilibrio en el ambiente del laboratorio de Materiales de Construcción, resultando el 14 %.

El aparato de ultrasonidos utilizado es el C.S.I., para hormigón con un campo de medición de 0,1 a 9999 us y unos palpadores cilíndricos con un campo de frecuencia de 45 kHz (ver fotografía 13).

Para lograr el perfecto acoplamiento de los palpadores se utilizó vaselina filante, presionando los palpadores firmemente a la madera, hasta obtener el valor estable más bajo. A fin de minimizar la influencia del operador en la realización de las mediciones, preparamos un puente metálico que tenía como misión mantener en posición los palpadores,

También hubo que resolver la problemática resultante de haber cortado las probetas en su mitad, que pudo hacerse con la ayuda de gatos. Estos eran ajustados por la misma persona, que también realizaba las lecturas a fin de no distorsionar los resultados obtenidos.

En la TABLA II se han reflejado los resultados de las lecturas con ultrasonido.

DISCUSION

Realizadas las lecturas se establecieron varios parámetros que permitieron comprobar la evolución de las perforaciones practicadas y su comportamiento ante la velocidad de propagación del sonido.

Dos eran los factores que ponían en crisis el método propuesto:

1 - determinar en qué medida afectaba el corte de las probetas por su mitad.

2 - valorar la presencia de los nudos.

A fin de analizar los datos obtenidos se confeccionaron gráficas, con la ayuda del programa de ordenador HARVARD GRAPHICS. La gráfica 1 incluye los valores obtenidos en cada probeta. Las gráficas 2 a 6 reflejan los valores

medios de las lecturas realizadas por puntos en todas las probetas. Estos datos se reúnen en la gráfica 7.

También se han confeccionado otras gráficas en las que se incluyen todos los valores obtenidos, también por puntos de lectura, para comprobar la evolución de los resultados. Estas son las gráficas 8 a 12.

En estas gráficas se obtiene la respuesta a los conflictos antes mencionados. Con respecto al primer aspecto, comprobamos que existía una correspondencia directa y constante con respecto al comportamiento del material inalterado (probetas 11 y 12) y la respuesta del material una vez dividido (probetas 1 y 2). Este hecho permitió considerar que la probeta patrón en lugar de ser la número 11, podría pasar a ser la número 2, teniendo en cuenta que en ambos casos se trata de probetas limpias.

Por otra parte y atendiendo al segundo de los factores señalados comprobamos que insistentemente había grandes variaciones de resultados cuando las lecturas coincidían con la presencia de nudos en las probetas. En la gráfica 1 se puede comprobar este extremo. Ello obligó a eliminar esos datos para la preparación de las gráficas correspondientes a fin de leer los datos de manera coherente.

También comprobamos a partir de las probetas 7 y 8 los datos no siguen ninguna ley a diferencia de lo que ocurre hasta ese momento. Podría sugerir este hecho que para pérdidas mayores del 11 % la auscultaciones con ultrasonido no son efectivas. Sin embargo la conclusión es otra. No sólo es importante cuantificar la pérdida de sección, sino la forma en la que esa pérdida de sección se distribuye en la sección total del elemento lineal.

CONCLUSIONES.

- Los nudos hacen variar los resultados aumentando los resultados de las lecturas obtenidas con respecto a las probetas limpias.

- La división de las probetas no modifica sustancialmente el comportamiento de las maderas ante la propagación del sonido.

- Existe una progresión de resultados en correspondencia con la pérdida de sección que experimentan las probetas, hasta pérdidas de sección de 5% (probetas 7 y 8).

- esta pérdida de sección supone que en la dirección en la que se propaga el sonido falta un tercio de la altura total de la probeta.

- los datos confusos son consecuencia de la forma en que se dispone la pérdida de sección, que supone que en la dirección en la que se propaga el sonido, falta la sección en una altura mayor que los dos tercios de la altura total de la probeta.

- el método de auscultación es eficaz debido a que es capaz de evidenciar discontinuidades en la sección de las probetas.

En base a las conclusiones de este trabajo estamos analizando los resultados de las lecturas de ultrasonidos en la probetas confeccionadas con madera procedente de derribo.

NOTAS BIBLIOGRAFICAS.

(1) Dunlop, J.I., Testing of Poles by using acoustic pulse method, "Wood Science and Technology" springer-verlag 1981, pag. 301-310.

Testing of poles by acoustic resonance, "Wood Science and Technology", springer-verlag 1983, pag. 31-38.

(2) Los artículos a los que se hace referencia son:

Dunlop, J.I., Testing of poles by acoustic resonance, "Wood Science and Technology", 17, springer-verlag 1983, p.31-38.

Garben, B., y Dunlop, J.I., Acoustic Pole Testing, "Electrical Engineer", Agosto 1989, p. 70-74.

(3) Bucur, Wood anisotropy deduced from mode conversion ultrasonic testing, "Ultrasonics International '89", Conference Proceedings, 4-7 Julio, 936-40.

(4) McCracken, F.I., 1985, Using sound to detect decay in standing hardwood trees, Proceedings, Fifth Nondestructive Testing of Wood Symposium, Washington State University, Pullman Washington, pag. 281-287.

(5) Birkeland, R., The status of tomographic scanning as a tool for detecting internal log defects, "Proceedings, Fifth Nondestructive Testing of Wood Symposium", Pullman Washington

(6) Wilcox, W.W., Detection of early stages of wood decay with ultrasonic pulse velocity, "Forest Products Journal", Vol. 38, no. 5, pp. 68-73.

(7) Fujii, Y., Noguchi, M., Imamura, Y., y Tokoro, M., Detection of termite attack in wood using acoustic emis-

sions", "The International Research Group on Wood Preservation". Doc. no. IRG/WP/2331.

(8) Konarsky, B., y Wazny, J., Use of U.S waves in testing of wood attacked by fungi, "Rilem, 2 Int. Symposium, NEW DEVELOPMENTS IN NON-DESTRUCTIVE TESTING OF NON-METALLIC MATERIALS", 1977. I:11-18.

(9) Dunlop, J.I., Testing of poles by using....., op. cit. En el artículo Testing of poles by acoustic resonance, el valor que da para lecturas en dirección transversal es de 1.2 km/seg.

(10) Peraza Oramas, C., Utilización de la madera en la construcción, "Primer Cursillo sobre protección de la madera, su conservación y restauración en antiguos edificios", E.T.S.Arquitectura, Universidad Politécnica de Valencia, 1981, pag. 39-70.

(11) Prieto, G., Detection and estimation of Hylotrupes bajulus L. wood damages by ultrasonics, "The International Research Group on Wood Preservation", Doc. IRG/WP/2350, 1990.

Fernández Cancio, A., Hole delimitation inside round timber via ultrasonic techniques, "The International Research Group on Wood Preservation", Doc. IRG/WP/2358, 1990.

CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBAS

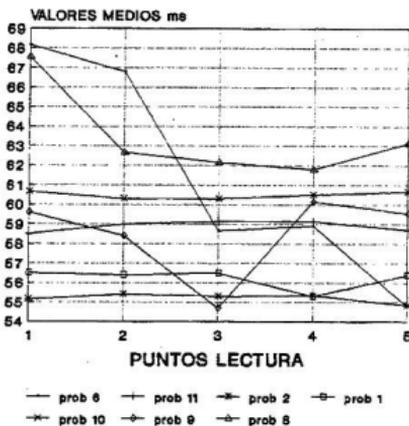
PROBAS	No	ALTO cm	BASE cm	LARGO cm	EJE MAJOR	EJE MEJOR	SUP SECCION	SUP HUECO	VOL cm ³	VOL HUECO	PCSO gr.	DENS gr./cm ³	PERIODI SECCION
	12	9,77	7,32	15,7			71,81		1122,7		600,4	0,534	
	11	9,76	7,3	20			71,24		1424,8		759,7	0,533	
	2	9,57	7,28	20			69,66		1393,2		727,7	0,522	
	1	9,59	7,29	20			69,91		1398,2		726,4	0,519	
	10	9,6	7,32	20	1,57	1,27	70,27	0,99	1405,4	19,8	724,8	0,515	1,4
	9	9,58	7,31	20	1,74	1,46	70,02	1,27	1400,4	26,4	729,5	0,52	1,81
	8	9,59	7,31	20	3,16	2,43	70,1	3,83	1402	76,6	720,4	0,513	5,46
	7	9,58	7,3	20	3,11	2,24	69,93	3,48	1392,5	69,6	719,8	0,516	4,37
	6	9,6	7,3	20	4,8	3,48	70,08	8,28	1401,6	165,6	671,1	0,478	11,81
	5	9,59	7,31	20	4,59	3,55	70,1	8,17	1402	163,4	617,4	0,44	11,65
	4	9,59	7,28	20	6,37	4,71	69,81	15	1396,2	300	589,5	0,422	21,48
	3	9,58	7,3	20	6,12	5,01	69,93	15,33	1396,6	306,6	535,1	0,454	21,82

LECTURAS DE ULTRASONIDO ms

PROBETAS	No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
□	12	56,4	56,3	56,5	56,4	56,9	56,7					
		55,35		55,7		56,8						
	11	59,5	59,5	59,9	59,1	59,1	59,2	59,1	59,2	59,15	59,15	59,7
□	2	55,3	55	55,5	55,3	55,4	55,2	55,5	55,2	55,5	55,4	54,7
		57,1	56,8	56,9	56,6	57,2	55,99	56,6	55,76	56,9	56,2	
	1	56,2	56,8	55,2	56,6	56,4	56,6	55,2	55,4	56,8	56	56,4
□	10	59,9	60,4	60,6	60	61	60,6	60,8	60,2	61	60,3	
		60,3	60,33	60,2	60,25	60,3	60,63	59,8	60,26	59,5	60,26	
	9	60,2	59	59	57,8	55,2	54,2	60,2	60,1	59,6	59,5	59,55
□	8	58,4	66,7	63,2	62,1	62,7	61,6	63,1	60,5	64,6	61,7	
		62,4	NUDO	65,33	62,1	62,16	62	62,1	61,3	61,63	61,8	62,6
	7	60,1	59,7	59,7	59,8	58,8	58,8	56,5	56,2	58,1	57,7	58,06
□	6	68,3	67,9	67,8	65,8	58,6	58,7	59,9	57,9	58	54,6	
		NUDO		68,1	NUDO	66,8	58,65	58,9	58,9		54,8	
	5	58,5	67	59,4	56,4	59,2	57,8	61,3	59,2	57,5	57,1	54,8
□	4	57	57,5	57,1	57,36	57,6	57,6	58,2	59,2	59,9	58,6	57,73
		59,1	59,9	60,7	59,6	66,9	66,4	61,4	61,2	65	64,5	
	3	59,1	59,03	60,4	60,23	61,9	NUDO	63,06	59,5	60,7	61,1	NUDO
□	3	78,3	79,8	67,7	66	57,1	56,9	56,6	56	56,6	53,3	
		64	NUDO	72,7	61	NUDO	64,9	59,7	54,43	56,6	56,06	60

GRAFICA 1

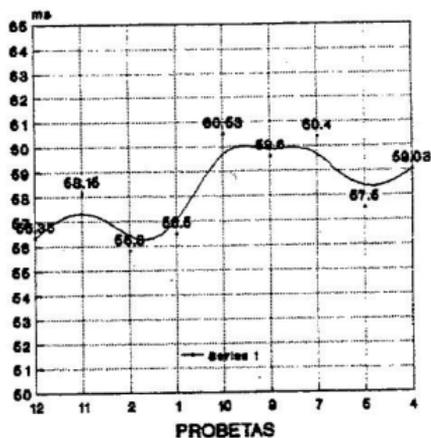
LECTURAS DE LAS PROBETAS



VALORES POR PUNTO Y PROBETA.

GRAFICA 2

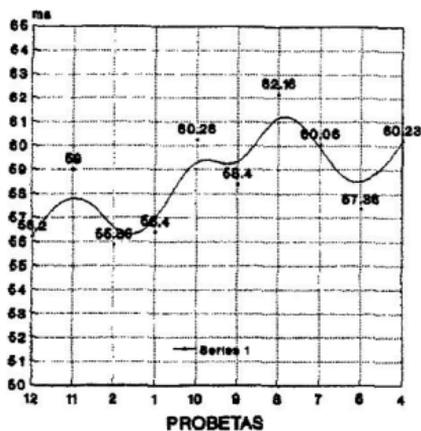
LECTURAS PUNTO 1



VALORES MEDIOS

GRAFICA 3

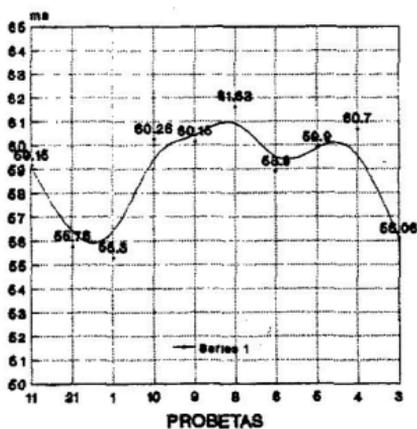
LECTURAS PUNTO 2



VALORES MEDIOS

GRAFICA 5

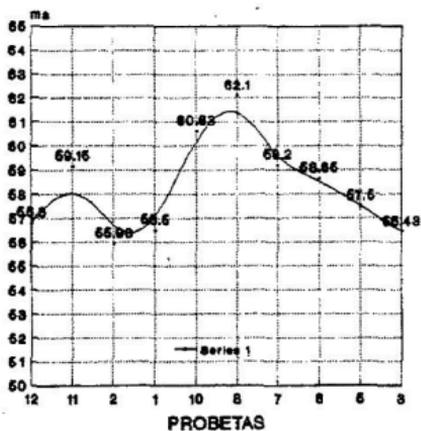
LECTURAS PUNTO 4



VALORES MEDIOS

GRAFICA 4

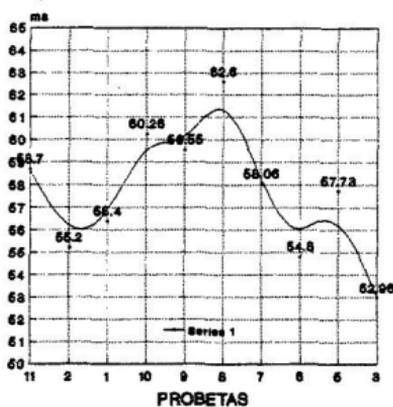
LECTURAS PUNTO 3



VALORES MEDIOS

GRAFICA 6

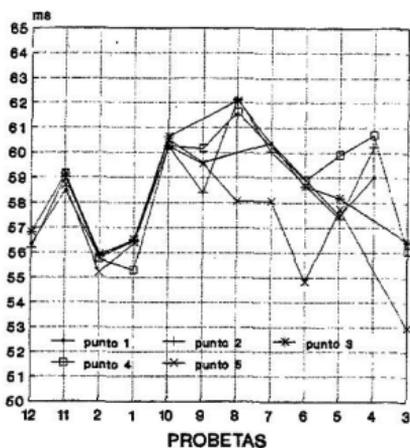
LECTURAS PUNTO 5



VALORES MEDIOS

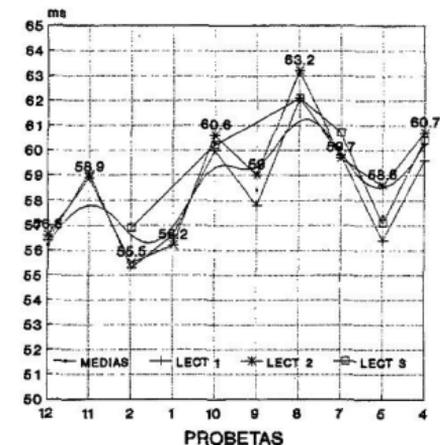
GRAFICA 7

VALORES MEDIOS



GRAFICA 9

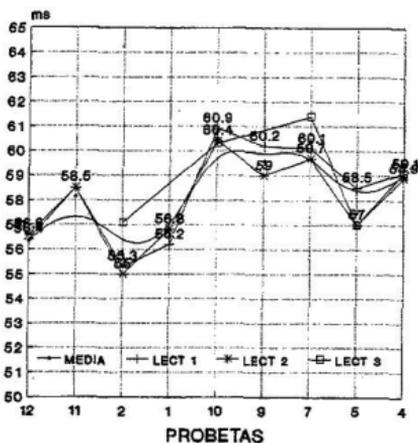
LECTURAS PUNTO 2



VALORES OBTENIDOS

GRAFICA 8

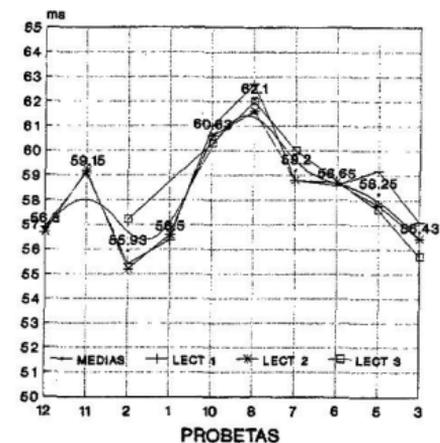
LECTURAS PUNTO 1



VALORES OBTENIDOS

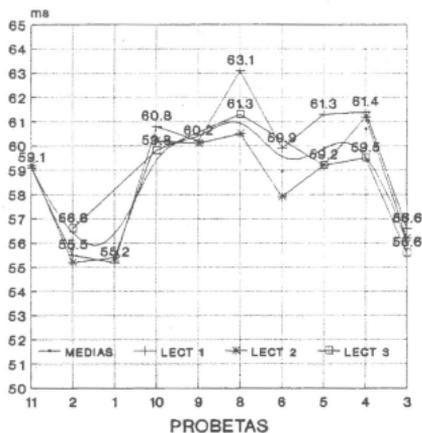
GRAFICA 10

LECTURAS PUNTO 3



VALORES OBTENIDOS

LECTURAS PUNTO 4



VALORES OBTENIDOS

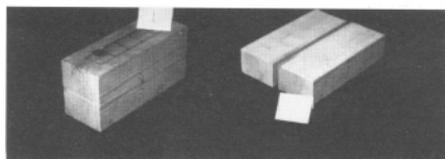


Fig. 1 A y B

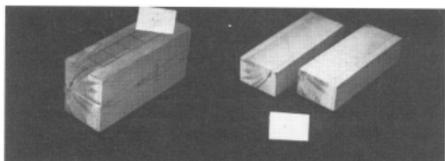


Fig. 2 A y B

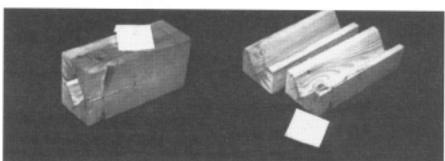


Fig. 3 A y B

LECTURAS PUNTO 5

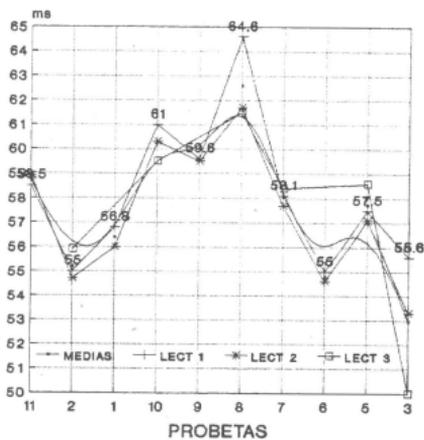


Fig. 4 A y B

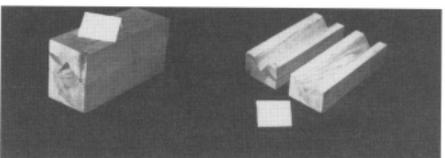


Fig. 5 A y B

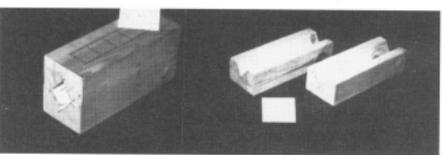


Fig. 6 A y B



Fig. 7 A y B

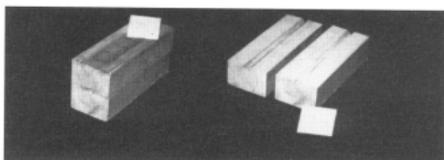


Fig. 10 A y B

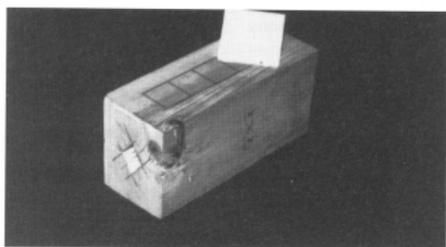


Fig. 8

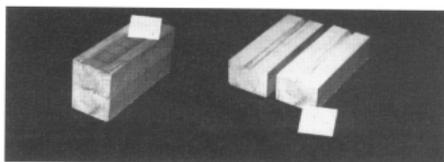


Fig. 11 A y B

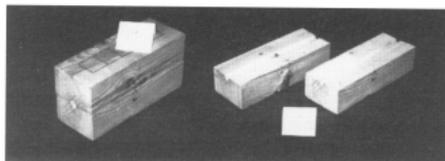


Fig. 9 A y B



Fig. 12

Patologías constructivas en la Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. Un caso Piloto.

Arq. Rubén Omar Montero, Coordinador de Obras y Equipamiento de la Facultad de Ingeniería.
Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.

SUMARIO

Este trabajo muestra las Patologías Constructivas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Mar del Plata, desde 1988.

En él se detectan las deficiencias más comunes, y se proponen políticas de acción aplicables a campos serne-jantes, en lo climático y funcional. Trata, además de identi-ficar patologías típicas de los Edificios Educativos, para guiar otros Trabajos de Investigación, sobre su Diseño y Planificación.

SUMMARY

We show in this Work the Construction Pathologies in the Engineering School Buildings, at the University of Mar del Plata, Argentina, detected since 1988.

We try to classify the most common deficiencies, and to develop policies, to be applied to fields under similar clima-tical and functional conditions. Also, we try to identify speci-fic typical pathologies of Educational Buildings, to establish some general recommendations, and guide future investi-gations in Educational Building Planning.

Keywords: Patoarg - Patolog - Claspap - Unipap - Pilotoar - Pateduni - Montero - Delplata.

OBTENCION DE LOS DATOS.

Las estadísticas que aparecen en los gráficos fueron obtenidas del relevamiento del Archivo de Ordenes de Trabajo, de la **Coordinación de Obras y Equipamiento de la Facultad de Ingeniería**, de la Universidad Nacional del Plata (COEFI-UNMDP).

Las Ordenes analizadas -en total 126 (ciento veinte y seis)- corresponden a los años 1988, 1989 y parte de 1990.

CLASIFICACION DE LAS PATOLOGIAS

Las Patologías detectadas fueron clasificadas en tres grupos (1): **"Por el tipo de obra que requiere su reparación"; "Por su origen"; y "Por su consecuencia"** (Figuras 2,3 y 4 respectivamente).

ANALISIS DE LOS DATOS

De la observación de las figuras 2,3 y 4, se desprenden las siguientes conclusiones:

1. Las patologías producidas en los paramentos externos e internos, y en las instalaciones, constituyen la mayoría, un porcentaje acumulado del 70.54%.
2. Las patologías de proyecto, con una incidencia del 16.70%, requieren en general la reforma de los edificios.
3. Las patologías constructivas, con una incidencia del 43.68%, en general son subsanables con reparaciones de menor escala.

DETALLE DE LAS PATOLOGIAS DETECTADAS.

Patologías de Proyecto

Se distribuyen en cuatro grupos básicos:

1. Las debidas a una errónea selección de materiales:

- Pisos de baja resistencia en zonas de tránsito intenso.
- Paramentos de mampostería, o de prefabricación pesada, en divisiones internas.
- Carpinterías de chapa de hierro doblada, en una región con alta humedad ambiente.
- Terminaciones exteriores de alto mantenimiento en un contexto presupuestario restringido.
- Perfilería de plástico liviana, en cortinas de enrollar.

2. Las debidas a un erróneo diseño de las cubiertas:

- Cubiertas planas, e incorrectamente aisladas, en una región lluviosa.

3. Las relativas al tratamiento de los límites con respecto al clima:

- Aventanamiento idéntico en todas las orientaciones.
- Ausencia de dispositivos de control solar.
- Diseño inadecuado de las guías de soporte de las cortinas de enrollar que facilita la acción eólica.

4. Las relativas a la falta de racionalización de las instalaciones:

- No se emplea un código normalizado de colores.
- No se emplean tabiques sanitarios accesos para su control y/o reparación, ni circular por bandejas ni trincheras.

FIGURA 1

FACULTAD DE INGENIERIA, UNIVERSIDAD DE MAR DEL PLATA, ARGENTINA

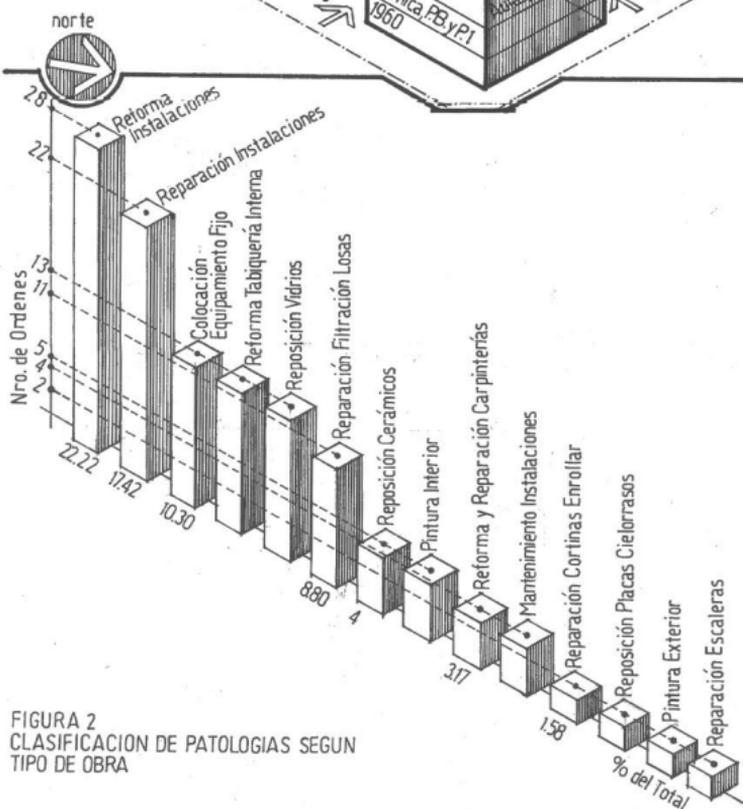
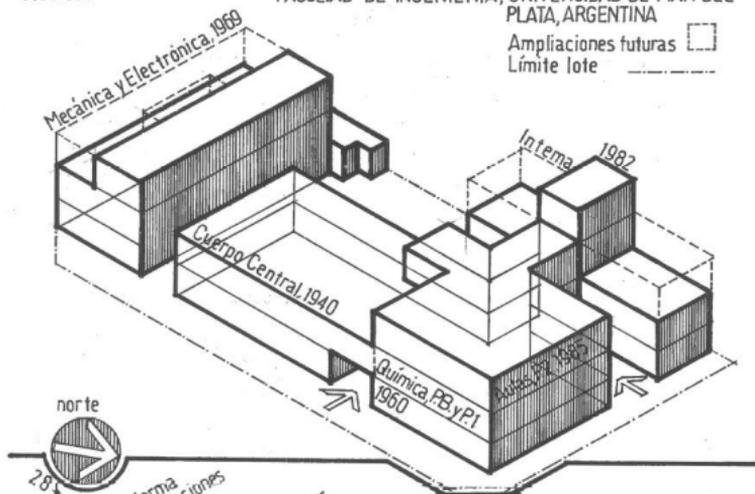


FIGURA 2
CLASIFICACION DE PATOLOGIAS SEGUN TIPO DE OBRA

PAIS	NRO. CASOS	PORCENTAJE SEGUN CAUSA				
		Proyecto	Material	Ejecución	Uso*	Fortuita
ARGENTINA	126	17	3	32	37	3
BRASIL	709	18	6	52	14	
ESPAÑA	586	52	16	39	13	
FRANCIA	1.000	37	5	51	7	
BELGICA	800	46	15	22	8	
INGLATERRA	510	49	11	29	10	

* El porcentaje argentino incluye "Uso inapropiado" y "Adaptación para reciclaje".

Tabla 1. "Comparativo entre países"



Fotografía 1. Fachada de acceso a la Facultad de Ingeniería. Obsérvase la distinta tipología arquitectónica de cada bloque

La eliminación de estas patologías requieren, en general, la reforma de los edificios.

Patología Constructivas

Se detectan 6 (seis) tipos principales:

1. Insuficientes juntas de dilatación en pisos y revestimientos.
2. Cañerías sin aislar, o de sección insuficiente.
3. Revoques irregulares.
4. Vidrios colocados sin contravidrios o burletes y sin suficiente juego para su dilatación posterior.
5. Ampliaciones no planificadas de la instalación eléctrica, colgándose de circuitos existentes sin habilitar nuevos tableros.
6. Deficiente ejecución de babetas y cargas perimetrales, en las cubiertas de losa.

Estas patologías se deben en su gran mayoría a la falta de rigor en la dirección de obra, y de capacitación de los



Fotografía 2. Contrafrente del Edificio Mecánica y Electrónica. Véase el deterioro de los revoques y las diferentes tecnologías constructivas de cada ampliación.

operarios. Normalmente se resuelven con tareas de Reparación y Mantenimiento.

CONCLUSIONES

A) Se advierte un incompleto análisis de las condiciones del sitio (clima, ambiente, economía y cultura), previo a la formulación del Proyecto (2). Se recomienda incorporar a la normativa de los organismos de supervisión el concepto de **Control de Calidad del Proyecto**. Ver puntos 2. y 3. de "Patologías de Proyecto".

B) Es necesario ejercer un más riguroso control de calidad, durante la ejecución de la obra. En muchos casos los errores son tan elementales, que sólo la desidia del Director de Obra, o su ausencia, pueden justificarlos.

C) Es necesario perfeccionar la capacitación de los operarios, en aquellas tareas que pueden ocasionar patologías, convirtiéndolos en **Controles de su propia eficiencia**.

FIGURA 3
CLASIFICACION DE
PATOLOGIAS SEGUN
SU ORIGEN

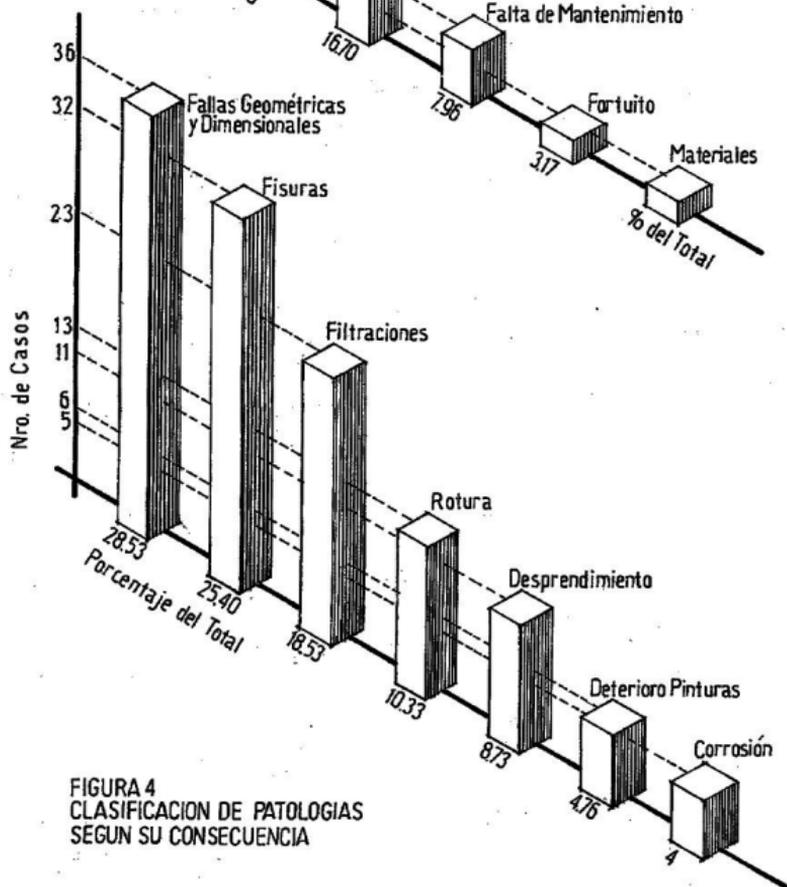
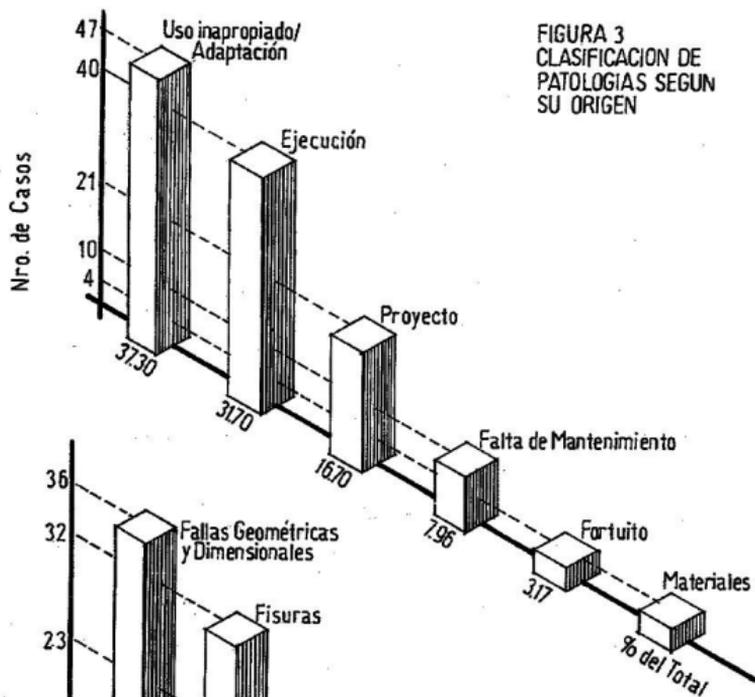
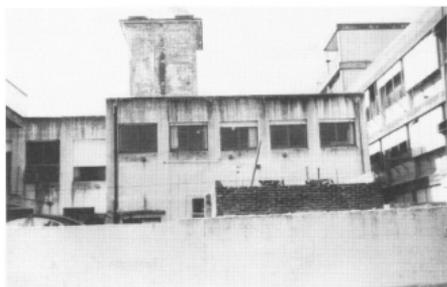


FIGURA 4
CLASIFICACION DE PATOLOGIAS
SEGUN SU CONSECUENCIA

PAISES	Nro. de Casos	PORCENTAJE SEGUN CONSECUENCIA				
		Fisuras	Deterioro Pinturas	Filtrac.	Corrosión	Colapso
ARGENTINA	126	25	5	18	4	10
BRASIL	709	44		9	27	6
ESPAÑA	586	59		8	11	
FRANCIA	1000	59		18	12	
BELGICA	800	12		27	16	
INGLATERRA	510	17		53	14	

Tabla 2. "Comparativo entre países"



Fotografía 3. Contrafrente del Cuerpo Central, antigua Planta industrial reciclada.

cia. Nótese en la figura 3 que las "Patología por Ejecución" alcanzan el 31.70%.

D) Se recomienda profundizar la selección de materiales y tecnologías constructivas, con la premisa de admitir sin gran deterioro y con mínimo mantenimiento, el uso intensivo, y a veces desaprensivo, que se les da a los Edificios Educativos (3). Nótese en la figura 3, que las "Patologías por Uso Inapropiado" son las más frecuentes, con un porcentaje del 37.30%. Ver punto 1. de "Patologías de Proyecto".

Esta recomendación incluye el diseño formal de los edificios, ya que detalles y encuentros complejos requieren habitualmente un mantenimiento cuidadoso, que las instituciones educativas estatales no están en condiciones de brindar.

E) Todo edificio educativo debería contar, antes de su habilitación, con un "Manual de Uso" elaborado por los



Fotografía 4. A la izquierda el bloque de Ingeniería Química (3 plantas); a la derecha, con parasoles metálicos, el Instituto de Investigaciones.

proyectistas y directores de obra, que sirva de guía a los futuros responsables de su mantenimiento, reforma y ampliación. En el **Manual** deberían constar las condiciones de uso previstas para cada espacio; las rutinas de mantenimiento preventivo deseables; la técnica constructiva, y los materiales apropiados para ampliaciones y reformas.

También deberían incluirse detalles gráficos de los puntos de acceso, y tecnología de las instalaciones, sobre todo en el caso de que no estén a la vista.

Un posible modelo para este "Manual de Uso", podría ser el "Manual para propietarios de viviendas FONAVI" (4), editado por la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Juan, Argentina; o el "Manual de Mantenimiento de la Vivienda", editado para sus empleados por la Empresa Siderúrgica SIDERCA, de la ciudad de Campana, República Argentina.

F) El alto porcentaje acumulado de Fisuras y Filtraciones (44%), también importante en las estadísticas extranjeras (ver Tabla 2), sugiere profundizar la investigación de las causas, y las técnicas de restauración, así como la masiva difusión de tales investigaciones.

G) Idéntico criterio debería adoptarse con respecto a las **"Patologías en las Instalaciones"**. Nótese en la figura 2, que la reparación y reforma de instalaciones alcanza un porcentaje acumulado del 39.64%.

REFERENCIAS

1 Carmona Filho, Antonio, Retrospectiva de las Patologías en el Brasil. Estudio Estadístico, Puerto Rico, 1989.

2 Frías, Jorge, Arquitectura Escolar. Planificación y Diseño, Buenos Aires, Argentina, Mayo de 1967.

3 Montero, Rubén Omar, La Comunidad Técnica Argentina al Rescate de sus Edificios Universitarios, Puerto Rico, 1989.

4 Vázquez Cabanillas, Juan Carlos, El Supervisor de Obras Públicas, San Juan, Argentina.

EXAMEN ANALITICO DE LAS PINTURAS MURALES DEL PALACIO DE SANTA BARBARA DE VALENCIA.

María Teresa Doménech Carbó y Salvador Muñoz Viñas
Universidad Politécnica de Valencia.

SUMARIO

Como etapa previa al proceso de restauración, se ha llevado a cabo un estudio analítico de diversas muestras de pintura mural mediante las técnicas instrumentales de Microscopía óptica, FRX, DRX y MEB/EDX. El examen se ha completado con diversos ensayos a la gota y de tinción. Los resultados obtenidos permiten identificar los pigmentos y aglutinantes utilizados, así como establecer la composición de la preparación.

SUMMARY

An Analytical study of several samples of wall paintings is carried out as a previous step in the restoration process. Instrumental techniques of optic Microscopy, XRF, XRD and SEM/EDX are used. The study also include spot and staining tests. An identification of pigments and binding mediums used and materials forming the ground and support is possible from the results obtained.

KEYWORDS.- análisis instrumental, XRF, XRD, SEM/EDX, microanálisis, restauración de pintura mural.

INTRODUCCION

La elección por parte de la Generalitat Valenciana del antiguo palacio de Santa Bárbara como sede de la Dirección General de Deportes, ha exigido una remodelación total del edificio. El proyecto de intervención propuesto contemplaba la restauración, además de otros tres artesonados de madera, de los techados y paramentos decorados de dos salones: el Salón de Baile y el Salón de las Chimeneas, pertenecientes ambos, a la segunda mitad del s. XIX. Como etapa previa al proceso de restauración, se ha efectuado un examen analítico de diversas muestras de pintura mural sobre la que se intervendrá.

SELECCION Y OBTENCION DE MUESTRAS.

En un primer examen visual "in situ" se pudo constatar el estado en el que se encontraban los paramentos de ambos salones, apreciándose grietas, desconchados y lagunas. Un detenido examen con lupa, permitió afianzar los criterios selectivos de los puntos donde efectuar la toma de muestras. Se seleccionaron cuatro muestras correspondientes a los colores más representativos dentro del conjunto de pinturas murales en estudio. Las muestras se extrajeron con ayuda de bisturí mediante el procedimiento habitual. No se utilizó ningún tipo de adhesivo tal como saliva o barniz con objeto de evitar posibles contaminaciones que alterasen el resultado de los análisis. En la Figura 1 se muestran fotografías del Salón de las Chimeneas mostrando los puntos de extracción de muestras: 1, muestra azul; 2, muestra amarilla y 3, muestra roja. La muestra restante, 4, azul-verdosa se extrajo del Salón de Baile.

ESTUDIO ANALITICO: RESULTADOS.

El estudio analítico se ha llevado a cabo mediante las técnicas instrumentales de Microscopía óptica, FRX, DRX y MEB/EDX. El examen se ha completado con diversos ensayos a la gota y de tinción.

1.- MO

En primer lugar se ha realizado un examen morfológico de las muestras mediante microscopio óptico a bajos aumentos. La muestra azul (Figura 2-a) mostró en superficie un elevado grado de uniformidad en la distribución granulométrica. Las muestras verdosa, amarilla y roja (Figuras 2-b y 2-c) ofrecían una distribución más irregular. La sección transversal mostró en las cuatro muestras una primera capa o película pictórica delgada y una segunda capa de preparación de mayor espesor.

2.- FRX

El análisis por Fluorescencia de Rayos X se ha realizado en un Espectrómetro Siemens Kristalloflex 805 SRS 200 controlado por unidad computerizada Siemens System 300-310, LC 200. El tubo de Rayos X con anticátodo de Cr opera a 30mA y 40kV. El detector de centelleo trabaja a 1.235V y el Proporcional de Flujo a 1.280V, utilizando como gas una mezcla de metano (10%) y argón (90%). El colimador se situó a 0,15°. En todos los casos se empleó un filtro de aluminio que reduce el haz primario a 23 mm. Bajo las condiciones expuestas, las medidas se han efectuado bajo vacío, con una sensibilidad de 2×10^3 c/s y efectuando el recorrido completo del círculo del goniómetro a una velocidad de 1 grado/s. El cristal analizador utilizado ha sido LIF (100).

Para efectuar las medias de intensidad de fluorescencia las muestras se situaron en el portamuestras sobre una base de alúmina y sujetadas mediante una lámina de mylar, material este último transparente a la radiación.

Los espectros registrados en estas condiciones para las cuatro muestras presentaron señales de intensidad de radiación fluorescente con distinto grado de intensidad y a valores angulares 2 θ que corresponden a las líneas de emisión Ka y Kb de diversos elementos. Los resultados obtenidos se han resumido en la Tabla 1.

Tabla 1

MUESTRA	LINEA DE EMISION
azul (1)	señal intensa: Ka(Al), Ka(Si), Ka(Ca) y Ka(S). " débil: Ka(Fe), Ka(K), Ka(Ti) y Kb(Ca).
amarilla (2)	señal intensa: Ka(Al), Ka(Si), Ka(Ca), Ka(Fe), Ka(K) y Ka(S). " débil: Kb(Fe), Kb(K), Kb(Si) y Kb(Ca).
roja (3)	señal intensa: Ka(Al), Ka(Si), Ka(Ca) y Ka(S). " débil: Ka(Fe), Ka(K), Ka(Ti) y Kb(Ca).
azul-verdosa (4)	señal intensa: Ka(Ca), Ka(S). " débil: Ka(Fe), Ka(K), Ka(Si), Ka(Al) y Kb(Ca).

3.- MEB/EDX

Ha sido utilizado para el examen de las muestras un aparato MEB, Hitachi S-2500, operando a una tensión de filamento de 20kV. Las muestras fueron montadas sobre

soporte de carbono utilizando cinta adhesiva para su fijación al mismo.

Una primera etapa de la secuencia de trabajo previsto consistió en el estudio morfológico de los materiales utilizados en las pinturas murales. Las Figuras 3-6 muestran las microfotografías obtenidas por MEB de la superficie de las cuatro muestras. En ellas se pueden apreciar las formaciones cristalinas correspondientes a los diferentes pigmentos, en alternancia con zonas de aspecto amorfo que se asocian al vehículo utilizado y que en la muestra 4, azul-verdosa llegan a adquirir gran tamaño.

En una segunda etapa se pasó a la identificación de elementos que componen los diversos materiales que conforman la muestra efectuando microanálisis, para lo cual se utilizó un detector de rayos X por dispersión de energías "Kevex" acoplado al MEB. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 7 en forma de registro gráfico del espectro de energías dispersadas obtenido para cada una de ellas. Los resultados obtenidos están en buen acuerdo con los encontrados mediante la técnica de FRX. Cabe señalar la aparición de señal de cromo en la muestra amarilla no detectable por FRX al utilizarse, en esta última, tubo de cromo como fuente de radiación primaria. Por último, la aparición de señal de cloro en la muestra azul y de cobre en la muestra azul-verdosa son los únicos resultados del análisis con MEB/EDX que difieren de los obtenidos por FRX.

Como última etapa de la secuencia de trabajo prevista para esta técnica instrumental se han efectuado mapas de distribución de los elementos (Figura 8) más significativos encontrados en las muestras, pudiendo, de este modo, establecer una correspondencia entre los resultados del análisis elemental efectuado mediante microsonda electrónica y las características morfológicas.

Los mapas obtenidos muestran claramente una alternancia de las zonas en las que se sitúan los elementos atribuidos al pigmento con las que contienen el azufre y calcio del yeso que habría sido utilizado por el autor en los revocos y preparación del muro.

4.- DRX

El análisis de las muestras se ha efectuado en un aparato Siemens modelo D-500, operando con una intensidad de filamento de 30 mA y con una tensión de 40kV. Las muestras fueron finamente pulverizadas en mortero de ágata. Los difractogramas obtenidos (Fig 9) muestran la existencia de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y anhídrita (CaSO_4) en las muestras analizadas, si bien en la muestra azul la proporción de este último compuesto es mucho menor. También se identifica en la muestra azul el compuesto azul ultramar ($\text{Na}_2\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{S}_2\text{Cl}_4$), y silice (SiO_2). Glauconita ($\text{K}(\text{Fe},\text{Al})_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) celadonita ($\text{K}(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), silice (SiO_2) y calcita (CaCO_3) en la muestra azul-verdosa. Ocre amarillo ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), (SiO_2) y calcita (CaCO_3) en la muestra amarilla y ocre rojo (Fe_2O_3), (SiO_2) y calcita (CaCO_3) en la muestra roja.

5.- Ensayos microquímicos

Con objeto de completar el estudio analítico efectuado mediante diversas técnicas instrumentales, se realizaron diversos ensayos a la gota sobre las muestras. Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2

Muestra	Reactivo	Reacción observada/elemento identificado.
1 (azul)	HCl S-Alizarina	desprendimiento de H_2S ppto. rojo. (S,Al)
2(amarilla)	$\text{K}_4(\text{Fe}(\text{CN})_5)$	compl. azul. (Fe)
3 (roja)	"	" (Fe)

Muestra Reactivo Reacción observada/elemento identificado.

4 (a-verd.) $\text{K}_4(\text{Fe}(\text{CN})_5)$ compl. débilmente (Fe)

Finalmente se han realizado una serie de ensayos de tinción mediante los cuales se ha podido identificar el tipo de vehículos utilizados en las pinturas murales. Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3

Muestra	Reactivo	Reacción observada/vehículo identificado
1	TIF	+(v.proteico)
	Verde malaquita	-
	$\text{Na}_{1,2,3}$ Púrpura Bromo- cresol	+(v.proteico) -
2	TIF	+(v.proteico)
	Verde malaquita	+
	$\text{Na}_{1,2,3}$ Púrpura Bromo- cresol	+(v.proteico) -
		+(v.resinoso)
3	TIF	+(v.proteico)
	Verde malaquita	-
	$\text{Na}_{1,2,3}$ Púrpura Bromo- cresol	+(v.proteico) -
		+(v.resinoso)
4	TIF	+(v.proteico)
	Verde malaquita	-
	$\text{Na}_{1,2,3}$ Púrpura Bromo- cresol	+(v.proteico) -
		-

CONCLUSIONES

El examen efectuado mediante los microscopios óptico y electrónico permite establecer dos capas morfológicamente diferenciadas en las muestras que correspondían a la película pictórica y a la capa de preparación.

Los resultados obtenidos mediante las diversas técnicas instrumentales y ensayos microquímicos realizados son coincidentes permitiendo la identificación del azul ultramar, ocre amarillo, ocre rojo, y verde tierra como pigmentos utilizados en la película pictórica de las diferentes zonas de las pinturas murales. Del mismo modo, se identifican yeso, anhídrita, calcita y silice como materiales constitutivos de la capa de preparación.

Los ensayos de tinción efectuados permiten establecer el tipo de vehículos empleados, tratándose de compuestos proteicos de origen animal, en el caso de la muestra azul y azul-verdosa y de compuestos proteicos de origen animal y compuestos resinosos en las muestras roja y amarilla.

BIBLIOGRAFIA

F Bosch, M.T. Doménech, J.V. Gimeno y V. Peris. "Estudio analítico por SEM/EDX de los pigmentos murales del Palacio de Santa Bárbara de Valencia". I. Coloquio Franco-Ibérico de Microscopía Electrónica Física. Barcelona 2-5 de julio, 1991. pp. 423-424.

R. Tertian and F. Claisse. "Principles of Quantitative Analysis". Ed. Heyden. London 1982.

E. Martin. "Some Improvements in Techniques of Analysis of Paint Media". Studies in Conservation, 22 (1977), pp. 63-67.



Figura 1.- Fotografías del Salón de las Chimeneas: a) y b) vista completa de pinturas murales; c) detalle de una greca; d) motivo del techo. Puntos de extracción de muestras: 1, muestra azul; 2, muestra amarilla; 3, muestra roja.

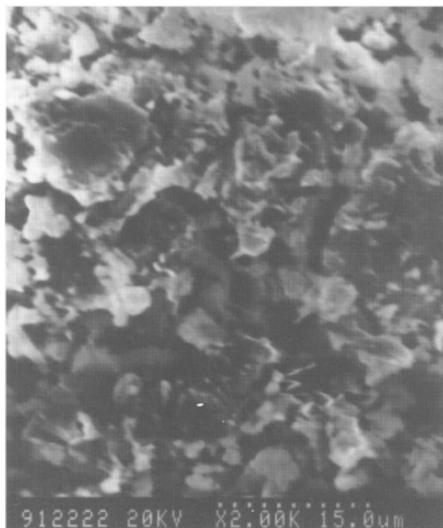


Figura 3.- Microfotografía de la muestra azul.

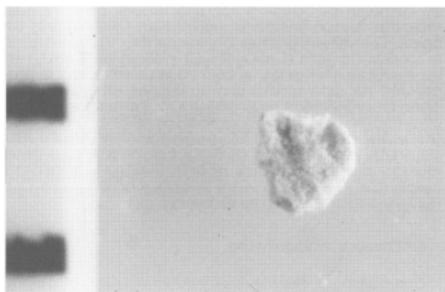
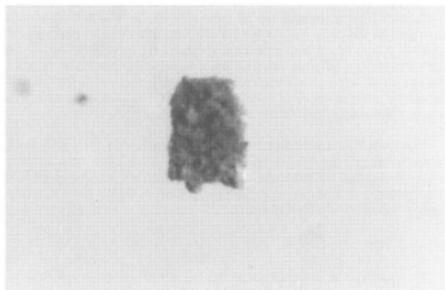
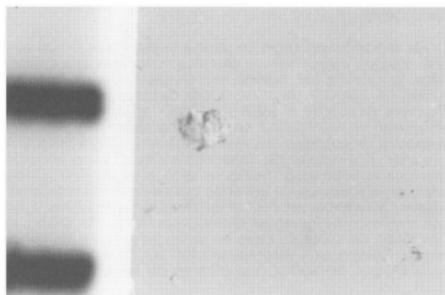


Figura 2.- Microfotografías de la superficie de las muestras extraídas: a) muestra azul; b) muestra azul-verdosa y c) amarilla.



Figura 4.- Microfotografía de la muestra amarilla.

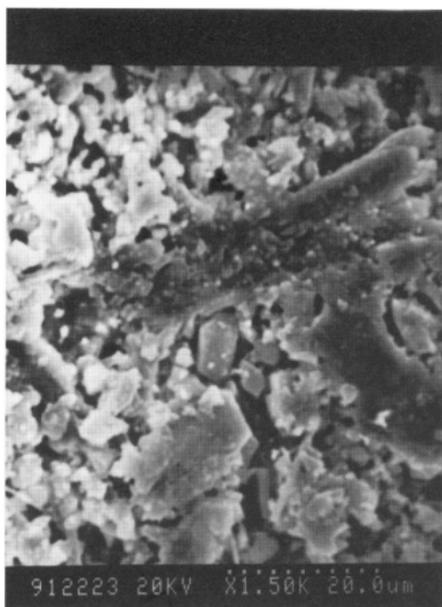
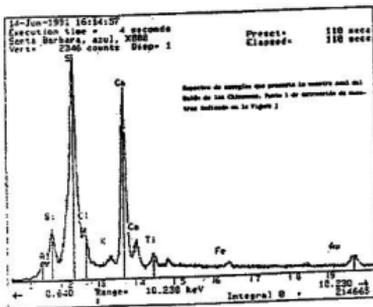


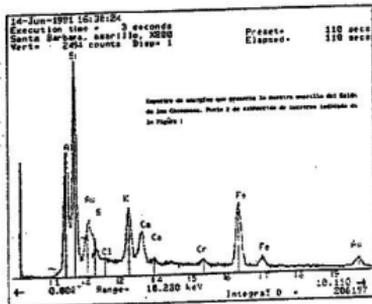
Figura 6.- Microfotografía de la muestra azul-verdosa.



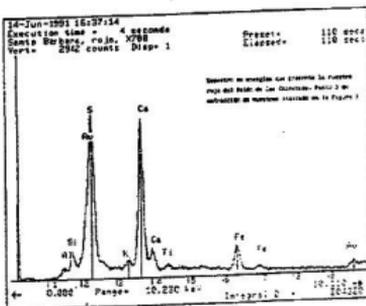
Figura 5.- Microfotografía de la muestra roja.



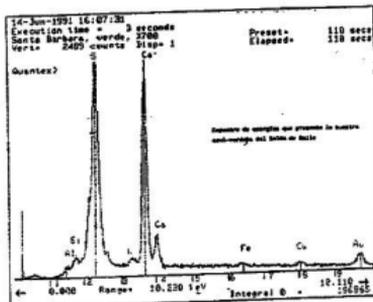
a)



b)



c)



d)

Figura 7.- Espectros de energías que presentan las muestras extraídas: a) azul; b) amarilla; c) roja y d) azul-verdosa.

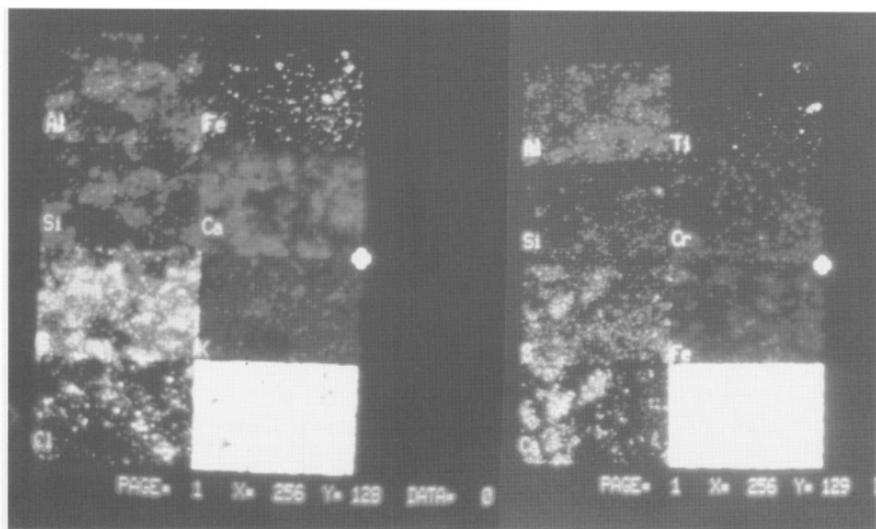
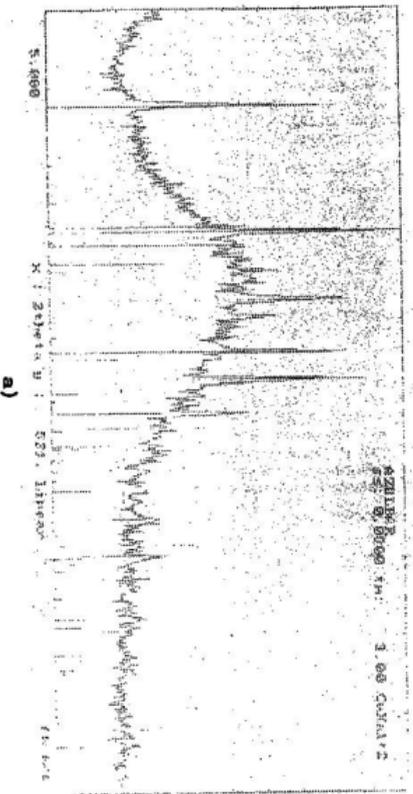
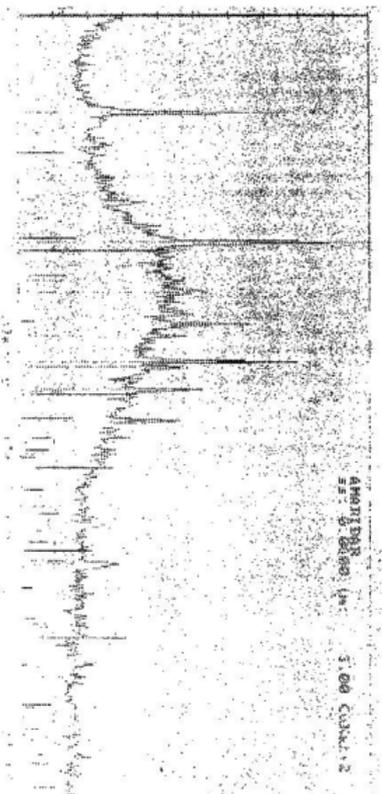


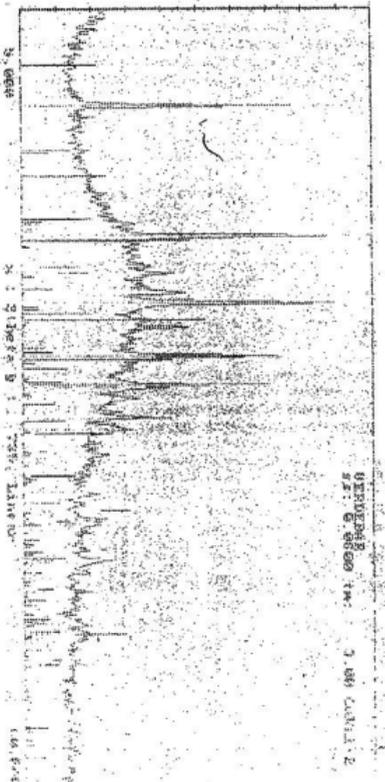
Figura 8.- Mapa de distribución de elementos por rayos-x de las muestras: a) azul; b) amarilla.



a)



b)



c)

Figura 9 - Difractogramas correspondientes a las muestras: a) azul, b) amarilla y c) azul-verdosa.

CARACTERIZACION DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACION DE CLORUROS DE PINTURAS PARA HORMIGON

Ana M. García *, C. Alonso y C. Andrade.
ICCES (CSIC), Madrid, España. * (Act. en GEOCISA).

RESUMEN

En el presente trabajo se estudia una metodología de ensayos acelerados que permiten evaluar la capacidad protectora de pinturas para hormigón frente a la penetración de iones cloruros. Se emplea para ello ciclos de inmersión/secado en disoluciones de NaCl. La penetración de Cl⁻ se controla mediante técnicas electroquímicas.

Los resultados obtenidos se han contrastado con datos de ensayos naturales, en agua de mar. Esto ha permitido estudiar la viabilidad y fiabilidad del método empleado, así como comparar el comportamiento expuesto por las distintas pinturas ensayadas.

SUMMARY

In present paper an accelerated test methodology is studied to evaluate the protective ability of concrete paints against chloride penetration. Immersion/drying cycles in NaCl solutions are employed. The penetration of Cl⁻ is followed with electrochemical techniques.

The results obtained are checked with those in natural sea water exposure. This allows to define the viability and reability of the test method, and know the behaviour of the different paints employed.

Palabras clave: pinturas para hormigón, corrosión de armaduras, permeabilidad a cloruros.

INTRODUCCION

A pesar de la eficaz protección que el hormigón ejerce sobre las armaduras embebidas en él, existen determinadas circunstancias en las que ésta no es suficiente. Así, una de las causas que con más frecuencia desencadenan el proceso de corrosión, es la presencia de los iones cloruro, capaces de destruir, en principio localmente, la capa pasiva de la que inicialmente se recubre la armadura.

Estos iones pueden provenir: a) del exterior penetrando a través de los poros, como es el caso de estructuras en ambientes marinos o en las que es necesario el empleo de sales de deshielo en épocas de invierno, o, b) estar ya presentes desde el propio amasado al contenerlas alguna de las materias primas de fabricación del hormigón.

Hay normativa que trata de limitar el contenido en cloruros en un hormigón fresco, sin embargo, es difícil establecer un límite rígido sin que llegue a existir peligro futuro de despasivación de las armaduras, ya que su valor depende de muchos factores como: el tipo y la proporción de cemento (relación Cl⁻/OH⁻), relación a/c, humedad, etc. (1), (8)(10).

Con respecto a la corrosión de armaduras, solo resultan agresivos los cloruros disueltos en la fase acuosa del hormigón, ya que algunos aluminatos del cemento son capaces de combinarse con ellos para formar el compuesto sólido nombrado como Sal de Friedel (4). Sin embargo estos cloruros combinados son también potencialmente agresivos, puesto que pueden volver a la forma iónica y pasar a la fase acuosa, como ocurre por efecto de la carbonatación (7) (11).

Con el fin de proteger las estructuras frente a la penetración de iones cloruro, es cada vez más frecuente el

empleo de recubrimientos para hormigón. Estos recubrimientos pueden ser de muy diversas características, como: metálicos, cerámicos, aplicaciones laminares de plástico o caucho, recubrimientos de morteros especiales, pinturas, etc.

El empleo de recubrimientos para hormigón, tipo pintura comenzó con fines meramente decorativos, y solo fue a partir de los años 70 cuando se extendió su uso con fines protectores. Una de las primeras aplicaciones de esta idea fue su empleo en estructuras sumergidas, con el fin de impedir la difusión de iones cloruro hacia el interior. Actualmente su campo de aplicación es mucho más amplio, empleándose tanto en estructuras nuevas como reparadas.

La gran variedad de materiales no tradicionales que están siendo utilizados en el campo de la construcción en los últimos años, favorecido en parte por la necesidad de afrontar reparaciones inesperadas en estructuras de hormigón armado, ha llevado también a la proliferación de métodos de ensayo para dichos materiales.

El problema surge no por la variedad de métodos, sino ante la imposibilidad de poder contrastar los resultados así obtenidos con otros tomados como referencia, y establecer la fiabilidad del método empleado, de hecho en la bibliografía se describen muy variadas metodologías para su evaluación (5) (6) (9) (12). Actualmente el comité 104 del CEN, concretamente en su grupo de trabajo WG8, se está tratando de solventar estas deficiencias.

Los autores del presente trabajo describieron en otros previos (2) (3) (4) los primeros intentos en el desarrollo de métodos de ensayo para estudiar la resistencia que distintos recubrimientos para hormigón tipo pintura ofrecen a la penetración de los cloruros. En el presente trabajo se avanza en una metodología capaz de evaluar la capacidad protectora de estos materiales frente a la penetración de cloruros, tanto mediante ensayos acelerados en el laboratorio, como de exposición natural.

METODO EXPERIMENTAL

Materiales

Las probetas empleadas han sido de mortero con relaciones c/a = 1/3 y a/a/c = 0,5, fabricadas con cemento I-45.

El tamaño de dichas probetas fue de 4x4x16 cm en el caso de los ensayos de exposición natural y de 2x5, 5x8 cm, para ensayos en el laboratorio.

Las probetas de laboratorio además llevaban embebidas dos armaduras corrugadas y un redondo de grafito con el fin de realizar un seguimiento de la corrosión de las mismas por técnicas electroquímicas.

Las probetas se curaron durante 28 días al 100% H.R. y 20±2°C de temperatura. Después se dejaron secar al 50% H.R. durante 15 días, y se pintaron manualmente aplicando dos capas de pintura.

Las pinturas ensayadas fueron:

- Pintura de base sílice coloidal (BSC).
- Pintura de base resina epoxi (BRE)
- Pintura de base cemento (BC)
- Pintura de base resina acrílica (BRA)
- Pintura de base resina de polímero etilénico (BPET)

Además se emplearon probetas sin pintar como referencia (PATRON).

Las pinturas (BSC) y (BPE1) únicamente se ensayaron de forma acelerada.

Método de ensayo

Las probetas de dimensiones 2x5, 5x8 cm, se sometieron a ensayos acelerados de penetración de Cl^- , consistentes en ciclos de inmersión-secado en disoluciones de NaCl.

La aplicación de estos ciclos consistió en someter las probetas a sucesivos procesos de inmersión en solución de NaCl durante aproximadamente 20 horas seguido de un secado a la atmósfera durante 4 horas. Los ciclos se repitieron hasta que los iones Cl^- alcanzaron las armaduras y provocaron la desaparición de las mismas.

En una primera etapa se empleó una disolución concentrada de NaCl (salmuera) como medio de inmersión. Los ciclos se continuaron sobre las mismas probetas empleando una disolución 0,2 M en NaCl para la inmersión.

La R_p se obtuvo determinando la pendiente de la curva obtenida al hacer un barrido de potenciales de -10 a +10 mV alrededor del E_{corr} a una velocidad de 10 mV/min. La pendiente así calculada ($\Delta E/\Delta I$) se introduce en la fórmula de Stern (13). Para calcular I_{corr} es necesario conocer el valor de la constante B definida en la fórmula de Stern. Dada la dificultad para su estimación en hormigón, se han dado valores de $B = 26$ ó 52 para estados activos de corrosión o de corrosión despreciable respectivamente. Valores de $I_{corr} < 0,1 \mu A/cm^2$ se estimaron como no significativos respecto de la pérdida de sección de armadura ($1 \times 10^{-9} \mu m/año$) y su incidencia en la vida útil de la estructura.

Los cambios experimentados en la resistencia óhmica del medio ante la penetración del agresivo se midieron empleando el dispositivo de compensación de caída óhmica del potencióstato empleado.

Las probetas de 4x4x16 cm se sometieron a ensayos de exposición natural, consistentes en inmersión continua en agua de mar. El seguimiento de este ensayo se realizó mediante la determinación cuantitativa, por fluorescencia

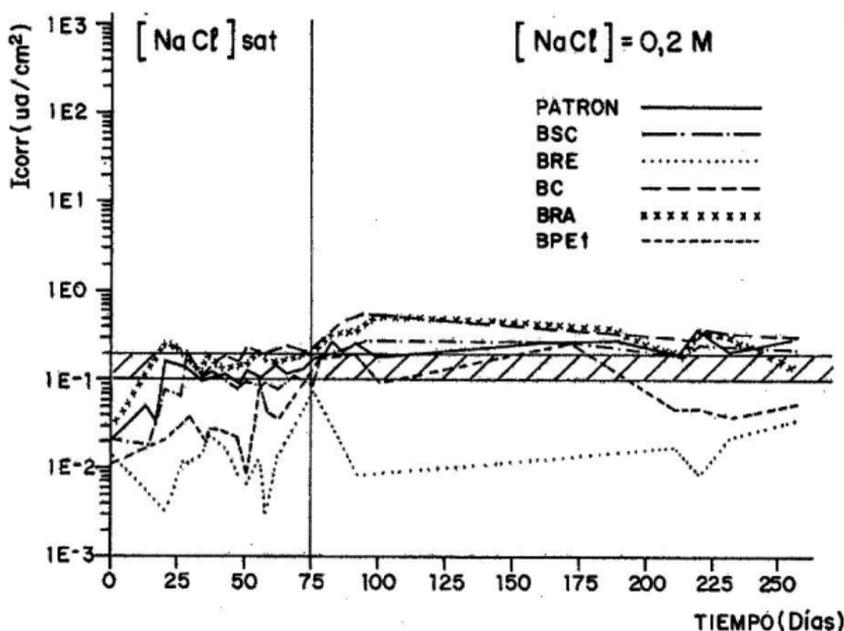


Figura 1. I_{corr} ($\mu A/cm^2$) Vs. tiempo (días) para las distintas pinturas ensayadas en ciclos de inmersión-secado en salmuera y 0,2 M NaCl.

Algunos ensayos se realizaron empleando como único medio de inmersión una disolución 0,5 M en NaCl.

La evolución de estos ensayos acelerados se siguió mediante medidas del potencial de corrosión, (E_{corr}), y de la velocidad de corrosión instantánea, (I_{corr}), en las armaduras, así mismo de la Resistencia óhmica del medio, (Rohm).

la medida del E_{corr} se determinó empleando como referencia un electrodo saturado de calomelanos.

La evolución de la I_{corr} se determinó a través de la técnica de Resistencia de Polarización (R_p).

de R-X, de los cloruros que habían penetrado. Esta determinación se realizó para cada probeta en dos puntos situados a distinta profundidad: en la parte superficial y en el corazón de la probeta.

RESULTADOS

Ensayo de laboratorio: ciclos de inmersión-secado

En las figuras 1,2 y 3 se presentan los resultados de I_{corr} , E_{corr} y Rohm obtenidos tras someter las probetas a ciclos de inmersión-secado en salmuera y seguidamente en 0,2 M NaCl.

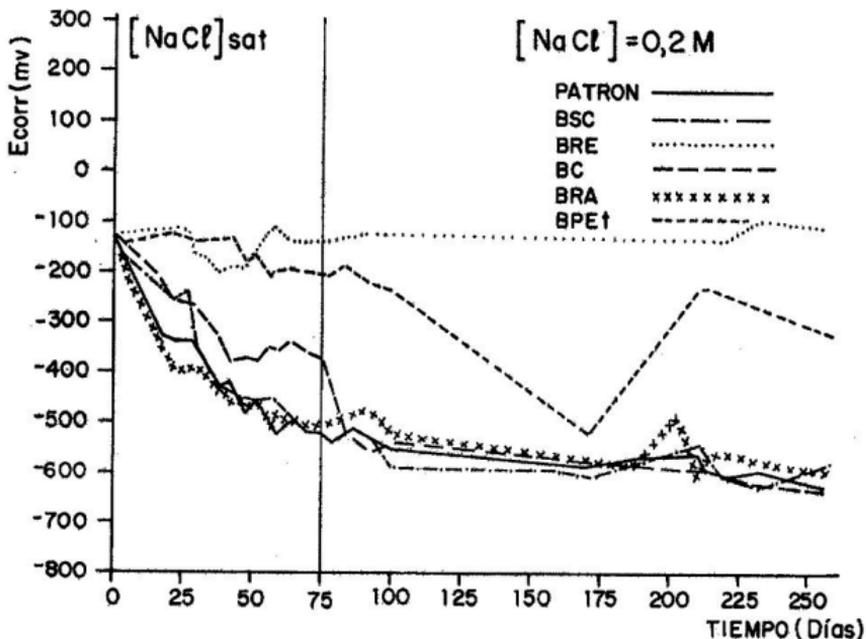


Figura 2. E_{corr} (mV ESC) Vs. tiempo (días) para las distintas pinturas ensayadas en ciclos de inmersión/secado en salmuera y 0,2 M NaCl.

Como se puede apreciar en la figura 1, los valores de i_{corr} en salmuera presentaron en general, valores muy bajos de velocidad de corrosión aún a los 75 días que duró esta etapa del ensayo ($< 0,2 \mu A/cm^2$), en contra de lo que se esperaba de esta condición en principio muy agresiva. A pesar de todo, las menores i_{corr} se midieron para las probetas recubiertas de BRE y BPEt. Al continuar los ciclos en un medio más diluido en cloruros, la situación mejora ligeramente registrándose valores de i_{corr} próximos a $0,5 \mu A/cm^2$ en algunos casos, aunque la probeta con BRE sigue quedando muy por debajo aún de $0,1 \mu A/cm^2$ tras los 175 días en esta nueva condición de ensayo.

Los potenciales de corrosión figura 2, siguieron en algunos casos un descenso progresivo hacia valores negativos, llegando a alcanzarse en las probetas (Patrón BC, BSC y BRA) valores más negativos de -400 mV al final de la etapa en salmuera. Dichos valores de potencial llevarían a pensar, en principio, en cinéticas de corrosión más elevadas, que las i_{corr} medidas. Mejor se corresponden los valores de E_{corr} medidos para BRE y BPEt con los i_{corr} donde en ambos casos indicaron corrosión no significativa. Los cloruros parecen no haber alcanzado las armaduras en estos casos.

Al pasar a los ciclos en 0,2 M NaCl, los E_{corr} permanecen prácticamente invariables en la región de -500 mV y solo se produce un descenso progresivo en la probeta pintada con BPEt.

Respecto a la Rohm figura 3, tiene lugar un descenso de la resistencia del material de hasta un orden de magnitud a medida que los cloruros van penetrando en todas las probetas excepto en la BRE y la BPEt. En esta última ocurre en los primeros ciclos en 0,2 M NaCl. Los pequeños

aumentos de Rohm registrados en estas condiciones pueden ser debidos al efecto de la dilución del medio agresivo.

Cuando los ciclos de inmersión/secado se hicieron en 0,5 M NaCl (figuras 4,5 y 6). La i_{corr} alcanza valores superiores a los medidos en los ciclos anteriormente descritos, $1 \mu A/cm^2$ para la patrón a los 60 días de ensayo, y ya a los 20 días se puede fijar el tiempo hasta despasivación. En la pintura con BRE esto no ocurre aún a los 130 días de ensayo. En cuanto a los E_{corr} y Rohm alcanzan valores similares al ensayo acelerado anteriormente descrito.

Ensayo natural de penetración de cloruros.

En la figura 7 se muestran los porcentajes de cloruro determinados por fluorescencia de R-X, a la edad de 6 y 12 meses, en las probetas sometidas a inmersión en agua de mar.

Se observa como la velocidad de penetración de los iones cloruros es mayor en los primeros 6 meses de ensayo, suavizándose después. Aunque todavía no hay suficientes datos para corroborarlo, ya que el ensayo continúa en curso y se tiene previsto obtener datos hasta los 5 años de exposición, se intuye una relación de tipo exponencial entre la concentración de cloruros que penetran desde el exterior y el tiempo de exposición.

A los 6 meses de ensayo ya se observa un comportamiento bastante diferenciado de las probetas, dependiendo del tipo de pintura empleado. Este comportamiento se sigue manteniendo a los 12 meses, aunque con diferencias algo menores.

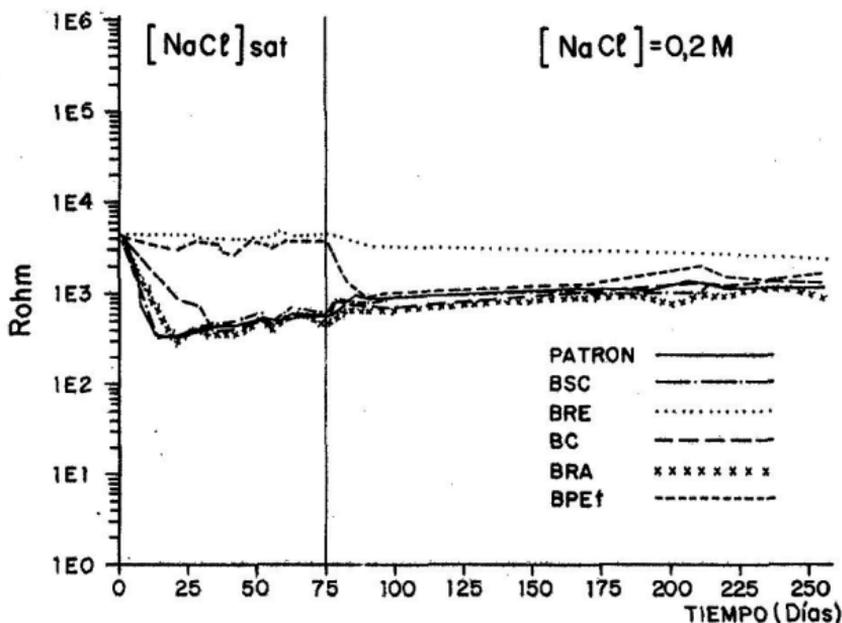


Figura 3. Rohm (Ω) Vs. tiempo (días) para las distintas pinturas ensayadas en ciclos de inmersión/secado en salmuera y 0,2 M NaCl.

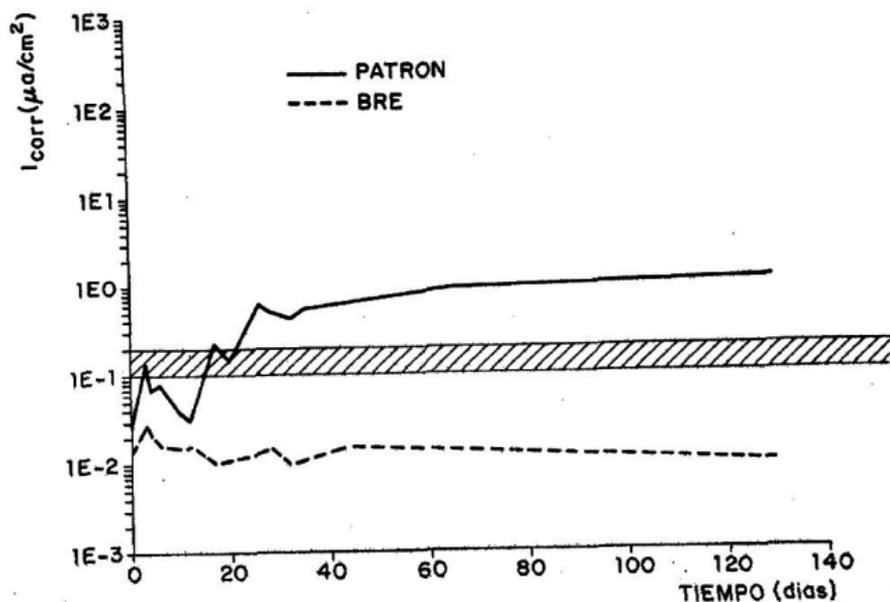


Figura 4. I_{corr} ($\mu A/cm^2$) Vs. tiempo (días) para las pinturas ensayadas en ciclos de inmersión/secado en disolución 0,5 M NaCl.

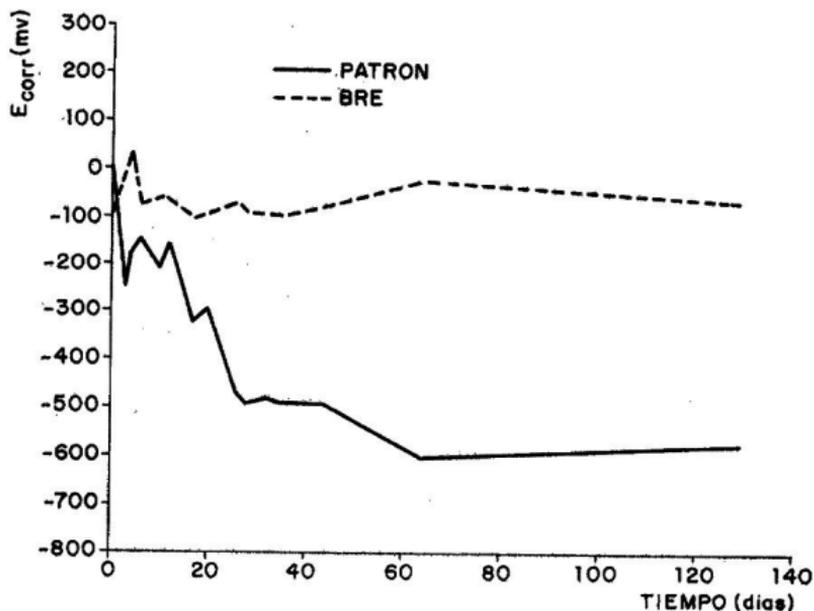


Figura 5. E_{corr} (mV ESC) Vs. tiempo (días) para las pinturas ensayadas en ciclos de inmersión/secado en disolución 0,5 M. Na Cl

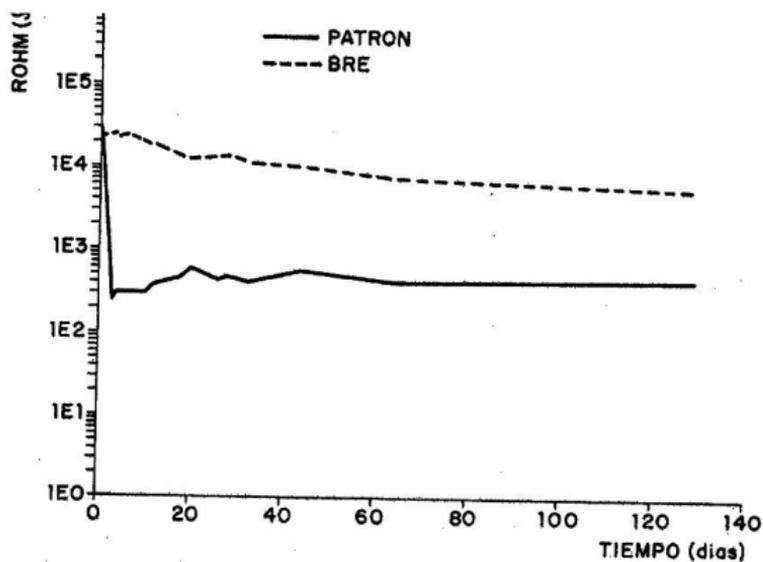


Figura 6. Rohm (Ω) Vs. tiempo (días) para las pinturas ensayadas en ciclos de inmersión/secado en disolución 0,5 M NaCl.

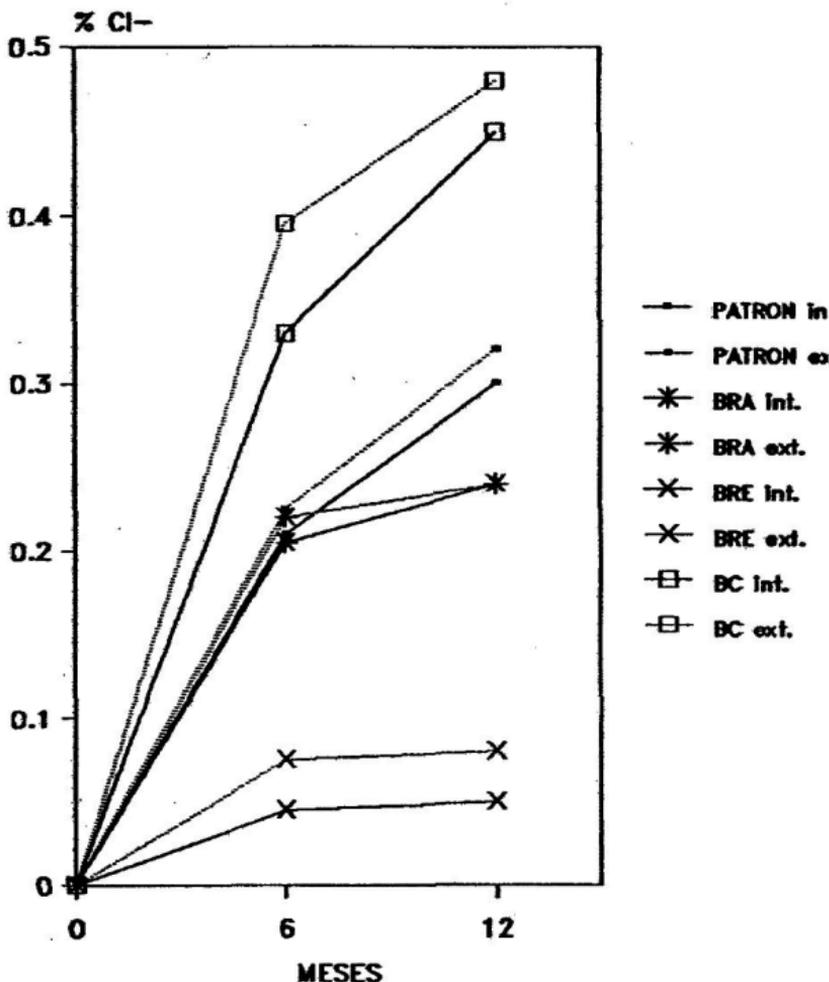


Figura 7. % Cl⁻ a los 6 y 12 meses para las distintas pinturas ensayadas en condiciones de inmersión total en agua de mar natural.

También se aprecia, como cabía esperar para cada una de las probetas ensayadas, que la concentración de Cl⁻ que se determina en el interior es menor que la correspondiente a la zona exterior, aunque parece que esa diferencia tiende a disminuir a medida que aumenta el tiempo de exposición.

En cuanto al comportamiento exhibido por las distintas probetas, se obtiene que la pintura que ejerce una mayor protección frente a la penetración de Cl⁻ es la (BRE).

La pintura que parece haber proporcionado una menor protección es la (BC), habiéndose determinado en las probetas pintadas con dicha pintura, tanto a los 6 como a los

12 meses concentraciones en Cl⁻ mayores que incluso en la probeta (PATRON). Ante este resultado anómalo, se realizó la determinación de Cl⁻ en una muestra de pintura (BC), comprobándose que en su composición no aparecía este ión. No se ha encontrado hasta el momento, una explicación satisfactoria a este hecho, aunque su comportamiento en los ensayos de laboratorio dió similar a la patrón.

DISCUSION

Valoración del método de ensayo acelerado empleado

Ya se ha comentado, que a pesar de la proliferación en

el empleo de recubrimientos para hormigón, no existen ensayos estandarizados que permitan determinar si dichos productos cumplen las exigencias requeridas según el ambiente agresivo elegido para su empleo.

Uno de los objetivos de estos métodos es conseguir información sobre el material en estudio a cortos períodos de tiempo, lo que supone el desarrollo de métodos de ensayo acelerados. La viabilidad de dichos métodos acelerados sólo es posible si los resultados son representativos o sí, con cierta valoración minuciosa, son extrapolables a valores de exposición natural.

En el presente trabajo estas fueron las premisas que se plantearon a la hora de elegir un método de ensayo, por ello se hicieron no sólo ensayos acelerados, sino que además se construyeron con resultados de exposición natural.

La elección del tipo de ensayo inmersión/secado, buscó acelerar el proceso de penetración del ión cloruro, puesto que al emplear pinturas se pensó que el proceso iba a ser demasiado prolongado si se hacía por inmersión continua, donde la penetración del ión cloruro está regida fundamentalmente por un proceso de difusión. Mientras que cuando un hormigón está seco, al ponerle en contacto con una disolución, inicialmente la penetración se produce de forma más rápida al tener lugar un proceso de succión capilar. Sin embargo, el tiempo de secado elegido resultó un poco corto, lo que alargó el tiempo de despasivación de las armaduras.

Respecto de la concentración salina del baño, al emplear distintos valores, se vio que concentraciones muy elevadas de Cl^- no aumentaban la velocidad de penetración de este ión, probablemente debido a que al aumentar la concentración disminuye la movilidad iónica del cloruro, y a que durante los períodos de secado el exceso de concentración salina pudo obtener poros al cristalizar en ellos. Según los presentes resultados una disolución con una concentración en NaCl inferior a 0,5 M es suficiente para acelerar la penetración del cloruro mediante ciclos de inmersión/secado.

Las variables que se han controlado han sido de tipo electroquímico, tomando como sensores de la penetración del agresivo las armaduras embebidas, de ellas se deduce que:

Con el sencillo registro de la evolución del E_{corr} de la armadura o de la resistencia eléctrica del material es posible conocer la diferente permeabilidad que ofrecen a la penetración de los cloruros distintas pinturas para hormigón, aunque de ellas no se pueden sacar deducciones acerca de la cinética del proceso.

Con las medidas del i_{corr} , si es posible esto último, y aunque también son bastante selectivas, presentan el inconveniente de la necesidad de recurrir a equipos de medida más sofisticados.

Respecto a las bajas velocidades de corrosión que en general se midieron en los ciclos de salmuera y 0,2 M NaCl, podrían ser debidas a que si las concentraciones de cloruros alcanzan en las proximidades de las armaduras son muy elevadas ($[Cl^-] > 1 M$ (8)), puede aparecer un descenso del ataque respecto del teóricamente posible, ya que la elevada fuerza iónica del medio lleva a una disminución de la movilidad iónica. Concentraciones más

diluidas del baño de inmersión llevaron no sólo a procesos de despasivación más rápidos, sino también a cinéticas más agresivas.

Finalmente decir respecto a la fiabilidad del método del ensayo acelerado empleado, que su concordancia con los resultados de exposición natural es muy aceptable.

Resistencia a la penetración de cloruros de las distintas pinturas.

En cuanto a las distintas pinturas ensayadas, la que claramente ejerce una acción protectora frente a la penetración de Cl^- es la (BRE), tanto en los ensayos acelerados como en el natural. Sin embargo, las pinturas (BC) y (BRA), parecen no suponer ninguna barrera, ya que los resultados obtenidos con ellas, son muy semejantes a cuando no se emplea ningún recubrimiento (probeta PATRON), o incluso peores como ocurre en el ensayo natural con la (BC).

Las pinturas (BPEt) y (BSC), sólo fueron sometidas a ensayos de tipo acelerado, y de ellos se desprende que únicamente la BPEt manifiesta un carácter protector frente a la entrada del Cl^- .

Con lo que según esto la clasificación que se podría finalmente establecer con las pinturas ensayadas de menor a mayor resistencia a la penetración de cloruros sería:

$$\text{patrón} = BC \ 0 \ BSC \leq BRA < BPEt < BRE$$

Finalmente aclarar que si una pintura es impermeable a la penetración de cloruros debe serlo al agua donde estos obligatoriamente estarían disueltos. Esto supone por otra parte, que los revestimientos impermeables, sólo son recomendables si se aplican sobre un hormigón completamente seco, pero si el hormigón tiene que respirar el revestimiento debe ser entonces permeable al vapor de agua. En estructuras completamente sumergidas se recomendaría que fuera impermeable a ambos.

CONCLUSIONES:

1) La medida de parámetros electroquímicos como son E_{corr} , i_{corr} y Rohm, aplicada al estudio de revestimientos para hormigón permite establecer la diferente capacidad protectora frente a la penetración de cloruros.

2) El empleo de ensayos acelerados tipo los de inmersión/secado para penetración de cloruros ha mostrado ser adecuado, especialmente cuando no se emplean concentraciones demasiado elevadas de ión Cl^- (< 0,5 M) como medio agresivo externo permitiendo evaluar la capacidad protectora de pinturas.

3) En cuanto a las pinturas ensayadas, las que han mostrado un efecto barrera ante la penetración de cloruros desde el exterior, han sido las que al mismo parecen más impermeables al agua, siendo la que muestra mejor comportamiento la pintura (BRE).

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la financiación de esta investigación a la CICYT

BIBLIOGRAFIA

1. Alonso, C. and Andrade, C. - Cement and Concrete Research. 1988, Vol. 8, p. 687.
2. Alonso, C., García, A.M. y Andrade, C. - Durability of Building Materials and components. Edt. J.M. Baker, P.J. Nixon, A.J. Majumdar and H. Davies. 1990, p. 691
3. Andrade, C., Alonso, C., Bacle, B., Rodriguez J. EIP Symposium. Israel, 1988, p. 61.
4. Barnes, P., Structure and Perfomance of Cements, New York, Applied Science Publishers LTD, 1983, p. 237.
5. Browne, R.D. y Robery, P.C. - 4th Internacional Conference on Durability of Building materials and compo-nents, Singapore 1987, vol I, p. 325.
6. García, A.M., Alonso, C. and Andrade, C. - Protection of Concrete. Edt. K. Dhir and J.W. Green, 1990, p. 233.
7. Gjorv, O.E., Vennestand, O. - Cement and Concrete Research, 1979, vol. 9, p. 229.
8. Gofii, S. and Andrade, C. - Cement and Concrete Research. 1990. vol. 20, p. 525.
9. Murakami, N., Shiraishi S. and Hirano T. - Durability of Building Materials and Components, Edt. J.M. Baker, P.J. Nixon, A.J. Majumdar and H. Davies, 1990, p. 701.
10. Page, C.L. - The Institution of Corrosion Science and Technology. 1979, vol. 17, p. 2.
11. Page, C.L., Treadaway, K.W. - Nature, 1982, vol. 297, p. 109.
12. Sergi, G., Lattey, S.E. y Page, C.L. - Corrosion of reinforcement in concrete. Edt. C.L. Page, K.W.J. Treadaway and P.B. Bamforth 1990, p. 409.
13. Stern, M. y Geary, A.L. - Journal of electrochemical Society. 1957, vol. 104, p. 56

RESTAURACION DE LAS PINTURAS MURALES Y ARTESONADOS DEL PALACIO DE SANTA BARBARA EN VALENCIA (ESPAÑA).

M^a del Carmen Pérez García, Pilar Roig Picazo.

Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Universidad Politécnica de Valencia.

La Casa Solariega de los Juliá o Palacio de Santa Bárbara, es actualmente sede de la Dirección General de Deportes, sita en la calle Cadrirers, frente a la Iglesia de San Nicolás.

El Palacio tiene unas características muy peculiares, ya que es el resultado de gran número de intervenciones sobre la base de un edificio de trazado gótico. De todas ellas las más drásticas fueron las de los siglos XVIII y XIX, motivadas por el auge económico de la familia.

Ha estado cerrado desde la muerte del último barón D. José Rodríguez de la Encina en 1974, hasta que fue adquirido por la Consellería de Cultura, Educación y Ciencia para convertirlo en la actual sede.

En 1989, Consellería de C. E. y C., contactó con el Departamento de Conservación y Restauración de B. C. para contemplar la posibilidad de restaurar las pinturas murales y artesonado del Palacio.

En 1991, se procedió a la labor de restaurar las pinturas murales del Salón de Baile, la Sala de las Chimeneas, y tres artesonados de madera, dos en el piso principal y otro en la puerta principal del edificio. (Fig. 1, 2).

La problemática consistía en:

a.- DETERIOROS PROPIOS DE LA ESTRUCTURA DEL EDIFICIO:

Grietas
Desprendimientos del soporte.
Humedades por infiltración, capilaridad e Inundación.
Abolsamiento en los enlucidos.

b.- DERIVADOS DEL PROCEDIMIENTO PICTORICO:

Escamaciones.
Craqueladuras.
Pulvurencias.
Pérdida de Película pictórica.

c.- POR LA LUMINOSIDAD:

Oscurecimientos.
Decoloraciones.

d.- DAÑOS DERIVADOS DEL MEDIO AMBIENTE:

Suciedad acumulada.
Polvo.
Humo.
Polución.

e.- DAÑOS PROVOCADOS POR AGENTES BIOLÓGICOS:

Animales:
Ácaros
Xilófagos
Vegetales:

Mohos
Hongos
Minerales:
Sales
Carbonatos
Sulfatos

f.- DAÑOS PROVOCADOS POR AGENTES HUMANOS:

Agresiones
Mutilaciones
Rasgados
Golpes
Picados
Grafitis
Remodelaciones
Pintadas....

Una vez estudiado el estado en que se encontraban las obras, se procedió a la extracción de muestras para su análisis posterior. Se realizó un exhaustivo proceso fotográfico, y la realización de croquis y gráficos de deterioros, con toda esta documentación y los resultados de la analítica, se procedió a la intervención directa sobre la obra.

Para que el trabajo a realizar tuviera las condiciones de seguridad y comodidad necesarias, la empresa que realizaba la restauración arquitectónica del edificio, instaló andamios fijos sin visibilidad inferior, rodeados de barandillas y con escaleras de seguridad. Solucionados todos estos trabajos previos, se pasó a la intervención.

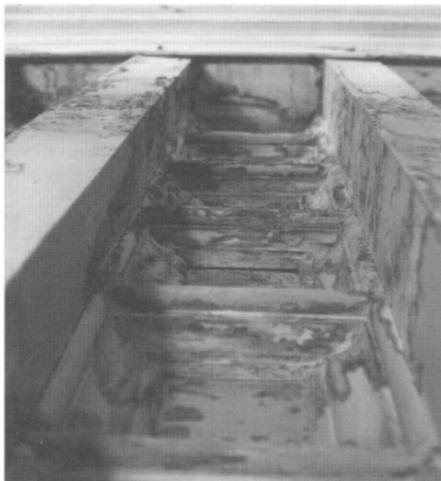


Fig. 1. Artesonado Primer Piso, antes de la Restauración.



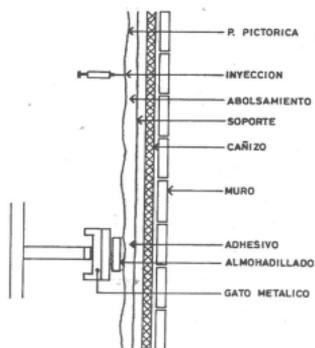
Fig. 2. Artesonado Primer Piso, proceso de limpieza.

PROCESO DE INTERVENCIÓN:

En el salón de las Chimeneas el procedimiento empleado era un temple dispuesto según la estratigrafía y los daños provocados por la problemática propia del edificio como grietas, desprendimientos y humedades. Se acometió la obra del modo siguiente: En primer lugar hubo que sanear los bordes de las grietas, procurando incidir lo menos posible en la película pictórica, pero dejando la superficie de la grieta en condiciones de recibir el estucado posterior. Se mojaron los bordes para favorecer las adhesiones, se introdujo estopa y se rellenaron con masilla, tartas realizadas con resina vinílica y carga de carbonato cálcico. En este Salón (fig. 3, 4 y 5) las grietas más complicadas, fueron las provocadas en la moldura lateral, una media caña, que apoya en cañizo con la problemática del ataque de xilófagos. Por tanto, primero se solucionó la desinfección por gas inerte (nitrógeno) o por impregnación con xilamón según el caso, y a continuación se taparon con una pasta de araldit que permitiera el juego de contracciones y dilataciones. Una vez eliminadas, se procedió al estucado final con acetato de polivinilo y carbonato cálcico y a la reintegración cromática de las mismas con colores al agua, siempre reversibles con la técnica de rigatino.

Las humedades que había sufrido la sala, fueron eliminándose mediante una ventilación correcta auxiliándonos con ventiladores eléctricos, procurando siempre un proceso natural.

Los abombamientos se redujeron con adhesivo vinílico y presión mecánica.



Las escamaciones de la película pictórica (Fig.6 y 7) fueron reducidas por medio de impregnación de Paraloid B72 en una concentración del 6% en Xileno. Este problema estaba provocado por el efectismo que el autor quiso dar a algunos de los motivos florales más destacados, colocandolos pincelados con grueso de color, y con un aglutinante no muy consistente como es el utilizado en este caso.



La limpieza se realizó teniendo en cuenta el tipo de suciedad acumulada, que consistía en humo, grasa, polvo y algunas gotas de cal. Se analizó como reaccionaban cada uno de los colores, y constatamos que los blancos reaccionaban muy bien con xileno, los azules y verdes con una mezcla de Dimetil y Tolueno, y los rojos, ocre, rosas con goma de borrar.



La reintegración de las lagunas de la película pictórica se realizó con pinturas al agua, diferenciando las partes nuevas, por medio del sistema de rigatino.

El problema se planteó en una de las paredes donde habían eliminado más de la mitad del dibujo al abrir una puerta, y en la actual estructura se había vuelto al estado original; el criterio inicial del equipo de restauradores fue dejar la zona en un tono neutro, que no molestara. Pero el equipo de arquitectos, una vez estudiado el Salón y su función posterior, decidieron que no veían que fuera bien interpretado, y querían una reposición total. Se contactó con los antiguos propietarios, para buscar fuentes documentales, pero al no encontrarlas y tener que reponer la escena sin querer inventar ni falsear, se decidió sacar un calco idéntico de unos árboles existentes en otro de los motivos laterales y se reprodujo fielmente un motivo realizado por el autor, por el sistema de rigatino.

Hay que subrayar que nuestra opinión en este caso hubiera sido dejar el tono neutro, pero en ocasiones los criterios técnicos tienen que dar paso a la funcionalidad, de ahí que se haya realizado un exhaustivo estudio fotográfico.

Solucionada la reintegración, se protegió con una disolución de Paraloid B72.



Fig. 3.- Salón de las Chimeneas. Grietas.



Fig. 4.- Salón de las Chimeneas. Proceso Final. Detalle.



Fig. 5.- Salón de las Chimeneas. Proceso Final.

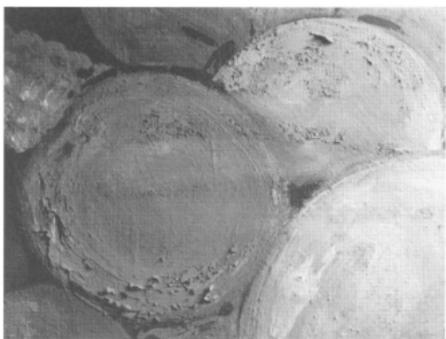


Fig. 6.- Salón de las Chimeneas. Escamaciones.

El Salón de Baile (Fig. 8 y 9), cuya técnica empleada era la misma que en el Salón de las Chimeneas, presentaba una problemática diferente. Al ser la zona noble de la casa, había sufrido varias "restauraciones" no muy afortunadas.

La preparación en esta sala era a partir de un cañizo como base, ya que estas pinturas fueron realizadas en la

última remodelación a principios del XIX ocultando un artesonado de madera. Del cual ha dejado constancia el equipo de arquitectos.



Fig. 7.- Salón de las Chimeneas. Proceso Final.

Por tanto, las grietas en esta sala han aparecido abundantemente, siendo más profundas y difíciles de solucionar, por lo cual, estando siempre expuestos a que vuelvan a aparecer.

Desde todas las grietas podría verse el cañizo que siempre aparecía atacado por xilófagos, por lo cual hubo que tratarlo de idéntica forma que en el Salón anteriormente descrito. A continuación, se sanearon las grietas, se mojaron los bordes, estucando a continuación, y reintegrando posteriormente.

La película pictórica tenía la problemática similar al otro salón, pero aparecían zonas con pulverulencias, escamaciones y craqueladuras, que se solucionaron con Paraloid B72 al 3 o al 6% en disolución de xileno, aplicado según el caso, con pulverización, impregnación o por inyecciones.

Antes de proceder a la limpieza, la zona central alrededor de los ángeles que sujetaban la lámpara era un íntegro repinte azul que desvirtuaba por completo el conjunto, por lo cual se decidió eliminarlo, llegando al original con un procedimiento mecánico de escalpelo y lápiz de fibra de vidrio.

La suciedad de este salón era menos abundante, que en el de las Chimeneas, y se eliminó en muchas zonas con tolueno y dimetil al 50%.

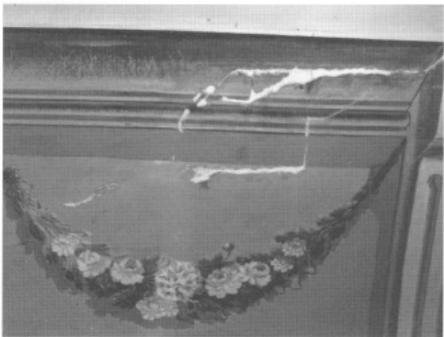


Fig. 8.- Salón de Baile. Antes de la Restauración.

la reintegración se realizó por medio de pinturas al agua y con la técnica de rigattino, así como la protección con una disolución de Paraloid B72 disueltos en xileno al 6% con pistola.



Fig. 9.- Salón de Baile. Después de la Restauración.

Relación de los integrantes del equipo de restauración:

- Encargados del Salón de las Chimeneas:
M^a Victoria Vivancos, Julia Osca, María Gómez, María Castell, Sofia Vicente, Raquel Santamaría, Mónica Iranzo, Mónica Vázquez, M^a Llanos Argudo, M^a José Escrig, Miguel Pitarch, Rosario Arcos, Inmaculada Chuliá, M^a Dolores Montañana, M^a Teresa García, Elvira Aura, Concepción Martí, Consuelo Puertes, Julián García, Teresa Olivares, Inmaculada Fernández, M^a Antonia Gómez.

- Encargados del Salón de Baile:

Julio Vázquez, M^a Carmen Ferrer, Juana Puente, Mónica Descals, Mari Aparisi, Mayte Ariño, Pilar Valero, M^a Belén Ciscar, Jose Antonio Madrid, Pilar Elena Gallart, Flaminia Guallart, Santiago Gregori, Lola Ros, M^a Teresa Fuster, M^a Francisca Sarrío, Marisa Martínez, Lucía Peiró, Josefa Carretero, Saida Porres.

Responsables del proceso general de restauración: M^a Carmen Pérez García y Pilar Roig Picazo. Proceso fotográfico, Milagros Ferrer; analítico, Teresa Domenech; histórico, Daniel Benito Goerlich.

STAINED GLASS CONSERVATION: INNOVATIVE RESEARCH AND NEW MATERIALS

Römich, H. and Fuchs, D.R.

Fraunhofer-Institut für Silicidforschung,

Neunerplatz 2, D-8700 Würzburg, Federal Republic of Germany

SUMMARY

Within the last years two new materials were developed for stained glass conservation: a multilayer protective coating, based on heteropolysiloxanes and inorganic fillers, as well as a paint layer consolidant, based on silicon and zirconium alkoxides. The effectiveness of these systems was examined in laboratory tests on simulation test pieces (e.g. corrosion sensitive model glasses) using accelerated tests in climatic chambers and weathering under outdoor conditions. Pilot studies on original panels are considered to be the last step before recommending the materials for routine application in the restorers workshops. This report reviews the development and scientific characterization of the materials, featuring application methods, and first results on pilot studies and pretreatment techniques.

RESUME

Durant ces dernières années deux nouveaux matériaux ont été développés pour la conservation des vitraux: une nouvelle couche protectrice contre la corrosion à base d'hétéropolysiloxanes et de pigments inorganiques ainsi qu'un gel inorganique permettant la fixation de peintures à base d'alkoxydes de silicium et de zirconium. L'efficacité des deux systèmes a été étudiée en laboratoire sur des échantillons (par exemple des verres très sensibles à la corrosion) simulant les dommages causés sur des vitraux corrodés ou dont la peinture n'achève pas efficacement. La dernière étape de nos recherches consiste en quelques essais sur des panneaux originaux avant de recommander l'application générale sur les vitraux. Cette publication donne un aperçu des études menées sur les modèles ainsi que la caractérisation des propriétés des deux polymères protecteurs. Elle met aussi l'accent sur les méthodes d'application de ces matériaux sur des vitraux originaux.

KEYWORDS

Conservation, Stained Glass, Protective Coating, Consolidant, Glass Restoration Techniques, Corrosion Sensitivity.

1. INTRODUCTION

The composition of glass is the key factor for its durability [7,9]. Medieval glass windows just like metal sculpture and many other types of art objects, are susceptible to corrosion due to the attack of water and pollutants on the surface [2,6].

Parameters influencing deterioration were investigated although a complete understanding of the process has not yet been achieved [7,9].

The speed of decay can be decreased by storing the glass in a museum environment [8] - a rather unsatisfactory procedure for stained glass windows which gain their sphere of harmony only in their architectural surroundings. The windows can be shielded against vandalism, storm, and rain by placing them behind a protective glazing [8]. Still, condensation effects cannot be avoided completely in most cases and the damage by ongoing corrosion can be delayed only to a certain extent.

Preserving the present condition of the glass surface against further corrosion by sealing it hermetically with an effective and durable coating would be a desirable solu-

tion. However, the requirements for such a material are very complex. The resins used up to now in the restorers workshops are organic polymers [8] which showed in practice a variety of shortcomings such as insufficient adhesion and poor aging properties.

Another major problem in conservation research for stained glass windows is the consolidation of loose paint layers [8]. The reasons for flaking paint and peeling of trace lines cannot be explained only by the corrosion of the glass substrate itself, but can also be due to deterioration of the paint layer or an incorrect firing process. Therefore, the consolidation of endangered paint layers is not a problem limited to medieval glass windows but also is required for pieces of more recent times, including windows from the 16th through the 19th century.

In the Fraunhofer-Institut für Silicidforschung (ISC) two new materials have been developed for stained glass conservation: a multilayer protective coating based on heteropolysiloxanes and inorganic fillers [3,4,14] as well as a paint layer consolidant based on silicon and zirconium alkoxides [4,11].

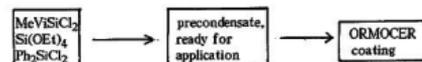
2. A NEW PROTECTIVE COATING

2.1 Requirements

In order to protect the glass surface from further corrosion, the coating material has to provide excellent adhesion to the corroded glass substrate and the diffusion of water and pollutants has to be decreased substantially. In addition, modern conservation standards require that the protective coating has to be reversible and should not have a visible impact on the pieces of art. As any heat treatment can be harmful for historic glasses, the coating process has to be carried out at room temperature. In practice problems with conventional materials (organic polymers) arose from their insufficient adhesion properties to glass, especially after aging [8].

2.2 Chemical background and structure of the coating

The base material of the new coating is a heteropolysiloxane, a so-called ORMOCER (organically modified ceramics), with properties of inorganic as well as organic compounds. The synthesis of the lacquer is realized from its components, following a hydrolysis and condensation



reaction according to the sol-gel process [3,12]:

The feature of this material is its good adhesion property to corroded glass surfaces. Concerning the permeability for water, the values for the heteropolysiloxane are still in the range of organic polymers [14]. Therefore, inorganic plate-like particles are embedded into the lacquer to form a more effective diffusion barrier as shown in figure 1.

In consequence, the whole protective system is built up as a three-layer composite coating:

The refractive index of the lacquer is adjusted according to the glass and the pigments by addition of an acrylate

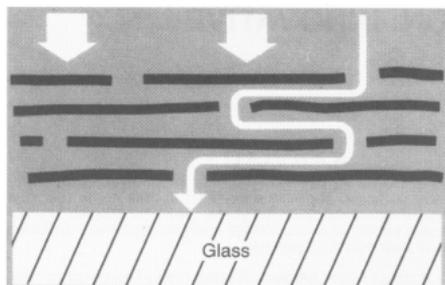


Figure 1: Plate-like particles, overlapping each other, act like a barrier against water and pollutants by creating longer and narrower diffusion paths.

component to make them invisible in transmitted light. Instead of glass flakes, even smaller pigments like mica can be used. In this case the appropriate lacquer to use

In consequence, the whole protective system is built up as a three-layer composite coating:

base coat	50 % ORMOCER 50 % Paraloid B72 solvent: acetic ester dilution: 1:3	adhesion to glass and corrosion products, levelling out of relief
protective layer	50 % ORMOCER 50 % Paraloid B72 solvent: acetic ester dilution: 1:10 inorganic pigments: glass flakes	incorporation of diffusion barriers for corrosion protection
covering layer	100 % Paraloid B72 with UV absorbers solvent: toluene dilution: 1:10	protection against UV, scratch resistant, low tendency to attack by dirt

consists of 80% ORMOCER, 10% Paraloid, and 10% Plexigum (solvent: acetic ester, dilution 1:4).

The low-interlaced structure of the ORMOCER is necessary for its solubility in organic solvents which means reversibility. This inevitable consequence of a flexible material has to be compensated by a third layer of acrylate to increase the scratch resistance. An addition of UV absorbers improves the resistance against UV radiation and oxidizing processes.

2.3 Application

According to the individual specifications of the various objects the coating system should be flexible in its procedure of application:

- the base layer and the top layer can be applied by using a standard spray gun or manually with appropriate brushes;
- mica as pigments can be applied by mixing the particles into the lacquer and spraying the homogenized suspension using a rotation spray gun;
- the glass flakes as pigments can be applied only manually by successive steps of brushing-on the lacquer and embedding the particles by an easy-to-handle electrostatic method.

Before the application of the next layer the previous coating has to dry for several hours at room temperature. Although the manual techniques are much more time con-

suming, they imply the possibility to control the thickness of the coating and to distinguish between different parts of a panel. The lead network of a window is not effected by the coating.

2.4 Characterization and testing

The properties of the coating system were characterized by material scientific standard methods: permeability against water vapour, adhesion on polished and corroded glass substrates, stability against UV radiation, weathering resistance [3].

The development and optimization of the coating were carried out on model glasses with compositions similar to very corrosion sensitive medieval glasses [5]. Comparable results from extensive series of experiments can only be obtained by using simulation materials instead of originals. Another advantage includes the possibility for better analytical investigations: e. g. model glass test pieces can be cut into thin slices, suitable for transmission microscopy. The corrosion progress of these specially prepared model glasses can be quantified by infrared spectroscopy [4, 5].

The protective effect of the ORMOCER coating was examined by comparison of treated and untreated glass samples after exposition to various climatic and air pollution stresses in climatic chambers and outdoor weathering test [1, 3, 13]. An example is given in Figure 2.

Without coating:
cracked surface,
corrosion products

with ORMOCER coating:
the glass remains intact

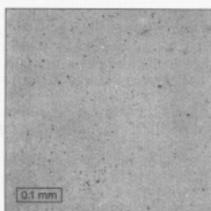
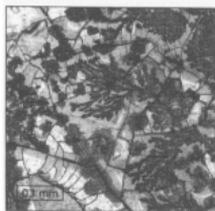


Figure 2: Result of the microscopic investigation of particularly sensitive glass after 100 days natural weathering

The reversibility of the conservation treatment was examined after aging of the lacquer: the coating material remains soluble in toluene even after long-term exposition to natural or accelerated weathering conditions.

2.5 Pilot studies on originals

After a laboratory testing phase of about three years the principle suitability of the new protective system was attested and first experiments with medieval original glasses were ventured.

Glass fragments dated 12th, 14th, 15th century of York Minster were leaded together to so-called "experimental glazed units". The pieces were cleaned by restores with different routine methods and then coated with the ORMOCER protective system [10]. Similar procedures were carried out with historic glasses from the Netherlands laboratory and from Erfurt, Germany. These units were exposed to accelerated laboratory weathering tests as well as to normal outdoor conditions at the original sites. The experiments showed a high protective effect of the ORMOCER coating (see Figure 3).

The last phase of the development of a new material for conservation had to include the application of the new treatment in cooperation with restorers in their workshops as

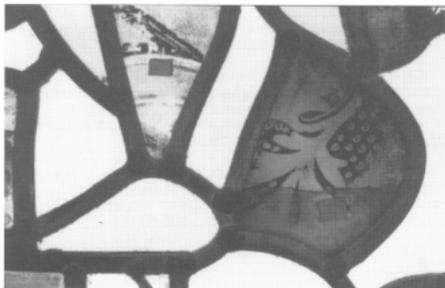


Figure 3: Section from an experimental glazed unit consisting of glasses from York Minister, UK. The upper part of the glass was protected with the ORMOCER coating, the lower part was untreated. The protective effect is visible after accelerated weathering in a climatic chamber.

well as long-term exposition of treated originals under natural conditions. Therefore, the ISC carried out pilot studies on originals in different workshops, covering various origins of the glasses and selected pretreatment procedures:

- Gotland, Sweden (1986)
- Creglingen, Germany (1988)
- Cologne, Germany K(1988)
- York, UK: panels from the Zouche Chapel, Vestibule, Capter House North and South (1989)
- Erfurt, Germany (1990)



Figure 4: Example for a pilot study on originals: a panel from Cologne (14th century) after the application of the ORMOCER coating.

The panels will be examined after a few years of exposition on their original sites. A comprehensive documentation of the glass surface before treatment was necessary to determine the corrosion progress and the protective effect even after long-term periods of exposition.

3. A NEW CONSOLIDANT FOR ENDANGERED PAINT LAYERS

3.1 Requirements

The new material has to improve the adhesion of loose paint particles to the glass substrate. Diffusion barriers are not necessary as there is no principle request for a protection effect. The treatment should not change the visual appearance of the art object and has to be applied at room temperature. In contrast to a protective coating the

consolidation of endangered paint cannot be carried out as a reversible process. At present materials used in practice for paint fixation are mostly the same organic polymers as applied for protection against corrosion [8].

3.2 Chemical background

The new attempt for the development of a fixation material concentrated on inorganic gels with a structure very similar to glass, so, good adhesion properties to glass and paint can be expected. After testing a broad variety of starting materials a mixture of silicon and zirconium alkoxides (SZA), precondensated partially, seemed to be appropriate [4, 11]. After application of the solution to the glass substrate an inorganic network is built up, following a sequence of hydrolysis and condensation reaction according to the sol-gel technique [12].



The synthesis of the precondensate and the results of the examination of the reaction in solution have been described in a previous publication [11].

3.3 Application

A freshly prepared alkoxide solution is storable up to two weeks. The consolidation treatment can be carried out with an ordinary brush. Corresponding to the thickness and porosity of the paint, the procedure can be repeated several times; the treatment should be limited to the paint layer contours. The panels should be allowed to dry in the workshops for at least one week before further treatment [e. g. application of a protective coating]. An application by spray techniques is not recommended.

3.4 Characterization and testing

The development and characterization of the SZA (silicon-zirconium alkoxide) fixation system was carried out using different test pieces: corroded of uncorroded glass substrates were painted with Schwarzlot. A short drying instead of a hard firing process left the paint very loose and easy to be removed thus simulating "endangered" layers in an appropriate way.

For all experiments only one half of the pieces surface was consolidated in order to determine the fixation effect by direct comparison of the treated and untreated part. Adhesion tests were carried out by exposing the samples in an ultrasonic bath or by pressing on and pulling off an adhesive film. Loose paint particles get washed off in the ultrasonic bath or stick to the tape whereas the consolidated part remains nearly unchanged.

3.5 Pilot studies on originals

In contrast to years of experience with the ORMOCER protective coating, the inorganic fixation material SZA is just about to leave the laboratory test phase. Some experiments were carried out glasses of the 19th century with paint losses due to incorrect firing processes.

In August 1991, the first pilot study with original panels was carried out on windows from Horbach, Germany. Important experiences concerning pretreatment techniques could be made. The windows are now exposed at their original site in Horbach again and will be examined in 1992.

4. TREATMENT BEFORE CONSERVATION

The adequate preparation of the glass surface before conservation is essential for the effectiveness and long-term stability of the treatment. Traditional cleaning techniques include a variety of "wet" (water, organic solvents, EDTA) and "dry" (e. g. brushes, scapel) methods [8]. The choice of an appropriate technique is up to the restorers responsibility. In the ISC a new project deals with the effectiveness and potential damage of cleaning techniques using comparable corroded model glasses.

The original panels used for testing the protective coating were cleaned with different dry techniques. The adhesion properties of the ORMOCER to corrosion products seem to be very good so, no hard cleaning of the glass surface is necessary.

Loose paint particles and dust are in many cases homogenated in a way that a separation is hardly possible. Experiences have to be made in further pilot studies whether a cleaning of the panels should be made before or after the fixation of the paint

5. CONCLUSION

After years of development and testing on corrosion sensitive model glasses and experimental glazed units, the ORMOCER protective coating can be applied now in a broader scale on original windows.

The consolidation material for loose paint layers (SZA) is just about to leave the laboratory test phase. Further investigations on its effectiveness and long-term stability on original panels have to be carried out before recommending the method for routine application in stained glass conservation.

6. ACKNOWLEDGEMENT

The research project was generously supported by the Umweltbundesamt, Berlin, and was integrated in the international NATO-CCMS study on historic stained glass windows.

The authors like to thank the restorers in the workshops as well as the responsible officials for their helpful cooperation. In the UK: R. Newton, P. Gibson, The Dean & Chapter (York); in The Netherlands: R. Crevecoeur, T. Jütte; in Germany: E. Jägers, P. Dekker, A. Wolff (Cologne), Messrs. H. Oidtmann (Linnich), Messrs. V. Saile (Stuttgart), Messrs. van Treck (Munich), P. Forberg (Erfurt), E. Drachenberg, W. Müller (Berlin).

7. REFERENCES.

[1] Fuchs, D.R. and Schmidt, H., Material science- new

inputs in the field of preservation of historic stained glass windows. 2nd International Conference on Nondestructive Testing, Perugia, Italy (1988)

[2] Fuchs, D.R., Patzelt, H. und Schmidt, H. Schädigungen an historischen Glasfenstern: Phänomene, Mechanismen, Konservierungskonzepte. In: Umwelteinflüsse auf Oberflächen. Kontakt & Studium, Expert Verlag 282, 174-192 (1989).

[3] Fuchs, D.R., Patzelt, H. und Tünker, G., Immissionsschutz für historische Glasfenster - Internationale Untersuchungen neuer Methoden. Forschungsbericht UFOPLAN-Nr. 106 08 005/2 (1987)

[4] Fuchs, D.R., Römich, H., Tur, P. und Leibner, J., Konservierung historischer Glasfenster - Internationale Untersuchungen neuer Methoden. Forschungsbericht UFOPLAN-Nr. 106 07 005/03 (1991).

[5] Fuchs, D.R., Römich, H., and Schmidt, H., Assessment of complex corrosive stresses in conservation research. Material Research Society, Proc. G: Art and Archaeology 185, 239-251 (1991)

[6] Frenzel, G., Schadensursache und Zerfall mittelalterlicher Glasmalerei. Glas-Email-Keramik 5, 168-171 (1971)

[7] Gilles, K.J.S., and Cox, A., Decay of medieval stained glass at York, Canterbury and Carlisle. Glstech. Ber. 61, 101-107 (1988)

[8] Newton, R.G., The deterioration and conservation of painted glass- a critical bibliography, Oxford University Press, New York 1982

[9] Newton, R.G. The durability of glass- a review, Glass Technology 26,21-38(1985).

[10] Newton, R. G. and Fuchs, D.R., Chemical composition and weathering of some medieval glasses from York Minster. Glass Technology 29,43-48 (1988).

[11] Römich, H., Fuchs, D.R., Popall, M., and Schmidt, H., A new fixation method for paint layer conservation. CVMA News Letter 45 (1991) in print

[12] Schmidt, H., Chemistry of material preparation by the sol-gel process. J. Non-Cryst. Solids 100, 51-64 (1988)

[13] Schmidt, H. and Fuchs, D.R., Protective coatings for medieval stained glasses. Material Research Society, Proc. G: Art and Archaeology, San Francisco 1990.

[14] Tünker, G., Patzelt, H., Schmidt, H. and Scholze, H., Neue Wege zur Erhaltung historischer Glasfenster. Glstech. Ber. 59, 272-278 (1986).

Problemática de la degradación de vidrieras y alternativas planteadas.

J. Rubio, F. Morales y J.L. Oteo.

Instituto de Cerámica y Vidrio (CSIC). Arganda del Rey. Madrid. España.

SUMARIO.

En el siglo pasado, al tiempo que se produce una valoración nacionalista de los estilos medievales, se desarrolla un acusado interés por el estudio de la historia, la técnica y la estética de las vidrieras. Estas con el paso del tiempo se fueron degradando por la acción de la atmósfera ambiental y las radiaciones. También durante dicho siglo se realizaron abundantes restauraciones en la que fue preciso el estudio de la técnica y de los procedimientos, además del conocimiento y de las formas.

Hoy en día, el estudio de la degradación de las vidrieras antiguas, se realiza con instrumentación científica muy sofisticada, como XPS, SIMS, etc. con el fin de cuantificar la causa de la degradación.

Diferentes vidrios han sido estudiados, entre los que se encuentran los de alto contenido en silice y los de color conteniendo óxidos de plomo y fósforo además de K_2O - CaO - MgO y SiO_2 . En todo tipo de vidrios se encontró una superficie aparentemente sin alteración. Sin embargo, los perfiles de concentración de iones revelaron una eliminación diferente de los modificadores de red, así como la incorporación de hidrógeno. Los perfiles de profundidad mostraron también un enriquecimiento de algunos constituyentes (potasio, bario y plomo) en los dominios más externos. La formación de estas capas superficiales puede ser una razón para la alta durabilidad que muestra el vidrio de color a pesar de su poco contenido en silice.

SUMMARY

During last century grows the study and the knowledge for the history, technique and artistic effect of ancient glass windows. Besides of corrosion produced in glass windows by the atmosphere and radiations other attack was realized when restoration was carried out in that century. Anyway the study of the technique of producing glass windows was necessary in order to take into account such restorations.

Today the study of the corrosions of ancient glass windows is carried out with sophisticated instrumentation such as XPS, SIMS, etc., in order to quantify the kind of weathering attack.

Different glass windows have been studied with chemical compositions varying the silica concentration and having also P and Pb oxides besides K_2O - CaO - MgO and SiO_2 . In some glasses an unaltered surface was found. In others a different elimination of the network modifiers was found besides the presence of hydrogen. Depth profiles showed an enrichment of some constituents (K, Ba, Pb) in the external surface. The formation of such layers may be a reason of the high durability found in some stained glasses with low silica content.

PALABRA CLAVE

Vidriera. Medieval. Corrosión.

I. INTRODUCCION

Gran parte de los vidrios de vidrieras medievales de iglesias y catedrales han sufrido un considerable deterioro principalmente como resultado de los procesos naturales del medio ambiente (lluvia, etc). Estos procesos de ataque a los vidrios pueden ser de todo tipo, desde muy ligeros a

muy fuertes, siendo en estos últimos donde gran cantidad de productos de ataque pueden identificarse.

Muestras individuales normalmente están recubiertas por orificios de forma hemisférica (aproximadamente), los cuales pueden alcanzar hasta varios milímetros en diámetros, dando lugar a un aspecto granuloso; en los casos más serios la superficie original puede perderse completamente. En las superficies erosionadas, se encuentran costuras opacas que con frecuencia alcanzan un espesor de varios milímetros.

El vidrio medieval es principalmente un vidrio potásico, denominado también como "vidrio forestal", obtenido a partir de cenizas de plantas y árboles que por su alto contenido en potasio fueron utilizadas como fuentes de álcali. Los resultados de primeros estudios demostraron que la durabilidad del vidrio depende primeramente de su composición y que los vidrios de silice-calcio-potasio, son los menos resistentes al ataque atmosférico que en aquellos en los que el sodio es el álcali predominante.

La degradación del vidrio en la atmósfera ambiental es un proceso complejo que en las primeras etapas (y posiblemente más tarde) depende de la presencia del agua. Aunque se han realizado muchos estudios sobre el ataque de vidrios por disoluciones acuosas, éstos no son totalmente análogos a los que tienen lugar cuando vidrios complejos son degradados por la atmósfera, que además de vapor de agua, contiene gases reactivos como CO_2 y SO_2 .

En condiciones ácidas existe un reemplazo de iones alcalinos en el vidrio por H^+ , siendo ésta una reacción de intercambio en la capa superficial lixiviada. Los iones H^+ son realmente H_3O^+ , es decir, moléculas de agua. Hasta un pH de 9, la velocidad de extracción de los álcalis no depende del pH. A pH superiores a 9, la extracción de álcalis disminuye aumentando rápidamente la de silice, ya que los iones hidróxido rompen muy deprisa la red vítrea.

Estudios realizados sobre el ataque ambiental en vidrios medievales de Europa, han mostrado que los modificadores de red (principalmente potasio, calcio y magnesio en vidrios potásicos) junto al fósforo, son lixiviados de la superficie de las muestras. Los principales compuestos identificados en los productos extraídos, han sido sulfatos y carbonatos. (5)

Los vidrios medievales utilizados en iglesias y catedrales Góticas y Románicas, están caracterizados por su alto contenido en iones modificadores, los cuales son los responsables de la gran sensibilidad hacia el ataque atmosférico. Diferentes investigaciones realizadas en todo tipo de muestras de Europa, han revelado que la mayoría de los principales constituyentes son: silice, calcio, magnesio y potasio (en lugar de la sodia que se emplea hoy en día). Las relaciones relativas de composición puede variar de un vidrio a otro, pero siempre su suma está alrededor del 90%. El resto (10%) incluye a los óxidos de fósforo, aluminio, manganeso, hierro y sodio, y trazas de otros elementos como bario y estroncio y óxidos metálicos añadidos como colorantes.

Los estudios del deterioro causado por el ataque atmosférico son muy complejos debido a los numerosos factores involucrados en el proceso. Estos factores dependen de las características del vidrio (composición, color, origen, época, historia térmica, rugosidad superficial) y de condiciones externas como el clima, exposición a contaminantes atmosféricos, orientación, etc.

En este trabajo se resumen los resultados encontrados por diferentes autores, relativos a las investigaciones realizadas sobre muestras de vidrios medievales utilizados en vidrieras de iglesias y catedrales.

II. Composición Química.

La composición química de los vidrios medievales viene determinada fundamentalmente por dos factores:

1.- Tecnología del proceso de fusión existente en aquellos siglos.

2.- Color deseado para el vidrio.

El segundo factor afecta muy poco a la temperatura de fusión del vidrio, mientras que el primero depende en gran medida del contenido en sílice, calcia, potasia y magnesia.

En la Tabla I se recogen las composiciones químicas medias empleadas en la obtención de vidrios en función del siglo en el cual éstos fueron elaborados. (1,5,6)

De acuerdo con esta Tabla, puede decirse que a medida que se iba conociendo mejor el proceso de fusión y se mejoraba el sistema de aporte de calor para la fusión, se aumentaba el contenido en SiO₂, disminuyendo el de los restantes óxidos mayoritarios: K₂O, CaO, MgO. El resto de los óxidos, a excepción del CuO, PbO₂ y P₂O₅, varía de forma aleatoria ya que su empleo es debido a impurezas de las materias primas o a adiciones necesarias para un color determinado. Los óxidos CuO, PbO y P₂O₅ varían en algunas muestras de forma muy importante, debido tanto a la materia prima como a la necesidad de una coloración dada.

COMPONENTE	SIGLO					
	XIII	XIV (i)	XIV (m)	XIV (f)	XV	XVI
SiO ₂	48-49	42-52	41-56	48-58	53-56	55-62
K ₂ O	14-18	15-17	15-18	15-17	10-17	10-12
CaO	20-28	24-30	21-24	18-23	14-20	12-18
MgO	6	6-7	5-6	5-6	4-6	4-5
Al ₂ O ₃	2	2	1-2	1-2	1-2	1-4
P ₂ O ₅	0.5	0.4	1-6 (*)	0.4	0-2	1-3
PbO	0.08	0.1	0-5 (*)	0-0.4	0-10	0.01
Na ₂ O	0.1	0.12	0.06	0.07	0.07	0-3
SrO	0.09	0.08	0.07	0.09	0.05	-
BaO	0.34	0.24	0.12	0.20	0.15	-
Fe ₂ O ₃	0.51	0.14	0.20	0.55	0.40	0.55
MnO	0.68	0.30	0.40	0.50	0.40	1.5
CuO	-	0.01	0-2 (*)	0.14	0.8	0.03
CoO	-	-	-	0.13 (+)	0.1++	0.08
TiO ₂	0.18	-	-	-	0.2	0.2

Tabla I. Composición química de vidrios antiguos.

El principal componente de dichos vidrios es el SiO₂, seguido por el CaO, K₂O, MgO y Al₂O₃ ó Na₂O en orden decreciente. Cualquier vidrio multicomponente obtenido con todos estos óxidos suele ser de aspecto incoloro, por lo que es necesario añadir otros óxidos componentes que en proporciones muy minoritarias dan el color deseado. La relación respectiva de los óxidos minoritarios, da tanto el color como la tonalidad de éste. En aquella época medieval, los artesanos vidrieros ya poseían el conocimiento de las composiciones necesarias para un color determinado, o mejor dicho, sabían qué materias primas debían de añadirse o eliminarse para obtener un color.

III. DEGRADACION DE LAS VIDRIERAS.

El ataque atmosférico de los vidrios medievales produce toda una serie de tipos de superficies degradadas. Existen distintas clasificaciones para expresar estas superficies atacadas, recogiendo aquí aquella más general que considera solamente tres tipos: (P) Corrosión Puntual, (G) Corrosión General e (I) Superficie aparentemente inalterada. Esta clasificación se basa en la apariencia de la superficie a simple vista, es decir, según el grado de alteración. (4)

En todas las zonas atacadas de vidrios medievales, ya sean de la clase P ó G, se han encontrado calcio y azufre en la capa exterior. Investigaciones realizadas mediante difracción de rayos X han demostrado que en la mayoría de los casos se ha formado yeso como producto cristalino de la corrosión. Mediante Microscopía Electrónica de Barrido se ha determinado que además existe silicio y pequeñas cantidades de hierro y manganeso, lo que indica que también se ha formado sílice hidratada durante el proceso de corrosión.

Las primeras investigaciones realizadas sobre el ataque de vidrios antiguos, mostraron que además del yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) se formaba también singenita ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) en la capa corroida. En algunos casos se han encontrado carbonatos y sulfatos de calcio, potasio y magnesio, así como amoníaco y cobre. También aparecía sílice hidratada y a veces -cuarzo y -cristobalita. Dado que el contenido en azufre de los vidrios medievales es bastante bajo, la formación de sulfatos y carbonatos se debe a la reacción de los componentes del aire, CO_2 y SO_2 , con los constituyentes del vidrio. Estos mismos resultados se han encontrado haciendo reaccionar a vidrios modernos pero con las mismas composiciones que los medievales y aire con cierta humedad relativa; Si una cierta concentración de SO_2 existe, la velocidad de la reacción es mucho mayor.

La presencia de una capa de corrosión en la superficie de los vidrios medievales, ya sea de forma puntual o general da lugar a una reducción de la transparencia de los vidrios.

La corrosión de los vidrios medievales se produce por un ataque puntual a las zonas donde existe una menor cantidad de iones formadores (es decir, una baja concentración de sílice). Esta etapa inicial da lugar a la formación de superficies lixivadas puntualmente para pasar más tarde a una corrosión general. Este ataque puntual se inicia debido a la existencia de inhomogeneidades o inclusiones tales como burbujas de gas o infundidos, los cuales originan microgrietas concéntricas. (4)

Aquellos vidrios que prácticamente aparecen inalterados, son los que el contenido total en formadores de red está por encima del 60% molar, siendo el potasio y el calcio los elementos modificadores de red. Por lo tanto, la composición química del vidrio es uno de los factores que influye en la durabilidad al ambiente.

IV. ESTUDIO GENERAL DEL PROCESO DE CORROSION DE VIDRIERAS.

Como se ha comentado anteriormente, las vidrieras antiguas sufren un ataque por la atmósfera ambiental, debido a la presencia de la humedad del aire y de ciertos gases como los dióxidos de carbono y azufre. Esta corrosión es mayor cuando el vidrio está constituido por un porcentaje de óxidos formadores de red vítrea inferior al 60%. A pesar de que en dicho proceso influyen numerosos factores, tales como la historia térmica, la forma de elaboración, humedad anual de la zona donde se encuentra expuesta la vidriera, presencia de inhomogeneidades, etc., es finalmente la composición química el factor preponderante. A partir de este resultado, sobre el cual están de acuerdo prácticamente todas las investigaciones realizadas en distintos países respecto del proceso de corrosión de vidrieras antiguas, y teniendo en cuenta los resultados expuestos en la Tabla I, relativos a la composición química de éstas, es a partir del siglo XV, cuando se consiguen vidrios con alto contenido (relativo) en SiO_2 y bajo contenido (relativo) en K_2O y CaO y por tanto a partir de dicho siglo, las vidrieras hoy en día permanecen prácticamente inalteradas. Son por lo tanto éstas fabricadas anteriormente a dicho siglo las que sufren una degradación cada vez superior.

También se ha dicho que los vidrios antiguos atacados, ya sean de forma puntual (P) o general (G), presentan unos productos de corrosión los cuales suelen ser yeso, singenita,

sílice hidratada, calcita y algunas veces α -cuarzo y β -cristobalita.

Diferentes investigadores (5) han encontrado que debido a los productos de corrosión existe una zona profundamente perturbada, a través de la que se ha producido el ataque y continuará con el tiempo, puesto que, como se ha demostrado en investigaciones recientes (6), la lixiviación de los vidrios por soluciones acuosas es un proceso en el cual existe un intercambio de los elementos modificadores de la red vítrea (K, Na, Ca, etc) por iones H_3O^+ ; la velocidad de este proceso es proporcional a la superficie vítrea expuesta a él, por lo tanto una vez que ha comenzado la corrosión, la superficie puntual del vidrio va aumentando favoreciendo el ataque posterior y así sucesivamente.

La acción del agua sobre el vidrio, puede considerarse como un ataque alcalino, ya que inicialmente el agua tiene un pH ligeramente ácido y al reaccionar el vidrio se produce un reemplazo de los iones alcalinos de la red vítrea por los iones H_3O^+ del agua según un bien conocido proceso de difusión. Entonces los iones alcalinos extraídos, si no son eliminados reaccionan de nuevo con el agua para formar rápidamente una solución muy alcalina que rompe los enlaces SiO y por lo tanto la red vítrea.

Estas conclusiones que se han encontrado para ataques a vidrios recientes, se ven reforzadas cuando el agua lleva disuelta SO_2 y CO_2 . Así, la presencia de estos dos componentes, habituales en la atmósfera ambiental, producen junto con el agua un ataque mucho mayor a cualquier superficie vítrea mediante una reacción de intercambio de los iones alcalinos y de los iones H_3O^+ , formando el sulfato o carbonato correspondiente.

La presencia del agua es necesaria para que el SO_2 pueda reaccionar, a temperatura ambiente, con la superficie del vidrio. Esta reacción viene controlada por la velocidad de difusión de los iones alcalinos en la superficie de éste.

Es de tener en cuenta que el sulfato de potasio nunca se ha encontrado en la superficie de los vidrios, lo que es debido a su alto poder de disolución en agua a diferencia del sulfato de calcio y carbonato de calcio.

De acuerdo con este proceso general de ataque a vidrios antiguos por el agua y los gases CO_2 y SO_2 , puede subdividirse dicho proceso en tres que dependen de la composición del vidrio: (a) vidrios cuyo contenido en óxidos modificadores es inferior al 16%; (b) vidrios cuyo contenido en óxidos modificadores es superior al 16% y (c) vidrios con alto contenido en óxido de calcio. Para el caso (a) el contenido en sílice suele sobrepasar el 60% y por lo tanto el ataque ambiental a la superficie del vidrio es únicamente puntual (p), existiendo zonas muy localizadas donde se produce la perturbación de la superficie vítrea. Estas zonas pueden alcanzar un tamaño de 1 a 2 mm., lo que da lugar a una fuerte deterioración del vidrio. En estos vidrios solamente se ha encontrado yeso ($\text{SO}_4 \cdot \text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en las zonas atacadas, la singenita ($\text{SO}_4 \cdot \text{Ca} \cdot \text{SO}_4 \cdot \text{K}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) nunca se ha observado.

Para el caso (b), el cual corresponde a una elevada concentración de óxidos modificadores de red (superiores al 16%), los vidrios antiguos atacados por la atmósfera presentan en su superficie una mezcla de yeso y singenita, formando una capa o "costra" superficial que puede recubrir prácticamente toda la superficie. Este es el caso que se considera un ataque general (G) a su superficie. Sobre ésta se han encontrado innumerables cráteres en los cuales existe $\text{Ca}+\text{S}$ y $\text{Ca}+\text{K}+\text{S}$, lo que indica la presencia simultánea de yeso y singenita. La capa de yeso es uniforme sobre toda la superficie, por lo que se supone que es un primer estado de corrosión de estos vidrios, el cual se efectúa de una forma muy homogénea y no puntual como ocurría para el caso anterior.

En el caso (c), es decir, para vidrios cuyo contenido en calcio es alto, superior al 13%, se ha encontrado siempre calcita asociada al yeso, pero nunca a la singenita. Sin

embargo, se ha observado que la calcita que recubre la superficie de los vidrios realmente los protege de un ataque posterior, ralentizándolo o incluso deteniéndolo. Los depósitos de calcita protegen a los vidrios ácidos poco ricos en óxidos alcalinos de un ataque básico. En el límite, la calcita juega un cierto papel protector.

Antes de finalizar este apartado debemos hacer especial mención al ataque producido por otros agentes destructivos: Los microorganismos. El musgo, líquenes y algas, además de mantener la humedad de la superficie, lo que favorece el proceso de corrosión, segregan ciertos ácidos acelerando el ataque. La presencia de bacterias ha sido sugerida por ciertos investigadores (2,3) debido a resultados que no eran explicados por medio de las reacciones de corrosión. Estos han sido dos: Los que tienen lugar en la superficie de la zona atacada o los que se sitúan en el interior. Para la zona exterior se ha encontrado azufre, el cual no estaba asociado al calcio (formando yeso) junto con un defecto de manganeso y un exceso de hierro. En este caso se ha supuesto la presencia de una sulfobacteria y una ferrobacteria que toman su energía de las reacciones red-ox entre sustancias inorgánicas. La bacteria sulforreductora causa la reducción de sulfitos y sulfatos en medios acuosos. Así en vidrios antiguos en los cuales el proceso de corrosión ha generado compuestos sulfurados la bacteria encontraría un lugar ideal para su desarrollo. La ferrobacteria produciría la eliminación de manganeso mediante su metabolización.

En las zonas internas de los vidrios atacados, además de calcita y yeso, se ha identificado oxalato cálcico ($\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Este compuesto también se ha observado en productos de alteración de piedras en muchos monumentos italianos. Su formación puede ser atribuida a la acción de microorganismos tales como los líquenes o ciertas bacterias. Un ataque a la calcita por ácido oxálico segregado por estos microorganismos puede explicar su origen.

Por otro lado, se han encontrado numerosos vidrios, sobre todo de color rojo, en los cuales no existe ningún indicio de corrosión por bacterias, en este caso se ha pensado en la posibilidad de que las sales de cobre actúen como veneno de las bacterias y microorganismos inhibiendo el fenómeno.

V. TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL ESTUDIO DE LA DEGRADACION DE LAS VIDRIERAS.

Diferentes técnicas experimentales han sido aplicadas al estudio de la degradación de vidrieras por el medio ambiente. Estas han sido: Microscopía Óptica, Microscopía Electrónica de Barrido junto con Microanálisis de Energías dispersivas de Rayos X, Espectroscopía Infrarroja, Espectroscopía de Masas de Iones Secundarios (SIMS), Análisis por Reacciones Nucleares (NRA), Difracción de Rayos X y Análisis Químico Elemental.

Tanto la microscopía óptica como la electrónica, han sido empleadas para observar "a simple vista" hasta donde ha llegado la corrosión, encontrándose que en muchos casos puede alcanzar varios milímetros. Sin embargo, un conocimiento exacto de la profundidad del ataque solamente se puede conseguir por medio de SIMS o NRA (7). Gracias a estas dos técnicas se ha podido determinar el enriquecimiento o empobrecimiento de ciertos elementos químicos en función del número de capas o profundidad. Así se ha encontrado que existe una diferente extracción de los elementos químicos de la superficie del vidrio y la incorporación de hidrógeno a la red de sílice en una región de 1 a 3 micrómetros. Los perfiles de profundidad también han mostrado un enriquecimiento en algunos de los constituyentes lixiviados del vidrio (potasio, bario y plomo) en las capas más externas de la superficie (de 300 a 500 nanómetros).

El análisis químico ha sido empleado para conocer la composición exacta de los vidrios y así poder estudiar los

procesos de corrosión a partir de ella o bien simularlos en el laboratorio. El microanálisis por energías dispersivas y la difracción de Rayos X han sido empleadas para identificar las fases cristalinas formadas en las zonas atacadas, así se ha encontrado el yeso, la singenita, la calcita y el oxalato cálcico. La Espectroscopía infrarroja se ha utilizado únicamente para identificar el oxalato cálcico y corroborar los resultados de Rayos X relativos a la presencia de microorganismos en la superficie de las vidrieras.

VI. CONCLUSIONES

La conservación de vidrios antiguos situados en vidrieras de iglesias y catedrales, es un problema a tener muy en cuenta dado que el fenómeno de degradación se está acelerando con el paso del tiempo. Los estudios del deterioro de vidrios antiguos son bastantes complejos, debido al gran número de factores involucrados dependientes, tanto de las características del vidrio (color, composición, historia térmica) como de las condiciones externas, (clima, situación, ambiente). Los vidrios antiguos son atacados por el agua y por los dióxidos de azufre y carbono, formando los productos de corrosión yeso, calcita, y singenita. Además del agua y de ciertos gases, la presencia de microorganismos puede acelerar el proceso de corrosión. Por el contrario, la formación de calcita parece impedirlo. En vidrieras antiguas se ha encontrado, junto a vidrios inalterados, otros que estaban atacados de forma puntual en zonas concretas y otros cuya corrosión era total. De cualquier forma, parece ser la composición química el factor fundamental del cual depende el que un vidrio antiguo sea degradado o no. Así se ha encontrado que si el contenido en sílice sobrepasa el 70%, el vidrio permanece prácticamente inalterado, pero si es inferior y por lo tanto la concentración de iones modificadores de red es alta, el vidrio puede llegar a tener una degradación total.

VII BIBLIOGRAFIA

1. Guilles, K.J.S. y Cox, A. "Decay of Medieval Stained Glass at York, Canterbury and Carlisle. Part 1. Composition of the Glass and its Weathering Products". Glasstech. Ber 61 (1988) 75-84.
2. Guilles, K.J.S. y Cox, A. "Decay of Medieval Stained Glass at York, Canterbury and Carlisle. Part 2 Relationship between the composition of the glass, its durability and the weathering products". Glasstech. Ber. 61 (1988) 101-107.
3. Pérez y Jorba, M., Dallas, J.P., Bauer, C., Bahezre, C. y Martin, J.C. "Deterioration of Stained Glass by Atmospheric corrosion and Micro-organisms" J.Mat. Sci. 15 (1980) 1640-1647
4. Pérez y Jorba, M., Dallas, J.P., Collongues, R., Bahezre, C. y Martin, J.C. "Etude de l'Alteration de Vitreaux Anciens par Microscopie Electronique à Balayage et Microsonde". Silicates Industriels. 4-5 (1978) 89-99
5. Pérez y Jorba, M., Tiloca, G., Michel, D. y Dallas, J.P. "Quelques Aspects du Phénomène de Corrosion de Vitreaux Anciens des Eglises Françaises". Verres Refract. 29 (1975) 53-63.
6. Schreiner, M. "Deterioration of Stained Medieval Glass by Atmospheric Attack. Part 1. Scanning Electron Microscopic Investigations of the Weathering Phenomena". Glasstech. Ber. 61 (1988) 197-204.
7. Schreiner, M. "Deterioration of Stained Medieval Glass by Atmospheric Attack. Part 2. Secondary Ion Mass Spectrometry Analysis of the Naturally Weathered Glass Surfaces". Glasstech. Ber. 61 (1988) 223-230.

GLASS SENSORS: A EUROPEAN STUDY TO ESTIMATE THE EFFECTIVENESS OF PROTECTIVE GLAZINGS AT DIFFERENT CATHEDRALS

Leissner, J. and Fuchs, D. R.

Fraunhofer-Institut für Silicatforschung (ISC),

Neunerplatz 2, D-8700 Würzburg, Federal Republic of Germany

SUMMARY

A new integrating method for monitoring the intricate environmental conditions for stained glass windows and their protective glazings is offered by glass sensors based on low durable potassium-calcium silicate glasses with a high sensitivity against corrosive stresses. The easy-to-handle technique is able to detect the combined impact of climatic stresses, pollution, and microbiological effects as well as synergetic interactions. Due to the sensitivity of the glass sensor judgements about corrosive stresses and further damage risks can be made within a few months. The corrosion progress of the sensors is determined by infrared spectroscopy and checked by microscopy. Various types of protective glazings at different cathedrals in seven European countries have been investigated. The first results indicate that internally ventilated protective glazings have a higher protective effect than externally ventilated or non-ventilated systems. The nonventilated type of protective glazing even raised the corrosive stresses for the stained glass windows.

RESUME

Une nouvelle méthode d'étude des conditions environnementales complexes des vitraux protégés par des verrières extérieures, est proposée à l'aide de plaquettes de verre. Ces plaquettes sont réalisées avec des verres de silicates de potassium et de calcium de courte durée de vie, leur sensibilité envers les stress corrosifs étant très élevée. Leur facilité de mise-en-œuvre permet de rendre compte des stress climatiques, de la pollution, des effets microbiologiques et des interactions synergiques. Grâce à la sensibilité de ces plaquettes, nous pouvons estimer au bout de quelques mois l'intensité des stress corrosifs et des dommages qui en découleront. Les progrès de la corrosion sur les plaquettes sont analysés à l'aide de la spectroscopie infra-rouge et de la microscopie. De nombreux types de verrières extérieures de différentes cathédrales européennes ont été étudiés. Les premiers résultats ont montré que les verrières pourvues d'une ventilation intérieure sont mieux protégées que celles qui possèdent une ventilation extérieure. Les plus mauvais résultats sont obtenus pour des vitraux dont la verrière n'est pas aérée.

KEYWORDS

Conservation, Stained Glass Windows, Protective Glazing, Model Glass, Environment, Glass Sensors

1. INTRODUCTION

Medieval stained glass windows belong to the most important cultural heritage of Europe. Within the last decades, however, a disastrous deterioration took place; the wonderful stained glass windows and their glass paintings as pieces of art are acutely menaced by environmental corrosive influences. A widely accepted protection measure for stained glass windows are protective glazings. Although many different types of external protective glazings are installed throughout Europe, there are nearly no results available about their real effectiveness and there are no standards for new installations. A survey of temperature and humidity itself is not sufficient because the progress of glass corrosion is also influenced by noxious gases, dust

and air, microorganisms as well as synergetic interactions. The very intricate corrosive impacts which work in front of and behind the protective glazings depend on the location of the object and on construction details of the glazing, e. g. the type of ventilation, size and location of ventilation slots, and distance of the panels.

Up to now the knowledge about the precise conclusions between these influences and the resulting impact on the material as well as the synergetic effects among them is still fragmentary. To cope with these restrictions, an alternative and integrating concept, a low cost and easy-to-handle technique is asked for. Highly sensitive potassium-lime silicate glasses (so-called glass sensors) show a low durability against corrosive stresses and therefore can be used as an integrating method for detecting the environmental effects on cultural property.

The glass sensors can deliver results within short observation times (after a few months) and a useful comparison of different objects and situations is possible.

In this respect, the aim of an international glass sensor study (supported by the Comité Technique de the Corpus Vitrearum Medii Aevi) was to take stock in the efficacy of different types of protective glazings at the following objects:

country	object
Austria	Stefansdom, Vienna Magdalenenkirche, Judenburg Wallfahrtskirche, Straßengel Stadtpfarrkirche, Friesach
Austria	Stift, Heiligenkreuz
Switzerland	Klosterkirche, Königsfelden Kreuzgang, Wettingen Stadtkirche, Kappel Großmünster, Zürich Klosterkirche, Hauterive
The Netherlands	St. Jans, Gouda Herr. Kerk, De Rijp
Germany	Dom, Erfurt St. Dionys, Esslingen

2. GLASS SENSOR METHOD

The glass sensor method [1-4] is based on very sensitive potassium-lime silicate glasses as a dosimeter material. The surface of the glass sensors interact with their environment causing alterations in the surface layer. This can be registered quantitatively by infrared spectroscopy (IR) and semiquantitatively by microscopy.

The corrosive progress is registered quantitatively by IR absorption measurements. The difference in intensity (ΔE) of a suitable OH absorption band of a sample before and after exposition corresponds directly to the degree of corrosion of the sensor. The two major corrosion effects, the leached gel layer and the increasing crystalline corrosion crust (K-Ca sulfate hydrates) cause this increase in the intensity of the OH absorption band. This means high ΔE values stand for high corrosive levels. Additional microscopical

3. RESULTS OF THE SENSOR MEASUREMENTS AND FEATURES OF THE INVESTIGATED OBJECTS

Table 1. Features of internally ventilated objects

object	remarks	window	protective glazing	Delta-E				type
				1	2	3	4	
St. Jans Gouda (NL)	marine area, city center with heavy traffic heated church	S	1905 * on top/bottom** 2cm slots 5-6cm distance***	0,04	0,025		0,21	I
				0,015	0,01		0,025	III
Herr. Kerk De Filijp (NL)	marine area, rural low traffic very humid inside church	S 11	1989 on top/bottom 1cm slots 4cm distance	0,05	0,02		0,17	I
				0,02	0,02*		0,025	III
St. Dionys Esslingen (D)	Industrial area heavy traffic heated church	S c8	1976 3,5x4,5cm slots 5cm distance	0,025	0,025		0,135	I
		N b8		0,02	0,035		0,175	I
				0,02*	0,005		0,03	III
Klosterkirche Kappel am Albis (CH)	rural area sometimes heated church	s VII	1986 on bottom 1cm slot 3,5cm distance	0,015	0,02		0,1	I
		n VI	1950 only few mm slots on top 1,5cm distance	0,025	0,015		0,16*	
				0,015	0,015		0,045*	
St. Bartmä Friesach (CH)	rural area heavy traffic non heated church	nII 4a	1978/79 on top: tilted on bottom: 7cm high slots 7cm distance	0,015	0,02	0,02	0,155	I
				0,005	0,02	0,03*	0,02	III
Brunnenhaus Helligankreuz (A)	rural area extremely humid (through fountain) non heated church	N IV 1c	1987 on top: tilted on bottom: 3cm high slots 5cm distance	0,035	0,02	0,02	0,23	I
				0,03	0,005	0,015	0,035	III
Mariendom Erfurt (D)	city center heavy traffic high level of pollution non heated church	all B10	1982/83 50x5cm slots on bottom 5-7cm distance	0,09	0,145		>1	I
		n VI B10	1988 40x5cm slots on bottom 5-7cm distance	0,115	0,12		0,805	I
				0,02	0,05		0,065	III
		n II B10	1981/82 50x5 cm slots on bottom 5-7cm distance	0,1	0,27		0,8	I
				0,02	0,035		0,11	III
Klosterkirche Königfelden (CH)		S V		0,03	0,01		0,07	I
				0,015	0,02		0,03	III
		Nord LH		0,025	0,025		0,125	I
				0,015	0,02		0,04	III
Stefansdom Vienna (A)	city center heavy traffic industrial area heated church	s II 4b	1988 on top: tilted on bottom: 7cm high slots 8cm distance	0,035	0,02	0,08	0,15	I
				0,03	0,015	0,05	0,025	III
Magdalenenkirche Judenburg (A)	industrial area heavy traffic non heated church	s II 4b	1988 on top: tilted on bottom: 7cm high slots 7cm distance	0,03	0,01	0,014*	0,065	I
				0,025	0,1	0,01	0,02	III
Wallfahrtskirche Straßengel (A)	industrial area non heated church high level of soot	O 13c	1975 on top: tilted on bottom: 7cm high slots 7cm distance	0,035	0,04	0,04	0,11	I
				0,01	0,02	0,02	0,015	III

* : Year of installation

** : Slots at protective glazing

*** : Distance between protective glazing and historic stained glass

Table 2. Features of nonventilated and externally ventilated objects

object	remarks	window	protective glazing	Delta-E				type
				1	2	4		
Großmünster Zürich [CH]	industrial area heavy traffic heated church	EX	1970 non-ventilated 5mm clearance	0,02	>1	0,07		I
			1970 external ventilation 0,5-1cm slits above 5mm clearance	0,009	0,01	0,030		II
			1970 external ventilation 0,5-1cm slits above 5mm clearance	0,009	0,009	0,009		I
				0,01	0,025	0,03		II

Table 3. Features of specially constructed objects

object	remarks	window	protective glazing	Delta-E				type	
				1	2	3	4		
Klosterkirche Hinterhof [CH]	rural area heated church	O 143a	1966 on top and bottom 2-3mm slits. Bottom slits not sealed glass and protec- tion grating as additional glazing see Figure 6 5mm clearance	0,015	0,005	0,05	0,04	0,07	I
				0,01	0	0	0,028	0,028	II
Klosterkirche Waldgipf [CH]	industrial area heavy traffic heated church	O 207b	1960 5mm slits above 5mm clearance additional glazing in front of historic sealed glass, see Figure 6	0,075	0,045			0,045	
				0,015	0,045			0,045	

investigations allow qualitative and semiquantitative estimation about the degree of corrosion, too.

Two different types of sensors are employed: MI (extremely sensitive, specially designed for indoor conditions) and MIII (less sensitive, specially designed for outdoor conditions). The sensors are small (5 x 5 cm² of size), easy-to-handle and of low costs. They can be fixed on the windows

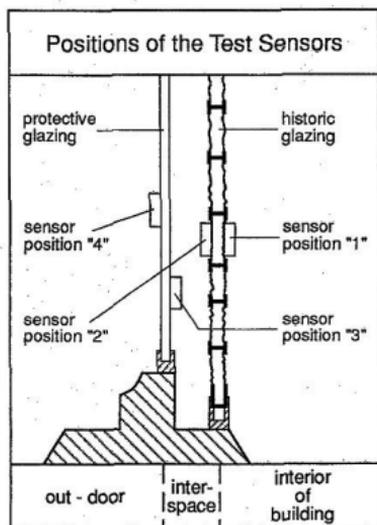


Figure 1: Sensor positions

without interfering the aesthetics of the objects of art. An exposure time of 12 months is chosen to include all the seasonal effects like heating period or rainy periods.

4. SENSOR POSITIONS

The sensors are normally placed in a medium height of the windows.

Position 1: front side of historic glazing (corresponds to indoor conditions)

Position 2: reverse side of historic glazing (corresponds to interspace conditions)

Position 3: front side of protective glazing

Position 4: reverse side of protective glazing (corresponds to outdoor conditions)

5. DISCUSSION OF THE RESULTS

The glass sensor study should deliver data about the environmental stresses working inside and outside of ecclesiastical stained glass windows and about the efficiency of different types of protective glazings installed at the cathedrals.

For this purpose several cathedrals listed in Tables 1, 2, and 3 were equipped with glass sensors. Three mainly different protective glazings are realized:

- * protective glazings with an internal ventilation
- * protective glazings with an external ventilation
- * nonventilated protective glazings.

5.1 Internally ventilated protective glazings

The corrosive impacts working on the stained glass windows derive (among other things) from humidity, temperature changes, condensation effects, soot and dust from candle burning, and, of course, from outdoor air quality.

Influence of the outdoor conditions

A typical example for the severe influence of the local environment is Erfurt where extremely bad conditions prevail for the stained glass windows with regard to all three positions: high corrosive levels at the front and reverse side of the historic windows (positions 1, 2) and on the reverse side of the protective glazing (position 4) have been found. (See also Figure 2 where the ΔE values for all objects are listed in graphic charts.)

Erfurt high air pollution
pos. 1 high stress
pos. 2 high stress
pos. 4 high stress

The very special situation of Erfurt is well known: extremely high pollution through unfiltered industrial exhaustive gases and through lignite firing with a high sulfur dioxide emission.

The situation at the two windows in Kappel am Albis, Switzerland, is very different from Erfurt. All ΔE values of the sVII and nVI window at the positions 1, 2, and 4 are very low which is probably due to the unpolluted environment. The church is situated in the highlands and in a rural area without industrial plants and heavy traffic.

Kappel: low air pollution
pos. 1 low stress
pos. 2 low stress
pos. 4 low stress

Whereas the preceding results can be explained by the strong effect of air pollution on the corrosion rate of the glass sensors, the following example emphasizes that also humidity itself leads to significant corrosive damages on the

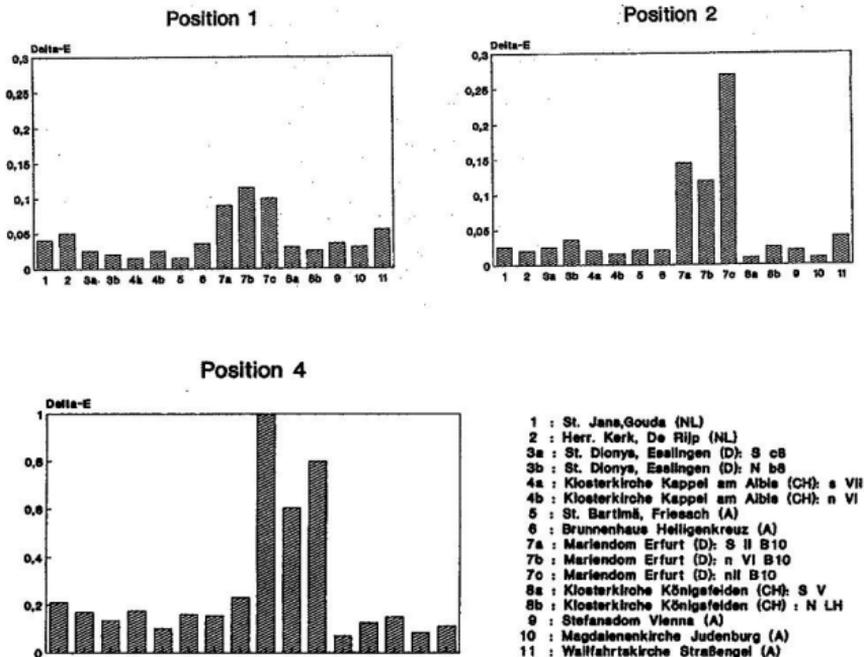


Figure 2: Internally ventilated objects.

surfaces of the glass sensors. The pump room of the Zisterziensersstift at Heiligenkreuz, Austria, has a very humid environment and is situated in the rural highlands. The ΔE values (0,230) at the position 4 are relatively high compared to the unfavourable highly polluted area around Erfurt (0,800) or to the heavy traffic situation at St. Jans (0,210) in Gouda, The Netherlands.

Heiligenkreuz low air pollution
 high humidity pos. 4 high stress

Protective effect numbers

For internally ventilated protective glazings the protective effect is contingent upon the indoor environment, a sufficient air circulation, and on the distance between glass panel and outside glazing. To perform assessments of the achieved protective effect so-called "protective effect num-

bers" may be proposed as a criterion. The protective effect numbers (calculated as $[\Delta E(\text{position 1}) - \Delta E(\text{position 2})]/\Delta E(\text{position 1})$) depend on the indoor conditions of each cathedral and on the construction details e. g. the size of ventilation slots. The higher the numbers the better the protective effect. Positive numbers indicate that the corrosive stress level at position 2 (Interspace) is lower than at position 1 (indoor stress level). If the stress levels at position 1 and 2 are equal zero numbers are calculated. Negative numbers stand for a stress level higher at position 2 than at position 1. In this case a revising of the performance of the protective glazing is recom mended.

Influence of the protective glazing

The installed glazings at Königsfelden (SV) and Judenburg (slI) have the highest protective effect numbers (0,66, see Figure 3 nos. 8a and 10) indicating the high efficiency of those glazings and a lower corrosive stress at

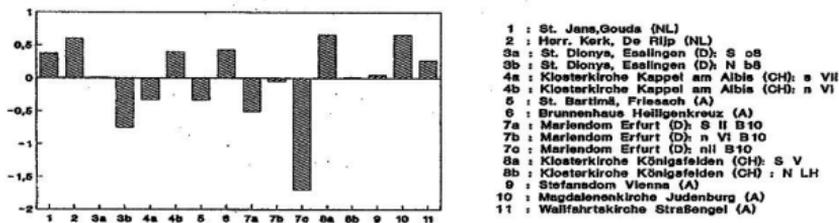


Figure 3: Protective effect numbers of internally ventilated objects.

position 2 compared to position 1. Zero protective effect numbers, as found in Esslingen (Sc8) and in Königsfelden (N LH, nos. 3a, 8b) mean that comparable corrosive environments work at positions 1 and 2. Negative protective effect numbers reveal the poor potential of protective glazings as listed in Figure 3. At the three investigated windows in Erfurt the strong influence of special circumstances (like a construction site near a window) on the efficacy of protective glazings can be seen (see Figure 3, nos. 7a-c). The nII and sII windows have very low protective effect numbers (-0.51; -1.7) in contrast to the nVI window (-0.043) although the corrosive stress levels at position 1 are nearly the same for all three windows ($\Delta E \approx 0.1$). The nII window possesses the least efficient protective glazing of all investigated objects due to its special construction of the protective glazing (restricted air circulation through bottom slots, large scale panel with cracks allowing outdoor air exchange). During the exposition time of the sensors, some construction and restoration work inside the church near by the nII window was going on and caused lots of dust and dirt raising also the corrosive attack. A considerable higher efficiency of a protective glazing can be observed at the nVI window, where a revised type of construction was applied: improved air circulation through bottom slots and a very tight geometrically patterned glazing with a lead structure.

5.2 Nonventilated and externally ventilated protective glazings

During the last years the majority of the countries preferred internally ventilated protective glazings. Only few samples of nonventilated and externally ventilated systems exist or will be installed.

The sensor study clearly showed that these constructions have a lower protective effect. For example the results attained from the sensor measurements at the SX window at the Großmünster Zürich where a nonventilated type was realized, obviously seem to be not encouraging. At position 2, the interspace, an extremely high ΔE value (> 1) was found (see Figure 4). This implies that the corrosive stress is significantly risen and is even higher than the outdoor stress. As a consequence, an additional endangering of the stained glass window must be taken into account when protected by a nonventilated system.

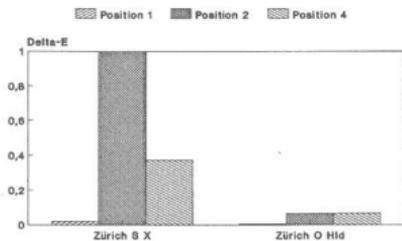


Figure 4: Nonventilated and externally ventilated objects

Not that drastically bad, but still unsatisfactory, is the condition for the historic stained glass window with an externally ventilated protective glazing which was also installed at the Großmünster in Zürich (O Hld). The reverse side of the stained glass is attacked by a stress identical to the corrosive environment at the outdoor position (see Figure 4). Under these circumstances the corrosion rate at the original cannot be reduced sufficiently.

5.3 Specially constructed objects

At the Klosterkirche in Hauterive, Switzerland, a specially constructed protective glazing was installed. The features of this protective glazing are given in Figure 5.

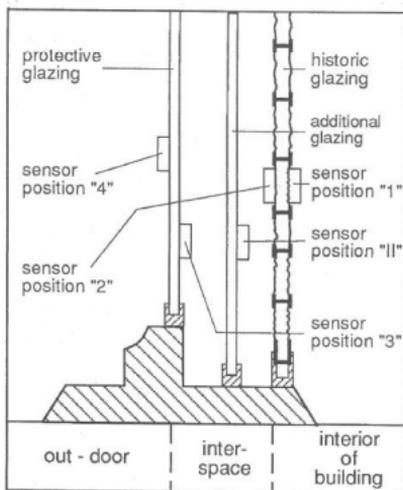


Figure 5: Special construction at the Klosterkirche, Hauterive

The ΔE values (see Figure 6) found at the various positions imply that a very good protective effect is obtained with this kind of protective glazing. The corrosive stress levels at the front and the reverse side of the original stained glass window are extremely low whereas the positions II and 3 (additional glazing and protective glazing) are much more corrosively strained. These findings coincide with the frequent condensation noticed at position II and 3. Here the influence of a construction detail is evident and shows that the sensors correspond exactly with the various microclimates occurring at the different positions.

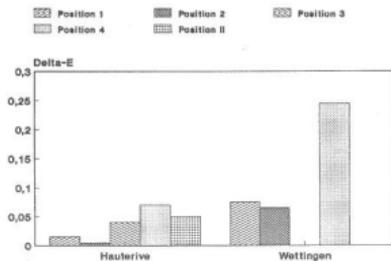


Figure 6: Specially constructed objects

The protective glazing installed at the Kreuzgang, Wettingen (see Figure 7), shows an opposite effect. The additional glazing which is fixed in front of the original leads to condensation at positions 1 and 2 as indicated by the

relatively high ΔE values at these sites (see Figure 6). The implications of these results are obvious. This kind of an additional construction detail aggravates the microclimate around the stained glass window and creates more corrosive stress which will lead to further damage for the pieces of art.

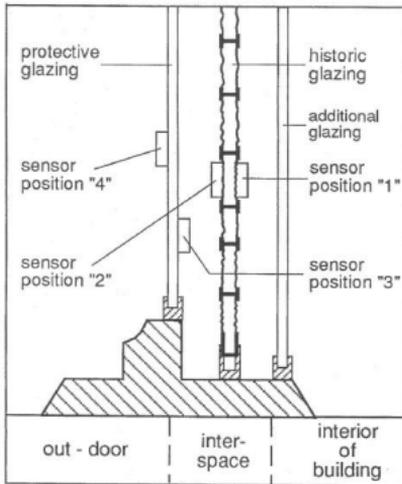


Figure 7: Special construction at the Kreuzgang, Wettingen

6. CONCLUSIONS

The information assembled and discussed here provides perspectives on the potential of glass sensor measurements in the field of estimating the corrosive stress levels at stained glass windows. The results showed clearly that the corrosion progress can be reduced best with an internally ventilated type of protective glazing. Although large differences in the protective effect of those types occurred, the data are too sparse to draw definite conclusions about their reasons. Here, in the future more detailed sensor studies must be made to specify the exact reasons for a high or low protective effect.

Considerations of the very low protective effect of externally ventilated systems indicate that the reverse side of the original is exposed to such corrosive environments from which the pieces of art should be protected. In the case of non ventilated systems the conditions for the stainer glass windows are worse than without a protective glazing. This type leads to an enforced endangering for the originals. In contrast to the non ventilated system the protected effect attained while the specially constructed protected glazings at the Klosterkirche, Hauterive, is extremely good. In figure 8 the protective effects of selected objects are listed. Here the protective effect is calculated as degree of the reduction of the outdoor stress $[(\Delta E(\text{position 4})) - \Delta E(\text{position 2}) / \Delta E(\text{position 4})]$.

The deterioration of stained glass windows does not only occur on the reverse side but also on the front side due to

the indoor environment. Considering the corrosive stress found at position 1 (see Figure 2a), it has to be assumed that they are also damaging the original glass and especially the glass paintings.

Thus, the new findings should be considered to be a starting point for further discussions and investigations in the field of conservations of stained windows.

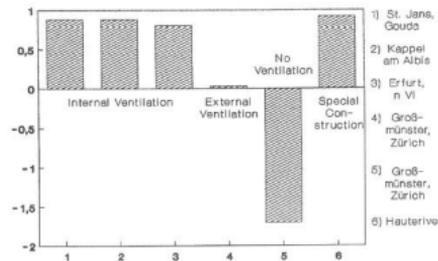


Figure 8: Protective effects of the different types of protective glazings

7. ACKNOWLEDGEMENT

The authors gratefully thank for the support of this work: Bundesdenkmalamt, Vienna (Dr. Bacher, Dr. Oberhaidacher); Centre Suisse de Recherche et d'Information sur le Vitrail, Romont (Dr. Trümpler); Department for the Care of Ancient Buildings, The Netherlands (R. Crevencoeur, Dr. Jütte); Evangelische Kirchengemeinde St. Dionys, Esslingen (D. Metzger); V. Saile GmbH, Stuttgart; Umweltbundesamt, Berlin, and the Dombauamt, Erfurt (Dr. Forberg, M. Jähn).

8. REFERENCES

- [1] Fuchs, D. R., Patzelt, H., Tünker, G., and Schmidt, H.: Model glass test sensors - a new concept to investigate and characterize external protective glazings. CVMA News Letter 41 - 42 (1989) p. 27 - 29
- [2] Fuchs, D. R.: Glassensoren - ein Beispiel für Zeitraffung bei Korrosionstests unter Realbedingungen. 27. - 30.06.89, Environmental Testing in the 90', 20th Intern. Conf. of ICT and 18th Techn. Meeting of GUS, Karlsruhe
- [3] Fuchs, D. R., Römich, H., and Schmidt, H.: Glassensors: Assessment of complex corrosive stress in conservation research. Materials Issues in Art and Archaeology 11; Eds: Pamela B. Vandiver, James Druzik, George S. Wheeler; Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 185 (1991) p. 239 - 251
- [4] Fuchs, D. R., Römich, H., Tur, P., and Leibner, J.: Konservierung historischer Glasfenster - Internationale Untersuchungen neuer Methoden". Forschungsbericht UFOPLAN-Nr. 108 005/03, März 1991

TEORÍA Y PROYECTO. LA RECONSTRUCCIÓN DE SANTA CRUZ EN MEDINA DE RIOSECO.

José Ignacio Linazasoro.

Aunque el proyecto de Santa Cruz de Medina de Rioseco pertenece al conjunto de las numerosas restauraciones llevadas a cabo en los últimos años por las Administraciones Estatales y Autónomas, plantea un debate más amplio que el propiamente restauratorio debido a su singularidad.

Sobre todo porque no se trata de un tema de "rehabilitación", término que por lo general encubre tan sólo el cambio de usos de un edificio antiguo, sin atender a su carácter ni a su función original.

También, porque en este proyecto la proporción de las partes nuevas respecto a las conservadas es demasiado importante para que pueda considerarse como una restauración propiamente dicha, a menos que la situemos en un contexto histórico amplio incluyendo obras del siglo XIX, como San Paulo Fuori Le Mura, el Castillo de Pierrefonds, el Monasterio de Ripoll etc, que fueron auténticas reconstrucciones de edificios en gran parte destruidos.

Pero estas realizaciones cuya importancia teórica afecta al debate arquitectónico en su conjunto, no ofrecen paralelismo con la de Santa Cruz, siempre que atendamos a los mismos criterios de proyecto.

· Proyecto y lugar. El problema de las permanencias.

A pesar de todo esto y aunque las circunstancias sean en cierto modo excepcionales, la Reconstrucción de Santa Cruz no puede considerarse un problema aislado si lo situamos dentro del debate de las permanencias arquitectónicas en relación con el proyecto moderno. Su punto de partida y donde surgiría la relación con las permanencias es en "lugar", no sólo en su acepción urbana más común, sino en cuanto condición inherente a la arquitectura.

La arquitectura "es" lugar y por tanto la idea misma de contraponer el proyecto a las permanencias, como si se tratase de dos realidades opuestas, carece absolutamente de sentido. Por el contrario, es su condición específica el asumirlas, ya que si toda intervención válida conlleva por naturaleza su condición de modernidad - por lo que todo intento de anularla supone un enmascaramiento o "pastiche" - al mismo tiempo las permanencias son parte ineludible del proyecto moderno.

También es cierto, sin embargo, que su incidencia resulta decisiva en aquellos edificios que han sido construidos o reconstruidos en períodos muy dilatados en la historia.

En ese sentido, se pueden citar algunas catedrales españolas, donde los sucesivos arquitectos han sabido asumir con naturalidad los elementos preexistentes alcanzando incluso hitos decisivos de proyecto, como la catedral renacentista de Córdoba de Hernán Ruiz el Viejo. Esta última, es un buen ejemplo del carácter inseparable que adquieren las permanencias de la nueva arquitectura, de manera que el proyecto en su conjunto afecta al organismo entero de la mezquita, y, en definitiva, permite evidenciar su carácter orgánico.

También en la reconstrucción de Santa Cruz se trata de destacar la estructura original del edificio preexistente aunque no se pretenda recuperar su aspecto primitivo.

Historia y modernidad.

El concepto de historia sobre el que se soporta esta intervención proyectual se basa en la "memoria", es decir que en toda etapa histórica no constituye sino un progresivo desvelamiento de la estructura de los hechos reales y, por tanto, de la arquitectura. La modernidad, no sería en definitiva sino una etapa más en esa evolución, en la que la componente estilística de lo arquitectónico habría sido sustituida, como interés prioritario, por el eclecticismismo y la búsqueda de adecuación formal. Paralelamente, la disciplina constructiva y los valores matéricos de la construcción adquieren a partir de ese momento el relieve de posibles fuentes de figuratividad.

En la reconstrucción de Santa Cruz, pretendía desvelar la estructura arquitectónica del edificio, y la intervención se fundaba antes que en la recuperación del lenguaje clásico del mismo en su "legalidad" constructiva, partiendo de los sistemas murarios que lo caracterizan.

La expresión material de la arquitectura y la modernidad.

La búsqueda de una nueva figuratividad - o una figuratividad "más profunda" si se quiere - se plantea a partir del siglo XIX como contraposición al Clasicismo estilístico en el que la albertiana autonomía de la "venustas", respecto a la "firmatas" era inherente por la existencia de un universo figurativo específico basado en los Ordenes Clásicos.

Por el contrario, el Pintoresquismo en su referencia a la cultura rústica y el Neogoticismo próximo al constructivismo medieval, aportaban vías alternativas, todas ellas fundadas en la condición esencialmente mática y constructiva de la arquitectura.

Esta fue la trayectoria de gran parte de los arquitectos del siglo XIX como el último K.F. Schinkel, particularmente evidente en la Bauakademie y más adelante de H.Labrouste o de P. Behrens.

Ni siquiera las "contaminaciones figurativas" de la Vanguardia harán abandonar a Mies o a Le Corbusier esta voluntad de "expresión mática", continuada más adelante por otros arquitectos como L.Kahn.

Pero que estos valores "máticos" sean resaltados, no es sinónimo de funcionalismo sino que significa reforzamiento de constantes históricas que no tienen nada que ver con factores estilísticos.

Por eso, en el proyecto de Santa Cruz la recuperación de los elementos desaparecidos - muros, bóveda - desde su condición mática, no implicaba la destrucción de la coherencia básica del espacio interior o de los valores proporcionales del edificio, sino la proyección de los nuevos elementos desde su propia coherencia constructiva.

Técnica y figuratividad.

Investigar en el lenguaje de la técnica puede resultar contradictorio, como señalaba H.Tessenow, si por técnica entendemos "razón científica" de los hechos reales y no "tan", es decir el sentido griego de oficio o disciplina en su conjunto.

En la reconstrucción de Santa Cruz y particularmente en algunos de sus elementos como los muros o bóveda, es

preciso reconocer opciones figurativas y tecnológicas al mismo tiempo.

El arco de descarga - inexistente en los muros conservados - era una opción técnica recomendable, pero su carga figurativa generará figuras semejantes, como la forma de las ventanas, al igual que la bóveda de madera de cañón seguido, al mismo tiempo que evocaba el *principio de su realidad constructiva - aunque no evidenciándola, sin embargo - reforzaba la idea de espacio clásico frente a las antiguas bóvedas barrocas de lunetos*. En ambos casos además, la "materialidad" expresiva de los elementos, aunque manifiesta, no se proponía en confrontación con la arquitectura del edificio.

Por esta misma razón, la expresión de autonomía del espacio interior frente al exterior, propia de un edificio cerrado por muros y de un carácter tan particular, suponía un tratamiento diferenciado de éstos que se resolvía también con autonomía de los muros modernos respecto a los antiguos, contrastando al interior su revestimiento de estuco y pintura con los desnudos muros pétreos preexistentes.

El Ornamento.

Aunque el Ornamento en una arquitectura como la que proponemos no tiene el valor conformativo básico que tendría en otras de la historia, no cabe duda que en su acepción de "ornamentación" sigue desempeñando un papel de refuerzo figurativo y de referencia histórica imprescindibles.

Dentro del primer aspecto podría entenderse entre otros la resolución de las ventanas, el "cajeado" de los

contrafuertes exteriores para recibir las bajantes, el encuentro de las cubiertas laterales con los muros o el *resalto de la imposta exterior bajo los arcos que interiormente se corresponde con una viga de apoyo a la bóveda.*

También son elementos básicos de "refuerzo compositivo" proporcional, los muebles de cerramiento de *las capillas laterales cuya "escala humana" "mide" el conjunto del espacio, de escala monumental.*

Referencias a la historia del propio edificio son las "líneas" doradas dibujadas en la bóveda que recuerdan vagamente los antiguos arcos fajones de piedra desaparecidos, así como la *reconstrucción en estuco de las antiguas pilastras y cornisa del orden clásico, aunque bajo una cierta simplificación formal y un diseño diferente de los capiteles*. En este caso debe de entenderse también la operación como una exigencia de coherencia figurativa del espacio.

Estas últimas soluciones tienen una particular vinculación con otros proyectos restauratorios como el de G.Valadier en el Coliseo o en el Arco de Tito, o el ya citado de Hernán Ruiz el Viejo en la Catedral de Córdoba, en el que se establecen interesantes puntos de "mediación" entre las partes bajas del nuevo crucero y los arcos de la mezzquita preexistente.

Se trata de respuestas no exentas de cierta carga de ambigüedad, pero seguramente ineludibles, presentes como están en todo tipo de proyectos de esta naturaleza a lo largo del tiempo.

San Sebastián, Agosto de 1.988

INTERVENCIONES EN SISTEMAS CONSTRUCTIVOS Y TRADICIONALES E INSTALACIONES

ARQUITECTO MIGUEL ANGEL ODRIOZOLA ODRIOZOLA
ASESOR INTENDENCIA MUNICIPAL DE COLONIA - URUGUAY

SUMARIO:

Nos manejamos en un marco de valores, en el que la vida acelerada de nuestro tiempo hace tambalear la propia existencia de nuestro Patrimonio Cultural y Natural. Necesitamos una metodología simple y humana para que la vida activa y la Naturaleza, conjuguen una convivencia armónica. Respetando el pasado y nuestro suelo, podemos auxiliarnos de las técnicas más modernas, sin estridencias ni timideces, pero con un límite: el que marca el sentido común y la prudencia.

PALABRAS CLAVE: Intervenciones - Sistemas Constructivos - Preservación.

INFORMACION PREVIA

El presente trabajo pretende exponer experiencias realizadas a través de los años, en base a las limitaciones que ofrece un lugar reducido en extensión pero complejo en su composición y conservación de los sistemas constructivos empleados originalmente y las conservaciones y reconstrucciones sufridas en variados períodos, por razones militares, políticas, sociales y económicas a través de trescientos años.

El área elegida para el desarrollo del tema es la que corresponde a la antigua Colonia del Sacramento. Fundada por los portugueses en 1680, está ubicada en una península del extremo S.O. de Uruguay. En ella han incidido las presencias de Portugal y España en largos períodos alternados; también otros más breves y luego nuestra vida independiente institucional a partir de 1830.

Los distintos testimonios de real interés que aún se conservan son en general modestos, acusando caries notorias del paso del tiempo. Son muy limitados los ejemplos que constituyen una unidad en sí mismos.

TIPO DE INTERVENCION

La diversidad de sistemas constructivos y materiales empleados desde su fundación, y la falta de experiencia en determinados períodos, han dado como consecuencia patologías que en algunos casos han exigido soluciones técnicas expresamente diseñadas para corregirlos.

En lo que respecta al criterio general que he aplicado y reiterado en las obras, se ha basado en una metodología, entre otras, con las siguientes condicionantes:

- a) En todos los casos considerar el edificio a recuperar o al tema a tratar, siempre como parte integrante de un todo.
- b) Tratamiento simultáneo de las intervenciones cuando se corresponden por su entorno, valor histórico o tipológico, proyección temática o financiación.
- c) Respeto al máximo de los valores testimoniales existentes. En la recuperación de edificios, o elementos constructivos parciales, búsqueda de las soluciones que permitan la vuelta a su estructura original, sin imitaciones y agregados agresivos.
- d) Extremar las posibilidades de empleo de tecnologías valorando lo natural en todos los casos posibles.

e) No imitar partes existentes; en los casos necesarios admitir la clara presencia de las técnicas de nuestro tiempo.

f) En los casos de recuperación o refuncionalización de un edificio o de un área de real valor testimonial asignarle un **destino adecuado**. Este punto conlleva la prevención de posibles exigencias programáticas que consecuentemente derivarían en soluciones forzadas o peligrosas.

PROBLEMAS TECNICOS

Patologías

Las características del subsuelo de la Colonia del Sacramento, y a su vez las de las edificaciones antiguas existentes, agregando además las diversas inserciones, demoliciones parciales y reconstrucciones con materiales diversos, los estados ruinosos de algunas y finalmente el empleo del hormigón armado en forma indiscriminada, han dado origen a muy distintos problemas y reacciones, generando normalmente vicios de construcción en **muros, techos, cerramientos e instalaciones**. En la práctica las intervenciones parciales han sido fácilmente tratables por los métodos convencionales.

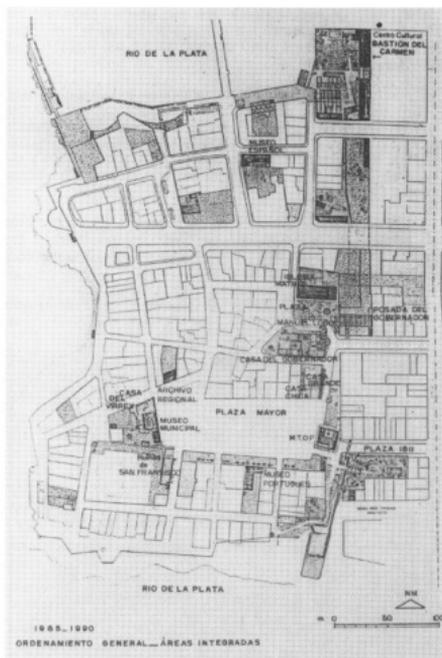


Foto 1. COLONIA. Planta actual de la antigua colonia del sacramento

Problemas mayores

Siendo rocoso en gran parte el subsuelo de la península, es evidente la acumulación de aguas pluviales y en algunos casos pequeñas vertientes. En general los problemas técnicos a resolver, derivados de esta sola circunstancia, llegan a presentar casos sumamente graves cuando los muros alcanzan hasta más de dos metros de espesor y están constituidos por piedra asentada en barro, o ladrillo y distintos morteros agregados, sin ninguna aislación de base, y además con distintos materiales y sistemas constructivos en una misma obra.

Los ítem citados en el enunciado se refieren a la presentación de los problemas; más adelante al tratar **instalaciones**, nos referiremos a los ejemplos complejos que se nos han presentado y los caminos seguidos en su tratamiento.

PROBLEMAS ECONOMICOS

Costos, financiación, Soluciones reutilizables por consecuencia de buen planteo

“Los problemas económicos”, un tema que de no ser resuelto, trastoca la propia existencia de la Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico.

En el ordenamiento de la Sociedad Humana, se cuentan los más diversos factores de necesidades y realizaciones. Las previstas o las no previstas, nos dan una imagen de las Administraciones que definen una posición o actuación determinada de lo que llamamos Cultura.

Es difícil precisar la cuota parte de incidencia en los presupuestos nacionales, que pueda considerarse como lógica. Cuando anotamos que el mínimo vital no llega a cumplirse, parecería paradójal la insistencia de la solución. Hoy día, el problema del Patrimonio Cultural y Natural se plantea a nivel mundial.

Sin entrar en el fondo del tema y sí en lo práctico y real, debemos actuar con celeridad y firmeza. No es posible que en forma expresa o tácita, por intereses determinados o simple desidia, vayan desapareciendo ejemplos insustituibles. No es concebible el desvío del conocimiento y de la conducta técnica, paralelamente a la destrucción inmediata o paulatina.

Partiendo de la realidad, es absurdo el tratamiento de los temas enunciados, sin resolver los problemas de **costo y financiación** de las obras, su funcionamiento y conservación.

Debemos entender como obligación, el resolver lo que

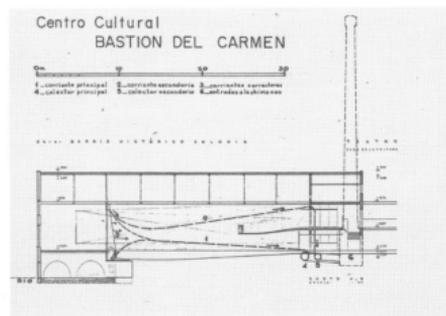


Foto 2.

hasta ahora se ha considerado “la superación de lo imposible”, y con toda firmeza considerar lo reutilizable **no como causa, sino como consecuencia** de programación lógica y necesaria, con técnica depurada y prolija en el respeto por los valores históricos, artísticos y testimoniales o naturales que ofrezcan seguridades permanentes funcionales y de mantenimiento.

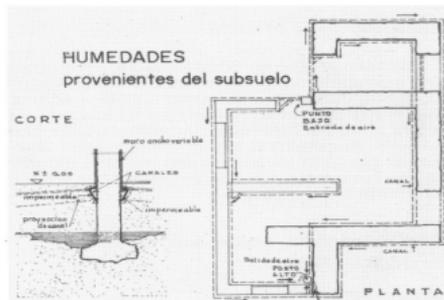


Foto 3.

Experiencias

Los trabajos realizados en la vieja Colonia del Sacramento han conocido el problema económico desde un principio. Me tocó iniciar mis primeras obras de impor-



Foto 4. LA IGLESIA MATRIZ DEL SANTISIMO SACRAMENTO LUEGO DE LAS INTERVENCIONES REALIZADAS A PARTIR DE 1957. ACTUALMENTE EN VIAS DE REINICIARSE NUEVOS TRABAJOS.

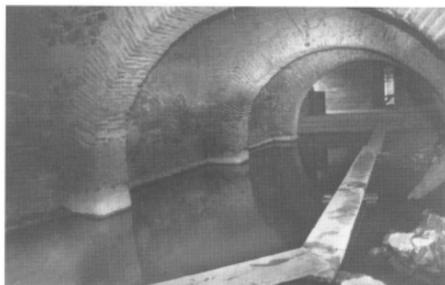


Foto 5. Uno de los dos tramos de la arquería subterránea ubicados debajo del escenario del teatro cerrado.

tancia en aquel lugar en 1957: la recuperación de la Iglesia Matriz del Santísimo Sacramento, la más antigua del Uruguay. La etapa realizada de 1808 a 1810 fue proyectada y dirigida por el arquitecto español Tomás Toribio. El estado estructural era delicado en el momento de comenzar nuestra intervención, tanto en los muros como en la bóveda y las torres. Actualmente aún falta la terminación de la cubierta, fachadas, capilla del Santísimo Sacramento y obras exteriores.

Los años transcurridos, la lentitud y discontinuidad de las etapas realizadas, consecuencia de la falta de recursos, no han sido totalmente negativos. Se ha logrado una profunda investigación y recuperación de partes primitivas dando cabida muy favorable en el conocimiento de nuestra propia historia y en el comportamiento de los materiales de las distintas etapas.

INSTALACIONES

Es indudable que en los distintos programas de intervenciones actuales, las mismas deberán ser acordes con el destino a dar al edificio, cumpliendo entre otras, dos condiciones: **sin renunciamentos y sin agresividad**. La diversidad de casos o situaciones son ilimitadas y en consecuencia, las soluciones a plantear. Es imposible renunciar a los adelantos técnicos y a su vez también es imposible la sujeción a priori, de estos adelantos a los monumentos o valores testimoniales a tratar. La solución de cada problema cuenta con el auxilio de los últimos y más perfectos equipamientos, pero con un límite que es el que determina **la prudencia y el sentido común**.

Sólo agregaremos información referente a: 1) eliminación de humedades provenientes del subsuelo y 2) acondicionamientos, teniendo en cuenta los recursos naturales y las limitaciones del factor económico.

Humedades

Los grandes espesores de los muros y su diversa composición han agregado un nuevo problema: las profundas y elevadas humedades provenientes del subsuelo.

Luego de largos estudios y ensayos he aplicado un sistema cuya eficiencia está comprobada en todos los casos tratados.

En síntesis: Se crea una circulación natural de aire que nace en la parte más baja del edificio y va recorriendo los distintos muros afectados y termina finalmente en la parte más alta posible (depende del grado de importancia de la causa). En una o en las dos caras del muro, según los casos, se hace un canal debajo del piso con forma alargada en el sentido vertical y disminuyendo su sección hacia abajo. Las dimensiones de los canales se determinan por cálculo.

Los estrechamientos o ensanchamientos de tipo Venturi se aplican en los casos necesarios. El lado mayor del canal formado por la propia pared debe limpiarse previamente, profundizando las juntas de los materiales o provo-

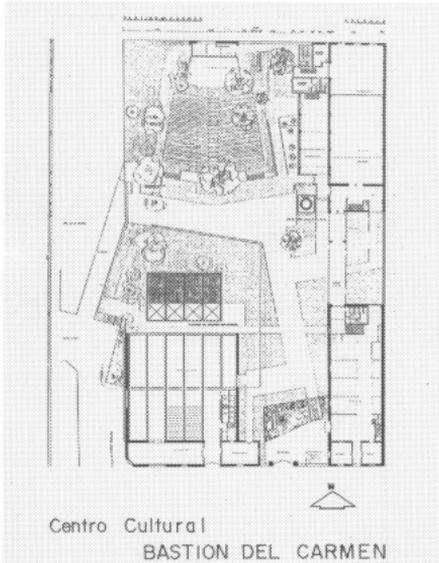


Foto 6

cando caladuras en sentido siempre ascendente en la dirección de la corriente. Las otras dos caras deberán impermeabilizarse. Terminado el recorrido se coloca columna vertical de salida hasta la parte alta del edificio. En la mayoría de los casos corrientes menores se conecta directamente a la cañería de ventilación de las instalaciones sanitarias existentes.

Observaciones: nunca deben cruzarse los distintos canales que se construyen; pero sí pueden ser convergentes a la columna de salida. De acuerdo a la velocidad conveniente del aire y a la cantidad de muros a tratar, tanto los canales como la o las columnas de salida deben tener secciones convenientemente reducidas a los efectos de una mayor aceleración de la circulación. No conviene recargar mucho a los canales horizontales, en los casos necesarios pueden realizarse distintos recorridos independientes. Debe colocarse rejilla y tejido en la toma y en la salida del aire.

Acondicionamientos

Repetimos que en la Colonia han debido solucionarse problemas con planteos propios, aprovechando al máximo los recursos naturales y siempre con limitación de recursos.

Un ejemplo interesante a exponer, por la variedad de problemas que presenta y a su vez por la coordinación de etapas o de obras relacionadas entre sí es el:

"Centro Cultural del Bastión del Carmen"

Ubicado al norte de la península, penetra en el Río de la Plata abarcando una superficie de 53 x 91 metros. Comprende edificaciones que fueron industriales en la segunda mitad del siglo XIX, incluyendo también las ruinas de partes del antiguo Bastión (1722 - 1749).

El destino asignado a las viejas construcciones consiste en la creación de un conjunto de temas integrados: **Centro de las Artes**, cuyos elementos dominantes son los accesos al sur con salas de exposiciones en la planta baja y salas de reuniones, congresos y biblioteca en la planta alta. hacia el norte se encuentra el teatro cerrado, cafetería y arquería subterránea. En cuerpo separado al S.O. se encuentra el **Centro de Diseño Artesanal** y dentro de la jardinería, al borde del Río de la Plata, está ubicado el **Teatro de Verano**. Se conservan parte de la antigua Sala de máquinas y la chimenea de unos 30 metros de altura.

Recimentaciones

Encontrándose en malas condiciones los muros que corresponden al actual escenario del teatro, fue necesario realizar recimentaciones bajo el nivel del río que penetra debajo del edificio.

Debí retirarse un gran volumen de rellenos y partes de pilares y vigas que habían comenzado a descender, que databa de principios de este siglo. Se trabajó directamente en la consolidación de la estructura original, formada por grandes arcos de ladrillos con bases de piedra que penetran dentro del agua, conformando una arquería de características excepcionales.

Consecuentemente con el problema económico, todos los rellenos extraídos se dejaron en el terreno libre inmediato, resolviendo la pendiente de la platea para el futuro teatro de verano. El retiro de la tierra del lugar hubiera resultado muy oneroso en comparación con los bajos recursos disponibles. Se ajustaron los niveles y pronto la platea estuvo cubierta de gramilla, incluyendo algunos árboles existentes. Como elemento interesante se rescató la ruina del muro y arco sobre el murrallón al borde del río, que conformará el fondo del escenario.

El teatro cerrado

Antiguo galpón con techo de madera y cubierta de tejas francesas, mantiene toda su estructura original. Se le formó en el piso "un bote" de hormigón armado que conforma la curva que resulta para la platea, con viga perimetral que elimina las inundaciones del Río de la Plata, dado que los niveles de borde superan las máximas crecientes. Se hizo una pequeña tertulia con pasaje elevado desde el pabellón de accesos desde la calle.

Renovación del aire

Pensar en un acondicionamiento del aire es realmente un imposible desde el punto de vista económico, tanto en su construcción como en su mantenimiento. Sin embargo coordinando los distintos elementos de que se dispone en el sitio, puede llegarse a una solución que sin ser ideal, es rudimentaria y natural.

a) El poder de succión de la chimenea existente es extraordinario y fácilmente regulable con la temperatura en su base. Los ensayos practicados han resultado excelentes.

b) Con las obras de recimentación se pudo lograr el Teatro de Verano y a la vez se ha formado un lago debajo del escenario, especial para la acústica. A la vez se obtiene una cámara permanentemente fresca y sin ninguna posibilidad de polvo en suspensión, dado que la única conexión que tiene con el exterior son los vacíos que comunican con la bahía.

c) El ingreso de polvo a la sala de actos, prácticamente no existe por tener dobles cerramientos y además las superficies exteriores hacia el lado de tierra son engramiladas y bordeadas por el río.

d) El predio está cercado por edificación alta en la única comunicación con la calle que está al sur a gran distancia.

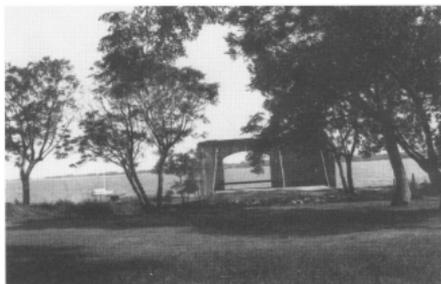


Foto 7. RUINA DEL MURO Y ARCO SOBRE EL MURALLÓN AL BORDE DEL RIO QUE CONFORMARA EL FONDO DEL TEATRO DE VERANO.

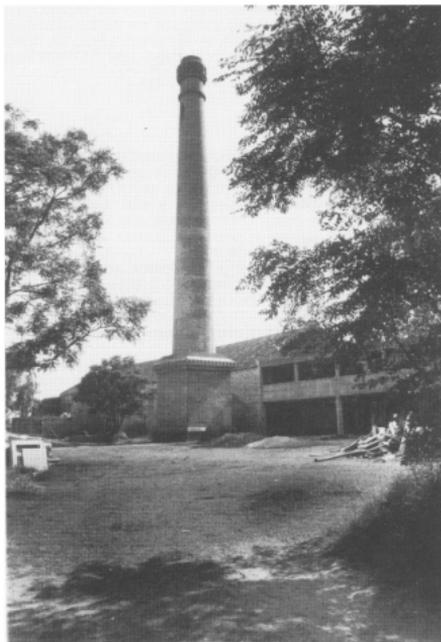


Foto 8. ANTIGUA CHIMENEA UBICADA JUNTO AL TEATRO CERRADO QUE HOY FUNCIONA PRECARIAMENTE.

e) Teniendo en cuenta que la mejor dirección del aire en la sala es la que da de frente a las personas, nos acercamos a una solución práctica y lógica.

f) Elevando ligeramente la dirección del aire desde la cámara fresca al entrar a la sala, desde el borde del escenario y salidas compensadoras y reguladoras laterales en la altura, el aire sería succionado en el zócalo que corresponde al fondo de la sala para penetrar directamente en la chimenea con la velocidad conveniente fácilmente regulable. La tertulia completa sus salidas con recorridos separados.

Complementarios

A) Los vestuarios y servicios higiénicos son comunes a los dos teatros, comunicándose interiormente por el subsuelo. B) Los asientos del teatro de verano se hacen con tabloncillos de madera dura, con soportes en L, que penetran en tubos colocados bajo el nivel del terreno. Cuando el césped presenta deterioros por el uso, se invierten las posiciones, lo que era asiento pasa a ser pasillo y el pasillo a asiento. C) Dado que la cafetería funciona en verano como simple cobertizo de tejas adosado al Teatro cerrado, en invierno se cierra con los tabloncillos que servían de asientos. Los módulos y las piezas L están diseñados para cumplir las dos funciones. El espacio exterior (platea del Teatro de Verano) pasa, en invierno, a ser un paseo engra-

millado con algunos árboles. D) La recuperación de las ruinas de los murallones del Bastión del Carmen y del muelle viejo de madera, permitirán el acceso costero al Centro Cultural, no produciéndose ninguna agresión al conjunto testimonial que bordea la costa, ni al paisaje natural. La Ciudad Vieja está estudiada como conjunto de áreas integradas en el más amplio sentido. En la misma forma el Centro Cultural del Bastión del Carmen, el puerto, las callejuelas, edificaciones, los murallones costeros y la vegetación conforman un conjunto de real interés que complementado a mayor escala se vincula con San Gabriel, limando geometrías, con el verde de islas retornando un poco a lo que fue su actividad a partir de 1680.

SINTESIS FINAL

Ante una realidad, planteamos un tema grande con un problema chico o quizás un tema chico con un problema grande, pero en todos los casos, hoy como siempre seguimos entendiendo que tanto en lo puntual o general, como en lo técnico o testimonial, el camino que con devoción nos apega permanentemente a la Naturaleza, nos lleva a mantener la fe ante las posibilidades remotas, con la seguridad y confianza que nos inspira la propia responsabilidad del HOMBRE.

REFUERZO DE LAS PLANTAS SUPERIORES DEL TEATRO COLON DE LA CORUÑA

P. Valcárcel, J.B. (*); Escrig F. (**); Vaamonde, G. (***) ; Nuñez Sal, J. (***)

(*) Departamento de Tecnología de la Construcción. E.T.S.A. La Coruña.

(**) Departamento de Estructuras y Mec. del Suelo E.T.S.A. Sevilla.

(***) Norcontrol S.A.

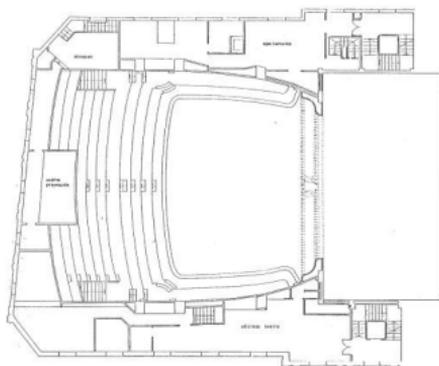
RESUMEN: En este artículo se describe el refuerzo de las estructuras de las plantas superiores del Teatro Colón de La Coruña. El elemento principal de la misma consistía en tres vigas de celosía y una viga pantalla sobre las que apoyaban los pilares de los pórticos superiores. Se indica la técnica de ejecución del refuerzo y los estudios realizados.

SUMMARY: In this paper is showed the structural reinforcement of upper floors of Teatro Colón La Coruña. The main structural system was three trussed beams in reinforced concrete and one wall beam. The upper frames abut against these beams. Practice of reinforcement and previous studies are included.

KEYWORDS: STRUCTURAL REINFORCEMENT

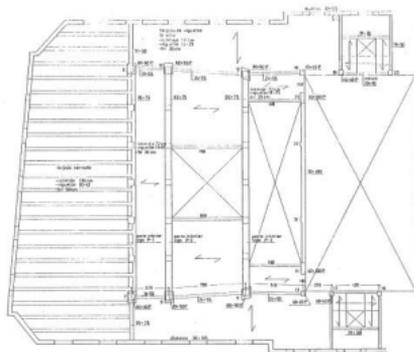
1.- ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.

El teatro Colón de La Coruña es un interesante edificio de estilo ecléctico construido en los años 40. Aunque la recargada decoración interior de estuco no hace suponer, lo cierto es que su estructura está formada por pórticos de hormigón armado de fuertes luces para la época. Sobre el recinto del teatro existen tres plantas destinadas inicialmente a locales de reunión y de espectáculo y que han tenido este uso durante mucho tiempo. Para resolver este problema el proyectista se planteó una solución consistente en apejar los pórticos situados sobre el recinto del teatro en tres vigas de celosía de hormigón y en un cuarto pórtico sostenido por una viga pantalla situada sobre el escenario. Sobre este conjunto apoyan los pilares de las plantas superiores.



En la figura 1 se incluye la planta del teatro a la altura de patio de butacas y en la figura 2 se representa la planta de estructura correspondiente a la planta inmediatamente

superior en la que se marcan la situación de las vigas celosía y de las vigas pantalla.



Este sistema estructural era sin duda avanzado para la época y se ejecutó de forma en general cuidadosa. Se ha podido comprobar por las fotografías de la época que la organización de las armaduras y de los encofrados se hizo con gran cuidado. Pero, por desgracia, parece haberse empleado arena de playa sin un adecuado lavado y sin tan siquiera separar las conchas que contenía, por lo que el hormigón ha resultado, en general, de escasa calidad. A esto hay que añadir que, pese a que en los planos originales, de los que hemos podido encontrar algunos, se describía la armadura con gran precisión, luego en la obra se han empleado redondos de los más variados diámetros. Incluso hemos podido constatar que en algunos casos se han empleado flejes como armaduras. Está claro que se utilizó el acero disponible, sin respetar la cuantía definida en planos, ni mucho menos las secciones proyectadas.

Por todo ello la Diputación de la Coruña, propietaria del inmueble, encargó a la empresa Norcontrol S.A. el estudio de la capacidad resistente de la estructura, puesto que deseaba habilitar las plantas superiores para locales de la propia Diputación. Esta empresa encargó al Departamento de Tecnología de la Construcción de la E.T.S.A. de La Coruña un completo asesoramiento técnico, tanto en la determinación de la capacidad resistente de la estructura, como en el posterior estudio de refuerzo y en el control de la ejecución. Todo ello se efectuó a través de un convenio entre la Universidad de La Coruña y la empresa Norcontrol S.A.

2.- ESTUDIO DE LAS CONDICIONES RESISTENTES DE LA ESTRUCTURA.

Como se ha indicado el sistema estructural elegido para cubrir el espacio sobre el patio de butacas del teatro consistió en utilizar tres vigas de celosía y una viga pantalla. El proyectista parece haber confiado más en el acero que en el hormigón, desde luego con acierto, puesto que realmente la calidad del hormigón es baja y por ello se ha planteado un sistema poco habitual en las estructuras

de hormigón armado. En la figura 3 se puede observar el esquema del pórtico 1, que es el más desfavorable.

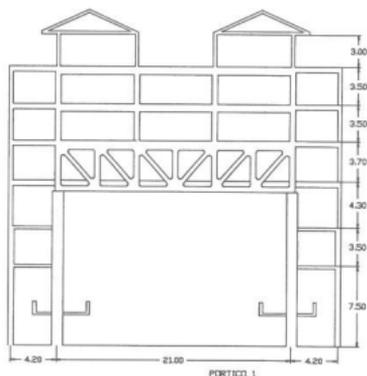


Fig.3

En primer lugar se procedió a efectuar un completo levantamiento de la estructura y a recalcularla. Por algunos datos que se pudieron obtener se pudo saber que el método de cálculo empleado en la celosía fue el método de Cremona para el cálculo inicial de esfuerzos: Se dedujeron posteriormente los desplazamientos por el método de Williot y de los mismos se calcularon los momentos flectores "secundarios", que en este caso tienen una importancia considerable. Este método de cálculo, perfectamente válido en su época, se recogió adecuadamente en el proyecto, pero no así en la obra ejecutada en la que las cuantías que se han podido encontrar son siempre algo inferiores y a veces bastante inferiores a las proyectadas.

La determinación de estas cuantías fue un primer problema importante. Se ha podido comprobar que las mediciones efectuadas por medios magnéticos tipo pachómetro son de escasa fiabilidad cuando se trata de definir armados con diámetros muy variables y con fuertes concentraciones de barras. En este caso ha sido preciso recurrir sistemáticamente a las rozas para determinar la armadura de los distintos elementos.

A continuación se determinaron los coeficientes de seguridad de dichos elementos. En los casos de tracción o compresión compuesta dichos coeficientes de seguridad se estimaron para variaciones homotécnicas del axil y del flector. A título de ejemplo se indican los coeficientes obtenidos en el primer pórtico (figura 4):

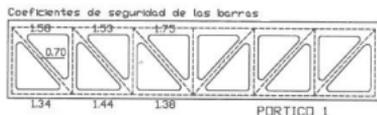


Figura 4

Sorprende especialmente el bajísimo valor del coeficiente de seguridad de la diagonal extrema que lógicamente debiera haber producido una seria patología. De hecho esta pieza estaba fisurada, aunque no con niveles preocupantes. La razón principal de que no se haya producido una patología grave es que estas celosías estuvieron tabicadas desde el principio por lo que de hecho han existido unas diagonales comprimidas de ladrillo que

han descargado las diagonales extremas, a costa de aumentar las tracciones sobre el cordón inferior.

Como consecuencia de este estudio se llegó a la conclusión de que para poder obtener unos niveles de seguridad aceptables era preciso proceder al refuerzo de los cordones inferiores de las tres celosías y al de las cuatro diagonales extremas.

En cuanto a la viga pantalla presentaba una amplia grieta vertical producida seguramente por retracción. Sus coeficientes de seguridad eran algo justos, pero suficientes, por lo que se decidió no proceder a su refuerzo.

3.- PROPUESTA DE REFUERZO.

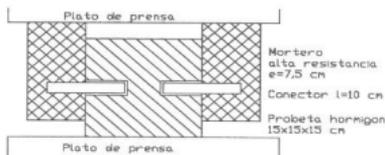
Para estudiar el refuerzo se procedió a un recálculo completo de la estructura, teniendo en cuenta una interesante serie de singularidades de la misma como son el apoyo de las celosías sobre una plancha de plomo, para no transmitir momentos a los pilares del patio de butacas o los cortes en algunas de las vigas que unen la parte central del pórtico con los muros perimetrales, para impedir igualmente la transmisión de momentos.

El cálculo se efectuó con un programa de cálculo matricial desarrollado por nuestro Departamento, que permite tener en cuenta estas singularidades. Se hicieron diversos tanteos para acotar los efectos de una fisuración variable en el cordón inferior, que afecta sensiblemente a la distribución de momentos en los pilares superiores.

El sistema de refuerzo que se eligió fue el añadir la armadura precisa a través de un recocado de hormigón de alta resistencia tipo Betec. Ante las incertidumbres que presentaba la armadura inicial la Dirección Facultativa optó por que el refuerzo soportara la totalidad de los esfuerzos, aún en el caso de agotamiento de los elementos.

En este caso el problema principal de este sistema consiste en asegurar la correcta transmisión de los esfuerzos rasantes entre la pieza original y el refuerzo que se adosa a la misma. Este es un punto conflictivo en la mayoría de los casos, pero especialmente en este en que el hormigón presentaba un estado muy deteriorado en su superficie con una carbonatación de varios cm de profundidad y que por consiguiente no presentaba fiabilidad suficiente. También se estudió la posibilidad de soldar la armadura de refuerzo a la original, posibilidad que fue desechada tanto por razones constructivas, como por el previsible exceso de tensiones en algunos puntos.

La solución adoptada consistió en colocar redondos de acero clavados en el hormigón antiguo, que actuaban como conectores. Ante la escasez de experimentación en este terreno se ha efectuado una completa serie de ensayos en colaboración con el Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la E.T.S.A. de La Coruña utilizando la probeta que se indica en la figura 5.



El ensayo consistió en fabricar una serie controlada de probetas de hormigón de 15x15x15 cm. En sus caras laterales se taladraron con corona de vidia dos agujeros cilíndricos en los que se encajó con resina un trozo de redondo de acero AEH-400 de 10 cm de longitud y diversos diámetros. A continuación se adosaron lateralmente dos piezas de 15x15x7,5 cm, de hormigón de

alta resistencia, tpo Betec, desplazados verticalmente 2,5 cm, con objeto de que la transmisión de la carga se efectuó por un mecanismo de rasante. La carga se realizó con mucha lentitud para evitar posibles distorsiones de los resultados por el efecto de cargas rápidas.

Los resultados de los diversos ensayos mostraron en primer lugar que el uso de estos conectores mejoraba de forma espectacular la eficacia de la transmisión de esfuerzos, muy baja en las probetas realizadas sin conectores. Además se pudo comprobar que el colapso se produjo en todos los casos por rotura del hormigón de la probeta, unas veces por cortante y otras por tracción. Nunca se produjo fallo por deformación, ni mucho menos por rotura de los redondos de acero y el colapso se produjo en todos los casos para valores superiores al límite que se fijaba como aceptable, que era la tensión límite de agotamiento por cortante de los redondos de acero. Por tanto consideramos que estos ensayos avalan, aún a falta de una experimentación más detallada, nuestra hipótesis inicial de que este límite es suficientemente seguro. En las figuras 6 y 7 pueden observarse algunos detalles del refuerzo utilizado.

4.- EJECUCION DEL REFUERZO.

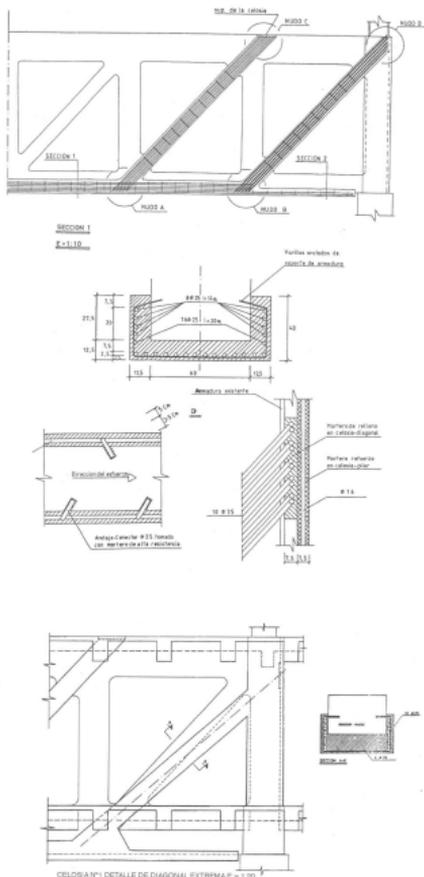
La ejecución del refuerzo presentó, como es habitual en este tipo de obras, una enorme cantidad de problemas. En primer lugar fue preciso efectuar un completo apuntalamiento del patio de butacas, puesto que trabajar desde la planta superior, hubiera sido mucho más sencillo, pero hubiese puesto en peligro la compleja decoración en escaloya de los techos del teatro. Este andamiaje constituyó por sí sólo una obra difícil y sorprendente y permitió el trabajo en condiciones razonables.

Una vez montado el andamio y descubierta la parte inferior de las celosías, se picó el hormigón hasta descubrir la armadura inferior, puesto que la sería carbonatación superficial de dichas vigas, no permitía asegurar una correcta transmisión por rasante. A continuación se procedió a colocar la armadura de refuerzo del cordón inferior y de las diagonales y posteriormente a clavar en el hormigón de los correspondientes conectores. Aunque en proyecto estos conectores se colocaban oblicuamente, los ensayos realizados permitieron comprobar que su eficacia era igual si se clavaban perpendicularmente y esto reducía las complicaciones de puesta en obra.

En la viga pantalla la actuación se redujo a inyectar la fisura que hemos mencionado, una vez que se pudo comprobar, no sin grandes dificultades, que la armadura de la misma era suficiente.

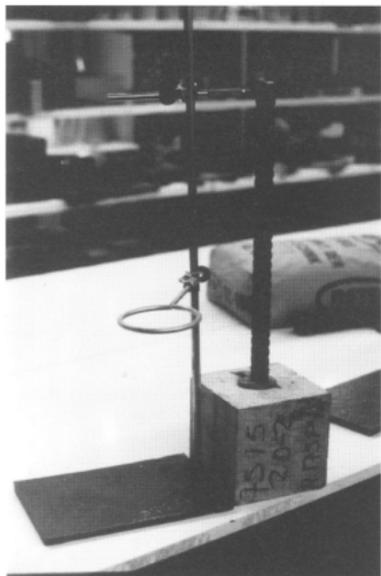
Una dificultad añadida fue la exigencia de la propiedad de que el refuerzo se ejecutara sin cortar en ningún punto de la estructura. Esto obligó a que el refuerzo más importante, es decir el correspondiente a la diagonal extrema, hubiera de ser desplazado y, en consecuencia, no coincidía con el eje de la barra original. Efectuado el correspondiente recálculo, se pudo comprobar que este desplazamiento, que desde luego afectaba considerablemente a la distribución de esfuerzos en la estructura, quedaba cubierto por el refuerzo previsto. La solución constructiva es la que se indica en la figura 8.

A continuación puede observarse una serie de fotografías que ilustran las diversas fases que hemos descrito.



Vista exterior del Teatro Colón tras su rehabilitación.

Fig. 8

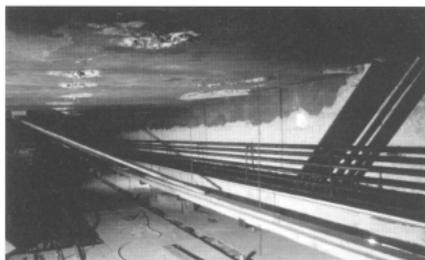


Ejecución de las probetas para el ensayo de rasantes.

Apeo provisional en la planta superior a las celosías.



Detalle de la colocación de la armadura en el cordón inferior. Pueden observarse algunos conectores colocados.



Armadura de cordón inferior de la primera celosía. Puede observarse la colocación de parte del encofrado.



Colocación de armadura en las diagonales de las celosías. Obsérvese el desplazamiento en la diagonal extrema para evitar la rotura del nervio de atado.



Estado final de la segunda celosía con el recorcido de las diagonales y del pilar extremo terminado.

5.- CONCLUSIONES.

El resultado final ha sido sumamente satisfactorio y creemos que la validez de este sistema de refuerzo ha quedado claramente demostrada. Se ha podido constatar la eficacia de los conectores metálicos que se describen en el presente artículo, al menos hasta el límite de su teórica resistencia a cortante, lo que es muy útil en todos aquellos casos en los que no se considera fiable el uso de resinas de unión, tipo epoxi.

El único problema que ha presentado el refuerzo ha consistido en el uso de morteros de alta resistencia tipo Betec. Desde el punto de vista estructural su comportamiento ha sido totalmente correcto, pero pese a ser sometidos a un exhaustivo curado en condiciones muy

difíciles, han presentado una fisuración de afogorado generalizada, que ha exigido un tratamiento posterior.

6.- AGRADECIMIENTOS.

Deseamos agradecer la colaboración de los numerosos técnicos que en una forma u otra han intervenido en esta compleja obra de refuerzo, singularmente D. Fernando Cebrián y D. Juan González de la Diputación de La Coruña, D. Alfonso Rodríguez de Norcontrol S.A. y D.

Ramón Vázquez y D. José M. Álvarez Harri del Departamento de Construcciones Arquitectónicas.

7.- BIBLIOGRAFIA.

Fernández Cánovas, M.: "Patología y terapéutica del hormigón armado_". Dossat. Madrid. 1984.
Ramirez, J.L.; Bárcenas, J.M.; "Refuerzo de pilares de hormigón armado". Informes de la Construcción nº 272 y 290. I.E.T. c.c. Madrid 1975 y 1977.

STABILITY OF TILTED BUILDINGS

Manuel Rechea, Dr. Ingeniero de Caminos. Luisa Basset, Dr. Arquitecto.
E.T.S. Arquitectura, U. Politécnica de Valencia.

SUMMARY

This paper shows a procedure to follow when a tall building tilts in order to obtain resistance soil parameters and predict the evolution of movement in a near future. Two soil behavior hypotheses are used, although other can be used, the paper showing the general way to act. An example is given where some of the predictions are fairly good.

RESUMEN

En este artículo se muestra un procedimiento para obtener algunos parámetros resistentes del suelo y predecir el futuro inmediato de un edificio alto que se inclina. Se hacen dos hipótesis sobre el comportamiento del suelo, aunque otras más sofisticadas también pueden hacerse, mostrando el artículo la manera general de proceder. Se da un ejemplo en el que alguna de las predicciones es bastante buena.

KEYWORDS: Settlement, tilt, soil elasticity, soil plasticity, dynamics.

INTRODUCTION

This paper analyzes the immediate future of a tilted building in base of a series of settlement measurements at different times.

For each instant the rigid body movements are supposed to have been calculated as indicated in the other paper by the same authors, presented in this Congress.

Rational Mechanics is used, the weight and moment due to eccentricity being the acting forces.

Two soil behavior hypotheses are used so that the one that better fits the data seems to be more probable to explain what has happened so far.

Integration of the dynamic equations yields the building most probable behavior in the immediate future.

In general, only the vertical motion and one tilt equations are necessary. This is because one tilt direction predominates and because horizontal movements are much more difficult to obtain than vertical.

APPLIED FORCES

The vertical forces acting on the building are its weight and the soil reaction. The acting moments are the one due to the weight eccentricity and the eccentric soil reaction.

The vertical dynamic equation is then

$$m_B \cdot \frac{d^2 u}{dt^2} = W_B - F_S$$

and the moment equation is

$$I_B \cdot \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = M_B - M_S$$

where

m_B = mass of building
 u = vertical displacement of the measured points center of gravity
 W_B = weight of building
 F_S = vertical soil reaction
 I_B = moment of inertia of building
 α = angle rotated by the building
 M_B = moment due to the weight eccentricity
 M_S = moment due to the soil reaction

The moment due to the building can be written as

$$M_B = W_B \cdot H \cdot \alpha \quad (\alpha \text{ is an approximation to } \sin(\alpha))$$

where

H = height of the building center of gravity.

The formulation of soil reaction, F_S , and soil moment, M_S , depend on the soil behavior hypothesis.

PSEUDOELASTIC SOIL BEHAVIOR

If the foundation is composed of several portions (isolated footings or piles) the assumption that, for each portion, the displacement is proportional to the stress can be used.

The proportionality constant is the coefficient of subgrade reaction, K . For each portion, the following equation holds

$$\sigma_i = K \cdot u_i$$

and the total soil reaction is

$$F_S = \sum \sigma_i \cdot A_i = K \sum A_i \cdot u_i$$

In a rigid body, the displacement can be expressed as

$$u_i = u + \alpha \cdot x_i$$

and, therefore, the total soil reaction is

$$F_S = K \cdot A_C \cdot u$$

since the α term vanishes because it is the static moment of the foundation area about the foundation center of gravity.

In the foregoing expressions the following meanings are used

A_i = area of a foundation portion
 σ_i = stress of the foundation against the soil
 u_i = displacement of the foundation portion
 u = displacement of the foundation center of gravity
 x_i = distance of foundation portion to the total foundation center
 A_C = foundation area

The soil moment is

$$M_S = \sum \sigma_i \cdot A_i \cdot x_i$$

Following the same steps as before, the soil moment reaction is now

$$\mathbf{M}_S = \mathbf{K} \cdot \mathbf{I}_C \cdot \alpha$$

where

\mathbf{I}_C = inertia moment of the foundation area.

EQUATIONS OF THE DISPLACEMENT INCREMENTS

When the foregoing forces and moments are introduced in the movement equations, they become

$$\frac{d^2 \Delta u}{dt^2} = \mathbf{B}_0 + 2 \cdot \mathbf{C}_0 \cdot \Delta u$$

$$\frac{d^2 \Delta \alpha}{dt^2} = \mathbf{B}_1 + 2 \cdot \mathbf{C}_1 \cdot \Delta \alpha$$

where Δ accounts for the increment of the variable to its right and \mathbf{B}_0 , \mathbf{B}_1 , \mathbf{C}_0 and \mathbf{C}_1 are unknown constants which include initial values and the unknown coefficient of subgrade reaction.

By multiplying these equations by $d\mathbf{u}$ or $d\alpha$, the energy equations are obtained, after integration

$$\frac{1}{2} \cdot \mathbf{V}_0^2 = \mathbf{A}_0 + \mathbf{B}_0 \cdot \Delta u_0 + \mathbf{C}_0 \Delta u_0^2$$

$$\frac{1}{2} \cdot \mathbf{W}^2 = \mathbf{A}_1 + \mathbf{B}_1 \cdot \Delta \alpha + \mathbf{C}_1 \cdot \Delta \alpha^2$$

FINDING THE UNKNOWN COEFFICIENTS

The measurements taken allow to compute the vertical velocity and the tilt velocity. Values are attributed to middle point of the interval. The data can be adjusted to a minimum square parabola.

As it can be seen, three measurements are necessary, apart from the initial setting of measuring points, to define the parabolas.

In this manner the coefficients \mathbf{A} , \mathbf{B} and \mathbf{C} are obtained. If the \mathbf{C} value is negative, the solution is stable and an equilibrium position exists, given by the no acceleration position ($\mathbf{B}/2\mathbf{C}$).

If the \mathbf{C} value is positive, the solution is unstable and the displacements grow indefinitely.

The equations can be easily solved for the displacements and analytical prediction of building behavior can be obtained.

If the equations are used just as shown, no long term predictions can be made since mathematical simplifications

have been made and because the soil and other conditions change.

VISCOPLASTIC SOIL BEHAVIOR

As a viscoplastic material, the soil reaction can be expressed as being proportional to the velocity.

In this case, the soil stress at a foundation portion may be written

$$\sigma_i = \mathbf{K} \cdot \mathbf{V}_i$$

where \mathbf{K} is a constant and \mathbf{V}_i is the velocity of a foundation portion.

Following the same steps as before, the equations of the Mechanics of a rigid body are

$$\frac{d^2 \Delta u}{dt^2} = \mathbf{A}_0 - \mathbf{B}_0 \cdot \frac{d\Delta u}{dt}$$

$$\frac{d^2 \Delta \alpha}{dt^2} = \mathbf{A}_1 \cdot \Delta \alpha - \mathbf{B}_1 \cdot \frac{d\Delta \alpha}{dt}$$

where it can be seen that the tilt equation always results in instability, since all coefficients shown are positive. After a certain time has elapsed, the acceleration vanishes and the movement becomes uniform.

Unknown coefficients are found in a similar way as before.

AN EXAMPLE

Because its recent development, it is not possible to give direct reference to this case.

When the movement problem was recognized, a period of 4 months was expected to be necessary until repairs could begin.

A question to answer was if at that time the building tilt would be small enough for the building to be still usable.

Twelve points have been measured during three months. The data have been treated as indicated in Rechea and Basset (1).

Fig. 1 show the data measurements in settlements and tilt.

Fig. 2 shows the predictions for the settlement and tilt based on then, pseudoelastic assumption.

Fig. 3 gives the predictions of settlement and tilt based on the viscous assumption

It can be seen that the viscoplastic solution gives a better approximation.

BIBLIOGRAFIA

(1) Rechea, M.; Basset, L.; "Settlement monitoring. A mathematical treatment". I Congreso sobre rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación. La Laguna, 1992. (Este volumen).

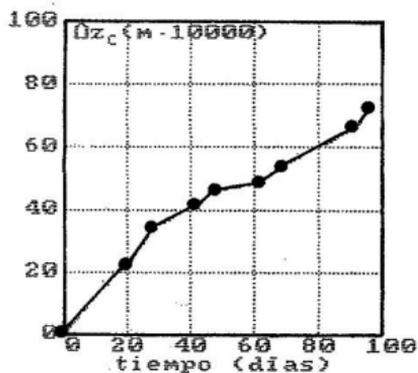


Figura 1. Datos

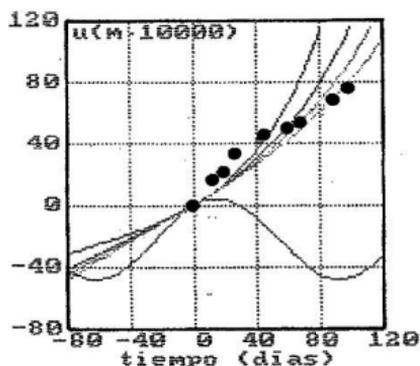
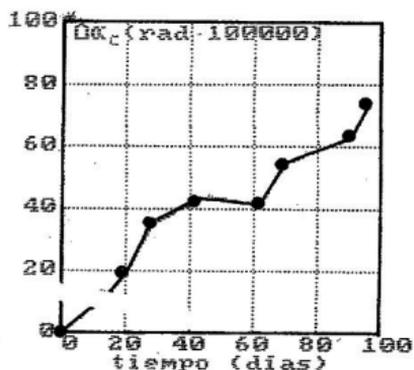


Figura 2. Pseudoelasticidad

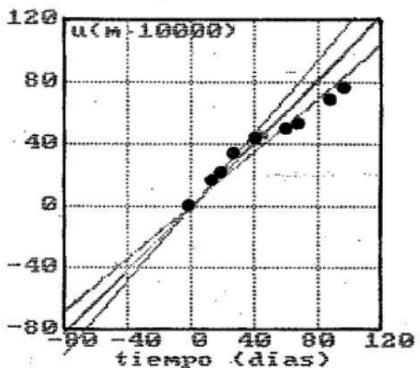
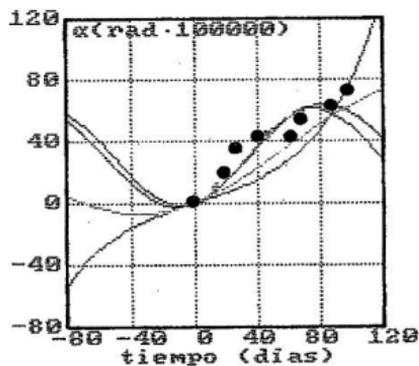
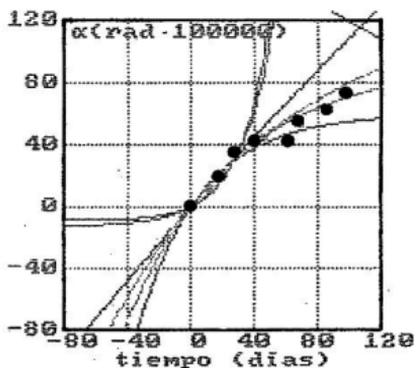


Figura 3. Viscoplasticidad



ESTUDIOS REALIZADOS EN LA CATEDRAL DE TOLEDO CON VISTAS A SU RESTAURACION Y A LA CONSOLIDACION DE SUS MATERIALES PETREOS.

F. Mingarro *, M.C. Lopez Azcona **, M.A. García del Cura **, S.Ordoñez *, J.P. Calvo *, R. Fort **, M. Bustillo * y A.M. Alonso Zarza **.

* Dpto.Petrología y Geoquímica. Universidad Complutense. 28040 Madrid.

** Inst. Geología Económica. C.S.I.C. 28040 Madrid.

RESUMEN.-

La Catedral de Toledo, por su largo período de construcción muestra una gran diversidad de materiales, que han sido representados sobre una base fotogramétrica (1:50), y estudiados junto con los procedentes de sus canteras, la mayoría no activas actualmente.

Para conocer mejor las causas del deterioro de los materiales, se ha estudiado el medioambiente en que se encuentran instalando en la misma Catedral una Estación automática de contaminación con analizador de partículas y otra Estación Meteorológica.

Las técnicas principales utilizadas fueron: Microscopía petrográfica, de fluorescencia y electrónica, Difracción y Fluorescencia de Rayos X, cuantificación de grietas y alteraciones por Ultrasonido, Termografía y Esclerometría.

Se estudiaron también las aguas de lluvia depositadas en dos pluviómetros que hay en los extremos E y W de la Nave Central, y las aguas de escorrentía, sobre los distintos tipos de rocas carbonáticas y graníticas.

Se han estudiado diversos productos: biocidas, consolidantes, hidrofugantes y restauradores en el laboratorio y se han aplicado en partes seleccionadas de la misma Catedral, estando actualmente en proceso de seguimiento dichos productos, aplicados hace dos años, antes de su utilización definitiva.

SUMMARY.-

The Toledo Cathedral, which was built during a long period of time, shows a high variety of building materials: different types of granites, limestones,.... These materials have been carefully studied and compared with similar, non-weathered, samples obtained from the old quarries.

Different techniques were used in order to know the degree of weathering of those buildings materials: thin section, analyses, electronic microscope, X-R diffraction, chemical analysis, ultrasonic prospections,.... However, it was not enough to know the causes of the weathering and so we are studying the environment in which the Cathedral is located by means of an automatic Pollution Equipment and a Meteorological Station. We have also analysed the composition of the rain water as well as the runoff water which passed on the different building materials.

Actually we are testing different chemical products in order to have a good idea of which of them are the better to use definitively in the conservation and restoration of the Cathedral.

KEYWORDS: Catedral de Toledo, Fotogrametría de fachada, Medioambiente, Contaminación, Deterioro, Productos de restauración.

Este trabajo es el resultado de los estudios que, hasta el momento, ha llevado a cabo un Equipo de Investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y la Universidad Complutense de Madrid.

Los estudios comenzaron en 1.988, cuando fue

aprobado el proyecto por EUREKA-EUROCARE, como proyecto EU-140, y cuando el entonces Presidente de EUROCARE Dr. Röswall, declaró que debería considerarse como Proyecto Piloto para EUROCARE.

La Catedral de Toledo se comenzó a construir en 1227, durando su edificación 266 años, lo cual equivale a decir numerosos alarifes, proyectos, criterios culturales, arquitectónicos...etc. Todas esas circunstancias definen la complejidad de su estudio por la diversidad de materiales empleados, criterios constructivos arquitectónicos, y diferentes restauraciones (Fig. 1)

El estudio comenzó haciéndose una exhaustiva investigación del Historial Arquitectónico de la Catedral, que pudiera alumbrar sobre conceptos, procedencia de materiales, cambios en su construcción, e incluso de los materiales pétreos utilizados, ubicación en la Ciudad de Toledo, puntos de drenaje y estudio de movimientos sísmicos que pudieran afectar a la estructura del Monumento.

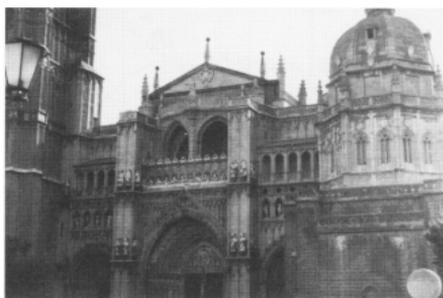


Fig. 1 Vista general de la fachada Principal o del Perdón.

Se continuó con un análisis estadístico de las condiciones meteorológicas que regulan el medioambiente de la Catedral, surgiendo el problema del desconocimiento total de la contaminación ambiental en la Catedral de Toledo.

Con estos datos y las correspondientes correlaciones petrologías y petroquímicas, se han podido localizar las canteras de procedencia del material con el que se construyó la Catedral; canteras hoy desaparecidas en gran parte, pero que nos han permitido establecer que se comenzó la construcción con la caliza llamada de "Olihuela", con la que se pretendía realizar su totalidad, pero pronto se observó la mala calidad de esta roca, y fue sustituida por la llamada "piedra blanca", procedente de otro yacimiento "Regachuelo", próximo al actual Cerro de la Rosa.

Posteriormente, este material pétreo, que sólo se conserva en el interior de la Catedral y recubierto en algunas zonas exteriores, se dejó de utilizar. La construcción se continuó con "piedra berroqueña",

monzogranito profídico de "Guadaxaraz" (Fig. 2), sustituido más tarde por un monzogranito de grano medio de "Villaverde" (Monacid, Chueca, San Blas) e incluso, más recientemente en resaturaciones del siglo XVIII, se transforma hasta el estilo de la Catedral, desde el gótico característico, al renacimiento más moderno, introduciendo nuevos materiales como las Grandioritas de "Ventas con Peña Aguilera", y las biomicritas de Charáneas (fig. 3), procedentes de "Colmenar de Oreja", y hasta en 1.919, se colocan las biomicritas de "Elda".

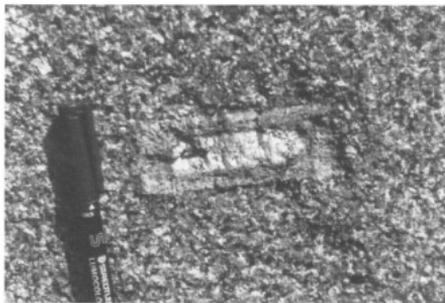


Fig.2. Monzogranito porfídico

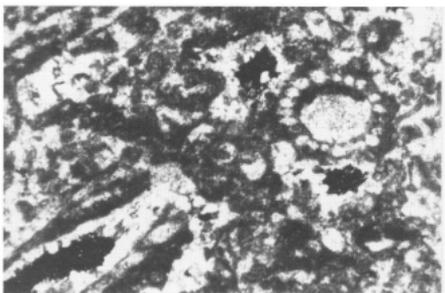


Fig.3. Fotomicrografía de la Biomicrita de Charáneas, con la que se construye toda la parte ornamental; se pueden ver perfectamente restos fósiles. X.16.

Especialmente en elementos ornamentales, se utilizan nuevos materiales como rocas metamórficas: metadolomicitas, pizarras chistolíticas, mármoles blancos de Macael, La Estrella... etc. Incluso mármoles de Carrara, Conglomerados rojos de Granada, micritas travertínicas...etc.

Con estos conocimientos, se pudo elaborar uno de los documentos más importantes que debe tener todo monumento del Patrimonio Histórico, un detallado plano fotogramétrico de la Fachada Principal a escala 1:50, sobre el cual, se ha podido cartografiar la distribución de los materiales que la forman, con lo que se tiene un alzado a escala, pintado sillar por sillar, donde se conoce el material con que están construidos y la procedencia de los mismos.

Para determinar el deterioro sufrido por los diversos tipos de rocas, no sólo se ha recurrido al detallado análisis petrográfico de unas 200 preparaciones mediante microscopía de polarización y epifluorescencia y, a veces, microscopía electrónica de barrido de las piedras alteradas y sus homólogas de canteras, sino que también se han establecido sus diferencias y correlaciones

mediante análisis petroquímicos de componentes mayoritarios, minoritarios, elementos traza y tierras raras.

De esta manera, se ha puesto de manifiesto como han intervenido diversos mecanismos de disolución, carbohidrólisis, hidratación, capilaridad y neoformación de sales de nitratos, carbonatos, sulfatos y efectos meteorológicos de cambios térmicos, heladas, etc. También se han podido determinar los efectos físicos y químicos sobre la "sulfatación de las plagioclasas" en las grandioritas, debido a la contaminación atmosférica; las arenizaciones de los monzogranitos de grano medio por carbo-hidrólisis y análogas alteraciones en los monzogranitos porfídicos, pero en este caso, también acompañadas de oxi-hidrólisis de biotitas, lo que proporciona a estas rocas su característico color pardo-rojizo.

Pero de poco sirve conocer el deterioro de una roca y los mecanismos por los que se ha originado, si no se conocen las causas que lo han provocado, ya que es la única manera por la que se podrán eliminar, para interrumpir la alteración, o se podrá aislar el material de los causantes de dicho deterioro.

Con esta idea, se realizó un estudio estadístico, de los 82 últimos años, de las condiciones meteorológicas a las que han estado sometidas las rocas: temperatura, oscilaciones térmicas, lluvias, dirección y velocidad del viento, humedad, temperaturas de rocío, días de niebla, escarcha, rocío, etc...

Por otra parte, era necesario conocer la contaminación ambiental, y ante la carencia de estaciones analíticas en Toledo se tuvo que instalar en la Catedral una estación convencional (con autonomía de 8 días y datos cada 24 horas) para determinar NO_2 , SO_2 y humos, que empezó a funcionar en Julio de 1.988 (fig. 4).

Los resultados obtenidos se compararon con las contaminaciones determinadas en otras estaciones: san Pablo de los Montes (estación de fondo); Ciudad Universitaria de Madrid (estación considerada como de zona residencial) y otras de alta contaminación como las de Legazpi y Cibeles en Madrid.



Fig.4. Estación de contaminación automática instalada en el Triforio bajo de la misma Catedral.

El conjunto de estas determinaciones medioambientales (meteorológicas y de contaminación) confirmó la explicación de los deterioros observados en la Catedral, pero para analizar mejor los mecanismos y con vistas a eliminar sus causas, se optó por instalar una estación automática medioambiental, mediante la cual se pueden analizar actualmente los contaminantes que afectan a las rocas: SO_2 , NO , NO_2 y CO_2 , los elementos oxidantes como el O_3 y no sólo conocer cuantitativamente los aerosoles de emmugrecimiento de las rocas, sino también determinar su composición instalando un captador de partículas de Alto Volumen, mediante el cual, se cuantifican estas partículas y también se cualifican como elementos catalíticos para la oxidación de contaminantes como el SO_2 , NO o CO . Los métodos utilizados son: gravimétrico, colorimétrico y composicional.

Simultáneamente y en la misma Catedral, se instaló una Estación Meteorológica de forma que en el mismo instante en que se determina la composición del aire se cuantifica también la humedad, lluvia, dirección y velocidad del viento, insolación, ... etc; datos todos ellos que llevan a comprender el estado del entorno medioambiental en el que se encuentran las piedras, y consiguientemente explican su deterioro y las reacciones químicas y físicas que lo han provocado.

También se han complementado estos estudios con el análisis de aguas de lluvia tomadas en los extremos E y W de la Catedral, y los análisis de aguas de escorrentías de los diferentes materiales y en fachadas con distinta orientación.

Para cuantificar el deterioro, se han realizado análisis petrofísicos de las rocas, comparándolas con los de las rocas de origen (de canteras) determinando sus densidades reales, piezométricas y aparentes, saturación, sorción, desorción, capilaridad, dilatación por impregnación hídrica, etc. Todos ellos datos de caracterización que cuantifican y explican el estado de alteración en que se encuentran las rocas, que junto con el análisis comparativo de su macro, meso y microporosidad a altas presiones y la determinación de su superficie específica, reflejan la capacidad de deterioro de estos materiales.

A título de ejemplo se indican en la Tabla I algunos valores muy representativos del comportamiento hídrico de estas rocas en lo que concierne al agua de saturación, permeabilidad (porosidad accesible al agua) y dilatación hídrica; observándose casi cronológicamente la utilización de diferentes rocas, desde la dolomía de Olihueta que ya estaba deteriorada antes de comenzarse la obra, hasta la granodiorita de la última gran restauración.

TABLA I. Algunos caracteres petrofísicos de las diferentes piedras de la Catedral de Toledo.

	Agua de saturación (%)	Permeabilidad (%)	Dilatación hídrica (%)
Dolomía de Olihueta	22,95	39,98	0,52
Dolomítica de Requehuero	8,81	19,71	---
Dolomítica compacta	10,66	23,02	0,006
Blancorrita de Colmenar	2,92	7,23	0,00
Monzogranito de Guadaaraz	2,91	7,31	0,00
Monzogranito de Villaverde	3,50	8,71	0,00
Granodiorita de San Pablo	0,82	1,57	0,00

Las dolomías de Olihueta, que tienen como minerales accesorios sepiolita, atapulgita, esmectita...etc, muestran un valor altísimo de dilatación hídrica, por lo que se explica su alto grado de deterioro, las escamaciones y pulverizaciones que presentan y más aún, al contemplar todo esto, junto con los efectos de oscilaciones térmicas, capilaridades, sulfataciones, etc.

Otro valor importantísimo al estudiar el deterioro sufrido por las rocas es su cuantificación, no sólo por lo que pudiera afectar a la estructura del edificio, sino también, para evaluar el mejor modo de su restauración y conservación, dando una idea clara de la influencia que ha tenido en la historia del monumento, restauraciones nefastas que aceleran el proceso de deterioro, como la

sustitución de sillares poniendo en contacto tipos pétreos de diferente comportamiento hídrico y petrofísico, o los enfoscados de cemento que pronto aumentan la alteración del material y se desprenden de la roca.

Para valorar y determinar cuantitativamente estos estados, se ha procedido a realizar proyecciones ultrasónicas (fig.5) y termográficas (fig.6) que ya caracterizan como la degradación de la dolomía de Olihueta en muchos puntos arquitectónicos y está deteriorada hasta una profundidad de 8 a 10 cm, mientras que en las costras de sulfatación o heladicidad de las granodioritas sólo llega a 2 mm, aunque muchas veces al repetirse el proceso, las sucesivas escamaciones, pueden llegar a una profundidad de 10 o 15 mm; y como siempre, sustituciones de sillares carbonatados por graníticos han aumentado el deterioro de los primeros.

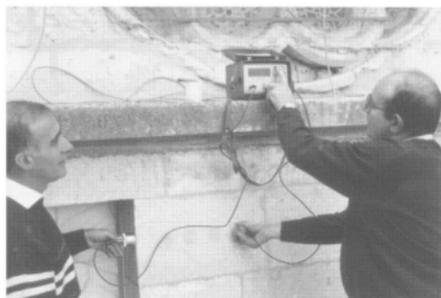


Fig.5. Determinaciones por ultrasonido en la Girola.



Fig. 6. Determinaciones termográficas en la Capilla de San Idefonso.

Pero no es suficiente el conocer y cuantificar el deterioro y causas que lo han producido, también es muy importante el conocer la forma de detenerlo, los mecanismos y productos necesarios para consolidar lo alterado, protegerlo del medioambiente corrosivo y restaurar el monumento.

Para lograr este fin, el Instituto de Geología Económica estableció un convenio con la firma TEXSA para estudiar los productos que fabrica, su comportamiento en las diferentes piedras y de éstas en el entorno medioambiental de Toledo, de forma que su utilización con todas las modificaciones necesarias garanticen la conservación y restauración de la Catedral.

Diferentes tipos de consolidantes, biocidas, hidrofugantes, impermeabilizantes y materiales de reconstrucción, se han ensayado en el laboratorio sobre probetas de las distintas rocas alteradas de la Catedral y no degradadas de canteras. Se han evaluado así las diferencias de sus características petrofísicas y comportamiento hídrico, analizándose también su alterabilidad mediante tratamientos cíclicos de Cámara ambiental, donde se han intentado reproducir las condiciones toledanas que afectan a las rocas: oscilaciones térmicas, heladicidad, humedad, lluvias, formación de sales, radiaciones ultravioletas...etc.

Pero siempre hay factores incontrolables, cualitativa o cuantitativamente o complejos mecanismos mixtos que reflejan la degradación de la roca, por lo que también estos productos han sido experimentados en zonas

específicas de la catedral (Fig.7) y cuyo seguimiento está aún en curso, incluso con diferentes formas de impregnación por tiempo de ésta o por capas sucesivas, forzando a veces la succión de agua mediante riesgos; impregnando con soluciones nutritivas las zonas donde se experimentan las biocidas, o determinando los índices esclerométricos en zonas tratadas con consolidantes. Todos estos ensayos se realizan tan minuciosamente, con objeto de tener el máximo de seguridad de que va a funcionar bien el tratamiento que se efectúe sobre las piedras de la Catedral de Toledo.

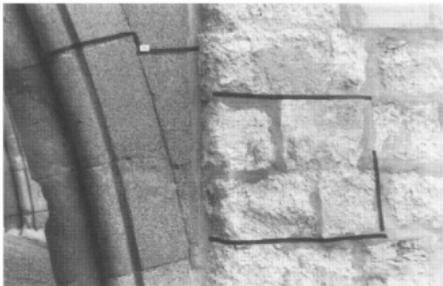


Fig.7. Zona de tratamientos en Granitos y Calizas en un arbotante del Triforio alto.

IN-SITU INVESTIGATIONS, STRUCTURAL ANALYSIS AND STRENGTHENING OF A STONE MASONRY BELL TOWER

Claudio Modena
University of Padua - Italy

Pier Paolo Rossi
ISMES, Bergamo, Italy

SUMMARY

A typical example is presented of the work which is being carried out by the authors in the field of structural evaluation and strengthening of ancient masonry towers.

The design of the restoration interventions and the assessment of their actual efficiency, are based on a combined experimental- numerical procedure, which is assumed to allow reliable structural analyses, consisting of the following major steps:

- in-situ evaluation of the actual state of stress, of the strength and of the deformability of the masonry by means of the flat jack technique;

- analysis of the masonry composition and bonding by means of bore-hole video inspections;

- in-situ measurement of ambient vibrations, before and after the execution of the strengthening work, from which an estimate of the overall structural behaviour can be derived calculating the fundamental period of vibration;

- construction of a numerical model, assuming the mechanical properties of the material derived from experimental investigations;

- calibration of the model through static and eigenvalues analyses, comparing experimental and theoretical values of local stresses and of the fundamental period of vibration measured before the restoration;

- evaluation of the numerical calculation for the fundamental period of vibration after the restoration.

KEYWORDS: MASONRY, TOWER, NON-DESTRUCTIVE TESTS, DIAGNOSIS, NUMERICAL MODEL, RESTORATION, STRENGTHENING

1. INTRODUCTION

The methodological approach proposed by the authors for the diagnostic analysis of the static conditions of ancient masonry towers is based on a combined experimental numerical procedure. This method, which recently has been applied with success to several important monuments, is a reliable tool to analyse the structural behaviour of the tower and to design the strengthening works. In the following, the major steps of the methodology are summarized and an example of application to an ancient stone masonry bell tower is presented.

2. INVESTIGATION METHODOLOGY

2.1 Crack pattern investigation

After the geometrical or photogrammetric survey is completed, a detailed investigation on the surface of the building must be carried out for the survey of the crack pattern and of the damaged zones. This kind of inspection must be carried out visually by trained technicians, usually with the aid of alpinist guides to avoid the very high costly of scaffoldings. It is the only reliable way for assessing the patterns of the cracks which are relevant from the structural point of view.

An example of application to the bell tower of the Church

of S.Zeno (XII Century) in Verona is shown in Fig. 1. The large cracks at the top of the tower are visible from the ground level, but only this investigation allowed a precise check of their propagation and the measure of the relative displacements

2.2 Coring and borehole video survey

To understand the structural properties of the different types of masonry of which a building is composed, it is important to core small diameter boreholes taking samples in the most representative points of the structure. This operation becomes indispensable in the very frequent case when the masonry consists of two surface layers in regular bond with internal irregular packing. Coring must be done with a rotary saw using diamond cutting edge. This coring operation allows samples to be extracted from the material on which laboratory tests can be made; this is particularly important when identifying the chemical-physical and mechanical characteristics of mortars. Inside the boreholes, additional investigations can be made which help to define



Figure 1. Crack pattern investigation on the external wall of the bell-tower of the Church of S. Zeno (Verona).

- a) Investigation carried out by a climbing technician
- b) Crack pattern of the north wall of the bell-tower

the structural and mechanical properties of the masonry.

A small colour video camera ($d = 11$ mm) may be inserted into the borehole allowing a detailed study of the surface of the borehole. The results of this study may be recorded and archived for further analysis after the boreholes

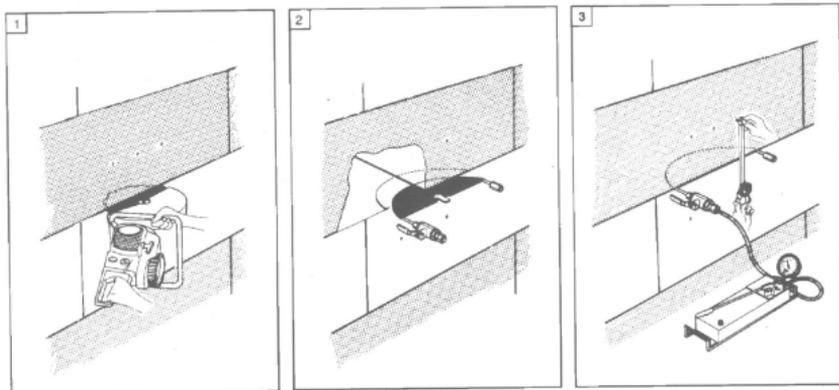


Figure 2: Scheme of the flat-jack testing phases on a stone masonry wall

have been sealed. The information obtained by this survey include:

- the bonding characteristics of the masonry;
- the measurements of the size of the internal cavities;
- the analysis of the propagation of internal cracks and measurements of their openings.

2.3 Measurement of the state of stress

An interesting testing technique, based on the use of flat jacks, was developed in the ISMES laboratory a few years ago for the measurement of the state of stress of existing masonry structures. This very simple and reliable technique, which is carried out by introducing a thin flat jack into the mortar layer, is only slightly destructive. After the test is completed, the flat jack can easily be removed and the mortar layer restored to its original condition. The determination of the state of stress is based on the stress release caused by a plane cutting normal to the surface of the wall. Fig. 2 shows the different phases of the test.

Two reference points are installed on the wall surface and the initial distance between the two points is measured. A slot perpendicular to the wall surface is then made and stress release is determined by a partial closing of the slot edges. A thin flat jack is placed inside the slot, and the pressure is gradually increased to cancel the previously measured convergency. In this condition, the pressure inside the jack is related to the pre-existing state of stress in a direction normal to the plane of the slot. The value obtained, which depends on the ratio between the flat jack and the cut surfaces and on the stiffness of the welded boundary, must be corrected by a adequate coefficient which is determined at laboratory on the base of accurate calibration tests. The use of flat-jack technique allows the analysis of the state of stress in different sections of the tower in order to recognize the zones where a stress concentration occurs.

Recently ISMES has developed the procedure of application of this technique directly on the external wall of towers with the aid of climbing operators without using scaffoldings. Fig. 3 shows an example of application of this technique on a brick masonry tower in Pavia

2.4 Determination of deformability and strength characteristics

For this purpose a testing technique based on the use of two parallel flat jacks is used. The two jacks, inserted at a

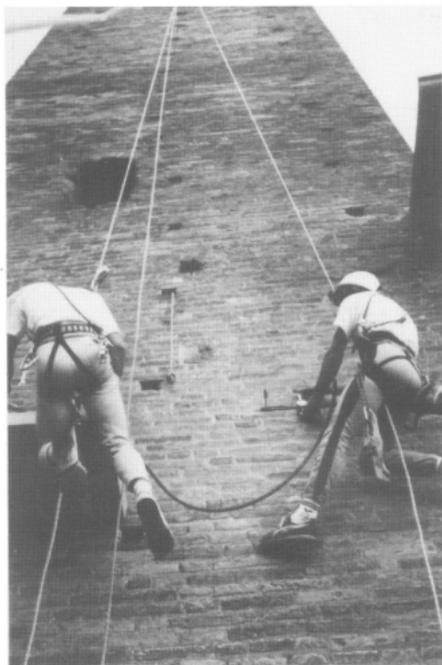
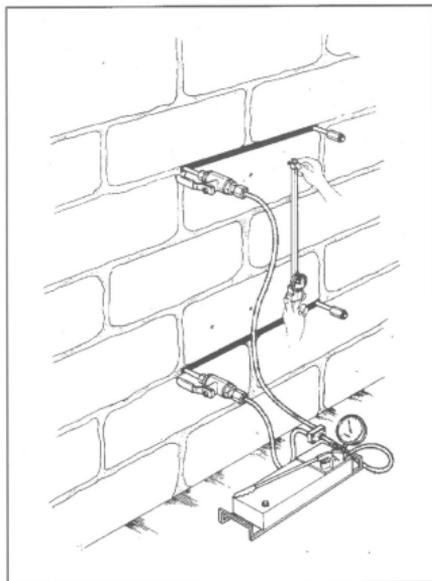


Figure 3: Special application of flat-jack test on the external wall of a tower in Pavia without the aid of scaffoldings

distance of about 50 cm one from the other, delimit a masonry sample of appreciable size to which they apply compression stresses. In this way a compression test is carried out on an undisturbed sample of large area. Fig. 4



a)



b)

Figure 4: Test with two parallel flat-jacks to determine deformability characteristics.

a) scheme of the test

b) example of a deformability test performed on the external wall of the San Francesco Church in Arezzo

shows the scheme of the test and an example of a test carried out on a stone masonry.

Several loading cycles are performed at gradually increasing stress levels in order to determine the deformability modulus of the masonry in its loading and unloading phases. This test can also be used to evaluate the compressive strength of the masonry.

The load is increased until the first cracks in the bricks appear, then the strength limit of the masonry can be evaluated by extrapolating the stress-strain curve. The effect of the lateral confinement of the sample may be taken into account by calibration tests done in the laboratory.

It has been observed that, when nearing failure conditions some cracks appear in the bricks, but the damage suffered by the masonry is quite negligible and can be repaired easily.

Using the tests with parallel flat jacks one can only determine the deformability characteristics of the superficial layer of masonry. In order to acquire information on the internal masonry it becomes necessary to carry out borehole dilatometric tests using a special probe about 25 cm long. As the portion of masonry used for this test is very limited, the values obtained by the dilatometric test are less representative than those obtained by the flat jack tests. This testing technique, however, is undoubtedly useful as it determines the ratio of deformability of the internal masonry to the outer layer. Fig. 5 shows the scheme of borehole dilatometric test.

2.5 Determination of the shear strength along a mortar layer

The flat jack testing technique combined with hydraulic jack, can also be used to determine the shear strength characteristics of the mortar between the brick layers. A brick is extracted from the center of the masonry samples delimited by two flat jacks and a hydraulic jack of the same size is inserted in its place for the application of a shear force (Fig. 6). The testing technique determines the peak and residual shear strength of the mortar layers. By doing several tests with different values of the stress in a direction perpendicular to the joint, the friction angle and the cohesion of the mortar can be determined.

2.6 Dynamic analysis.

The in-situ testing using dynamic methods can be considered a reliable non-destructive tool to verify the structural behaviour and integrity of a building. Dynamic investigations can be carried out according to the following procedures:

a) Through the analysis of data gathered as a response to dynamic loads continuously imposed to the structure (urban and railroad traffic, bells ringing, etc.) or from irregular actions. A seismometric network is installed in different parts of the structure and the signals are analysed in terms of amplitude and frequency content. Through spectral analysis techniques it is then possible to evaluate the dynamic modal parameters.

b) By subjecting the construction to low intensity forced vibration tests (so as to produce vibrational levels that do not affect the structural integrity) and recording the system response in terms of displacements, velocities and accel-

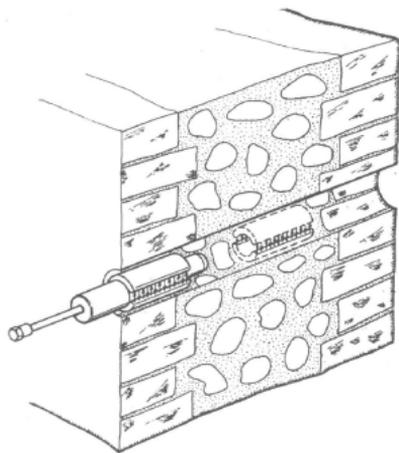


Figure 5: Scheme of borehole dilatometric test that determines the deformability characteristics of the surface and inner layers

rations. The forced vibrations are induced by vibrodyne and the response measured by seismometric sensors. This second kind of analysis allows the identification of dynamic behaviour of the structure through the evaluation of its modal parameters (natural frequencies, modal shapes, damping ratios). The knowledge of these parameters allows the computation of the structural response to any type of dynamic load with known characteristics, and in particular for evaluating the seismic vulnerability of the masonry construction. Forced vibration tests repeated over a length of time, allow the evaluation of possible modal parameter variations. These variations may be associated with modifications in the structural integrity, enabling the actual structural degradation of the masonry elements to be quantified. It must be stressed that the information collected not only quantifies the structural degradation of the buildings or parts of them, but they are also important in the planning stage of any structural adaptations, when choosing the type and size of appropriate strengthening works.

2.7 Numerical models

Numerical models are constructed assuming the mechanical properties of the material experimentally derived and inspected as previously described. The model are calibrated through static and eigenvalues analyses, composing experimental and theoretical values of local stresses and of the fundamental period of vibration. The general state of stress can be then evaluated by means of the calibrated models, and the efficiency of the restoration works can be estimated by repeating the measurement and the numerical calculations after restoration.

2.8 Monitoring

Installing measuring instruments to monitor the structural behaviour of a building can be considered a reliable method for a non-destructive evaluation of the static conditions

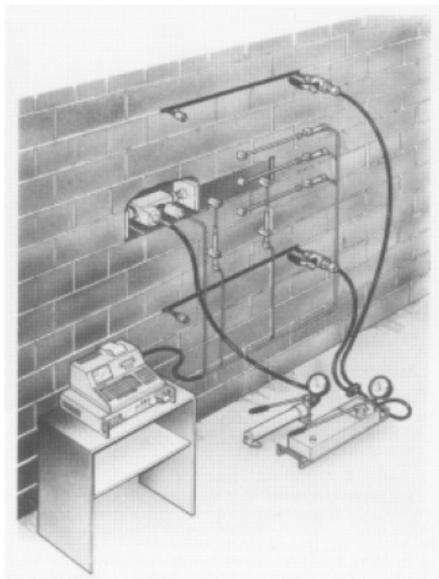


Figure 6: Scheme of a shear test along the mortar layers: the normal stress is applied by two flat-jacks and the shear stress is applied with a hydraulic jack

of the structure. This investigative technique is gaining popularity because, besides supplying information on the static conditions of the building, it is considered the only way to guarantee the safety of the structure before, during and after the consolidation works. The main features which are monitored are the following:

- openings and sliding of the main cracks in masonry structures;
- absolute and relative horizontal movements of vertical structures; - rotation of vertical and horizontal structures;
- internal and external temperature;
- behaviour of soil and rock foundations;
- dynamic response.

3. PRINCIPAL CHARACTERISTICS OF THE BELL TOWER OF NANTO (VICENZA)

The bell tower and the ancient church of Nanto (province of Vicenza) were built (probably in the 11th century, with some changes during the 16th century) using the popular soft limestone employed in the venetian architectural and decorative production of the last centuries and still quarried in the region today.

The monument is situated on a rock slope covered by a thin layer of soft limes varying in thickness very quickly: the foundations of the tower were found to be based on the rigid and irregular surface of the bedrock. Probably due to the local ground conditions, the poor quality of the materials (especially of mortars), and to the lack of maintenance, the tower suffered major problems from deterioration.

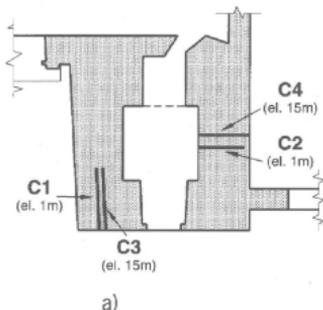
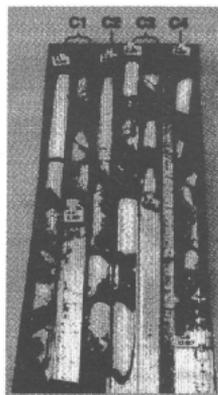


Figura 7:

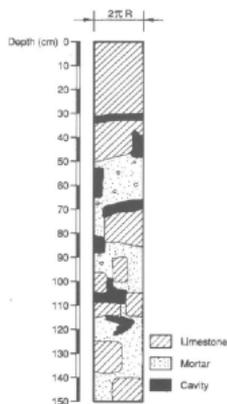
a) position of the drilled cores;

b) cored material;

c) typical "through-the-thickness" masonry composition.



b)



c)

The primary concern from the structural point of view was from the small and diffused cracks in the stones and from a large crack which vertically splits the south wall of the tower. The first type of cracks show dangerous distributions of stresses, especially when taking into account the typical "through-the-thickness" inhomogeneity of the masonry, which apparently has better quality stone on the outer covering; the second type can jeopardize the overall stability of the structure.

The design of the restoration interventions was based on the combined experimental numerical procedure which was described in paragraph 2.

4. ANALYSIS AND STRENGTHENING DESIGN

4.1 In-situ non destructive tests

The masonry composition and bonding was first investigated by means of a borehole video survey; four 56 mm diameter cores were drilled in the positions indicated in Figure 7a, two at the base of the tower (1000 mm from ground level) and two at 15.000 mm from ground level. From the analysis of the cored material (Figure 7b) and from visual inspections conducted with a small video camera inserted in the holes, the precise "through-the-thickness" composition of the masonry was obtained.

A typical example of masonry composition is shown in Figure 7c, where a rather bad quality masonry clearly appears behind the external (approximately 200-300 mm thick) leaf made with dressed stone units. The mortar, which does not completely fill the large spaces between the irregular stones, is very poor and without any apparent consistency. During the grilling operations it was, in fact, completely lost.

The flat-jack technique (2) (Figure 8) has been used to determine the state of stress in six points (position 1 to 6 in Figure 9a and the strength and deformability on both sides of the masonry at the base of the tower (positions 4b and 5b in the same Figure). The results are summarized in Figure 9a where the elevation from the ground level of the testing points and the measured stress is indicated in each position.

Figures 9b+c show typical stress-strain curves that were measured one external (position 4b) and internal (position 5b) sides of the masonry.



Figure 8: The flat-jack test

The stress distribution indicates quite different states of stress in the two sections of the tower separated by the openings and by the major vertical crack. The mean value of the normal stress in the east part is approximately double that of the west part of the tower; and the external, more stiff, masonry leaf induces very significant stress concentra-

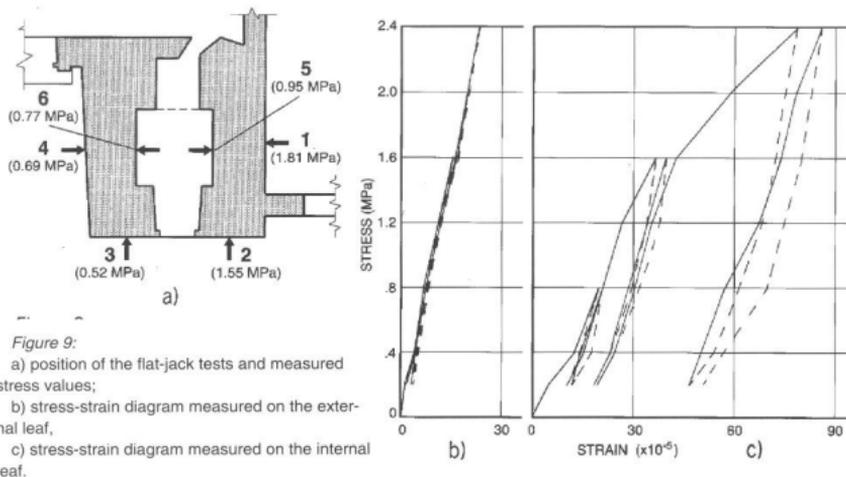


Figure 9: a) position of the flat-jack tests and measured stress values; b) stress-strain diagram measured on the external leaf; c) stress-strain diagram measured on the internal leaf.

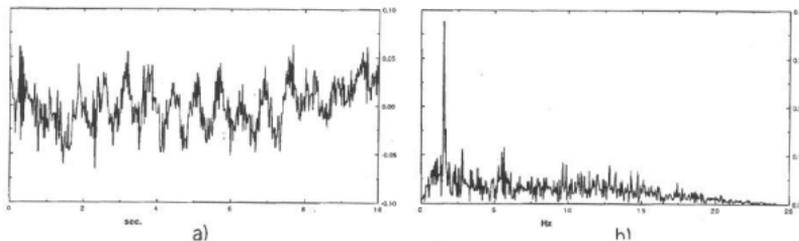


Figure 10: a) Typical ambient vibration record - b) Corresponding power spectrum

tion. The diagrams in Figure 9b+c clearly show that:

1) the deformability of the internal leaf (5c) is approximately three times higher than the deformability of the external one;

2) at the maximum imposed stress level (2.4 MPa) the slope of the stress-strain curve significantly changes in the first case, demonstrating that the maximum compressive resistance has almost been attained, while in the second case the behavior is still linear-elastic.

The ambient vibrations were finally measured at the top of the tower (pavement of the bell cell) before the structural restoration. A typical record of an acceleration time-history and the corresponding power spectrum are displayed in Figure 10a+b. The value of the fundamental period of vibration is clearly shown in Figure 10b and will be compared with the numerical results. Similar measurements will be performed after the restoration works will be completed.

4.2 Numerical modelling and analyses

Figure 11 and 12 show the basic F.E. mesh (made with solid eight nodes elements) which was adopted to build three numerical models and the principal results of the static and eigenproblem analyses. The first model (disregarding the vertical crack on the south wall) was used to evaluate the "theoretical" effect of the crack on the distribution of stresses and on the overall structural behaviour (i.e. on

the eigenvalues) by comparing the results obtained with those from the second model.

The crack, which schematically appears in Figure 11a, is taken into account in the second case as a lack of continuity along a plane of the elastic model; the third model includes the steel frames and ties used for the structural restoration.

These models took the scope of the analyses into account by including the evaluation of the present state of stress under the gravitational load and of the dynamical properties under ambient excitation sources of very small intensity, and assuming linear elastic material properties derived from the flat jack stress-strain curves.

Typical results of the static and eigenproblem analyses are summarised in the Figure 11 and 12 respectively. Of course no significant differences can be expected between the states of stress under the gravitational loads: a comprehensive overall view of the normal stress distribution at the base of the tower (black, 0.8 MPa; white, 0 MPa). The local inhomogeneity of the materials shown by the flatjack measurements can cause over stresses in the order of three to four times the theoretical values.

Even more interesting are the results of the eigenproblems solutions. In Figures 12a+b the modal shape corres-

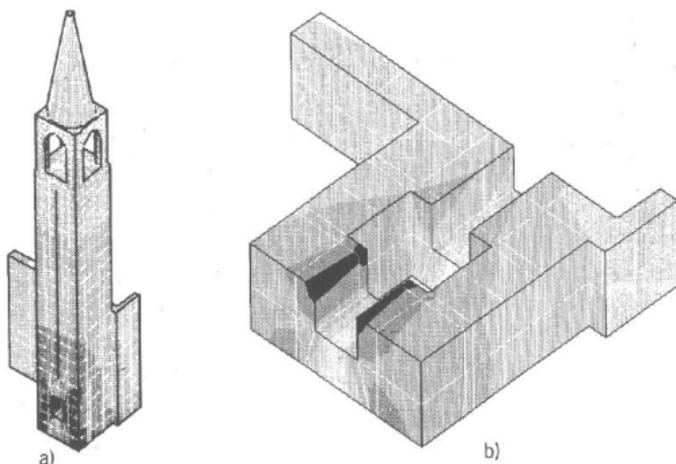


Figure 11: a) General view of the model - b) Detail of the "theoretical" distribution of normal stresses due to the gravitational load.

ponding to the fundamental period of vibration and to prevailing torsional deformations of the three models are represented. The calculated eigenfrequencies of the uncracked, cracked and strengthened models respectively were 1.91, 1.79 and 1.92 Hz in the first case, 8.39, 7.6 and 8.5 Hz in the second case. The models seem then capable to represent the actual overall structural behaviour of the tower, the effects of both the crack and of the restoration works included.

Further calibrations, and in particular the comparison with the measurements which will be performed after the structural restoration will be concluded, are expected to confirm the possibility of using the numerical models for reliable analyses, in particular in order to control the efficiency of different possible restoration techniques.

5. STRENGTHENING TECHNIQUE

The most important observations drawn from the experimental and numerical investigations were the following:

- the values of the normal stresses measured on the internal face of the masonry walls seemed not too far (scarcely by a factor of 2) from the dangerous stress levels corresponding to significant softening of the stress-strain curve of the material (Figure 9c);
- the major cracks actually behaves like a "structural" joint.

It seemed then reasonable to intervene by both increasing the compressive strength of the masonry, especially at the base of the tower, and improving the ability to transmit internal forces along the crack. Local injections and steel ties can resolve the first requirement; horizontal steel frames and ties, as shown in Figure 13, tend to make the walls co-operate structurally with a beneficial local confinement effect, that is capable of improving the compressive strenght of the masonry.

The second type of intervention is being executed using stainless steel bars and plates for the ties passing through

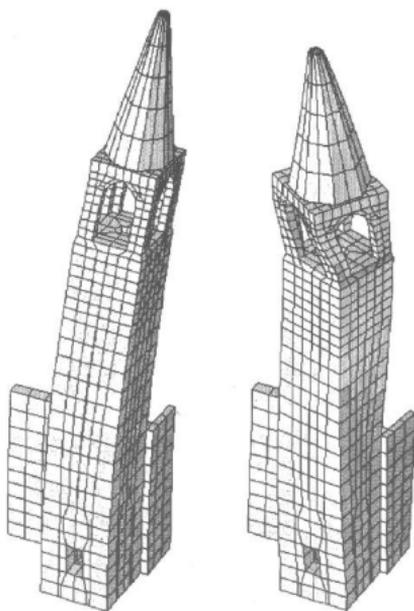


Figure 12: a) Modal shapes corresponding to prevailing flexural and torsional deformations of the tower. b) Model shapes corresponding to prevailing torsional deformations.

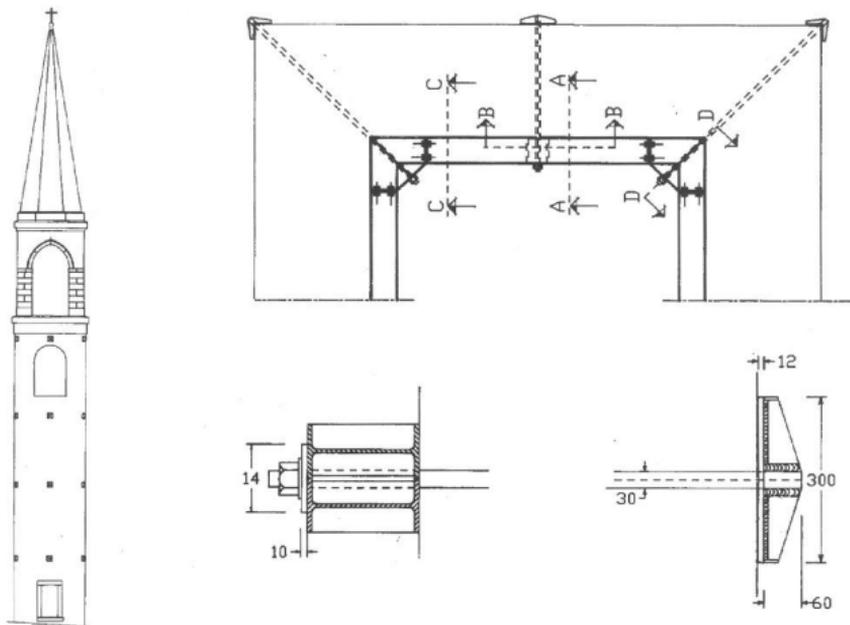


Figure 13. General view and details of the steel works made for strengthening the bell tower.

the masonry and for their external anchoring devices. Bolted connections are used and the ties are inserted in small holes drilled through the masonry which will not be filled with any material, so that the strengthening steel structure is entirely demountable: this complies with construction reasons, and mostly with general conservation requirements. In figure 13 details of the frame and ties are given, while their position is indicated in the general view of Figure 13, which shows the effects of the restoration work on the external appearance of the tower. The intervention is very critical for the overall stability of the tower, and the most attention is in fact being paid to both its execution and, as previously explained, to the efficiency control.

6. CONCLUSIONS

The general methodology which has been proposed and practically applied by the authors for the analysis and the strengthening design of masonry towers has been described. The design of the structural restoration of a stone masonry bell tower based on such comprehensive combined experimental and numerical procedure has been presented. The results of the flat-jack and video bore-hole surveys have been used for both evaluating the strength, the deformability and the composition of the masonry, which are required for the constructions of the numerical models, and for the estimation of the actual local state of stress which can be used for safety checks and for calibrating the refined numerical models, and for safety checks of the actual local state of stress which can be used for safety checks and for calibrating the refined numerical models. Further calibrations of the models are based on the comparison between measured and calculated eigenvalues. Using the same technique for calculating and comparing experimental and theoretical eigenvalues, the efficiency of

the structural restoration is also controlled. The relevant details of the structural restoration works are then presented.

7. REFERENCES

- (1) Modena, C. "Tecniche per la diagnosi e il consolidamento e per il monitoraggio di strutture murarie", Atti del Convegno Tecnologia e Tecnica delle Murature Antiche, Padova, 24 Nov. 1990.
- (2) Rossi, P.P. "Non destructive evaluation of the mechanical characteristics of masonry structures", Proc. of the Conference Non Destructive Evaluation of Civil Structures and Materials, University of Colorado, Boulder, Oct. 1990.
- (3) Modena, C. "Italian practice in evaluating, strengthening and retrofitting masonry buildings", Proc. Int. Seminar Evaluating, Strengthening and Retrofitting Masonry Buildings, Gaithersburg-Boston-Chicago-Los Angeles, The University of Texas at Arlington Pub., Arlington, Texas, 1989.
- (4) Riccioni, R., Rossi, P.P. "Restauro edilizio e Monumentale: diagnosi e consolidamento il Cigno Galileo Galilei Edizioni di Arte e Scienza, Roma, 1990.
- (5) Modena, C., Gori, R., "Indagini dinamiche per la caratterizzazione strutturale dell'Arca di Mastino II della Scala in Verona", R.I. 1/90, Istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni, Padova, 1990.
- (6) Castoldi, A., Chiarugi, A., Giuseppetti, G., Fanelli, M., "In-situ dynamic tests on ancient monuments" IABSE Colloquium, Bergamo, 1987.
- (7) Modena, C., Rossi, P.P., Bettio, C., "Diagnosis and strengthening of an ancient bell tower" Proc. 9 IBMAc, Berling, Oct 1991.

TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO SOBRE LOS MATERIALES QUE CONFORMAN LAS FABRICAS DE LA MURALLA DE IBIZA, BALEARES (ESPAÑA), COMO ESTUDIO PREVIO DE RESTAURACION.

INMACULADA OLIVER FAUBEL. ARQUITECTO TECNICO.

JUAN M. VALIENTE SOLER. ARQUITECTO TECNICO. PROF. ESCUELA ARQUITECTURA TECNICA. UNIVERSIDAD PTCA. VALENCIA.

SUMARIO

La presente ponencia recoge la experiencia de toma de datos y muestras, como trabajo de campo y experimental de laboratorio, sobre los materiales pétreos que conforman las sillerías y mamposterías, así como el material de agarre de las fábricas de las Murallas de la ciudad de Ibiza, en la isla del mismo nombre del archipiélago Balear del Mediterráneo español.

La Muralla de Dalt Vila se significa no sólo por ser un espléndido ejemplo de arquitectura militar, que cumplió su mejor función de defensa durante siglos.

La Muralla de Ibiza tuvo así mismo una clara incidencia en la trama urbana de la ciudad en su crecimiento "extramuros", y se significa en la actualidad por ser un espléndido baluarte de la ciudad, compuesto así mismo por baluartes, entrepaños y puertas de claro significado histórico y de una gran riqueza formal, tanto por su monumentalidad como por su calidad estética y testimonial del buen arte de construir.

Se presenta por tanto como parte del Patrimonio Histórico del que somos responsables por generaciones de su mantenimiento, cuidado y atención.

SUMMARY

Our paper gathers the experience of note taking and samples, as fieldwork and experimentation in laboratory, on the stony materials that shape the masonry and rubblework, as well as the mortar of the fabrics of the town of Ibiza Walls, on the island with the same name in the Balearic Isles of the Spanish Mediterranean.

The Dalt Vila Walls become know not only as a magnificent example of military architecture that carried out its best defense functions for centuries.

The Dalt Vila Walls had an outstanding importance on the city connection in its "outskirts" growth and nowadays, it becomes known as a splendid bulwark in the town, formed by bastions, walls and doors of clear historical meaning and formal wealth, not only for its magnificence but also for its aesthetic and testimonial quality of the good art of building.

It is shown as a part of the historical heritage we are responsible for, thus we are in charge of its maintenance, care and attention.

Conservación del Patrimonio arquitectónico, Restauración monumental en piedra, Estudios Previos, Materiales de fábrica, Toma de muestras, Ensayos de laboratorios, Patologías.

INTRODUCCION

El trabajo parte de un estudio documental y de fuentes directas de las premisas históricas, socioculturales, arquitectónicas y urbanísticas de la ciudad de Ibiza y de un análisis de su incidencia en el estado actual de la Muralla,

cuya mejor lectura requiere de un estudio pormenorizado de los materiales que conforman sus fábricas.

Los trabajos de campo para la toma de datos y reconocimiento se realizan a pie de Muralla y se recogen gráficamente con levantamientos y apoyo fotográfico, tanto para sectorización del conjunto como para el estudio puntual de sus elementos.

Así mismo, la búsqueda y rigurosa toma de muestras representativas, de la variedad de los materiales pétreos de las fábricas y de los morteros utilizados como material de agarre completan una parte, que entendemos fundamental, en todo trabajo de investigación.

Tras los trabajos de campo se plantea una sistemática de estudio que proporcione los datos necesarios para poder interpretar el estado actual del monumento, facilitando así el establecer criterios de actuación en un posible trabajo de restauración.

El estado geológico-tectónico del ámbito de la Muralla y sus zonas colindantes, aporta una rica información dando explicaciones de ciencia al estado actual de las fábricas y



Fig.0.a. El Portal de Ses Taules. Puerta Principal de acceso al recinto amurallado.

permitiendo delimitar posibles ámbitos de peligrosidad constructiva para el conjunto.

La sistemática del estudio concretado a los materiales, pasa por una reflexión de los datos que se pretenden obtener para su posterior análisis ponderado, cualitativo y cuantitativo, que permita llegar a conclusiones fiables.

La preparación de las muestras y la decisión de la Normativa de aplicación en el análisis de los materiales, se significa en un trabajo de estas características, la variedad en forma y tamaños de las probetas y preparaciones necesarias y las intolerancias geométricas y dimensionales de las mismas.



Fig.0.b. Puerta abierta en los años 60 en uno de los baluartes a fin de facilitar el tráfico rodado por el interior de Dalt Vila.

La fijación de objetivos marca un camino en la búsqueda de datos y concreta los necesarios estudios, análisis y ensayos suficientes para obtenerlos.

Las características estructurales, de piel, mineralógicas, morfológicas, mecánicas y de comportamiento, se presentan como datos todos ellos estimables para interpretar por último el estado actual de los materiales en servicio.

De otro modo la sistemática del estudio requiere de una previsión de los medios científicos suficientes y de una estimación de los realmente disponibles para el desarrollo del trabajo y la mayor fiabilidad de los resultados obtenidos.

En este caso, la estructura Departamental de la Universidad española, la relación con otras Universidades y el apoyo de Instituciones Públicas no universitarias, han facilitado en gran manera la disponibilidad de los medios científicos-experimentales requeridos.

De este modo el trabajo se ha desarrollado en sus distintas fases experimentales, disponiendo de los siguientes medios:

- "Análisis microscópico del material de agarre". Instituto de Hidrología y Medio Natural de la Universidad Pta. de Valencia. Escuela de Ingenieros de Caminos.

- "Difractometría de rayos X para el estudio de los morteros. Dpto de Física Aplicada de la Universidad Pta. de Valencia. Escuela de Ingenieros Agrónomos.

- "Preparación muestras para el estudio petrográfico y geológico". Universidad de Salamanca. Facultad de Ciencias.

- "Estudio geológico y petrológico". Dpto. de Ingeniería del Terreno de la Universidad Pta. de Valencia. Escuela de Ingenieros de Caminos.

- "Características de resistencia a desgaste y choque". Laboratorio Control de Calidad de la Dirección General de Arquitectura. Generalidad Valenciana.

- "Características técnicas físicas y mecánicas". Laboratorio de Ensayos de Materiales. Universidad Pta. de Valencia. Escuela de Arquitectura Técnica.

Así mismo documentos testimoniales de gran valor nos animaron:

"Art. 9. Igualmente las ayudas experimentales de las diversas ciencias deben ser encaminadas a contribuir con los restantes temas secundarios pero complejos de la conservación... los cuales actualmente se resuelven por procedimiento empírico, que deberán dejar paso a los rigurosamente científicos". Carta Italiana del Restauro, 1931.

"Art.16. Los trabajos de conservación, restauración... estarán siempre acompañados por una documentación precisa constituida por informes analíticos y críticas ilustradas con dibujos y fotografías...esta documentación se depositará a disposición de los investigadores; se recomienda igualmente su publicación". Carta de Venecia 1964.



Fig.0.c. Baluarte. De forma pentagonal y con los flancos en talud, se encuentran terraplenados hasta la altura del cordón de forma que servían de plataformas elevadas de defensa.



Fig.0.d. Entrepaño. Muro de contención que une baluartes y conforma con ellos la muralla. Se reforzaban al interior con contratruetes.

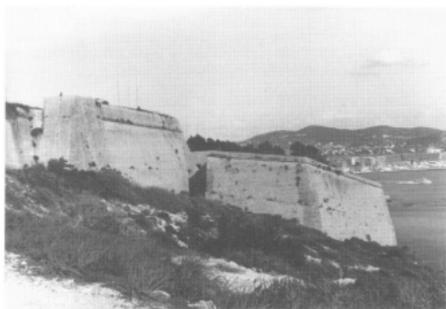


Fig. 0.e. Revellin. Elemento de remate de la fortificación en el punto en que ésta se encuentra con el acantilado. Este sirve de defensa natural en la zona este del recinto.

Fruto de este compendio de preocupaciones, motivaciones y voluntades, tanto institucionales como personales, es este trabajo de investigación que quiere presentarse, no tanto como un ejemplo, pero sí como un posible modelo en la sistemática de Estudios Previos para una Restauración Monumental en piedra.

ENCUADRE GEOCRONOARQUITECTONICO

El objetivo inicial del trabajo se reduce a estudiar las características físicas y resistentes de los pétreos que conforman las fábricas y la Muralla de Dalt Vila de Ibiza.

Sin embargo no se entiende tratar el material como algo aislado ya que forma parte de una tipología arquitectónica determinada, en una geografía concreta y se emplea en un período histórico determinado. Todo ello condiciona la utilización de estos materiales y no otros.

Además el material pétreo no está sólo en las fábricas; existe otro que le sirve de agarre, el mortero, y otro que conforma su base, el suelo. Por último, hay que considerar el paso del tiempo como otro condicionante de las características actuales del conjunto amurallado.

Es por ello que comienza el trabajo con la introducción del material en su ámbito histórico, geológico y arquitectónico.

Se trata de una obra del s. XVI, englobada en la tipología de fortificación abaluartada.

Fue construida en dos fases según dos proyectos de dos arquitectos distintos. EL segundo proyecto pretendía ampliar la obra del primero por cuestiones de expansión urbana de la ciudad.

A lo largo de su existencia, la magnitud del conjunto y su ubicación sobre un cerro a la orilla del mar condicionaron en gran manera el crecimiento y la trama de la ciudad de Ibiza.

El análisis previo del entorno se realiza desde tres fuentes, a saber, la bibliografía, la directa a través de personas relacionadas con su historia a lo largo del presente siglo, cronistas, etc, y el trabajo del campo consistente en el levantamiento de planos del conjunto y su sectorización fotográfica.

LA GEOLOGIA EN EL AMBITO DE LA MURALLA

La geología del suelo sobre el que se asienta la Muralla y su tectónica, es decir, su composición y su estructura, componen el primer estudio sobre los materiales que conforman el entorno de las fábricas. Se trata con ello de

afianzar el conocimiento de este suelo a fin de poder establecer su posible influencia en la estabilidad del conjunto.



Fig. 1. Las dos litologías en sus distintas utilizaciones.

Un análisis basado en fotogrametría aérea y cartografía geológica nos lleva a clasificar el suelo como compuesto por rocas calizas compactas en losas del Kimmeridiense.

El conjunto amurallado se encuentra enclavado en una elevación del afloramiento sur de una fosa tectónica de orientación bética y limitada, del norte, por una fosa de orientación 100° N.

Las conclusiones directas del análisis sobre su composición y su estructura nos llevan a determinar que se trata de un suelo que podemos considerar idóneo para cimentación, pero la existencia de la falla bética unida a la acción del oleaje, permite prever la aparición de grietas en la zona del Ayuntamiento, es decir, en la zona de levante.

LOS MATERIALES DE FABRICA TOMA DE MUESTRAS

La simple observación del conjunto arquitectónico es el primer paso para la posterior toma de muestras.

Así se distinguen dos tipos de petreos que conforman las fábricas y dos tipos de mortero.

Las dos litologías utilizadas en las fábricas se distinguen tanto por su aspecto como por los puntos de utilización de cada una de ellas y por su labra. Así una primera variedad, a simple vista más porosa y débil, conforma los elementos de fábrica que requieren en labra más cuidada y una segunda variedad, más compacta conforma los grandes paños tallada en simples sillares rectangulares.

En cuanto a los dos variedades de material de agarre de las que parte el estudio, responden a los dos períodos de construcción más que al aspecto exterior de las mismas.

Las probetas de las variedades pétreas, cortadas en los

formatos que marcaban las normas según las cuales se hacen los ensayos, se extraen a partir de sillares propios de las fábricas, retirados de éstas en una reciente intervención.

LA PIEDRA: ESTUDIOS GEOLOGICOS

Con objetivo de conocer la composición y la estructura de ambos pétreos y así determinar causas de los resultados de los ensayos físicos y de resistencias, clasificar las dos variedades y localizar sus yacimientos, se realizaron los correspondientes estudios geológicos, que nos llevan a analizar las dos litogías en varios formatos: en su aspecto externo, en fractura o corte, en polvo y en lámina delgada.

Se analiza el aspecto externo mediante observación organoléptica.

Esta primera observación se ve completada con la observación de las muestras en fractura o corte a través de lupa zoom, la cual completa información sobre la estructura, porosidad y nivel de cementación.



Fig.2. Los distintos formatos para el estudio geológico.

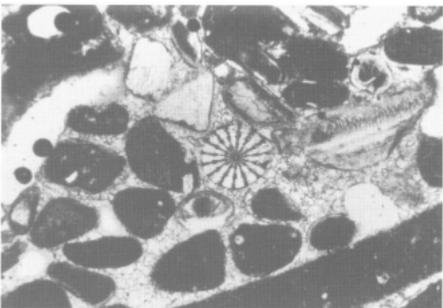


Fig.3. Vista del marés al microscopio petrográfico.

Una vez determinada la estructura de ambos pétreos, se analiza su composición, mediante la observación de las rocas, preparadas en lámina delgada, a través de microscopio petrográfico.

La realización de una calimetría de ambas variedades en polvo confirma el carácter eminentemente calizo de ambas.

Los sucesivos pasos de este estudio geológico llevan a sacar una serie de conclusiones que permiten clasificar las variedades, prever su comportamiento ante agentes externos y ante el paso de los años y localizar las zonas

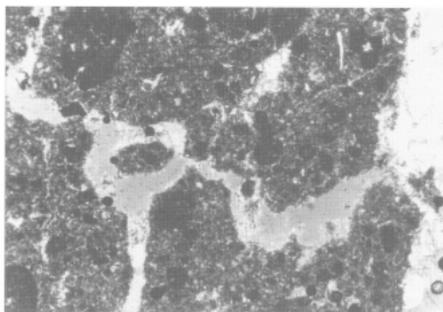


Fig.4. Vista de la caliza micrítica al microscopio petrográfico.

de donde presumiblemente se extrajeron para construir la Muralla.

Así decir, en cuanto a la primera variedad que definimos más arriba, que se trata de marés, roca autóctona de la isla de estructura granulosa y nivel diferencial de cementación que le confieren una alta porosidad, lo cual dará lugar a bajas resistencia mecánica y alta alterabilidad frente al agua.

En cuanto a la segunda variedad, decir que se trata de una roca clasificada como caliza micrítica, de estructura compacta y poco porosa, que la hace presentar elevadas resistencias mecánicas y verse poco afectada por la agresión del agua y otros agentes externos. Su estructura responde a estos datos pero los esfuerzos tectónicos a que se han visto sometidas las capas del suelo en que se encuentra, han provocado grietas en éstas que se han cementado posteriormente con materiales menos resistentes que la misma roca, constituyendo éstas diclasis sus puntos débiles.

Todos estos datos se plantean como introducción a la realización de los ensayos de propiedades físicas, mecánicas y resistentes y el análisis de las patologías. Ambos estudios vendrán a confirmar, a su vez, estas conclusiones extraídas del estudio geológico.

LA PIEDRA: CARACTERISTICAS FISICAS, MECANICAS Y DE ALTERABILIDAD.

Conocidas la estructura y la composición geológica de

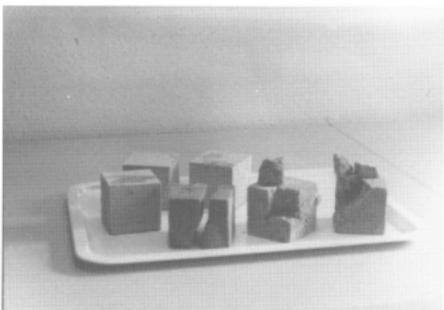


Fig.5. Probetas de ambas litologías tras sufrir veinte ciclos hielo-deshielo. Se observa la diferencia de sus resistencias a la heladicidad.

las variedades litológicas que conforman las fábricas, se propone como siguiente paso el ensayo de ambas con objeto de conocer sus características físicas, mecánicas y de alterabilidad.

Estas intenciones, se ven frenadas en primera instancia por la carencia de normativa aplicable a este tipo de rocas calizas. La actual normativa española en vigor, UNE, presenta una serie de lagunas que se intentan subsanar adecuando la normativa UNE para ladrillos al presente objeto de estudio. Así mismo, se trata de aplicar una normativa a nivel europeo que se encuentra en vías de ser adoptada y declarada de aplicación. Nos referimos a los ensayos de la Comisión 25-PEM de protección y erosión de monumentos de piedra.

Los resultados de los ensayos que se realizan a este nivel vienen a refrendar las conclusiones extraídas del estudio geológico de las dos litologías.

Estos resultados nos llevan a clasificar al marés como una roca de bajas resistencias mecánicas a todos los niveles (comprensión, flexión, choque, desgaste, etc), de alta porosidad y consecuentemente de una alta alterabilidad frente al agua y el resto de los agentes atmosféricos.

Por el contrario, y como se preveía al finalizar el correspondiente estudio geológico, la caliza micrítica presenta una muy baja porosidad que la hace muy poco atacable por el agua y poseedora de altas resistencias mecánicas.

Queda así pues perfectamente justificado el empleo de cada una de las variedades en las zonas de las fábricas en que se encuentran. El marés por sus bajas resistencias mecánicas conforma elementos ornamentales y de labra más cuidada de los paños como son el cordón, los arcos y molduras de las puertas, los cambios de plano, el alambor curvo, etc., mientras que el marés conforma los paños resistentes y de contención de tierras.

Así mismo, este estudio de características se plantea como introducción, apoyado por el análisis geológico, al estudio de las alteraciones sufridas por estos pétreos y su estado actual.

EL MATERIAL DE AGARRE. ANALISIS QUIMICO-MINERAL

Del mortero, considerado como el tercer material interviniente en la estabilidad arquitectónica del conjunto amurallado de Dalt Vila, se pretende conocer los mismos datos que de los anteriores, es decir, su estructura, su composición químico-mineral, el origen de sus componentes, su comportamiento, su estado actual, etc.

Como se apuntaba en el apartado de toma de muestras, las dos variedades de mortero se determinaron en base a



Fig. 6. Vista del mortero en macrofotografía. Se aprecia el aspecto calizo del mismo y el árido rodado que conforma su esqueleto.

los dos periodos de construcción de la muralla. Con ello se pretendía detectar distintos orígenes de sus componentes. Sin embargo a la vista de los resultados de la serie de ensayos realizados sobre ambas variedades, se llega a la conclusión de que a pesar de su diferencia de edad, tanto el cementante, en este caso cal, como el árido, de torrenteras, son ambos autóctonos y confieren a las dos muestras las mismas características.

La observación mediante lupa zoom posterior a la organoléptica que nos definía un mortero de cal y árido rodado, nos amplía la información sobre este último, descartando la idea primera de que se tratase de un árido de playa. Nos encontramos realmente ante un árido de río, o de torrenteras en este caso por la geografía del terreno, y ello lo determina la baja proporción en óxidos de hierro y la no existencia de restos marinos.

Así mismo, la observación a este nivel, permite determinar la causa de las distintas tinciones oscuras que presenta el mortero, definiéndolas como depósitos de humo y asentamientos de líquenes y hongos, que en ningún caso van en detrimento de las funciones propias de este material.

La observación de las muestras mediante microscopio petrográfico amplía esta información, detectándose alteraciones salinas en la cal que le dan su aspecto eflorescente y que igualmente no merman sus características resistentes.

Sería la difracción de rayos-x la que nos definiría la cal en estado amorfo en el mortero, y la que clasificaría el árido como autóctono de la isla al aparecer en la composición los mismos elementos que forman la composición mineral de los áridos de las torrenteras de la isla.

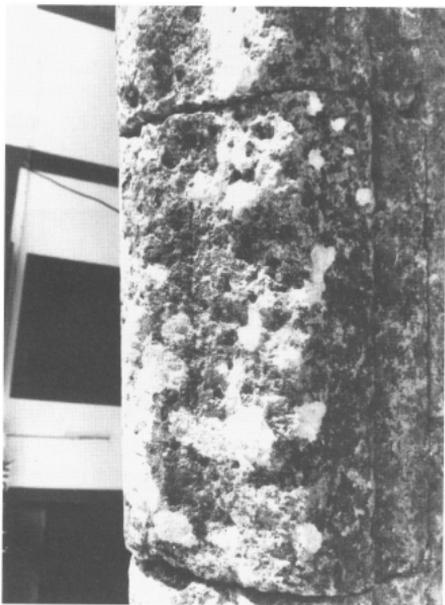


Fig. 7. Aspecto del marés atacado por vegetación de nivel inferior (musgos, líquenes, hongos, etc).

LAS ALTERACIONES

Una vez estudiados todos los materiales intervinientes en la construcción de la muralla, el objetivo final y consecuente de los resultados es relacionar todos estos datos con el estado actual de dichos materiales.

Este objetivo conlleva la detección de las alteraciones en los pétreos y morteros, localizarlas y buscar sus razones en base a los resultados obtenidos de los distintos ensayos y análisis.

Supondría este capítulo la obtención de conclusiones que llevaran a confeccionar un estudio previo a cualquier proyecto o intervención de rehabilitación posterior a realizar sobre el conjunto amurallado.

El primer paso a dar en este punto del trabajo se basa en un trabajo de campo cuya finalidad es detectar las alteraciones y localizarlas en las distintas zonas de la construcción.

Como primera premisa para el análisis de las alteraciones contamos con los resultados de los ensayos y estudios realizados hasta ahora, y previamente a este análisis se debe realizar un estudio sobre el entorno en que se encuentra la muralla a nivel de climatología, humedad ambiental, orientación geográfica, vegetación, nivel de contaminación, etc, más allá de tener presente el uso actual que se da al conjunto amurallado y la influencia que las condiciones de vida actuales a nivel de tráfico, construcciones, etc, puede tener sobre el mismo.



Fig.8. Aspecto de la erosión que sufre el marés, a causa de su cementación diferencial, en forma de bandas y alveolos. Bajo las hiladas del marés, otras de sillares de caliza micrítica en perfecto estado.

Respecto a los factores externos naturales nos encontramos en una zona de clima mediterráneo con baja pluviosidad, temperaturas suaves y altos valores de insolación, pero que por su situación con respecto al mar soporta vientos importantes del S.E. , una humedad ambiental considerable y valores altos de salinidad en el ambiente.

En cuanto a la contaminación que pueda afectar a las piedras, decir que en general, y por ser Ibiza una ciudad pequeña y con apenas asentamientos industriales, no es un factor determinante en el deterioro de los pétreos. Ahora bien, se aprecia la huella del paso del tráfico rodado que desgraciadamente aún circula por el interior del recinto.

Detectadas las alteraciones y los factores ambientales que pueden ser causantes de las mismas se procede a intentar localizarlas según estos factores y a razonar la repercusión de éstos en las piedras.

Realmente las alteraciones presentes en la Muralla, lo están en todo su perímetro, es decir, no hay alteraciones características de una determinada zona o alteraciones puntuales, a excepción de las pátinas de suciedad provocadas por los humos de los automóviles que están localizados en las partes bajas de las puertas.

Otra alteración localizada es la vegetación, tanto mayor, plantas, como menor, líquenes y musgo, que aunque presente en toda la muralla, presenta mayor incidencia en los paños orientados a norte, menos soleados y ventilados, y por tanto más húmedos.

Aparte de estas dos alteraciones comentadas hasta ahora, pátinas y vegetación, son todas derivadas del carácter calizo y poroso de las piedras y de los efectos del agua al circular por sus redes porosas. Así se encuentra mucho más afectado el marés que la caliza micrítica, siendo las alteraciones más frecuentes la pérdida de material por el agua de succión, la erosión en bandas por la cementación diferencial, las coqueiras por desprendimientos de núcleos arcillosos, etc, en el marés, y las costras en la superficie de la caliza micrítica a causa de las sales solubles y la circulación del agua por su interior.

CONCLUSIONES

Como hemos apuntado anteriormente, el objetivo del trabajo consiste en el profundo conocimiento de los materiales que conforman las fábricas acaba aquí.

La búsqueda de soluciones correspondería a un proyecto de rehabilitación posterior, basado en el estudio previo que pretende ser este trabajo.

En Valencia, para Canarias, Octubre de 1.991.

REFERENCIAS

J.M. Valiente Soler, Master de Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico; Universidad de Las Palmas. Gran Canaria 1.990.

I.Oliver Faubel, Estudio de los Materiales de las fábricas de la Muralla de Dalt Vila como estudio previo a una rehabilitación, Trabajo Final de Carrera. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia 1.991.

RISING DAMP IN THE MASONRY WALLS: THE HYGROMETRIC BEHAVIOUR OF SOME TRADITIONAL BUILDING MATERIALS

G. Raffellini, G.P. Cellai, F. De Lorenzi

Dipartimento Processi e Metodi della Produzione Edilizia, Fac. di Architettura, Università di Firenze Italia

Rising damp may be the main problem to solve when preserving historical centres and old buildings. Many investigations have analyzed the hygrometric behaviour of building materials. In this paper some samples of tufa, ancient bricks and modern handmade bricks were tested. The study involved the daily recording of their weight variations in the absorption and evaporation phases. Also a good correlation with density was found.

L'umidità ascendente può essere un problema di difficile soluzione nel recupero dei centri storici e degli edifici antichi. Molti studi hanno analizzato il comportamento igrometrico dei materiali da costruzione. In questo studio sono stati analizzati alcuni campioni di tufo, mattone antico e moderno fatto a mano. Sono state eseguite registrazioni giornaliere delle variazioni peso in fase di assorbimento ed evaporazione. E' stata trovata anche una buona correlazione con la densità.

Keywords: hygrometric behaviour, absorption, evaporation

Introduction

The problems arising from the preservation of historical centres and from recuperating to use real estate already existing as well as the progressive rarefaction of new building areas have attracted the attention of researchers, whose efforts have concentrated on how to find solutions to save and maintain existing real property.

One of these problems comes into being when water permeates through the walls because of rising damp, and it is a serious one both for the frequent recurrence of the phenomenon and the consequent deterioration such pathology always causes.

Researchers selected the following pathways:

- how to work out simple but effective methodologies to measure moisture in masonry walls./1/
- how to devise methodologies to diagnose the type of moisture in order to take the necessary action to reduce it./2//12/
- how to find materials and devise measures attempting to eradicate the problem altogether or to decrease rising damp in the walls. There is also a growing need for setting the rules in a field which has very often been regulated by improvisation but where, on the contrary, methods and materials have proliferated with no serious control of their effectiveness. As a matter of fact, the results have often been disappointing or they have even worsened the pre-existing condition.

The situation is rather complicated when it comes to ancient monuments which need both effective and reversible treatment.

In agreement with the research project mentioned above, several studies were carried out concerning the physical and mechanical changes in the phenomenon considered above; the correlation between the extension of moisture absorption of the materials and the resistance of mortar/4/5/6/7; the physical changes induced in the structure by means of hydro-repellent substances (resin, silicone,

etc.)/8/; the consequences provoked by the presence of salts in the absorbed water./9/

Researchers chose to study the phenomena in the field but, as it is very difficult to deal with such techniques, they analyzed the reaction of the materials also in the laboratory. As a matter of fact, this practice often offers significant help to understand the behaviour of the materials once they have been selected and used for a given purpose.

It is in that perspective that we must read the experiments described below, referred to adsorption and draining process in samples of different materials commonly used in building, under controlled thermo-hygrometric conditions. And those results help us understand the behaviour of such materials in the presence of dampness.

Selected materials, tests and procedures

The materials analyzed are natural stones such as:

- calcareous tufa coming from the region of Lecce (Lecce tufa and Carparo tufa);
- Lecce stone;
- Orvieto tufa; and other traditional materials which are artificial, such as:
- red brick, conformed to UNI standards, current production;
- handmade fired brick, produced in Tuscany, in the region of Radda in Chianti (Siena);
- old brick (XIV-XVth century) coming from the region of Montepulciano;
- old brick (XVIIth century), from Montepulciano (Siena) and surroundings.

Those materials were tested in order to assess their adsorption rate under conditions which sparked imbibition, and the extent of ambient evaporation of adsorbed water; Lecce tufa also underwent compression resistance tests whenever the quantity of adsorbed water changed.

Both temperature and ambient relative humidity were recorded daily and they usually showed a limited variation over a period of 24 hours ($\pm 1^{\circ}\text{C} \pm 5\%$); whilst, in the long run, their variation span ranged from 18 to 28°C and from 35% to 65% during the test period July 1990-March 1992. As for the speed of ambient air it always recorded steady values which were unable to influence the tests in question.

The thermo-hygrometric conditions mentioned above represent the internal microclimate typical of places located in temperate regions, characterized by good thermal inertia and if necessary, equipped with heating system.

The parameters which were collected are the following ones:

- a) specific absorption rate when adsorbing conditions occur./10/
- b) progressive variation in adsorption rate until saturation is reached;

c) variation in evaporation rate over a period of three until at least 98% of the initial dry weight is reached (the value 100% of Table I is referred both to conditions of saturation and to full draining);

d) variation in mechanical resistance related to the quantity of water held in suspension in the Lecce tufa samples.

The test described in a) followed this procedure:

- oven-drying of the test piece at 105°C(±5°C) until a constant mass was obtained in order to assess dry weight Ps(±2g);

- immersion of the dried test piece into distilled water up to a height of 10 mm;

- the test piece was taken out after 60 s. and weighed to control the weight P' thus obtained;

- the results of specific absorption As were shown as follows: $A_s = (P' - P_s) / F_0$ (g/dm² l⁻¹), where F₀ is the total area of the adsorbing surface of the test piece.

The test described in b) was carried out as follows:

- oven-drying of the test piece as mentioned above;

- daily weighing until saturation and measurement of damp weight Pu;

- the results were showed in percentage with reference to dry weight Ps%=(Pu-Ps)/Ps x 100 (%).

The test described in c) consisted of exposure of the test piece to internal room air until saturation (physiological dampness) or, if the type of material and the environmental thermo-hygro-metric conditions allowed it, the test piece was exposed until full draining was reached, thus enabling the reverse to initial Ps.

The test mentioned in d) implied saturation of the test pieces which then underwent crushing at different levels of imbibition.

The test pieces had the following average dimensions: (axb) expressed in cm:

- Lecce tufa 15x15x25 (N.12 samples);

- Carparo tufa 12x12x20 (N.4 samples);

- Orvieto tufa 11x12x20 (N. 6 samples) and 15x15x20 (N.4 samples);

- Lecce stone, Saponara type 12x12x20 (N.4 samples)

- full brick UNI 11.5x24x6 (N.6 samples);

- handmade brick 13x26x6 (N.3 samples)

- old brick from Monteriggioni 13.7x28.6x6 (N.6 samples)

- old brick from Montepulciano 14.5x29.5x6.4 (N.3 samples).

Table I shows the results of the tests.

2. Characteristics of the materials and analysis of the findings

2.1 The natural stones

The region of Puglia and the district of Salento in particular, are characterized by rich sedimentary outcrops where calcareous tufa and Lecce stone are quarried and make excellent materials to build houses in those areas.

The label "calcareous tufa" is wrong for those materials as in reality they are limestones which can be cut off to slabs as easily as tufa can be.

There are a few varieties of tufa (hard, fossiliferous, and fine grained) and among those Carparo belongs to the variety of hard, calcareous tufa: it is hard and porous and yellowish in colour.

Lecce tufa is similar to Carparo but its surface is less compact and its density lower.

The Lecce stone, Saponara type, is creamy-white in colour with schistose structure and can be easily crumbled.

Orvieto tufa is named after the town. Orvieto is built on a tufa outcrop of volcanic origin whose characteristics are both lithoid and Puteolan, and it is rich in earthy inclusions of different nature (pumiceous lapilli, angite and sanidine crystals, etc.).

The charts shown in Fig. 1 and 2 are referred respectively to the behaviour shown by the tested materials during absorption and evaporation: we infer that Lecce tufa is twice as adsorbent as Carparo and Saponara stone per unit of adsorbing surface. The different behaviour is particularly significant if we consider how these materials are used in building: Lecce tufa is used only for masonry walls (thickness ranging from 12 to 25 cm), while Carparo, as well as the Lecce stone called Saponara, is used for the mouldings of doors and windows. The lower adsorbing power shown by Carparo and Saponara stone is able to ensure a longer durability to such fixtures over the years. Orvieto tufa, as well as Lecce tufa, shows high levels of absorption (the highest of all). Also during draining phases tufaceous materials don't show so good a behaviour as Carparo and Saponara do and once again Orvieto tufa records the most negative values. It is also rich in inclusions responsible for influencing the different phases of a test, as shown by the different behaviour recorded by the samples and due only in part to their different size. The behaviour shown by the samples in the laboratory tallies with the problems clearly evident in the historical centre of Orvieto where deterioration has become generalized because of dampness. The widespread use of tufa facings magnifies the extension of damage.

2.2. The bricks

The old bricks from Monteriggioni were collected from the annexes of the Romanic Church of St. John Baptist in Castello and on the basis of their shape and size, they can be classified as belonging to the XIV-XVth century. The old bricks from Montepulciano (Siena) were collected from a deserted church located in Gracciano, dating back to the XVIIth century.

The modern handmade fired bricks are manufactured by a specialized firm in Tuscany which quarries the raw material from a place in Campo al Sole di Radda in Chianti

Table I - Summary of the results in the tests (average values)

Material	δ (kg/m ³)	P _s (g)	P _u (g)	A _s (g/dm ² l ⁻¹)	P _s 24 %	P _s 60 %	Abs. days	Evap. 90-100 days
Lecce Tufa	1373	7724	9639	161	24.4	24.7	3	14-21
Carparo	1545	4450	4989	114	11	12	4	6-10
Lecce stone	1635	4710	5422	82	10	15	6	8-22
Orv. Tufa*	1128	2762	3543	54	26	28	6	19-28
Orv. Tufa**	1128	5457	7157*	32	30	31	6	25-28
UNI Brick	2000	3157	3521	13	11	11.5	4	8-21
Handm. Brick	2090	3432	3766	19	9.7	9.7	1	5-30
Old Brick Monterigg.	1572	3742	4468	2.8	14.1	19.4	29	40-55
Old Brick Montepulc.	1608	4430	5327	9.4	19.1	20.3	29	45-55

Note: * size 11x12x20 ** size 15x15x20

(Siena). On the contrary, UNI bricks are current production and have no special features. Fig.3 and 4 show the results of the average adsorption and draining rates recorded by the tested samples and we infer that the behaviour of handmade bricks is similar to UNI bricks but very different from the old bricks: hence the need for great care when replacing or integrating old masonry walls with bricks which share with the original ones only the shape. Yet handmade bricks show a very good performance when it comes to their P_s value, which is low, and to the time required for draining most of the adsorbed water, which is very short.

Another interesting finding is represented by the performance of the old bricks: their specific absorption (imbibition) is the lowest so 29 days are necessary in order to reach saturation under adsorbing conditions. Also the time taken to reach full draining is one of the longest. Such performances must not be forgotten when preparing the materials (mortar and bricks) to restore any of those manufacts.

3. Resistance to compression

The tests wanted to ascertain the presence, if any, of significant variations in the resistance to compression when the water content in suspension changed. At present only the findings concerning Lecce tufa are available. Fig. 5 shows the average results of the tests carried out during five days, from dry weight on the first day to saturated weight on the fifth day, with compression applied parallel to bed of quarry.

The analysis of the results shows that, after an initial decrease, resistance is basically stable.

4. Relazioni intercorrenti tra densità ed assorbimento

Using an empirical equation, based on Lagrange's interpolation method and elaborated by means of the findings of previous experiments, whose formula is $P_s = ax^2 - bx + c$ (%/1); where $a=10.66$, $b=57.66$, $c=82.05$, x =density of the material divided by 1000, a comparison was made between the experimental data collected and those inferred from the equation mentioned above. They were reported in Table II. We can see that, with the exception of Carparo, the results are compatible within the range of about 16%.

The relationship mentioned above becomes even more reliable if we consider that six samples out of nine showed discrepancies with the actual values never higher than 10%; moreover this fact didn't depend on the artificial or natural quality of the materials. Further tests on a wider range of materials and a greater number of samples will allow greater accuracy in the assessment of the relationship mentioned above.

Conclusion

The hygrometric behaviour of a few materials was investigated and their specific absorption assessed. The latter is a very important element in the initial phases of mortar hardening. Also the variations in the adsorption and draining phases were recorded in order to study the behaviour of the materials when moisture permeation occurs because of rising damp.

The environmental conditions as to relative humidity and temperature were changed slowly, ranging respectively from 35% to 65% and from 18°C to 28°C, over a period of time which goes from July 1990 to March 1992.

The relationships between density and absorption were analysed by means of an empirical equation based on Lagrange's interpolation method.

Satisfactory results were shown by six samples out of the nine tested with that method.

It was of great interest the comparison between old

bricks and modern, handmade bricks; the former dated back to the XIV-XVIIth century and showed a substantial difference in behaviour.

Even if the findings must be analyzed with caution as the tested samples were not many, they give us concise but highly significant information about the behavioural trend of the materials after being used in a close environment, under the thermo-hygrometric conditions listed above, when they are subject to pathology caused by rising damp.

This paper was written in the context of the research project M.U.R.S.T. 40% "Thermophysical properties of materials".

Table II - Comparison between real and theoretical values of P_s %

Material	P_s %		Discrepancy %
	real	theoretical	
Lecce Tufa	24.7	23.1	- 6.5
Jarnaro	12	18.6	+ 55
Lecce stone	15	16.4	+ 9.3
Orv. Tufa *	28	30.7	+ 9.6
Orv. Tufa **	31	30.7	- 1
UNI Brick	11.5	9.6	- 16.5
Handa. Brick	9.7	9.7	0
Old Brick			
Montegiugoni	19.4	18.0	- 7.2
Old Brick			
Montebulciano	20.3	17.1	- 16.2

Note: * size 11x12x20 ** size 15x15x20

Bibliography

- /1/ M.H. de WITT: "Measuring methods of moisture in soil" - Seminario "L'umidità ascendente nelle murature" CNR - Bari 17-18 Settembre 1991
- /2/ P.T. Trotman: "Diagnostic methods for dampness in walls" - Seminario "L'umidità ascendente nelle murature" CNR - Bari 17-18 Settembre 1991
- /3/ R. Van Hees: "Eliminating and reducing methods" - Seminario "L'umidità ascendente nelle murature" CNR Bari 17-18 Settembre 1991
- /4/ G. Baronio, L. Binda: "Studio sull'alterazione delle murature in laterizio" in L'edilizia e l'industrializzazione N.6-7/1989
- /5/ A. Rancan: "Intonaci degli edifici: proprietà fisico-chimiche, degrado e conservazione" in L'edilizia e l'industrializzazione N.12/1990
- /6/ E. Kjaer: "The influence of suction from masonry units upon the strength of the hardened masonry mortar" Proceedings of the 9th International Brick-Block Masonry Conference - Berlino, Germania - 13-16 Ottobre 1991
- /7/ C. Groot: "Aspects of mortar-brick bond" Proceedings of the 9th International Brick-Block Masonry Conference - Berlino, Germania - 13-16 Ottobre 1991
- /8/ L. Binda, G. Baronio, L. Anti: "Misura dell'alterazione in ambiente aggressivo di materiali porosi trattati con consolidanti e protettivi" in L'edilizia e l'industrializzazione N.7-8/1989
- /9/ H. Hens: "Analysis of causes of dampness, influence of salt attack" - Seminario "L'umidità ascendente nelle murature" - Bari 17-18 Settembre 1991
- /10/ Norma UNI 8942, parte 3ª, punto 13
- /11/ G. Raffellini, G.F. Cellai, F. De Lorenzi: "comportamento igrometrico di alcuni materiali da costruzione: rilievi sperimentali e analisi critica" in corso di pubblicazione sulla rivista Costruire in Laterizio.

MATERIALI NATURALI assorbimento

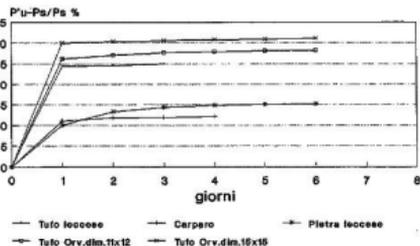


Fig.1 Variazione temporale assorbimento

MATERIALI NATURALI evaporazione

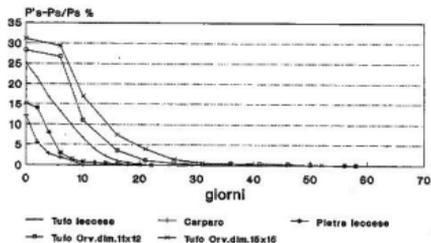
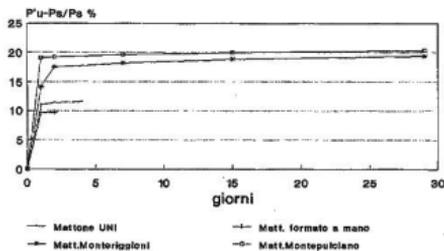


Fig.2 Variazione temporale evaporazione

LATERIZI assorbimento



LATERIZI evaporazione

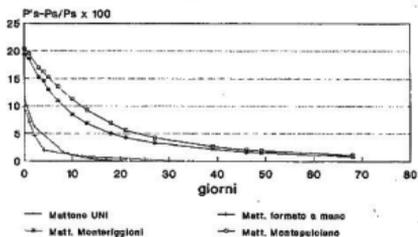


Fig.4 Variazione temporale evaporazione

TUFO LECCESE resistenza in funzione di Ps%

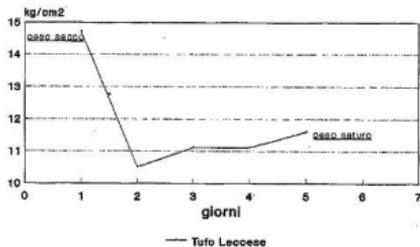


Fig.5 Variazione resistenza meccanica

LA PIEDRA FRANCA (BIOCALCARENITA) EN LA CONSTRUCCION DE MONUMENTOS HISTORICOS DE GRANADA (ESPAÑA)

SEBASTIAN PARDO, E.(1); ZEZZA, U.(2); RODRIGUEZ NAVARRO, C.(1), de la TORRE, M^a J.(1) & CARDELL, C.(1).

(1) Dpto. Mineralogía y Petrología-IAGM. C.S.I.C.- Univ. Granada, (España), (2) Dip.to di Scienze della Terra. Univ. Pavia, (Italia).

SUMARIO

Se ha valorado, en líneas generales, la durabilidad de la "piedra franca" a partir de sus parámetros petrográficos, físicos y mecánicos, determinados en diferentes tipos de material de las canteras históricas y en material procedente de varios monumentos de Granada; concretamente, la Catedral, Monasterio de San Jerónimo, Hospital Real y Chancillería. La variedad de material condiciona, que a igualdad de factores deteriorantes, el grado de alteración es diferente según el tipo de piedra que se haya utilizado en los diversos edificios.

ABSTRACT

The "Piedra Franca" durability has been valued, taking into account petrographical, physical and mechanical parameters, determined on historical quarry materials as same as the ones coming from some Granada's monuments. For instance, Cathedral, San Jerónimo Monastery, Hospital Real and Chancillería. For similar deterioration conditions, material variety produces different decay levels in the buildings analyzed, according to the stone class that has been used.

PALABRA CLAVE: Piedra franca, Biocalcarenita,

Durabilidad, Monumentos Históricos.

1. INTRODUCCION

La "piedra franca" constituye el material lapídeo de más amplia difusión en la arquitectura granadina; ha sido profusamente utilizado en la construcción de señalados edificios históricos de la ciudad de Granada (Catedral, Monasterio de San Jerónimo, Capilla Real, Palacio de Carlos V, Hospital Real, etc.).

La fácil explotación y elaboración de estos materiales calcáreos, unido a su relativa buena durabilidad, ha dado lugar a que hayan sido empleados en sillares, relieves e incluso en esculturas, durante el renacimiento y barroco granadino (4).

En este trabajo se analizan diferentes parámetros relacionados con sus propiedades intrínsecas (petrofisico-mecánicas, que son, a su vez, condicionantes de su durabilidad. Dichos parámetros se han determinado tanto en muestras procedentes de las diversas canteras históricas (en sus diferentes subtipos) como en muestras recogidas en varios edificios monumentales (Catedral, Chancillería, San Jerónimo y Hospital Real).

La metodología utilizada ha sido: estudio petrográfico mediante microscopía óptica y electrónica de barrido (SEM con analizador EDAX), difracción de rayos X y análisis químico (IPC y FRX).

El aspecto estructural-textual de estos materiales, y su grado de anisotropía, han sido valorados por medio de técnicas de ultrasonidos y completados mediante la caracterización del sistema poroso (porosimetría de inyección

de Hg y de He).

Los parámetros mecánicos (resistencia a la compresión, tracción indirecta y flexión) valorados en relación a las condiciones de afloramiento, forma de explotación de los materiales en la cantera y su disposición en el monumento, junto con el comportamiento hídrico (sobre todo velocidad de absorción-desorción de agua), constituyen datos esenciales para evaluar la durabilidad de las distintas variedades de estos materiales calcáreo-bioclasticos.

Las formas de degradación observadas en los monumentos vienen definidas en función de las propiedades intrínsecas de los materiales y de los principales agentes de deterioro.

2. LAS VARIETADES DE LA PIEDRA EN LAS CANTERAS Y MONUMENTOS HISTORICOS.

En la zona SW de la depresión de Granada, afloran materiales calcáreos, de edad Tortoniense Inferior, formados por bioclastos. Este tipo de caliza organógena (biocalcarenita) se ha utilizado de forma masiva en el patrimonio arquitectónico de la ciudad de Granada, habiendo sido extraída, durante siglos, de las canteras de La Escribana y las Parideras (Fig. 1), en la zona del cortijo de Santa Pudia (municipio de Escúzar). Recientemente, en el año 1990, ha sido reactivada su explotación.

Las calcarenitas representan el depósito, en condiciones marinas someras, de los esqueletos calcáreos de diferentes tipos de organismos, posteriormente removilizados y mezclados con los aportes detríticos de los relieves cercanos (1, 2 y 3). Tras esta primera etapa de sedimentación sufrieron una diagénesis, no muy pronunciada, que ocasionó una cierta cementación y por tanto una reducción de la porosidad. Este proceso de cementación no fue homogéneo en todos los niveles calcareníticos, ello, junto a la heterogeneidad en el tamaño de grano, tipo de bioclastos y composición química, produce una variación en la formación biocalcarenítica, lo que conlleva comportamientos diversos de la roca extraída de diferentes niveles.



Figura 1 Frente de la antigua Cantera de Las Parideras: extracción racional de pequeños bloques.

CANTERAS	TIPO	CARACTERISTICAS PETROGRAFICAS
L A E S C R I B A N A	E-1	Color blanco. Muy cementada (2 generaciones). Pequeño tamaño de bioclastos. Baja porosidad (12 - 20 %). Aflora en los niveles superiores.
	E-2	Color claro-amarillento. Rocas muy deleznales, con pequeños bioclastos. Elevada porosidad (38%).
	E-3	Color oscuro. Aflora en los niveles inferiores. Mayor tamaño de bioclastos. Porosidad: 23 - 30 %
LAS PARIDERAS	PAR	Color blanco. Gran tamaño de bioclastos (hasta 4 cts.). Elevada concentración de briozoos y algas rojas. Porosidad: 20 - 33 %
MONUMENTO	CATEDRAL DE GRANADA	
Pináculos	P	Calcarenita E-1 y E-2, puntualmente E-3. Importantes arenizaciones. Se incrementa la porosidad hasta valores del 35%
Sillares	S	Generalmente tipo E-1. Puntualmente presenta costras negras.
Crestería	Cr	Color claro (E-1). Pérdida del cemento de 2ª generación. Aparición de cemento tipo menisco.
Estatuas	Est	Tamaño de bioclastos considerable. Color claro. Tipo Par. Elevada pérdida de material cementante. Importantes procesos de arenización y alveolización.
Costras	Cos-N / Cos-R	Formadas por calcita y yeso. Espesor variable. Coloración de diverso tipo, generalmente oscura (Cos-N), en algunos casos rojiza (Cos-R). Elevada pérdida de cemento intergranular. Aparecen en zonas protegidas.

Tabla I

CANTERAS

CATEDRAL DE GRANADA

% en Peso	Escribana			Par.	S	P	P	Cr	Est	Con
	E-I	E-II	E-III	Par	E-I	E-I	E-II	E-I	Par	E-I
SiO ₂	1.21	2.31	2.21	0.23	5.75	5.22	5.74	1.70	0.77	5.44
Al ₂ O ₃	0.48	0.50	0.39	0.23	0.84	0.70	0.98	0.37	0.21	1.32
Fe ₂ O ₃	0.23	0.20	0.34	0.22	0.36	0.62	0.39	0.19	0.03	0.53
MnO	0.02	0.03	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
MgO	0.59	0.38	0.39	0.47	0.55	0.50	0.50	0.44	0.43	1.01
CaO	55.8	53.8	54.3	53.6	51.6	51.8	51.7	52.7	55.4	35.5
Na ₂ O	0.06	0.06	0.04	0.06	0.11	0.07	0.13	0.06	0.07	0.16
K ₂ O	0.08	0.07	0.07	0.05	0.11	0.12	0.16	0.06	0.06	0.22
P ₂ O ₅	0.06	0.08	0.08	0.04	0.09	0.09	0.12	0.12	0.07	0.09
TiO ₂	0.02	0.02	0.01	0.02	0.04	0.02	0.01	0.03	0.01	0.05
Loi.	42.3	42.4	42.5	42.7	40.8	37.1	39.2	41.2	41.4	31.4
Sum.	99.4	99.9	100.5	100.3	99.9	99.6	97.0	99.7	99.5	76.0

ppm

Au	.005	.005	.005	.005	.011	.011	.010	.010	.005	.081
Ge	11	12	10	10	10	10	10	10	10	11
Mo	5	5	5	5	5	5	5	5	5	7
Co	3.5	2.5	1.5	7	2	2	2	2.5	3	3
Ni	9.3	8.5	8.5	11	10	19.5	8	9	8	10
Cu	5.8	16.1	4.6	8.0	8.3	8.5	4.6	10.9	4.8	5.2
Ag	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.50
Zn	27.5	38.1	26.1	29.0	23.9	21.5	40.4	25.3	5.7	47.2
Cd	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
Pb	5	3	6.5	8	5	15	2	14.7	2	59
As	3.5	2.5	8	5	3	2	2	4	7	7
Sb	0.5	0.4	0.3	0.3	0.5	0.3	0.6	0.4	0.2	1.7
Se	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Rb	10	12	10	10	12	10	10	10	10	13
Sr	355	327	290	169	297	383	379	458	179	1124
Cs	1.7	1	1	1	1	3.5	4	1	1	3
Ba	27	21	10	10	14	24	30	30	10	69
RBE	16.4	15.0	16.4	8.7	16.5	18.9	20.4	12.6	11.4	20.8

Tabla II. Contenidos de elementos mayoritarios y traza, en los diversos tipos de las canteras, correlacionados con diferentes elementos de la Catedral de Granada.

En las dos canteras estudiadas se aprecian diferentes subtipos (ver Tabla I) en base a la variación de color y textura. En el caso de La Escribana aparece un nivel compacto de tamaño de grano fino y de color claro a techo de la misma (Tipo E-I), en el que intercaladas aparecen lentes de un material poco homogéneo, con alta porosidad y color amarillento (Tipo E-II). A muro del frente de explotación, aflora un nivel más homogéneo que el anterior, de color pardo oscuro, con mayor tamaño de bioclastos. En cambio, en la cantera de Las Parideras (Fig. 1) se observa una mayor homogeneidad (Tipo PAR), aunque también existe una ligera variación de color entre la zona de techo y muro.

2.1 Análisis petrográfico de los materiales

Estos materiales son areniscas calcáreas de tipo wackstone, están compuestos fundamentalmente por bioclastos, inmersos en una matriz con cemento calcítico, bastante escaso en la mayoría de las muestras analizadas. Los esqueletos de organismos que en mayor proporción aparecen son: algas rojas, foraminíferos, briozoos, equinodermos, escafofóodos y bivalvos. Existe una variación en el tipo y tamaño de bioclasto según la cantera: en Las Parideras (ver tabla I) los organismos más abundantes son los briozoos, mientras que en La Escribana (Tipos I, II, y III)

son las algas rojas y los foraminíferos (mayoritariamente bentónicos). En Las Parideras el tamaño de los bioclastos es mayor, alcanzando incluso dimensiones de hasta varios cms. (biocalciritida).

La componente silicatada detrítica, proveniente de los relieves metamórficos circundantes a la depresión de Granada (Zonas Internas de las Cordilleras Béticas), es muy reducida ya que raramente supera el 5 % y se compone de cuarzo, feldespatos y mica. Puntualmente, aparecen fragmentos de micaesquistos (de hasta 2 cm).

El tipo y grado de cementación es variable, normalmente presentan una primera generación de cemento calcítico (microespartita). Sólo en algunos niveles de la cantera de La Escribana (los más altos) aparece una segunda generación de cemento espartítico. Esta es responsable de la disminución de la porosidad en el subtipo E-I, lo que conlleva una variación de sus características físico-mecánicas, así como de su grado de alterabilidad (6 y 7).

El quimismo general de las muestras de cantera se puede ver en la Tabla II; en ella se aprecian ligeras variaciones en el contenido de elementos traza entre los diferentes tipos de calcarenita de una misma cantera así como entre los de diferentes canteras. El cuadro químico relativo al material de cantera (5) y de la Catedral de Granada (ver

Tabla II) no presenta variaciones sustanciales, salvo en las zonas más alteradas del monumento (pináculos y costros). Las diferencias son debidas a depósitos de polvo, productos de combustión, excrementos de aves, etc., así como a una disolución generalizada de carbonatos, con posterior precipitación de caliza secundaria y yeso.

2.2 Propiedades petrofísicas

El estudio con ultrasonidos (10 y 11) ha permitido apreciar que el material de la cantera se caracteriza por un bajo grado de anisotropía textural (ver Tabla III). En las distintas variedades de la Escribana este parámetro es siempre inferior al 5 %; mientras que en Las Parideras el grado anisotropía es ligeramente superior al 7 %. Los valores absolutos de velocidad de propagación de las ondas longitudinales son coherentes con rocas calcáreas que presentan una porosidad media-alta. En particular, para los tres tipos de roca de La Escribana queda fielmente reflejado que existe una correlación directa entre porosidad total y velocidad.

El cuadro porosimétrico (Tabla IV) basado en datos de Helio y de Mercurio, evidencia el incremento de la porosidad total sufrido por el material puesto en obra; con valores que llegan al 40-45 % en el caso concreto de la variedad E-1, empleada de forma mayoritaria en el Monasterio de San Jerónimo, Hospital Real, Catedral y Chancillería en Granada. Al mismo tiempo, se observa un aumento generalizado del porcentaje de poros de radio inferior a 5 µm. También la distribución del tamaño de acceso de poro es diferente entre el material de cantera y el de monumento; siendo en el primer caso unimodal y en el segundo bimodal (ver figura 2).

2.3 Propiedades Mecánicas

Los parámetros mecánicos confirman una ligera anisotropía para los tres tipos fundamentales de la bicalcarenita de La Escribana (ver Tabla V). El plano de relativa menor resistencia coincide con el de sedimentación, el cual, incluso, muestra mayor debilidad por isorientación de restos fósiles, sobre todo en los materiales de Las Parideras.

CANTERAS

% en Peso	Escribana			Par.		S
	E-I	E-II	E-III	Par	E	
SiO ₂	1.21	2.31	2.21	0.23	5	
Al ₂ O ₃	0.48	0.50	0.39	0.23	0	
Fe ₂ O ₃	0.23	0.20	0.34	0.22	0	
MnO	0.02	0.03	0.05	0.01	0	
MgO	0.59	0.38	0.39	0.47	0	

Figura 2 Histogramas de distribución de radio de acceso de poro y curvas acumulativas de Hg intruido. (Escribana tipo E-1A, izquierda; San Jerónimo, derecha).

El comportamiento mecánico de las variedades de La Escribana es algo diferente; la mayor resistencia se encuentra en el tipo E-1, la menor en el tipo E-2. En el caso específico de la tracción, el comportamiento de E-2 y E-3 es similar.

Los parámetros mecánicos del material de Las Parideras son, en general, más bajos en compresión y flexión, pero, más resistentes a la tracción que los de La Escribana.

La comparación de estos valores con los del material en obra, degradado y sustituido en intervenciones previas, permite evaluar su decaimiento mecánico sufrido en la construcción (10). Así por ejemplo, en el material procedente de la Catedral de Granada esta disminución (ver Tabla VI) es muy marcada, incluso en un mismo elemento de fábrica, con detrimento de los valores, generalmente, mucho más alto para la parte externa en relación a la zona interna del elemento (se han medido disminuciones que varían desde el 42.7 al 48.8 %, o entre el 27.7 al 35.2 %; dependiendo que se refiera a la parte externa o interna de una cornisa respectivamente).

TIPO	V(L) 1	V(L) 2	V(L) 3	ΔM %	Δm %
E-1	3328	3566	3441	5.0	3.6
	2957-3643	3130-3938	3013-3805		
	257	310	309		
E-2	2658	2816	2669	3.1	5.4
	2586-2750	2764-2896	2605-2768		
	71	76	74		
E-3	3043	3150	3069	2.1	2.6
	2907-3194	2945-3454	2934-3238		
	71	41	76		
PAR	3324	3645	3537	7.4	3.0
	3054-3542	3564-3699	3420-3617		
	230	42	17		

Tabla III. Velocidad (en m/s) de propagación de impulsos ultrasónicos en el material de las canteras, (para $V_{(L)1}$, $V_{(L)2}$ y $V_{(L)3}$, se indica la media, rango y desviación estándar).

$$\Delta M(\%) = 100[1 - (2V_{(L)1}/V_{(L)2} + V_{(L)3})]$$

$$\Delta m(\%) = 100[2(V_{(L)2} - V_{(L)3})/(V_{(L)2} + V_{(L)3})]$$

CANTERAS DE LA ESCRIBANA						
Tipos	d gr/cm ³	P _{He} (%)	P _{Hg} (%)	R > 2.5μm (%)	R < 2.5μm (%)	Macro Micro
E-1A	2.40	13	12.31	1.69	11.31	0.2
E-1B	2.08	23	17.01	15.86	7.14	2.2
E-2	1.64	40	33.81	30.36	9.64	2.7
E-3	1.77	34	28.10	28.84	5.16	5.6
MONUMENTOS						
SAN JERONIMO						
F SI-S	2.23	23	21.03	12.26	10.74	1.1
G SI-N	1.89	41	19.18	22.84	18.16	1.3
CATEDRAL						
CG-5	1.79	32	29.50	20.91	11.09	1.9
CG-2	1.71	39	28.35	23.92	15.08	1.6
CG-1	1.74	35	29.48	20.29	14.71	1.4
CG-3	1.78	37	26.73	23.56	13.44	1.8
CG-4B	1.87	30	23.14	21.69	8.31	2.6
HOSPITAL REAL						
HR-5E	2.00	30	21.10	20.02	9.98	2.0
HR-2W	2.29	33	13.13	22.69	10.31	2.2
HR-4S	1.74	46	23.86	31.83	14.17	2.3
CHANCILLERIA						
CH-1	1.97	35	22.35	20.02	14.98	1.3
CH-2	1.38	36	35.46	40.54	15.46	2.6
CANTERA DE LAS PARIDERAS						
CP-2	1.76	35	21.87	22.24	12.76	1.7
CP-3	1.75	35	26.77	23.43	11.57	2.0
MONUMENTOS						
CATEDRAL						
PA-4	1.65	40	24.90	25.84	14.16	1.8

Tabla IV. Porosimetría de materiales de las canteras y monumentos.

P_{He} = porosimetría de Helio

P_{Hg} = porosimetría de Mercurio

d = densidad, R = radio de acceso de poro

TIPOS		E-1	E-2	E-3	PAR
σ_c	⊥	171	136	160	158
		148-202	91-171	125-200	144-180
		24	33	32	15
		156	124	147	101
		128-176	98-146	105-186	95-112
		22	23	34	8
	149	122	140	74	
	137-165	92-159	108-178	67-84	
	13	31	29	9	
σ_{Tr}	⊥	16.0	12.2	12.0	16.7
		12.4-21.8	9.2-14.5	9.7-14.7	12.7-23.1
		3.0	1.9	1.5	3.6
	⊥	13.5	11.2	11.6	16.4
		10.9-16.4	9.2-14.3	9.7-13.5	12.5-21.0
		1.9	1.6	1.3	3.2
	12.8	10.8	10.6	11.0	
	10.0-16.1	7.6-14.1	9.6-12.5	8.5-19.5	
	1.8	1.7	1.0	3.2	
σ_f	49.2	33.6	69.9	36.8	
	31.7-63.4	25.4-40.4	28.5-51.8	24.1-44.8	
	13.8	4.3	10.3	9.7	

Tabla V. Valores de σ (kg/cm^2) para compresión (σ_c), tracción (σ_{Tr}) y flexión (σ_f), en material de las canteras históricas, determinados según tres planos perpendiculares (|| y ⊥: paralelo y perpendicular al plano de sedimentación). Se dan valores de media, rango y desviación estándar.

3. DURABILIDAD Y FORMAS DE ALTERACION DEL MATERIAL

En líneas generales, la degradación que presentan estos materiales en los diferentes monumentos de Granada no es muy acentuada, teniendo en cuenta sus características físico-mecánicas, y las condiciones climáticas y de contaminación antrópica-ambiental; de todas formas es posible observar en cualquier monumento, zonas o elementos arquitectónicos con deterioros tan avanzados que incluso hacen necesaria su sustitución.

Las formas de alteración son muy variadas: desde la simple decohesión superficial, alveolizaciones más o menos pronunciadas, desplazados, hasta redes de fracturas importantes (5, 7, 8 y 9).

Prescindiendo, por el momento, de la acción que la contaminación atmosférica pueda ejercer sobre el deterioro de este tipo de rocas, se analiza seguidamente la influencia

que las propiedades hídricas tienen en su degradación.

Los datos obtenidos permiten diferenciar claramente el comportamiento hídrico de cada uno de los tipos, así, el tipo E-1, presenta el más favorable (baja velocidad de absorción y rápido desorción, con un lento ascenso capilar (ver figura 3). Por el contrario, el tipo E-2 muestra el peor, ya que presenta una elevada velocidad de absorción de agua, lenta desorción y rápido ascenso capilar, lo que se traduce en una escasa durabilidad ante los efectos que el agua ocasiona (procesos de hielo-deshielo, cristalización de sales y disolución de carbonatos, principalmente).

La velocidad de absorción capilar, en conjunto, es muy alta, sobre todo si se compara con materiales similares de otras localidades. Como se ve en la figura 4, que compara el nivel de absorción en periodos de tiempo muy cortos (36" y 6") entre la variedad E-1 de la "piedra franca" y la "piedra leccese" (biocalcarenita del sur de Italia), (12).

La influencia de la imbibición en la disminución de la resistencia mecánica del material es muy acentuada,

ELEMENTOS DE FABRICA	σ_c (Kg/cm ²)		ΔR (%)	
	⊥		⊥	
CORNISA Tipo E-2 Parte externa	77.9	63.0	42.7	48.8
	60.9-98.0	52.2-66.9		
	15.6	3.6		
Parte interna	98.3	79.7	27.7	35.2
	89.5-101.9	72.3-87.1		
	13.2	8.5		
PINACULO Tipo E-3	σ_{tr} (Kg/cm ²)		ΔR (%)	
	⊥		⊥	
Parte externa	9.9	7.0	17.5	34.0
	7.0-13.9	5.7-9.6		
	1.8	1.2		
Parte interna	8.4	7.2	30.0	32.1
	4.9-11.8	4.6-9.1		
	1.6	1.5		

Tabla VI. Valores de σ_c y σ_{tr} en materiales empleados en la Catedral de Granada. (⊥ y || son orientaciones relativas al plano de puesta en obra, que coincide con el plano de sedimentación). $\Delta R(\%) = (\sigma_{cubeta} - \sigma_{incremento} / \sigma_{incremento}) 100$

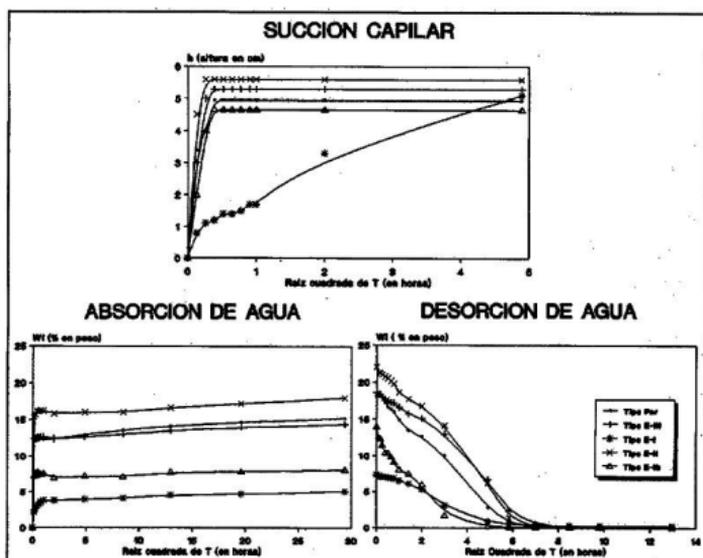


Figura 3 Curvas de succión capilar, absorción libre y desorción libre de agua, de los diferentes tipos de biocalcarenita de las canteras de Santa Pudia.

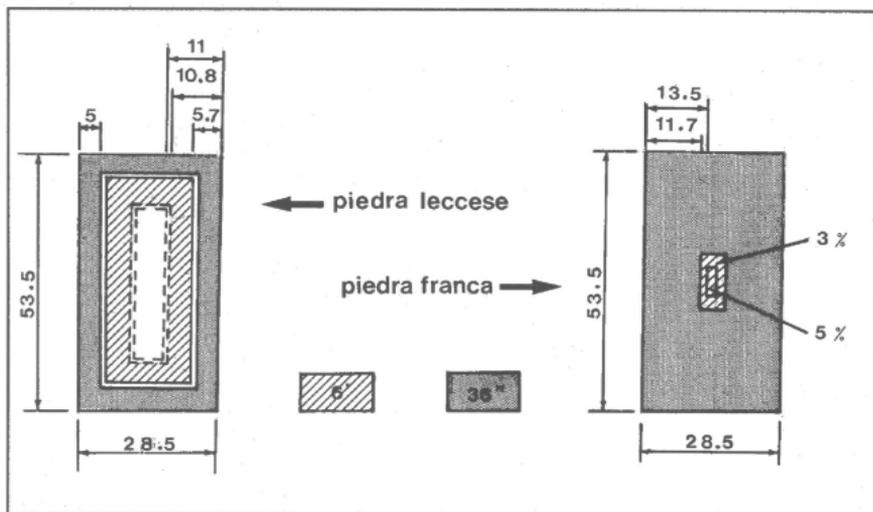


Figura 4 Nivel (en mm) y tiempo de absorción libre de agua de la "Piedra Leccese" y "Piedra Franca".

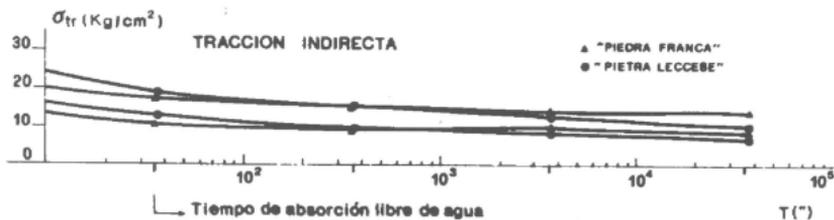


Figura 5. Variación de σ_{tr} en función del tiempo de absorción libre de agua.

sobre todo en estado de imbibición parcial. Un ejemplo de la disminución de la carga de ruptura por tracción indirecta, se ilustra en la fig. 5, en la que se confronta el comportamiento de este material con la "piedra leccese".

4. CONSIDERACIONES FINALES.

La amplia utilización de estos materiales en el Patrimonio Arquitectónico de Granada, principalmente en forma de sillares, pero también en relieves, elementos elaborados y esculturas, introduce diferentes concepciones en la problemática de su conservación.

La variedad del material de cantera, como viene reflejado en los datos aportados en este trabajo, indica que a igualdad de factores deteriorantes el grado de alteración es diferente.

El análisis físico-mecánico señala, por otra parte, que cuando el estado de deterioro es incipiente, una interven-

ción con hidrofugantes puede ser suficiente, mientras que cuando es muy avanzado la intervención más adecuada es la sustitución.

Finalmente, es oportuno señalar que el bajo grado de anisotropía estructural y la extracción racional del material en épocas pasadas, permite hoy en día efectuar una investigación fácil y cómoda relativa al grado de deterioro de estos materiales en los monumentos.

Este trabajo ha sido subvencionado por el Proyecto PB87-0274 de la CICYT y el Grupo de Investigación N^o 4065 de la Junta de Andalucía. Forma parte de la Acción Integrada Hispano-Italiana n^o 65/1990.

5. REFERENCIAS

1. Braga J.C., Martín J.M. & Alcalá B., Coral reefs in coarse-terrigenous sedimentary environments (Upper Tortonian, Granada Basin, Southern

- Spain) Sediment. Geol. 1990, 66, p 135-150.
- 2 Dabrio C.J., Martín J.M. & Megías A.G., Signification sedimentarie des évaporites de la depression de Granada (Espagne). Bull. Soc. Géol. 1982, 24, p 705-710.
- 3 Fernández J. & Rodríguez Fernández J., Facies evolution of nearshore clastic deposits during the Tortonian Transgression-Granada Basin, Betic Cordilleras, Spain. Sediment. Geol. 1991, 71, p 5-21.
- 4 Gómez Moreno J.M., La arquitectura religiosa en la crisis del Renacimiento (1560-1650). Universidad de Granada - Dip. Provincial, Granada, 1989.
- 5 Rodríguez Navarro C. & Sebastián E., Procesos de alteración de materiales calcareníticos utilizados en la construcción de la Catedral de Granada: variación en el contenido de elementos traza. Bol IV Congreso de Geoquímica, Soria, 1991, p 12.
- 6 Rodríguez Navarro C., Sebastián E., Zezza U., De la Torre M^a J. & Cardell C., Caracterización mineralógica y petrofísica de los materiales biocalcareníicos utilizados en la construcción de monumentos históricos de Granada. Bol. Soc. Esp. Min., 1991, p 25-26.
- 7 Sebastián E., Rodríguez-Gordillo J., Soriano J. & Velilla N., Estudio de los materiales, procesos de alteración y propuestas restauradoras en el Patio de la Capilla (Hospital Real de Granada, España). In. Civ., 1990, 73, p 118-126.
- 8 Sebastián E., Rodríguez Gordillo J., Soriano J., Velilla N., Navarrete C. & Zezza U., Studio dei materiali, processi di degrado, proposta di restauro sul "Patio de la Capilla" (Hospital Real, Granada, Spagna). Soc. Ital. Min. Petr., Plinius, 1990, 2, p 75-76.
- 9 Sebastián E., Soriano J., Rodríguez Navarro C. & Alvarez de Buergo, M., Formas, causas y mecanismos de alteración de los materiales pétreos de la Torre de la Catedral de Granada. Ingeniería Civil, 1991, 71, p 31-40.
- 10 Zezza U., Physical-machanical properties of quarry building stones. Proc. workshop "Analytical Methodologies for the Investigation of Damaged Stones", Pavia, 1990, 21 p.
- 11 Zezza U. & Veniale F., Ultrasonic investigations on quarry and free-stones of historical monuments in Lombardy, Italy. Proc. "VIth Int. Congr. on Deterioration and Conservation of Stone". Torun, 1988, p 303-312.
- 12 Zezza U., Veniale F., Zezza F. & Moggi G., Effetti della imbibizione sul decadimento meccanico della pietra leccese. Atti: 1^o Simp. Int. "La conservazione di monumenti nel bacino del Mediterraneo", Bari, 1989, p 263-269.

THE ROLE OF NO₂ IN THE HETEROGENEOUS OXIDATION OF SO₂ ON A CaCO₃ PROTOTYPE SURFACE

Franco De Santis and Ivo Allegrini

CNR, Istituto Inquinamento Atmosferico, Area della Ricerca di Roma, V. Salaria Km 29,300 CP 10
00016 Monterotondo Staz. ROMA (Italy)

SUMMARY

The reaction of CaCO₃ with SO₂ alone or with NO₂ has been investigated. A system capable of measuring the heterogeneous reaction of these pollutants on a prototype surface of power of CaCO₃ inside an annular diffusion tube is described. A synergistic effect on the formation of sulfate was found when SO₂ and NO₂ have been combined at high relative humidity (R.H. = 90%). At lower relative humidities, (R.H. = 50%) NO₂ does not affect the rate of SO₂ reaction on this model surface.

KEYWORDS

Diffusion techniques, deposition of SO₂, annular denuders, deposition velocity.

INTRODUCTION

The nature of the physical and chemical processes responsible for damages to monuments and statues, particularly of marbles, exposed to open air, is poorly understood and our ability to predict the effects resulting from the interaction of common pollutants is limited. The oxidation of SO₂ over carbonate stones has been suggested, on the basis of field and laboratory observations, as an important pathway for the transformation of calcite into gypsum which is the principal cause of deterioration of marble surfaces exposed to the atmosphere (1-3).

The role of NO₂ on this reaction has received much less attention. It is known that while the emission of SO₂ and smoke in urban areas has been reduced significantly over the last decade, the emission of NO₂ is still increasing and therefore it is of interest to assess its role in this transformation. Some of the experiments performed for clarifying this important route to sulfate had intrinsic shortcomings because the treatments were mostly drastic in order to achieve a response and therefore the experimental conditions were too far from a realistic atmospheric environment (4-5). Other investigations have been carried out on the basis of measurements of the deposition on samples when exposed for a selected period of time to a controlled environment containing SO₂ alone and mixture of SO₂ and NO₂. This method suffers from the drawback that only samples free of interfering anions (e.g. sulfate) can be analyzed (6). In our study we were interested in developing a method capable of measuring heterogeneous reactions without limitations imposed by the nature of the surface, and therefore we applied an indirect measurement technique for the evaluation of the reactivity. The main purpose of the study was comparing the reactivity of SO₂ to the reactivity of SO₂/NO₂ mixtures on a relatively simple prototype surface of CaCO₃.

EXPERIMENTAL

Annular diffusion tubes (denuders), were used for the experiments. They consist of two concentric pyrex cylinders (i.d. = 10 mm, o.d. = 14 mm, length = 200 mm), the inner walls (which was sandblasted as described in Allegrini et al. (7)) were coated with a 10 % ethanol slurry of reagent grade CaCO₃ (Merck) sieved to particles smaller than 50 μ .

The slurry was deposited on the walls of a previously weighed denuder and the coated annular space dried with a gentle flux of clean air and then weighed again.

The use of these devices for studying the reactivity results from the basic assumption that the surface reaction is the limiting step for mass transport to the walls. Under this condition, verified in the case of the CaCO₃ coating, uptake rates are independent of diffusion and a reactivity factor, dimensioned as a deposition velocity, containing the accommodation coefficient as well as the rate constant for the surface reaction, can be determined. When the reaction rate on the surface is fast, as for instance in the case with the coatings used for the environmental sampling, the assumption is no longer verified, the reaction along the tube becomes diffusion controlled (i.e. the coating is a perfect sink) and therefore a Gormley-Kennedy equation, describing the depletion along the annular tube, applies (8). The amount of pollutant collected in this case is independent of reactivity and is only a function of sampling parameters (e.g. efficiency, flowrate, loading capacity and so on). In the model described above we have assumed that the particles have dispersed uniformly to form a thin layer such that the reaction takes place at the surface. Tests performed with different amounts of coating (prepared by using 1%, 5%, and 15% slurries) showed that the amount of SO₂ reacted does not depend on the CaCO₃ loading and therefore we assumed that no reaction occurred inside the layer.

Standard atmospheres of the pollutant under evaluation were obtained as follows.

A carrier gas stream at controlled R.H. was mixed with the effluent from permeation tubes of SO₂ and NO₂. Since the source of NO₂ produces also small concentration of HONO and HNO₃, a downstream Na₂CO₃ denuder (coated with a 2.5% solution of aqueous methanol 50/50 v/v) was used as a scrubber (9). A controlled flow (1.5 l min⁻¹) of air mixtures of SO₂ and NO₂ either as simple contaminant or in combination were admitted into the annular denuder whose walls constituted the reactive surface. The gas mixtures were humidified by passing part of the air flow through a bubbler containing water before blending with the dry gas coming from the permeation tank.

After the diffusion tubes had been exposed to the reactants for preselected times, they were washed with a solution of 0.24% v/v of H₂O₂ to oxidize sulfite to sulfate and the filtered solution analyzed for nitrite, nitrate and sulfate by ion chromatography (Dionex, QIC). In some experiments we used water for extracting the denuders in order to investigate the formation of sulfite. The mass balance of the species involved in the experiments was carried out by analyzing both the surface reaction products on the coating, as mentioned, and also the effluent from the reactor. To this purpose NO_x and SO₂ were monitored by using a chemiluminescence (Environment Mod. AC 30) and a fluorescence (Monitor Labs Mod. 8850) continuous analyzer respectively.

RESULTS AND DISCUSSION

In table 1 we have reported the results of the interaction of NO₂ and SO₂ on a CaCO₃ surface. The exposure time was chosen on the basis of some preliminary tests which showed that the adsorption rate was a function of the time. Obviously in reactions involving interaction of gases on solid surfaces without desorption of products, rates decrease with time due to the increased surface coverage. Thus, we chose to run the experiment for a period of time during which constant adsorption rates could be assumed. The results are expressed in μ g per gram of CaCO₃ in order to take into account the small differences in the amount of coating. It was interesting to note that when in some prelimi-

nary experiments we used for our extraction procedure only water, instead of the H_2O_2 solution, a quite noticeable amount of sulphite anion, which increased slightly in the presence of NO_2 at high R.H., was found.

Table 1. Formation of SO_4^{2-} on $CaCO_3$ surfaces in the presence of NO_2 . $NO_2 = 636$ ppb, $SO_2 = 780$ -1ppb. Experimental time = 48 hrs. Flow rate = 2 l/min

NO_2	SO_4^{2-} ($\mu g g^{-1} min^{-1}$)	
	R.H.=60%	R.H.=90%
yes	159	455
no	155	315

It seems likely that SO_2 is first taken up to a film of water associated with the surface and then, after absorption, the sulfite anion is converted to sulfate at a rate that will depend on the availability of oxidizers.

The formation of sulfite after exposition of $CaCO_3$ to SO_2 has also been observed by Gauri and Gwinn (4), and later by Johansson et al. (6). Gauri and Gwinn showed that the initial product of SO_2 -calcite reaction is a sulfite which is slowly converted to sulfate in the presence of moisture and O_2 . They also reported that when samples reacted with SO_2 were stored indoor for 7 years, at room temperature and humidity, no change in the sulfite content took place. Johansson et al. also pointed out that in humid atmospheres NO_2 promotes the formation of gypsum from the relatively stable $CaSO_3 \cdot 1/2 H_2O$ formed after exposition of calcareous stone samples to an SO_2 containing atmosphere. They also showed that at moderate values of R.H. (e.g. 50%) NO_2 does not affect the rate of SO_2 reaction on calcareous surfaces. The results reported here confirm these findings. It is worthing that since sulfite anion has never been observed in environmental samples of particulate matter, the intervention of atmospheric oxidants, of NO_2 and possibly of soot, can be envisaged in the field.

In table 2 we have reported our estimate for the deposition velocities and for the accommodation coefficient of SO_2 on the surface of $CaCO_3$. The rationale behind this two parameters is as follows.

Table 2. Reactivity parameters for SO_2 on $CaCO_3$. Vg^* is the deposition velocity calculated from the accommodation coefficient (see text).

NO_2	Vg (cm sec $^{-1}$)		Vg^* (cm sec $^{-1}$)	
	R.H.=60%	R.H.=90%	R.H.=60%	R.H.=90%
yes	0.01	0.11	0.009	0.12
no	0.01	0.05	0.007	0.08

It is known that the loss rate of a pollutant is either limited by diffusion through a concentration boundary layer over the surface or by uptake at the surface. In general gas loss rates are limited by surface reaction rates if the mass accommodation coefficient, (α), is less than 10^{-6} . At the same time the uptake of SO_2 can also be expressed in terms of deposition velocity, as originally proposed by Chamberlain (10), according to the following equation:

$$Vg = F/C$$

where F = flux rate of a compound with concentration C at a reference height.

Therefore a direct estimate of Vg has been made on the basis of the amount of sulfate measured after the experiment, by using the following relationship:

$$Vg = Q/(C S t)$$

where Q = quantity of pollutant transferred to the walls,
S = surface of the flow reactor,
t = time of exposure,
C = pollutant concentration.

Following a different approach it is also possible to analyze the data from the experiments by means of the mathematical model of Coutant et al. (11). This model assumes that SO_2 reacts through a heterogeneous first-order process that occurs on the walls with efficiency α . From the gas kinetic theory it can be shown that the deposition velocity is equal to the reaction probability, α , times the collision frequency, k_r , which depends only on temperature and molecular weight ($k_r = (R T/2 \pi M)^{1/2}$). By measuring the inlet and outlet concentrations of SO_2 it has been possible to relate the decrease of concentration with the reactivity expressed as a function of α and therefore of the deposition velocity, in the table indicated as Vg^* .

The agreement between the two experimental values is quite good. This indicates that the model of Coutant can be applied to estimate deposition velocities (i.e. reactivity) in case that no direct measurements of deposition can be made.

It is worth stressing that the deposition may be affected by the characteristics of the surface and by the local turbulence induced by its shape. Spedding (12), investigated the sites of deposition of SO_2 on a limestone with fossil carbonate inclusions, and observed that SO_2 was taken up almost completely by the matrix while the fossils had little or no sulfur deposited on them. Therefore a strong dependence on the physical nature of the carbonate material should be expected. Moreover a number of oxidation processes can occur when pollutants interact on a surface. Consequently, the surface of the marble and the aerosol particles (mainly soot in the urban environment) that stick on it may play a variety of roles in reactive processes. They could, for example, function essentially as a means of concentrating species with little direct effect or, alternatively, they could foster the collision of adsorbates thereby generating a specific product.

CONCLUSIONS

The described experiments and the outlined discussion can be summarized as follows.

Annular denuders have been applied for the study of reactivity. From the measurement of the concentrations of the reactive gases at the inlet and at the outlet and from measurement of deposited sulfate, a reactivity coefficient and the deposition velocity have been calculated.

On $CaCO_3$ surfaces the presence of a thin film of moisture seems essential for the reaction. SO_2 diffuses onto surfaces with subsequent chemical reaction. NO_2 in humid atmospheres (90% R.H.) enhances the oxidation of SO_2 . On the contrary at moderate values of R.H. (e.g. 50%) NO_2 does not affect the rate of SO_2 reaction on this surfaces.

ACKNOWLEDGMENTS

The financial support of the "Progetto Finalizzato Chimica Fine II"-CNR and of the Commission of the European Communities under a STEP Contract is gratefully acknowledged.

References

1. D. Camuffo, M. Del Monte, C. Sabbioni and O. Vittori, *Atmospheric Environment*, 16 (1982) 2253-2259.
2. Th. Skoulikidis and P. Papakostantinou-Ziotis, *British Corrosion Journal*, 16(2), 63-77 (1981)

3. F. Garbassi, E. Mello, M. Laurenzi Tabasso, Durability of Building Materials, 3, 51-55 (1985)
4. K.L. Gauri and J.A. Gwinn, Durability of Building Materials, 1 (1982/1983) 217-223.
5. K.L. Gauri, R. Popii, A.C. Sarma, Durability of Building Materials, 1, 209-216 (1982)
6. L.-G. Johansson, O. Lindqvist and R.E. Mangio, Durability of Building Materials, 5, 439-449 (1988)
7. I. Allegrini, F. De Santis, V. Di Palo, A. Febo, C. Perrino, M. Possanzini and A. Liberti, The Science of the Total Environment, 67, (1987) 1-16.
8. M. Possanzini, A. Febo and A. Liberti, Atmospheric Environment, 17, (1983) 2605-2610.
9. C. Perrino, F. De Santis, A. Febo, Atmospheric Environment, 24A, 617-626 (1990).
10. A.C. Chamberlain, International Journal of Air Pollution, 3, 63-68 (1960).
11. R.W. Coutant, P.J. Callahan, M.R. Kuhlman, R.G. Lewis, Atmospheric Environment, 23, 2205-2211 (1989).
12. D.J. Spedding, Atmospheric Environment, 3, 683 (1969).

CARBONACEOUS AEROSOLS AND BUILDING DETERIORATION

Kvetoslav R.SPURNY

Fraunhofer-Institute for Environmental Chemistry and Ecotoxicology, 5948 Schmallenberg II, F.R.G.

SUMMARY

The durability of stone and building material against weathering and corrosion is decreased by anthropogenic atmospheric air pollutants. Also the role of particulate air pollutants (aerosols) seems to be very important. Different studies which are reviewed showed that soot and fly ash particles deposited on the solid surfaces accelerate in the presence of moisture the SO_2 oxidation.

RÉSUMÉ

La durabilité des pierres et des matériaux aux bâtiments contre la désagrégation et corrosion devient très diminuée par la pollution atmosphérique. Les polluants en particules (les aérosols) jouent aussi un rôle important. Les études différentes résumées ici ont déjà montré, que les aérosols des suies et des cendres déposés sur des surfaces solides accélèrent en présence de l'humidité atmosphérique l'oxydation de SO_2 .

INTRODUCTION

Degradation of materials in the atmosphere is a very complex problem. Almost all common materials are vulnerable to atmospheric attack. The interaction of materials with atmosphere has recently received increased attention as a result of concern regarding the effect of different air pollutants and acid deposition. The majority of materials: metals, organics and inorganics, natural and man-made materials in buildings and monuments are subject to atmospheric degradation. The detailed mechanisms of degradation, however are still poorly understood, partly because of the interconnectedness of the mechanisms and partly because the gas-liquid-solid systems are difficult to treat theoretically (1,2). Corrosion, weathering and other degradation processes have been observed for centuries, but an exponential increase of these processes was observed during this century, specially during the last 50 years. This indicate the important role of the chemical air pollutants. These pollutants influencing the material degradation occur in different phases: gaseous (CO_2 , SO_2 , NO_x , O_3 , H_2O_2 , HCl , HF , hydrocarbons, etc.), Liquids (rain, snow, clouds, fogs, dew) and as solid aerosols (soot, metals, salts, acids, organics, minerals). Different materials have different and specific affinities and sensitivities to all these potentially damaging atmospheric species. Different pollutants have different degradation potential and this potential can be specific for different materials. However, atmospheric chemical pollutants are exposed to materials in mixtures rather than individually. Their effects on materials are synergistic. Because degradation is a chemical process, it is subject to the usual chemical complexities of catalysis, inhibition, favored reaction paths, the presence of light, and the differences in the behavior of competing reactions at different temperatures.

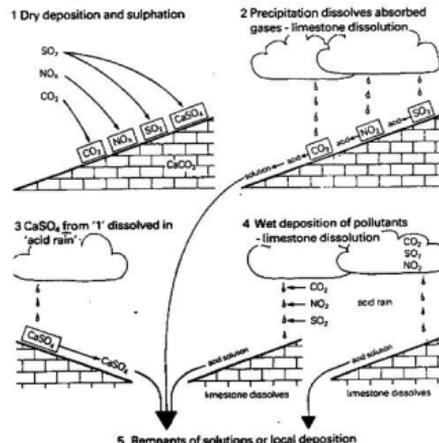
STONE DEGRADATION

The varieties of stones most often used for buildings, and sculptures are marble, limestone, sandstone, granite, and slate. The first two are almost entirely calcium carbonate. Silicate rocks are far more resistant to degradation than are carbonate rocks. Nearly all studies of stone deterioration concern carbonate rocks. Water and moisture play substantial role in all physical, chemical and biological processes responsible for deterioration of buildings materials. The dominant role is played by chemical air pollutants. The detrimental effect of these pollutants has been observed in the environment and from laboratory experiments. Microflora (green

algae and fungi) as well as bacteria (e.g. nitrobacteria), transported to the building surfaces e.g. by soil particulates, find a suitable environment and good living conditions both on the material surfaces and inside the corroded material. They from thin slime film, absorb moisture and various chemical pollutants. Nitrobacteria can oxidize NH_3 and NH_4^+ by producing NO_2^- . Some of them can transform NO_2^- into NO_3^- . NH_3 , NH_4^+ , as well as NH_4^+ and CO_2 are the only necessary nutrients. NO_2^- can further catalyze the SO_3^- to SO_4^- oxidation. Nitrobacteria have been found in high amounts in corroded building surfaces (3). Their function on stone surfaces was also confirmed by laboratory investigations. The influence of chemical pollutants onto stone surfaces is schematically shown in the Figure 1.

(See also 16).

Fig. 1. Schematic picture showing the influence of a cida rain and gaseous air pollutants (4).



DETERIORATION BY AEROSOLS

The whole weathering process is very complex. The most important chemical reactions are the conversion of gaseous air pollutants of SO_2 and NO_x into acids and the production of soluble sulfates, mainly gypsum. Gypsum with incorporated soot and fly ash particles (Fig.2) produce the "black" porous crust on the surface of buildings and monuments.

Rain and acid precipitation dissolve this CaSO_4 crust and the originally "black" places change into "white" ones with some material release. The role of organic aerosols in the corrosion of stone and building materials is unclear. All other components of anthropogenic atmospheric aerosols (NH_4^+ , sulfates, nitrates, soot and trace metals) play an important role in the synergistic, chemical degradation. There are many observations and preliminary measurements showing that significant amounts of atmospheric aerosol pollutants are deposited on building facades. They were summarized elsewhere (4). The estimated deposition rates in urban and industrial atmospheres lies in

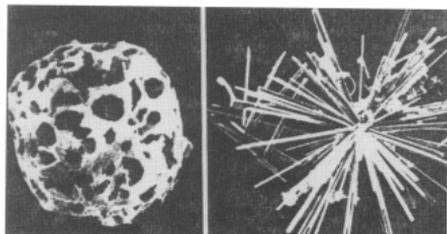


Fig. 2. SEM pictures of an ash particle (left) and fibrous gypsum crystals sampled on a "black" stone crust (4).

the range of 1 to 10 mg/m² (ca. 10 to 100 g/m² .y) for the total aerosol. Highly dispersed aerosols of sulfates, nitrates, chlorides, fluorides, etc. can react in the presence of water with the stone material, e.g. with CaCO₃ and MgCO₃. The slightly soluble calcium and magnesium carbonates are transformed into more soluble calcium and magnesium nitrates, chlorides, fluorides, etc. The salts are then dissolved and transported from the corroded surfaces by rain water. As mentioned urban stone is damaged primarily by the process of sulphation. Airborne SO₂ interacts with wet stone, for the most part calcite (CaCO₃), to form gypsum (CaSO₄·2 H₂O). The resulting mixture of calcite and gypsum crystals forms a surface crust which slowly consumes the stone. Different studies in Italy, USA and Germany, already reviewed (4) showed that soot and fly ash particles deposited on the solid surfaces accelerate the SO₂ oxidation.

Carbonaceous Aerosols

Large amounts of carbonaceous particles can be incorporated in gypsum rods on corroded stone facades. In laboratory experiments a piece of marble with fly ash on its surface, was placed in an enclosed chamber. After exposure for 36 hrs to 100 ppm of SO₂ at high humidities, fibrous gypsum crystals formed on the marble surface. A control experiment run under the same conditions but without fly ash, showed only minute amounts of gypsum formed (5). The hypothesis that soot and fly ash particles play an important role in stone sulphation in urban areas is in agreement with the experimental findings of the Lawrence Laboratory in Berkeley (6). These demonstrate that, in liquid water, carbonaceous particles act as an efficient catalyst for SO₂ oxidation to sulphate. This oxidation is essentially independent of the pH for the entire pH range encountered in urban atmospheres. Evidence for this hypothesis are observations from Venice. Before 1950 very little stone decay was observed in this city. After 1950s, the use of oil as a fuel for domestic heating increased rapidly. There was no corresponding increase in the discharge of SO₂ as a consequence of this; the only significant change was the other combustion products, mainly a considerable increase in the concentration of black carbonaceous particles in the atmosphere.

EVALUATION OF THE DEGRADATION STATE

In addition to subjective observations and photographs, porosity measurements for stone and other building materials are useful for the evaluation of the state of corrosion and weathering. Mercury porosimetry of small stone and material samples provides useful information about the changing pore size distribution. An increase in stone porosity as well as an increase in the proportion of coarse pores (pores with diameter greater than 6 μm) are characteristic for the deteriorated state of stone and building materials. Small stone or material probes can be sampled by careful scraping and boring of surfaces. These samples can be then investigated and characterized by mineralogical, microscopical and chemical methods (7-10). A "wash-

out-method" can be used for sampling of corroded material from surfaces (11). Deionized water is sprayed three consecutive times during two minutes at a rate of 300 ml/min onto a surface of 1300 cm².

Optical and Electron Microscopy

Optical microscopes (OM) with photographic, dispersive staining and polarization capabilities can be successfully used for microscopical and mineralogical examination of thin cross sections of material probes from surfaces. Using electron microscopy additional valuable information about the corroded and weathered stone and building material surfaces can be obtained. Scanning electron microscope (SEM) with an energy-dispersive x ray microanalyzer (EDXA) are necessary instruments for surface and cross section characterization. Not only the microstructural morphology of the physically and chemically changed materials, but also microfloral and bacterial species can be observed and characterized by means of this method (4). For very sensitive analysis and identifications, the analytical transmission electron microscope (ATEM) is the best method of choice.

CHARACTERIZATION OF SINGLE PARTICLES

The advantages and importance of physical methods for analysis and identification of individual airborne particles have been described in detail in a monography (12). We have developed and tested a conservative method for obtaining particulate samples from corroded and weathered surfaces of buildings and monuments (4). In this method particulate materials released from corroded surfaces by simulated wind are gathered on analytical filters. The sampled material, which reflect the chemistry of the corrosion state, is then identified and analyzed with different methods: SEM, ATEM, EDXA, SAED, LAM MA, XFS, PIXE, IC, HPLC, etc. (12).

Sampling and Analysis

A specially designed sampler, developed initially for measuring mineral fiber emissions from weathered surfaces of asbestos cement products (13), has been proven to be very useful for investigation of corroded stones and other building materials "in situ". The principle and function of this sampler is shown in Figures 3 and 4. The sampling chamber is placed on the material surface. Ambient air is drawn through a filter (F) into the chamber. The clean air (L) flows through the small slot (S) over a corroded and weathered wall (AZ). The flow velocities of the simulated wind in the slot are between 1 to 6 m/sec. The sampling time can be 1 to 2 hours.

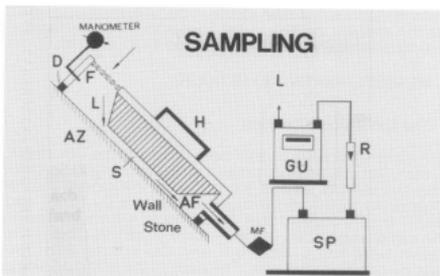


Fig. 3. Schematic picture of the sampling equipment for the evaluation of corroded and weathered material surfaces (13).

Particulates released from the corroded surface are then separated on an analytical filter(MF). Filters are used for microscopical and chemical evaluations. Samples on Nuclepore filters(NPF) are used for SEM and ATEM evaluations as well as for LAMMA(Laser-Microprobe Mass Analysis)-see also Figures 5 and 6.

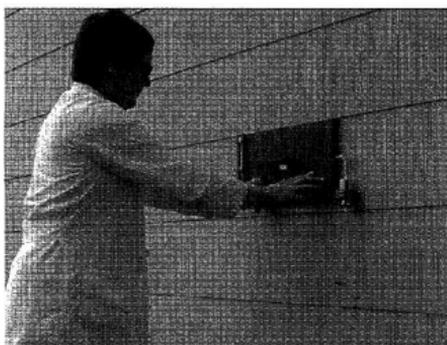


Fig. 4. Particulate sampling on a corroded wall.

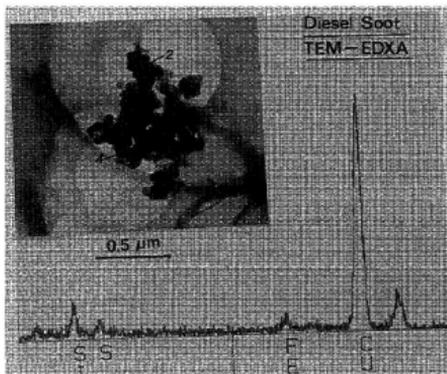


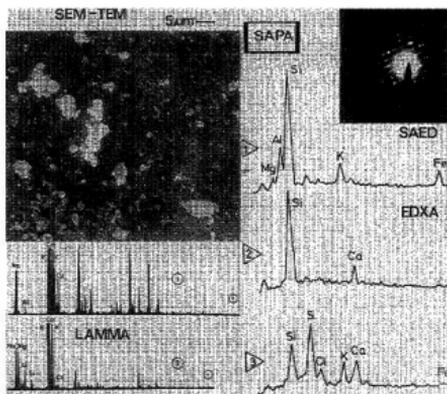
Fig. 5. Example of a ATEM-analysis of agglomerated Diesel-soot particles (Containing Si,S,Fe).

Samples on Millipore filters (MF) can be used for mass determination of the total sampled particles(bulk ana lysis), for the analysis by XFS (x-ray fluorescence spectroscopy) and for chemical determination of ions by IC and HPLC.

MEASUREMENTS AND RESULTS

The Cathedral of Cologne

Preliminary measurements were done with the described sampling and analysis procedure in Germany(4).Samples from the outside walls of the cathedral in Cologne (Köln Dom)were taken and evaluated.Analysis by EDXA and SAED (Fig.7) showed that 18 elements were identified in the sampled particles. In the majority of particles 2 to 5 elements were found. Si,S,Fe,K and Ca were the most frequently occurring elements. The sizes of the analyzed single particles lay in the range between 0.01 and 1.0 µm. The majority of single particles seemed to be silicates, containing very often Ca, S and metals in addition.



6. Examples of single particle analysis by LAMMA, SAED and EDXA.

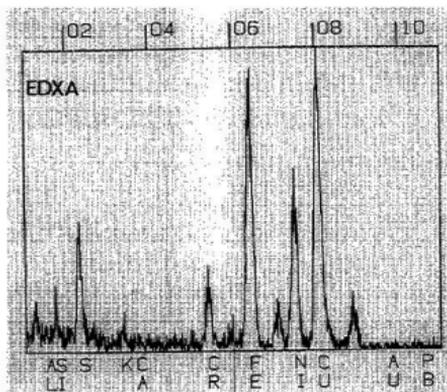


Fig. 7 a. Example of element spectrum of one mineral particle (Köln Dom) (4).

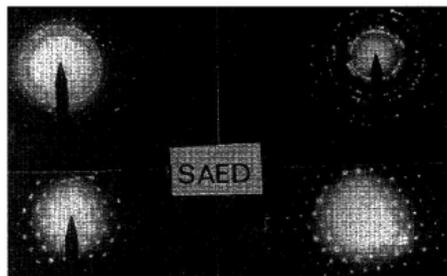


Fig. 7 b.Four examples of selected area diffraction patterns on single mineral particles.

Similar picture showed the analysis of mineral particles by LAMMA (Fig.8). Some LAMMA spectra contained carbonaceous particles. This was in good agreement with already published results(14,15). See also Figure 9.

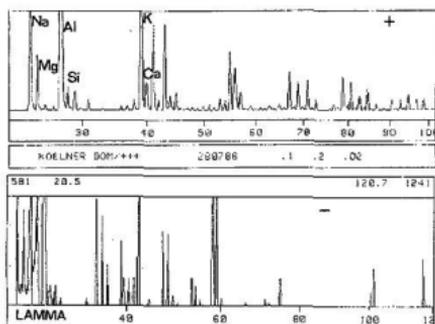


Fig. 8 .An example of single particle composition by LAMMA (Kölnler Dom).

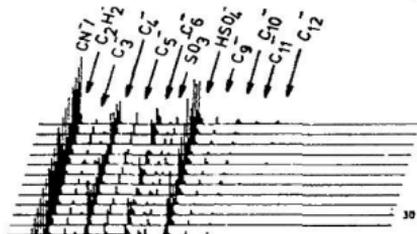


Fig. 9 a. Atmospheric particulate pollutants analyzed by LAMMA (14) and containing soot

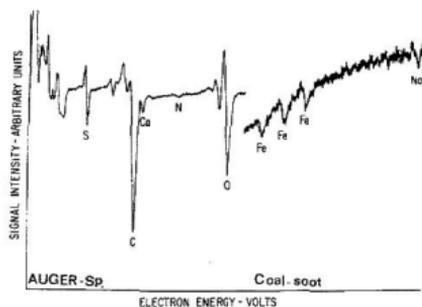


Fig. 9 b . Example of an Auger spectrum for element analysis of a soot particle. It contains carbon, sulfur and catalytic active metals(15).

It could be concluded that the sampled particles (Kölnler Dom) consist of silicates and carbonates, released from the stone material, of sulfates, nitrates and chlorides representing the "weathering products" and elements deposited as air pollutants on the building surface (metals, carbonaceous

particles, etc.). The proposed and tested sampling and analysis procedure seems to be promising.

REFERENCES

1. Graedel, T.E. and McGill, R., Degradation of materials in the atmosphere. *Environ. Sci. Technol.* 20, 1986, pp 1093-1100.
2. Jörg, F., Schmitt, D. and Ziegahn, K.F., Materialschäden durch Luftverunreinigungen. *Forschungsbericht UBA 85 106 08 010*, 1985, 100 pp.
3. Lübbert, E.(Ed.), *Building Conservation and Protection of Monuments. Bautenschutz und Bausanierung (Building protection and sanitation) Zschr. Bauminstandhaltung und Denkmalschutz*, 1986, pp. 1-82.
4. Spurnby, K.R., Marfels, H. und Schörmann, J., Atmosphärische, anthropogene Aerosole und Bauschäden. *Bautenschutz und Bausanierung*, 11, 1988, pp. 150-156.
5. Cheng, J.R., Hwu, J.R., Kim, J.T. and Leu, S.M., Deterioration of marble structures. *Anal. Chem.*, 59, 1987, pp. 59-61.
6. Chang, S.G., Brodzinski, R., Toossi, R., Markowitz, S.S. and Novakov, T., Catalytic oxidation of SO₂ on carbon suspensions. *Conference on Carbonaceous Particles in the Atmosphere. Lawrence Berkeley Laboratory*, 1978.
7. Cheng, R.J. and Castillo, R., A study of marble deterioration at city hall. *J. Air Poll. Control Assoc.* 34, 1984, pp. 15-19.
8. Baer, D.R., Solving corrosion problems with surface analysis. *Appl. Surface Sci.* 19, 1984, pp. 382-396.
9. Van Craen, M. and Adams, F., Study of corrosion using laser microprobe mass analysis. *Int. Laboratory*, 1984, pp. 12-22.
10. Grasserbauer, M. Distribution analysis in material research. *Fresenius Z. Anal. Chem.* 322, 1985, pp. 105-123.
11. Leysen, L.A., De Waele, J.K., Roekens, E.J. and R.E. Van Grieken, Electronprobe micro-analysis and laser microprobe mass analysis of material leached from a limestone cathedral. *J. Scan. Electron. Microsc.*, 1987, pp. 1243-1251.
12. Spurny, K.R. (Ed.), *Physical and Chemical Characterization of Individual Airborne Particles*. Ellis Horwood Publishers, Chichester, England, 1986, 418 pp.
13. Spurny, K., Mönig, F.J. and Hochrainer, D., Zur Messung von Schadstoffemissionen aus Oberflächenquellen. *Staub-Reinheit Luft*, 45, 1985, pp. 328-330.
14. Wieser, P., Schreiber, H. and Greiner, W., Composition of air particulate material originated from chemical conversion of SO₂ and NO_x. *PEF-Colloquium, Karlsruhe*, 1987, pp. 381-396.
15. Cheng, R.J., Mohnen, V.A., Current, M. and Hudson, J.B., Characterization of particulates from power plants. *J. Air Poll. Control Assoc.* 26, 1976, pp. 787-790.
16. Jaynes, S.M. and Cooke, R.U., Stone weathering in Southern England. *Atm. Environment*, 21(7), 1987, pp. 1601-1622.

APROXIMACION A LA FISICO-QUIMICA DE LA ALTERACION DE LOS MATERIALES PETREOS DE LA CATEDRAL DE TOLEDO.

La Iglesia, A.(*), García del Cura, M.A.(*) y Ordóñez, S.(**)

(*) Inst. de Geología Económica. C.S.I.C.

(**) Facultad de Ciencias Geológicas. U.C.M.

RESUMEN:

Se estudia el comportamiento frente a la alteración de los materiales pétreos empleados en la construcción de la Catedral de Toledo (granitos y rocas carbonáticas), determinando la distribución de la porosidad y su relación con la fábrica de las rocas de los materiales alterados y la composición química de las costras que los recubren, estableciendo el orden de cristalización de las sales solubles. Se han calculado también las presiones de cristalización que estas sales pueden desarrollar en el interior de los poros de los materiales. El mineral que origina mayor presión de cristalización es el yeso, seguido de la anhidrita, mirabilite, epsomite, bloedite thenardite y kieserite.

SUMMARY:

Physical and chemical response to weathering is evaluated from building stones (granites and carbonate rocks) of the Toledo Cathedral. For this purpose several aspects have been studied in detail: distribution of porosity and its relation to the fabric within the weathered material, chemical composition of weathering-related surficial crusts, and ordering of crystallization of the soluble salts derived from the weathering processes. In addition, the study makes some emphasis on calculation of the crystallization pressures of these salts within the porous material resulting of weathering. Highest pressures are due to gypsum crystallization and in, decreasing ordering, to anhydrite, mirabilite, epsomite, bloedite, thenardite and kieserite.

KEYWORDS: Cathedral of Toledo, weathering, porosity, salts crystallization pressures.

1. INTRODUCCION.

Dos tipos de materiales naturales predominan en la Catedral de Toledo: las rocas carbonáticas (calizas s.l.) y las rocas graníticas. También se han utilizado otras rocas como pizarras para techado y mármoles para decoración de interiores, Lopez de Azcona et al. (1991).

Las rocas carbonáticas son fundamentalmente de tres tipos:

- Calizas margo-arenosas ("Calizas de Olhuela"). Son las rocas carbonáticas que primero se utilizaron y las más alteradas, posiblemente por su contenido en arcilla. Es un tipo petroológico heterogéneo debido a la variabilidad de tamaño y porcentaje de los componentes detríticos. Gran parte de este material ha sido sustituido en sucesivas restauraciones, por lo que actualmente está poco representado en exteriores.

- Dolomías: dolomicitras, más o menos dedolomitizadas, por lo que podemos encontrar desde sillares de dolomicitra y dolomía microcristalina, hasta sillares de microcristalina procedentes de dedolomitación de la misma formación geológica (fundamentalmente "dolomías del Cerro de la Rosa"). La variabilidad composicional que presenta este tipo de roca va acompañada también de una gran variabilidad en su permeabilidad y demás características físicas.

- Calizas fosilíferas: biomicrita de charáceas, correspondiente a una unidad geológica muy conocida y utilizada en

esculturas y construcciones monumentales del Centro de España: "la Caliza de Colmenar". Esta roca, de interesantes propiedades físicas y baja alterabilidad (Dapena, García del Cura y Ordóñez (1988) ha sido utilizada en la Catedral de Toledo fundamentalmente en decoración de exteriores: estatuas, balaustradas...

Las rocas graníticas presentes, todas ellas conteniendo cordierita, son básicamente de dos tipos:

- Granodioritas (monzogranitos) de grano grueso y textura porfídica, ricas en biotita más o menos alterada. roca granítica posiblemente extraída del Barranco de la Degollada.

- Monzogranito de textura homogénea con predominio de grano medio ("granito de San Pablo de los Montes").

En las últimas restauraciones se ha utilizado granito de grano fino procedente de Ventas con Peña Aguilera.

2.OBJETIVOS.

El objetivo de este trabajo es la modelización del comportamiento frente a las aguas meteóricas de los materiales pétreos, que se han usado en la construcción de la Catedral. El trabajo se ha centrado fundamentalmente en las Dolomías del Cerro de la Rosa y las rocas granodioríticas del Barranco de la Degollada. Se ha excluido explícitamente de este estudio el comportamiento de dichos materiales pétreos frente a la acción de las aguas capilares, en la parte basal de los muros del edificio.

3.METODOLOGIA.

Para abordar el problema se ha realizado un estudio petrográfico de muestras de material tipo, definiendo el estado de **alteración de los minerales**, así como las características petrográficas, que pudieran tener importancia sobre el proceso de alteración, en especial la morfología y distribución de la porosidad que ha sido estudiada mediante microscopía de fluorescencia sobre muestras convenientemente impregnadas. En las mismas muestras estudiadas petrográficamente, se determinaron la distribución del tamaño y volumen de poros, mediante el porosímetro de mercurio...

Las costras y pátinas de las rocas se han caracterizado mediante una técnica **no destructiva**, consistente en el **lixiviado** de las mismas mediante lavados repetidos con agua destilada. El lixivado nos pareció la técnica mejor, ya que por una parte no es una técnica destructiva y por otra parte las fases minerales de las costras, que pudieran tener una mayor importancia respecto del proceso de alteración, son aquellas que presentan una mayor velocidad de disolución. La solución obtenida mediante la técnica descrita, fue **filtrada** separándose una fracción sólida que se estudió por DRX, y una solución que fue analizada químicamente.

Se recogieron asimismo **aguas de lluvia**, que fueron analizadas de modo análogo, y que constituyen el "blanco" para modelizar la contribución del material pétreo a la formación de las fases en solución y las correspondientes fases sólidas.

4. DATOS OBTENIDOS.

a) Datos petrográficos.

El estudio por microscopía de fluorescencia de las secciones delgadas impregnadas con resina a la que se había añadido fluorescencia mostró el carácter no efectivo de la porosidad de la Caliza de Colmenar (poros aislados intrapartícula; relleno de tallos y ogonios de charáceas), la variabilidad de la porosidad en las rocas del Cerro de la Rosa (predominio de la porosidad de hueco, acompañada de abundante porosidad intercrystalina, relacionadas ambas con los cambios composicionales sufridos secundariamente por la roca) y la intensa porosidad intercrystalina existente en las rocas graníticas, cuyos cristales constituyentes presentaban una superficie de discontinuidad que puede explicar la alta permeabilidad y alterabilidad de este tipo de rocas (fig. 1).



Fig. 1.- Fotografía obtenida con el microscopio de fluorescencia de una muestra granítica donde puede verse una alta porosidad relacionada con las superficies intercrystalinas.

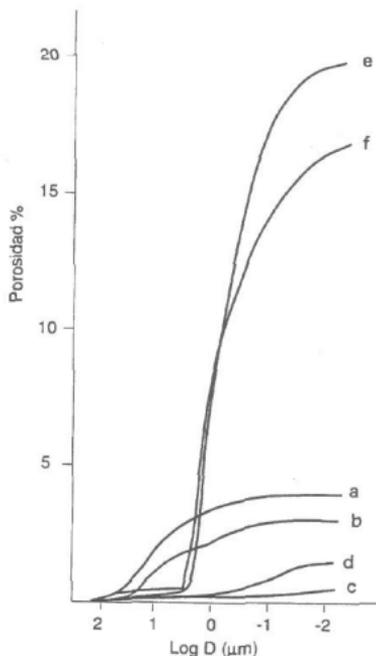


Fig. 2.- Curvas de distribución de la porosidad en función del tamaño de poro. a) Granito grano fino alterado (Pináculo dfe. la Torre); b) Granito grano grueso alterado (Balastrada); c) Granito grano fino fresco (Barranco de la Degollada); d) Granito grano grueso fresco (Cantera Ventas con Peña Aguilera); e) Dolomicitra alterada; tipo Cerro de la Rosa (Sillar); Dolomicitra fresca (Cerro de la Rosa).

	1	2	3	5	6	7	8	A	B
Na	0.13	0.21	0.39	<.02	0.09	0.70	3.1	<.02	0.04
K	0.03	0.13	0.10	<.01	0.10	0.33	0.38	<.01	0.03
Ca	0.50	2.30	13.0	0.35	2.89	10.1	1.45	0.25	0.10
Mg	0.16	.33	1.57	0.17	0.25	2.15	0.66	0.04	0.08
NH ₄	0.16	0.29	0.23	0.26	0.19	1.17	0.39	0.07	0.07
NO ₃	ind.	ind.	ind.	ind.	ind.	ind.	0.02	n.d.	ind.
SiO ₂	.08	.04	0.02	.01	0.02	0.09	1.22	0.01	.005
SO ₄	.65	2.54	12.58	0.23	2.92	10.83	2.23	0.10	0.08
Cl	.03	0.20	1.01	.06	0.11	0.65	1.27	0.06	0.06
NO ₂	.03	0.03	1.10	0.10	0.19	0.97	0.15	0.05	0.03
CO ₂	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
HCO ₃	0.16	.33	0.31	0.13	0.15	0.90	1.72	0.10	0.07
PO ₄	.003	.004	.004	.009	.004	.03	.04	.002	.04
pH	6.8	6.5	6.4	6.5	6.4	6.6	7.7	7.1	7.7
S/cm	92	361	1476	69	378	1276	573	45	33

Tabla 1. Análisis químico de las aguas de lixiviado y lluvia (para la caracterización del material lixiviado ver texto).

que pueden tener mayor importancia para el cálculo de las presiones de cristalización son: yeso, bloedita, epsomita, kieserita, mirabilita, thenardita.

b) Cálculo de las presiones de cristalización.

El problema teórico de la presión de cristalización de sales en medios porosos fue estudiado por Fittzer y Shethlage (1982), por analogía con la termodinámica de congelación de disoluciones en medios porosos, desarrollada por Everest (1961). Según estos autores los cristales de las fases salinas crecen preferencialmente en los grandes poros, mientras que en los pequeños poros las soluciones se encuentran subsaturadas en las fases salinas. Cuando la cristalización de las fases salinas en los poros grandes cesa, por relleno del espacio físico, la cristalización puede continuar en los poros pequeños conectados.

Cuando las fases minerales precipitan en el seno de un poro la presión de cristalización se puede expresar, de

$$p = 2\sigma \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) \quad (1)$$

acuerdo con Fittzer y Shethlage (1982), como:

donde p , es la **presión de cristalización**, σ , es la **tensión interfacial sal-solución iónica**, r y R , son los **radios del poro** considerado y el de mayor tamaño

considerado.

Siguiendo el método empleado por Rossi y Tucci (1989), hemos estimado las presiones de cristalización que pueden desarrollarse en los materiales pétreos en estudio. Para ello se han considerado cinco intervalos o clases de poros en función de su radio expresado en μm : clase I, $r < 0.01$; clase II, $0.01 < r < 0.1$; clase III, $0.1 < r < 1$; clase IV, $1 < r < 10$; clase V, $10 < r < 100$, tabla 3. Como centros de las clases de la distribución se han considerado respectivamente los valores, 0.003, 0.03, 0.32, 3.16 y 31.6 μm . A partir de la curva de distribución de porosidades en función del tamaño, se puede estimar el % de poros correspondientes a cada clase o intervalo.

Para calcular la **presión de cristalización** en los poros de las clases definidas, se ha tomado como valor de R de la ecuación (1), radio del poro de mayor tamaño, el valor correspondiente al centro de la clase V, es decir 31,6 μm , pudiendo calcular los incrementos de presión necesarios para la cristalización en los restantes poros usando los radios del centro de las clases. Para el yeso, $\sigma = 80$ dyn/cm, obtenemos unas presiones de cristalización de 5.333, 533, 49 y 4.5 N/cm^2 , respectivamente para los poros de la clase I a V.

Para calcular la presión efectiva que soportará el material, se relacionan el tanto por ciento de poros en volumen de los pequeños poros, V_p , con el tanto por ciento en volumen de los poros grandes V_g . Las relaciones V_r/VR , se presentan en las filas, de la tabla 4, que llevan en su denominación el subíndice C. El producto del cociente V_r/VR ,

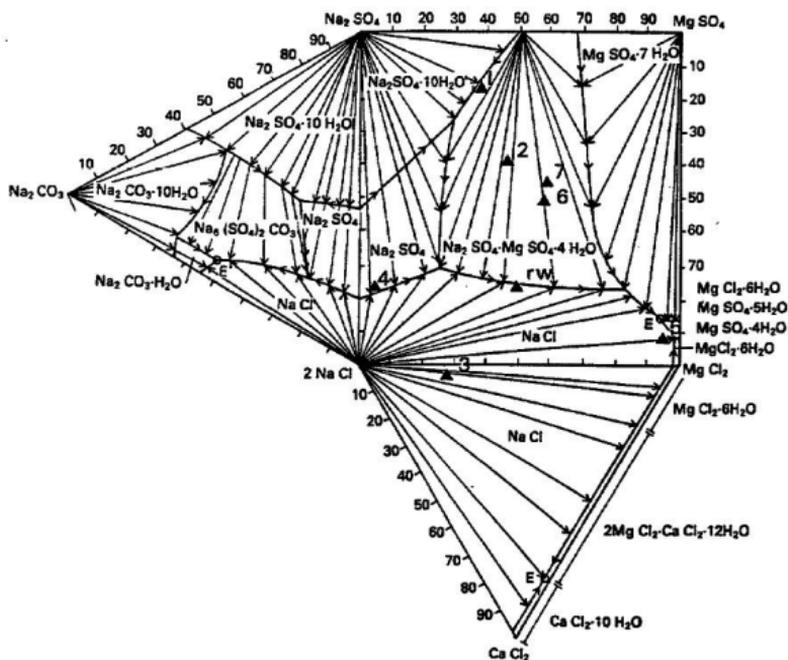


Fig. 3.- Representación de los datos hidroquímicos de las aguas de lixiviado en un diagrama de Valyashko (los puntos 1 a 7 están referenciados en la Tabla 1, y el punto rw, corresponde al agua de lluvia).

	a	b	c	d	e	f
p (%v)	4.08	3.27	0.55	1.56	19.75	16.70
I _A	1	1	2	2	1	2
I _B	0.04	0.03	0.01	0.03	0.20	0.33
II _A	4	11	32	38	16	16
II _B	0.16	0.36	0.18	0.59	3.16	2.67
III _A	22	27	25	34	67	66
III _B	0.9	0.88	0.14	0.53	13.24	11.02
IV _A	49	44	10	12	12	12
IV _B	2.00	1.44	0.06	0.19	2.37	2.00
V _A	24	17	31	14	4	4
V _B	0.98	0.56	0.17	0.22	0.79	0.67

Tabla 3. Distribución del volumen de poros en los diferentes intervalos de tamaño (I a V: ver párrafo anterior, a-f ver pie de fig. 2). Filas con subíndice A: % porosidad total. Filas con subíndice B: volumen de poros en %.

	a	b	c	d	e	f
I _c	0.04	0.05	0.06	0.14	0.25	0.49
I _D	213	267	320	747	1333	2613
II _c	0.16	0.64	1.06	2.68	4.00	4.00
II _D	85	341	565	1428	2132	2132
III _c	0.92	1.57	0.82	2.41	16.76	16.50
III _D	45	78	40	118	821	808
IV _c	2.04	2.58	0.35	0.86	4.26	2.99
IV _D	9	12	2	4	19	13
P. tot. N/cm ²	353	698	927	2197	4305	5566

Tabla 4. Presión de cristalización en la formación de yeso a 25°C (ver explicación en el texto).

por la presión de cada clase permite obtener el valor de la presión efectiva, filas con subíndice D, tabla 4, que soportará el material. El sumatorio de la presión efectiva para cada clase dará la presión efectiva que soportará el material.

El valor de σ , **tensión interfacial cristal solución iónica**, se puede estimar de acuerdo con Söhnel (1982), mediante la ecuación empírica:

$$\sigma = -20 \log C_{eq} + 32 \quad (2)$$

en la que C_{eq} es la solubilidad del compuesto iónico considerado en el equilibrio, valor que se puede estimar a partir del producto de solubilidad del compuesto iónico.

Usando la ecuación (2), se han calculado las tensiones interfaciales, σ , de las distintas sales, cuya presencia se ha estimado a partir de las secuencias de precipitación obtenidas partiendo de los datos hidroquímicos de los lixiviados estudiados: yeso, bloedita, epsomita, kieserita, mirabilita y thenardita. Para el cálculo de la C_{eq} de estas fases se han realizado a partir de las constantes de equilibrio estimadas por Risacher y Fritz (1984). Los valores calculados de σ , de las fases consideradas, para las temperaturas, de 0, 25 y 50°C, se han recogido en la tabla 5.

La utilización de los valores obtenidos, permite el cálculo de la presión de cristalización, usando la ecuación (1).

TEMPERATURA °C	0	25	50
YESO	79	78	79
ANHIDRITA	74	76	79
BLOEDITA	45	44	47
EPSOMITA	52	51	51
KIESERITA	25	33	41
MIRABILITA	58	54	34
THENARDITA	35	35	36

Tabla 5. Valor de la presión interfacial solución iónica para diferentes fases salinas y temperaturas.

El análisis de los resultados de la tabla 5 muestra, de modo concluyente, que el mineral que desarrolla mayores presiones de cristalización es el yeso (con valores de $\sigma > 75 \text{ dyn/cm}^2$), seguido de anhidrita, mirabilita, epsomita, bloedita, thenardita y kieserita; este último mineral con valores de $\sigma < 60 \text{ dyn/cm}^2$.

En el intervalo de temperatura considerado, la tensión interfacial de las fases minerales consideradas, es prácticamente constante, en consecuencia el factor temperatura influye poco sobre las presiones de cristalización. Sin embargo sí tiene influencia sobre el grado de saturación de la solución, que puede ser usado en la estimación de la presión de cristalización, Winkler (1973) y sobre el equilibrio entre las fases equivalentes de diferentes grados de hidratación. Otro aspecto, en relación con la temperatura, que naturalmente no se considera aquí, es que la temperatura influye sobre los procesos de dilatación diferencial de las fases minerales de las rocas y de sus productos de alteración, que pueden dar lugar a procesos de rotura por fatiga del material, y que no entran dentro de las consideraciones físico-químicas, objeto de este trabajo.

Una variable que puede ser importante, en la cristalización de fases minerales y más tratándose de fases minerales hidratadas es la $a_{\text{H}_2\text{O}}$, ya que de acuerdo con Tardy y Nahon (1985), este parámetro puede ser expresado en función del radio del poro r , expresado en μm :

$$\log a_{\text{H}_2\text{O}} = 9.21 \cdot 10^{-4} / (2r) \quad (3)$$

Por lo que se puede justificar la influencia del tamaño del poro sobre el grado de saturación en fases hidratadas. Aplicando esta ecuación se obtiene que para p.e. $r = 0.03 \mu\text{m}$, la $a_{\text{H}_2\text{O}}$ toma valores del orden de 0.93, sin embargo para valores de $r = 0.003$, la $a_{\text{H}_2\text{O}}$, toma valores de 0.49. Este fuerte descenso de la $a_{\text{H}_2\text{O}}$, puede condicionar la aparición de fases anhidras, con preferencia a sus equivalentes hidratadas, y por lo tanto una sobresaturación del sistema en las fases anhidras en los poros pequeños, mientras que en los poros mayores el sistema permanece subsaturado o bajo unas mismas condiciones de la solución pueden aparecer las fases hidratadas equivalentes. Así p.e. para el equilibrio yeso-anhidrita, la K , constante de equilibrio para el proceso, se puede expresar como:

$$K_{\text{yeso}} = a_{\text{H}_2\text{O}}^2 \quad (4)$$

Por lo tanto en cualquier medio donde la actividad de agua disminuya, el equilibrio tenderá a desplazarse hacia la formación de anhidrita y viceversa. Por lo que en los pequeños poros podrán formarse fases anhidras, y simultáneamente en los poros grandes se desarrollarán fases hidratadas, produciéndose infinidad de situaciones metaestables, que van a determinar la aparición de tensiones añadidas en el material considerado. Este aspecto, será tanto más notable en cuanto que las fases hidratadas presentan valores de σ superiores a sus equivalentes de menor hidratación o anhidras.

Este trabajo ha sido realizado dentro del Proyecto "Investigación científica y tecnológica de la degradación de los materiales pétreos de construcción de la Catedral de Toledo", PAT-89-0767-C04-03. Agradecemos a los Drs. Mingarro y López de Azcona la realización del muestreo, tanto de aguas como de rocas.

6. REFERENCIAS

- DAPENA, E., GARCIA DEL CURA, M.A. Y ORDOÑEZ, S. (1988). Study of limestone rock used in the construction of palaces in Madrid during 18th and 19th centuries. In: *Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites*. Marinós & Koukís (eds), pag. 683-690.
- EVERET, D.H. (1961) The Thermodynamics of Frost Damage to Porous Solids. *Trans. Faraday Soc.*, 57, 1541-1551.
- FITZNER, B und SNETHLAGE, R. (1982) Ueber Zusammenhänge zwischen salzkristallisations druck und Porenradienverteilung. *G.P. New Letter*, 3, 13-24.
- LOPEZ DE AZCONA, M.C., MINAGRO, F., GARCIA DEL CURA, M.A. ORDOÑEZ, S., CALVO J.P., FORT, R., BUSTILLO, M., PEINADO, M. y ALONSO ZARZA, A.M. (1991) Degradation of building materials of the Toledo Cathedral (Spain). In: *Science, Technology and European Cultural Heritage*. Baer, Sabbioni & Sors (eds), Published for the Commission of European Communities. 925-929.
- ORDOÑEZ, S. (1984). Las salmueras. *Investigación y Ciencia*, 88, 18-28.
- ROSSI-MANARESI, R. & TUCCI, A. (1989) Pore structure and salt crystallization: "salt decay" of Agrigento bioalcal-

renite and "case hardening" in sandstone. Proc. 1st. Int. Symposium Bari "The conservation of monuments in the Mediterranean Basin", 97-100 p.

SOHNEE, O. (1982) Electrolyte crystal-aqueous solution interfacial tensions from crystallization data. Jour. Crystal Growth 57, 101-108.

TARDY, Y. & NAHON, D. (1985) Geochemistry of laterites, stability of Al-goethite, Al-hematite, and Fe³⁺-kaolinite in bauxites and ferricretes: an approach to the mechanism of concretion formation. Am. Jour. Science, 289, 865-903.

WINKLER, E.M. (1973) Stone: properties Durability and Man's Environment. Springer Verlag, New York.

RESISTENCIA A LA PENETRACION DE CLORUROS EN CAMARAS DE NIEBLA SALINA DE MORTEROS DE REPARACION EN BASE DE CEMENTO PORTLAND.

A.A. Nepomuceno (*) y Carmen Andrade

Inst. C.C. Eduardo Torroja - Madrid - España. (*) Dep. Engenharia Civil - Univ. Brasilia - Brasil.

RESUMEN

No existe todavía normativa de ensayos para la evaluación de los morteros de reparación frente a la penetración de los iones cloruros. En este trabajo es presentado un estudio comparativo del comportamiento de algunos de ellos a base de cemento portland en ambiente agresivo de cámara de niebla salina a 35-45° C, utilizando la técnica de Resistencia de polarización (Rp).

SUMMARY

A comparative study of the time to depassivation of steel bars embedded on several cement based repair mortars, is made using a traditional salt spray chamber. Polarization Resistance technique is used to monitor corrosion intensity of the bars employed as "sensors". A classification of the resistance to chloride ingress is offered and the advantages of this methodology are commented.

Key words (palabras clave): corrosion, chlorides, repair mortars, Polarization Resistance.

INTRODUCCION

La corrosión de las armaduras de estructuras de hormigón armado debido a los cloruros puede ser provocada por la penetración de las sales que se usan para evitar la formación de hielo o a la difusión de estos iones en ambientes marinos.

El ataque localizado provocado en las armaduras por los iones cloruros pueden reducir significativamente la vida útil de las estructuras (13) y para rehabilitarlas es necesario utilizar materiales que sean capaces de garantizar, tanto la estabilidad a través de sus adecuadas capacidades mecánicas, como la protección contra los agentes agresivos: los iones cloruro, oxígeno y agua.

Para estas reparaciones, con responsabilidades estructurales o no, se utiliza el hormigón o morteros ya preparados, listos para aplicar, disponibles comercialmente. Estos morteros suelen ser a base de cemento portland modificados o no (a veces modificados por resinas) o simplemente a base de resinas poliméricas (sin otro tipo de aglomerante), con el objetivo de modificar algunas propiedades, tales como: adherencia, retracción, resistencias mecánicas, la impermeabilidad, etc (3) (6) (9).

La difusión del ión cloruro en el hormigón, que teóricamente obedece a la 2ª Ley de Fick (13), es muy compleja y depende de una serie de factores: tipo y concentración de las sales, tipo de cemento, relación agua/cemento, volumen y tipo de poros, tipo y cantidad de árido, tipo y duración del curado, etc. (2) (8) (13).

La aplicación de esta ley a estos tipos de mortero supone el ensayo de estos materiales en probetas de gran tamaño y su almacenamiento en condiciones que simulen las naturales, lo que lleva a períodos de ensayo muy largo y, por lo tanto, poco prácticos.

En el presente trabajo se presentan los resultados de un ensayo acelerado en el que, en lugar de calcular los coeficientes de difusión, se compara con un mortero patrón el tiempo que tardan los cloruros en despasivar barras de

acero embebidas en los morteros. Esta despasivación y la posterior corrosión, se controla mediante la Resistencia de Polarización (Rp). Como método acelerado de hacer penetrar los cloruros se ha elegido la cámara de niebla salina, por simular determinados ambientes marinos.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se prepararon dos probetas idénticas de cada material elegido, de 2x5, 5x8 cm con dos aceros de 6 mm. de diámetro embebidos en cada probeta (4). El área expuesta al ataque de cada acero es de aproximadamente de 5,8 cm². La parte exterior de los aceros fue protegida con cinta aislante y a ella fue conectado un cable. Sobre la cinta aislante fue aplicada una resina epoxi y después de seca, un sellante en base de silicona para evitar la penetración de los cloruros por zonas que no fueron el propio mortero. Los materiales elegidos y sus dosificaciones están en la Tabla I.

Las probetas se curaron durante 7 días en cámara húmeda con 95-100 % HR y se dejaron 21 días en ambiente de 70 % HR y 20° C. A la edad de 28 días, se introdujeron las probetas en la cámara de niebla salina, marca Neurtex modelo F, a una temperatura de 35-40° C. La disolución utilizada fue NaCl a 3-7 % pulverizada a través de un compresor con un bar de presión. Estas condiciones corresponden a una adaptación de las Normas ASTM B-117, utilizada para comprobar la protección de productos metálicos mediante barnices, pinturas, etc. Tras 15 días en la cámara, las probetas fueron sometidas a ciclos de cámara-seca de 7 días de duración, permaneciendo 6 días en la cámara y 1 día en estufa con la misma temperatura de 35-40° C y volviendo nuevamente a la cámara. El número de ciclos varió en función del comportamiento del material: 13 ciclos para los materiales A y C, y 19 ciclos para los materiales B,D y E. Después de los ciclos las probetas permanecieron de nuevo continuamente en la cámara, hasta el final del ensayo que duró, al todo, 210 días.

Durante todo el ensayo se midió el potencial de corrosión (E_{corr}) y la Resistencia de Polarización (Rp) (12) de los aceros, así como la resistencia óhmica (R_{ohm}) y las variaciones de peso del mortero. Para medidas de E_{corr} se utilizó un electrodo de calomelanos saturado situado siempre en la misma posición. Para medidas de las Rp y R_{ohm} se utilizó un potencióstato con compensación de caída óhmica entre el electrodo de trabajo y el electrodo de referencia y se determinó la velocidad instantánea de corrosión i_{corr} conforme se explicó en trabajos anteriores (1) (4).

La determinación del pH de los morteros fue realizada a partir de la extracción de la fase acuosa a altas presiones mecánicas (7).

En la Tabla I se presentan las características mecánicas de los morteros ensayados según la Norma UNE-80, 101, a los 28 días de edad. Como se puede notar, los materiales que ya vienen listos para aplicar, D y E, son los que tienen mejor resistencia a flexotracción. Este buen comportamiento del material E a flexotracción, ya era esperado por tratarse de un mortero que tiene en su composición fibras, posiblemente acrílicas.

Los materiales A, B y C son morteros hechos con el mismo cemento portland I-45 con la misma consistencia, determinada según la Norma UNE-80.102, pero, mientras el material B está modificado con una adición compuesta

MAT	COMPONENT.	DOSIFIC.	A/C	pH	Rc28d (Mpa)	Rft28d (Mpa)
A	I-45	1	0,5	13,38	59,50	8,36
	Arena	3				
	Agua	0,5				
B	I-45	1	0,44 (1)	13,51	52,59	8,45
	Arena	3				
	Agua	0,36				
	Aditivo	0,12				
C	I-45	1	0,4	13,63	61,25	8,77
	Arena	3				
	Agua	0,4				
	Superplast.	1,33% (/kg cem)				
D	Aglo+árido (2)	1	(3)	13,61	76,91	10,98
	Agua	0,129				
E	Aglo+árido (4)	1	(5)	13,33	52,45	9,21
	Resina acrilica con fibras.	0,154				

Tabla 1. RESULTADOS

- (1)- La cantidad de agua fue determinada sumando el agua contenida en la resina (determinada después de secarla en vacío).
 (2)- Mortero sin retracción de cemento portland a base estringita.
 (4)- Mortero de cemento portland modificado con resina acrílica.
 (3,5)- En estos materiales no se puede identificar la relación agua/cemento pues ya vienen mezclados el aglomerante y el árido.

de resina acrílica y humo de sílice, el material C es un mortero en que se utilizó un aditivo superplastificante. La reducción de la relación agua/cemento (en relación al patrón) conseguida en estos dos materiales permitió una pequeña mejora de las propiedades mecánicas del material C a los 28 días, lo que no se aprecia, en cambio, en el material B.

En la Tabla I se presentan los valores del pH de las fase acuosa de cada material, extraída de probetas con las mismas dimensiones anteriores. Como se puede notar todos los morteros tienen pH superiores a 13, lo que garantiza la protección química del acero cuando no hay ningún agresivo. Es de resaltar el aumento de pH en los materiales B y C debido a las alteraciones en la dosificación del patrón (mayor consumo de cemento).

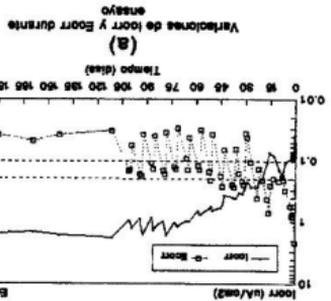
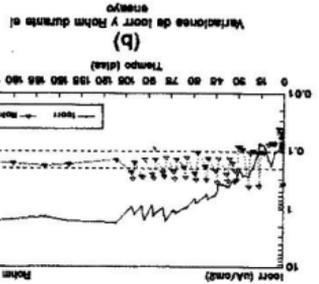
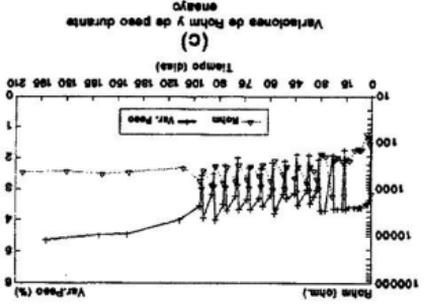
En las figuras 1 (a,b,c) a 5 (a,b,c) se muestra el comportamiento de los materiales cuando están expuestos al ambiente agresivo de la cámara de niebla salina, a través de las cuatro variables estudiadas: i_{corr} , E_{corr} , R_{ohm} y la variación de peso. Los valores de las tres primeras son la media de las cuatro medidas hechas en los 4 aceros y la variación de peso la media de la variación de las 2 probetas. La línea de puntos de los gráficos de i_{corr} es el límite para el cual valores debajo de ellos representan velocidades despreciables de corrosión (4).

Para todos los materiales hay una correlación entre el E_{corr} e i_{corr} , es decir, para mayores velocidades de corrosión los potenciales son más negativos. La despasivación del acero se caracteriza por el tiempo desde que se inició el ensayo hasta el momento en que el valor de i_{corr} sobrepasa el valor límite de $0,2 \mu A/cm^2$.

EL patrón (A) es el material que permite una despasivación del acero más temprana, a los 20 días de ensayo. Mientras tanto, las modificaciones hechas a través de los aditivos usados en los materiales B y C, a pesar de no haber modificado substancialmente las propiedades mecánicas, sí que mejoraron su comportamiento con respecto al tiempo de comienzo - aproximadamente 50 días para el material C y 150 días para el material B. Los materiales D y E retardan todavía más, el comienzo de la corrosión, aproximadamente 200 días.

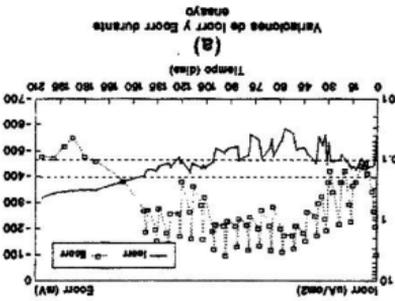
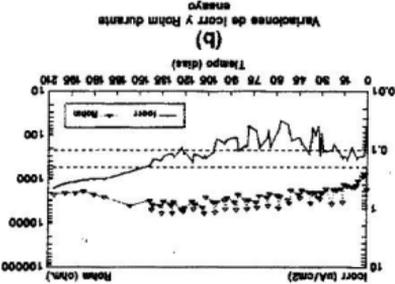
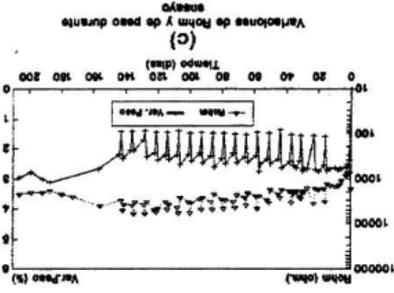
También se puede deducir de las figuras, que el material A permite un aumento progresivo de la velocidad de la corrosión después de la despasivación durante los ciclos de cámara y secado para un mismo rango de resistencia óhmica (fig. 1b) y de variación de peso (fig. 1c), lo que se podría explicar por un aumento de la concentración de iones junto a las armaduras (incremento de la relación Cl^-/OH^-) (5). Después de 13 ciclos (105 días) las probetas del material A fueron dejadas permanentemente en la cámara

fig. 1



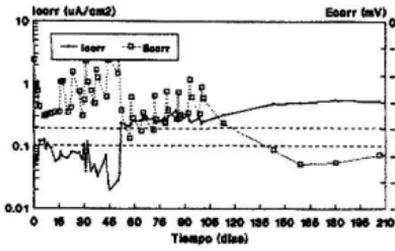
MATERIAL A

fig. 2



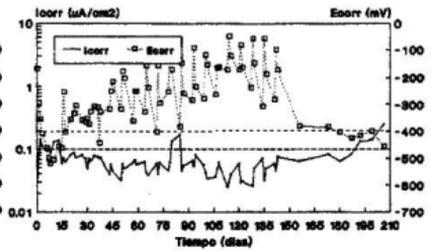
MATERIAL B

MATERIAL C

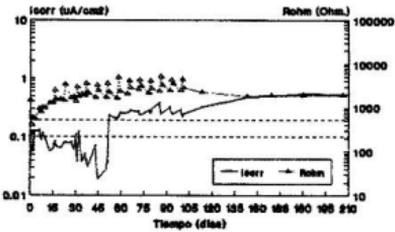


(a) Variaciones de I_{corr} y E_{corr} durante ensayo

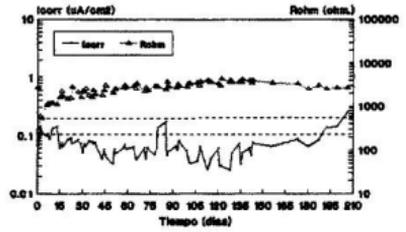
MATERIAL D



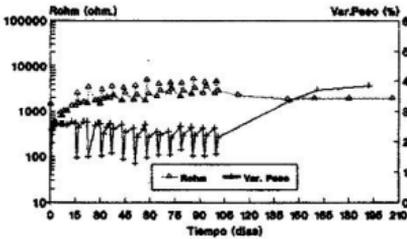
(a) Variaciones de I_{corr} y E_{corr} durante ensayo



(b) Variaciones de I_{corr} y R_{ohm} durante ensayo

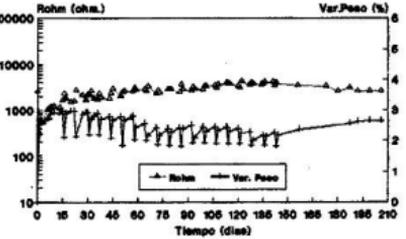


(b) Variaciones de I_{corr} y R_{ohm} durante ensayo



(c) Variaciones de R_{ohm} y peso durante ensayo

fig. 3



(c) Variaciones de R_{ohm} y peso durante ensayo

fig. 4

comprobandose que la I_{corr} y la R_{ohm} permanecieron en el mismo rango a pesar de un aumento progresivo de peso (fig. 1b y 1c).

El comportamiento del material C es un poco distinto de los demás pues la llegada de los cloruros provoca una elevación rápida de la I_{corr} que luego se mantiene en valores constantes a lo largo del resto del ensayo, a pesar de la disminución progresiva de E_{corr} (fig. 3a y 3b). Mientras tanto los valores de R_{ohm} son crecientes durante los ciclos de secado, a la vez que la variación de peso tiene una tendencia a disminuir en este período. Después de los 13 ciclos las probetas fueron dejadas continuamente en la cámara, en la que ganaron peso (fig. 3c). También para este material no hubo alteración de la R_{ohm} con el aumento de peso (fig. 3c).

El comportamiento del material B es similar al del material C con relación a la R_{ohm} y a la variación de peso (fig. 2c y fig. 3c). Sin embargo, en el material B se continuó el ligero aumento de la I_{corr} después que la probeta permaneció continuamente en la cámara por segunda vez (después de los ciclos) y se correspondió con una pequeña caída de la R_{ohm} más acentuada que en el C.

Los materiales D y E, que tienen un comportamiento similar en todos sus parámetros electroquímicos, permiten un tiempo de despasivación de aproximadamente 200 días. Las resistencias óhmicas de estos materiales son bastante diferentes, estando las del material E en un rango de valores 4 a 5 veces mayor. Sus velocidades de corrosión solo aumentaron después de que se paralizaron los ciclos de cámara-secado (19 ciclos - 141 días), con una variación muy pequeña en la resistencia óhmica. El aumento de peso en el material D es mayor que en el material E y muy semejante a los materiales B y C.

DISCUSION

La penetración de los cloruros en un material tradicional de cemento Portland es función, además de la concentración exterior (aquí la misma para todos los morteros) de: a) la microestructura del material, b) su contenido en C_3A capaz de formar sal de Friedel, y c) del contenido en humedad de los poros (8). En cuanto a la despasivación del acero, se ha comprobado con anterioridad (5) la adecuación del valor de relación Cl^-/OH^- , aproximadamente igual a 0,6, como límite indicativo, siendo ésta la misma relación que puede determinar la cuantía de la cinética de corrosión que se desarrolla después de la despasivación.

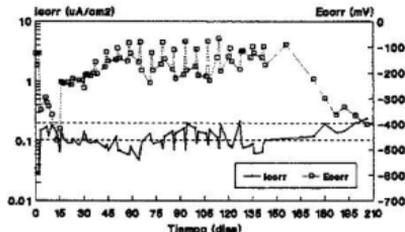
A través de los presentes resultados se comprueba que es el valor de I_{corr} el que refleja claramente la cuantía del proceso en el momento de la despasivación, siendo el resto los parámetros medidos (E_{corr} , R_{ohm} y variación de peso), complementos que ayudan a comprender el fenómeno, pero su valores absolutos aislados no permitirían una evaluación de los materiales como permite la I_{corr} .

Con base en estas premisas se puede deducir que, con respecto al patrón A, la adición de un aditivo en base de resina acrílica y humo de sílice (material B) resulta muy beneficioso, ya que retarda enormemente la despasivación (reduce la entrada de los Cl^- y/o al ser el pH mayor reduce relativamente la Cl^-/OH^-), mientras que la adición de un superplastificante (material C) si bien es favorable no es tan eficaz, como la adición utilizada en el material B.

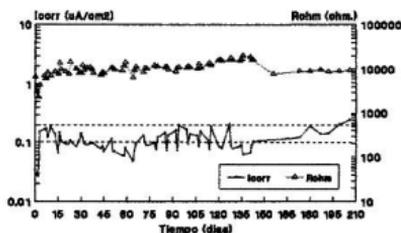
La cantidad de C_3A presente es mayor (menor relación a/c) para los materiales B y C en relación al patrón y esto, junto con las alteraciones en la microestructura de los morteros resultantes y en especial el aumento de pH que se ha medido, son los responsables de la mayor resistencia a la penetración de los cloruros y las menores I_{corr} medidas.

En cuanto al material D, presenta un valor de pH elevado como el C, por lo que sin duda la más favorable relación Cl^-/OH^- va a retardar la despasivación del acero. En cam-

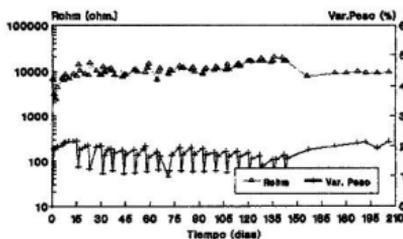
MATERIAL E



(a)
Variaciones de I_{corr} y E_{corr} durante ensayo



(b)
Variaciones de I_{corr} y R_{ohm} durante ensayo



(c)
Variaciones de R_{ohm} y peso durante ensayo

fig. 5

bio, en el material E que también presenta un máximo retardo de la despasivación, deben ser sus diferencias en la microestructura (la presencia de la resina acrílica, su contenido en C_3A o la presencia de fibras, (esto último en principio desfavorable (10) por facilitar la permeabilidad) las responsables, ya que su pH es incluso inferior al del patrón.

Así pues, parece no existir una razón única para explicar el mejor comportamiento de estos morteros frente a la

penetración de cloruros y sólo un estudio detallado de su microestructura y composición de fase acuosa puede ayudar a sus comportamientos. Todos los morteros ensayados han resultado más resistentes que el patrón a la penetración de los cloruros en el ambiente de la cámara de niebla salina.

Finalmente comentar el detectado durante los presentes y anteriores ensayos (1) con la cámara de niebla salina. En algunos ensayos preliminares con el patrón se detectó que, cuando este material poroso se introduce en la cámara, al cabo de unos 10-15 días hay una despesificación de los aceros embebidos en las probetas del tipo de las aquí ensayadas, pero esta vejeidad de corrosión disminuye, si las probetas se mantienen continuamente dentro de la cámara. En cambio, si las mismas se dejan secar en una misma temperatura, la vejeidad de corrosión aumenta. Sin embargo este comportamiento no es tan claro para los materiales menos porosos.

Este comportamiento se consideró debido a que, si las probetas están permanentemente dentro de la cámara, los poros se saturan de humedad de tal forma que se dificulta el acceso de O_2 y por tanto la corrosión disminuye. Debido a este comportamiento observado, es por lo que en los presentes ensayos se ha procedido a efectuar ciertos ciclos cámara-secado, única forma de mantener el proceso de corrosión activo.

En cambio, cuando este proceso está bien establecido después de sucesivos ciclos, la permeabilidad constante en la cámara no detiene la corrosión (por lo menos dentro del tiempo de duración de este ensayo), lo que se considera debido a que, en las zonas corroídas se ha creado un suficiente reserva de medio ácido, y la corrosión puede continuar aún en ausencia de O_2 (11).

CONCLUSIONES

Con el presente estudio es posible concluir que:

- 1. La medida de la Rp ha servido para seguir el proceso y cuantificarlo. En cambio las medidas de R_{lim} , E_{corr} y variaciones de peso, sólo resultan complementarias y a veces inadecuadas para permitir una cuantificación.
- 2. Las modificaciones hechas en el patrón A, por medio de adiciones distintas (mat. B y C), mejoraron su comportamiento frente a la penetración de los iones cloruros, aumentando el tiempo para la despesificación de acero y reduciendo la i_{corr} .
- 3. Tanto las modificaciones en la microestructura (conten-

BIBLIOGRAFIA

1. Andrade, C. et alii, Proceedings of EFP Symposium - Israel, 1988, p81.
 2. Colepardi, M., et alii - Journal of the American Ceramic Society - Vol 55 nº 10, 1972, p 534.
 3. GHI - Morteros de reparación - Boletín nº 4 Diciembre 1989 - p66.
 4. González, J.A., Alonso, C., y Andrade, C., Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction - London, England, 13-15 June, 1983, p159.
 5. Góthi, S., and Andrade, C., Cementite and Concrete Research, Vol 20, 1990, p255.
 6. Kwansny, R., Roosen, A., and Mautzsch, M., Betonwerk Besseich, Vol 20, 1990, p525.
 7. Fentigell-Tschink, nº 12, 1986, p767.
 8. Lorenzo, M.P., Góthi, S., Sagera, J.L., Intern. Applied Science, London 1991, p138.
 9. Mautzsch, M., European Symposium Corrosion Deterioration of Buildings, 13-16 Nov, 1990, p1.
 10. Neppomuceno, A. y Andrade, C., Evaluación de la eficacia de los morteros de reparación frente a la corrosión de armaduras de hormigón debida a la carbonatación (a ser publicado).
 11. Otero, E. et alii, Proceedings of 11th Inter. Cong. Congress, Florence, 1990, p2 459.
 12. Stern, M. and Geary, A.L., J. Electrochem. Society, Vol 14, 1957, p56.
 13. Turriff, K., Corrosion of Steel in Concrete, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm, 1992, 489p.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la CYOT por la financiación de este trabajo.

A. A. Neppomuceno desean agradecer al Ministerio de la Educación de Brasil y a la Universidad de Brasilia por la financiación de su estancia en el I.C.C. Eduardo Torija y Politécnica de Madrid.

En los presentes ensayos la mayor resistencia a los ciclos de humedad y pH de su fase acuosa parecen ser las responsables del mejor comportamiento de los morteros ensayados con respecto al patrón.

PRACTICAS USUALES Y POCO RECOMENDABLES PARA LA PROTECCION EXTERIOR DE LAS INSTALACIONES DE ACERO GALVANIZADO

J. RODRIGUEZ MONTERO. Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación de la Junta de Andalucía en Granada.

J.M. RUIZ SANCHEZ. Dpto. Construcciones Arquitectónicas. E.U.A.T. (Univers. de Granada).

J.A. GONZALEZ FERNANDEZ. Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas. Madrid.

J. RIVERA UTRILLO. Dpto. Química Inorgánica. Facultad de Ciencias (Univers. de Granada).

SUMARIO

Se ha realizado un estudio para evaluar el efecto de las prácticas constructivas usuales sobre el comportamiento exterior de las tuberías de acero galvanizado. Los resultados han demostrado que algunas de las que actualmente se siguen, y otras que se han recomendado para prevenir los daños en estas instalaciones, suponen un alto riesgo de corrosión para las mismas. Se ha observado que, en presencia de alta humedad, las condiciones que confieren heterogeneidades en la superficie galvanizada, sobre todo las que provocan pilas activa-pasiva son las más peligrosas porque causan rápidas perforaciones en las tuberías. Estas condiciones se presentan fundamentalmente en los lechos granulares cuando sobre ellos se coloca un mortero de cemento como el de agarre de la solería. Las envolturas de papel, la aplicación de pinturas como el minio o ciertos productos bituminosos, o las coquillas permeables y absorbentes no evitan, incluso a veces facilitan, la formación de las citadas pilas y, con ello, el desarrollo del proceso corrosivo. Los morteros de cemento, bien dosificados y cuidadosamente aplicados en todo el perímetro de los tubos, constituyen la forma más eficaz de asegurar la estabilidad de estos materiales, cualquiera que sea el contenido de humedad en el ambiente.

KEYWORDS: Galvanizado, Corrosión, Fontanería, Pasivación, Pilas.

1. INTRODUCCION

Muchas de las recomendaciones existentes sobre la forma de colocar y proteger las tuberías (1 a 4) parecen no ofrecer soluciones satisfactorias que permitan prevenir los numerosos casos de corrosión que siguen surgiendo en las instalaciones de distribución de agua. Tal vez esto sea debido a que, muchas de ellas, no se encuentran convenientemente fundamentadas en estudios sistemáticos de investigación que reproduzcan fielmente las circunstancias que tienen lugar en los inmuebles; entendemos que sólo a través de ellos es como puede obtenerse información precisa sobre los verdaderos factores causantes de tales problemas.

El estudio que se presenta, cuyo objetivo era conocer el comportamiento de las instalaciones realizadas con tubería de acero galvanizado, se llevó a cabo estudiando probetas de este material colocadas en unos medios semejantes a los que suelen presentarse en la edificación o "protegidas" según las prácticas habituales de obra o las recomendaciones que se hacen desde diversas instancias.

2. PARTE EXPERIMENTAL

El trabajo se ha llevado a cabo alojando en un contenedor, diseñado para tal fin, dos probetas de tubería de acero galvanizado, las cuales se rodearon por los materiales de construcción más frecuentemente en contacto con las instalaciones de distribución de agua en las viviendas (fig.1). Periódicamente, a lo largo de la experiencia, y al final de la misma se realizaron determinaciones a fin de conocer el efecto de estos medios en las probetas de ensayo.



Figura 1. Elemento de ensayo en fase de preparación.

2.1 Condiciones ensayadas.

Las distintas condiciones estudiadas se exponen esquemáticamente en la tabla I. En unos casos los materiales de construcción se colocaron directamente en contacto con la superficie metálica, mientras que en otros, antes de su instalación, las probetas se rodearon con papel o coquilla, a bien se pintaron. Aunque se trataba de estudiar su comportamiento exterior, se hizo pasar agua por el interior de las probetas con el fin de reproducir, al máximo posible, las condiciones reales de las instalaciones en la edificación; de esta manera, se aseguraron los efectos que el paso de agua tiene, indudablemente, en el comportamiento exterior de las redes de distribución de agua.

Los elementos de ensayo (contenedor con el relleno y las probetas, eventualmente envueltas o pintadas), de los que se prepararon aproximadamente un centenar, se sometieron a dos condiciones diferentes de humedad. En una de ellas se reproducían los niveles de humedad y las alternancias que suelen presentarse en los cuartos de baño de las viviendas, donde el exceso de agua contenida inicialmente en los materiales, procedente de su puesta en obra, evoluciona hasta alcanzar el equilibrio con la humedad relativa del ambiente. Para ello, los elementos se mantuvieron en una cámara poco ventilada donde se simulaba una ducha cada 6 horas, de 15 minutos de duración. La otra se logró realizando pequeñas aportaciones de agua desde el exterior, asegurando que mantuviera, de manera uniforme, una saturación de humedad junto a las probetas, simulando, en este caso, el agua que llega a las instalaciones empotradas procedentes de fugas, goteos, filtraciones de duchas, rotura de botes sifónicos, etc.

2.2 Medidas y determinaciones

El comportamiento de los tubos de acero galvanizado en estos complejos medios se estudió a través de técnicas electroquímicas, particularmente de la conocida como Resistencia de Polarización, la cual se ha revelado indispensable por su extraordinaria eficacia en el seguimiento y control de los procesos de corrosión (5).

Esta técnica permite evaluar la velocidad de corrosión instantánea de un metal en un medio determinado sin alte-

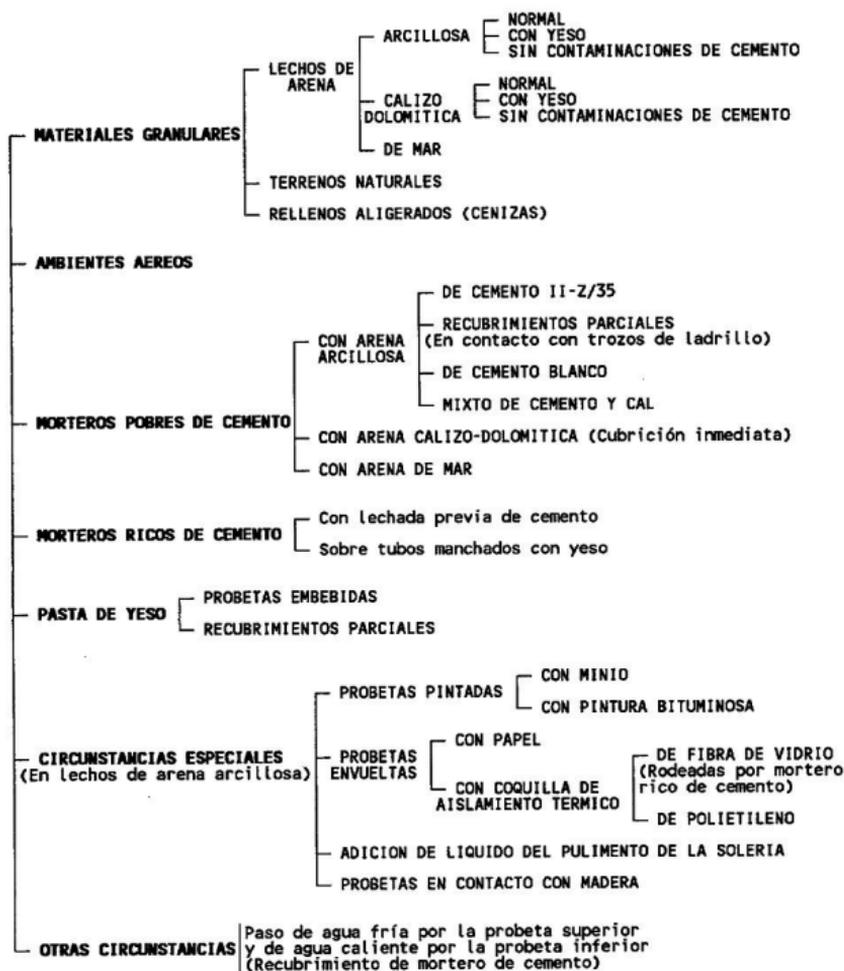


Tabla I. Condiciones ensayadas.

rar de una manera apreciable el proceso de corrosión existente. Para ello, mediante un potenciostato, se hace modificar ligeramente el potencial de corrosión del elemento metálico, AE, (en nuestro caso de ± 5 mV), midiendo a continuación la intensidad de corriente requerida para dicha modificación, Δi . A partir de estos datos, la intensidad de corrosión, i_{corr} se calcula según la conocida ecuación de Stern y Geary (6) como

$$i_{corr} = B \cdot \left(\frac{\Delta i}{\Delta E} \right)_{AE=0} = \frac{B}{R_p} \quad (1)$$

donde B es una constante que puede ser calculada por distintos procedimientos y R_p representa la resistencia de polarización, es decir el cociente entre el cambio de potencial y la intensidad requerida.

El estudio de la evolución de las probetas, llevado a cabo mediante la citada técnica a lo largo de unos 200 días de permanencia de estas en los distintos medios de ensayo, fue complementado, al término de la experiencia, con determinaciones gravimétricas, observaciones microscópicas y otras determinaciones de naturaleza química. Todas ellas han permitido llegar a conocer el efecto de las diversas prácticas que se siguen en la colocación de las tuberías galvanizadas y el de las supuestas protecciones externas que suelen aplicarse sobre las mismas.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

Los lechos granulares, como la mayoría de los estudios, presentan un comportamiento radicalmente distinto según se encuentren saturados de humedad o contengan sólo la que le corresponde al equilibrio con la de los ambientes de las viviendas. Aunque inicialmente las intensidades de corrosión en ambas condiciones de humedad muestran valores análogos (fig.2), con relativa rapidez comienzan a diferenciarse y, al cabo de unos 25 días, las velocidades de corrosión en los ambientes saturados alcanzan unos valores cien veces superiores a los detectados en los otros ambientes. Así pues, la disponibilidad de electrolito juega un papel muy determinante en el proceso corrosivo de estos materiales.

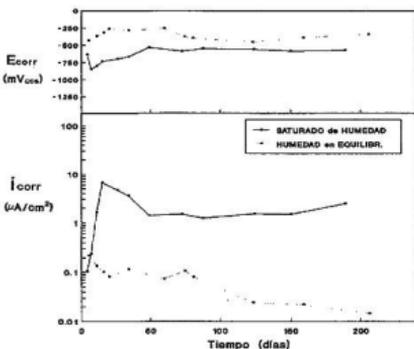


Figura 2. Evolución del potencial y de la intensidad de corrosión de las probetas inmersas en un lecho de arena sobre el que se aplicó un mortero de cemento.

No se han observado diferencias significativas debido a la naturaleza mineralógica de los distintos materiales ensayados. Tan sólo la granulometría del lecho parece tener una cierta influencia, aunque secundaria, en el comportamiento de las tuberías. Su efecto tal vez se deba a la permeabilidad que aporta al relleno ya que se observaron

ligeros aumentos de la velocidad de corrosión en los lechos de granulometría más gruesa.

Sorprendentemente, la presencia de ciertas sustancias consideradas agresivas, como los sulfatos (yeso) y los cloruros (arena de mar), apenas si han logrado que aumente la corrosión de las probetas, respecto a las de los medios en los que estaban ausentes estas contaminaciones.

Junto con el contenido de humedad, la existencia de conglomerados de cemento en las proximidades de las tuberías ha resultado ser el factor más determinante en la corrosión acelerada de este tipo de materiales. Puede observarse que en los lechos donde se evitaron las contaminaciones de cemento, las probetas presentaban una intensidad de corrosión hasta 30 veces menor que en sus homólogos contaminados (fig.3)

El análisis de los datos electroquímicos obtenidos, la observación microscópica de las secciones metalográficas y la morfología de

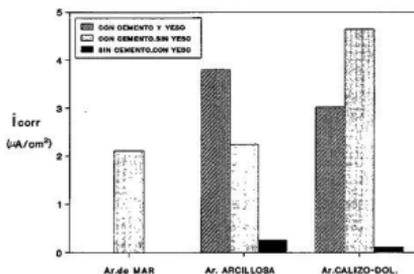


Figura 3. Comparación del efecto de los distintos tipos de lechos de arena

los productos formados sobre la superficie galvanizada permiten estimar que el daño en estos lechos granulares se debe a la formación de zonas pasivas próximas a zonas activas que constituyen intensas pilas galvánicas con efectos muy destructores. Esta pasivación irregular surge por la presencia del mortero de cemento utilizado en el agarre de al solería que se coloca encima de estos lechos y del cual dreña disolución alcalina que puede llegar a la superficie galvanizada, pasivándola de forma heterogénea. Las zonas pasivas así formadas presentan un comportamiento catódico, haciendo que el ataque se centre sobre las que no han recibido la necesaria protección (zonas anódicas). En estas, el recubrimiento se destruye y el ataque sigue progresando en el interior del acero, proque las zonas pasivas parecen mantener su carácter catódico, incluso frente al acero desnudo (fig.4).

Este fenómeno sólo tiene lugar de forma apreciable en los medios saturados de humedad; en caso contrario, las reacciones progresan de forma tan lenta que, al igual que sus efectos, pueden considerarse insignificantes.

Se ha confirmado que la cubrición con mortero de cemento tipo portland confiere un buen nivel de protección a las tuberías galvanizadas, siempre que se aplique a todo el perímetro y sobre superficies relativamente limpias; en estas condiciones los cambios de humedad afectan poco al comportamiento de las probetas. El tipo de cemento o el tipo de árido no juega un papel determinante en cuanto a las propiedades protectoras de los morteros, aunque se trate de arena de mar, en cuyo mortero las probetas han mostrado una intensidad de corrosión que no llega a duplicar la de los morteros con ausencia de cloruros, y que se estabiliza a un valor unas diez veces menor que en los lechos granulares.

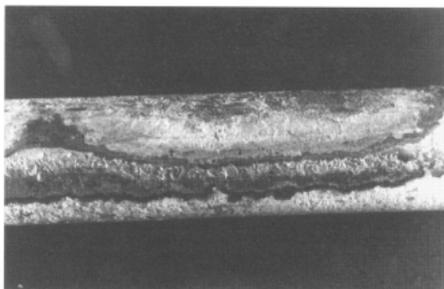


Figura 4. Efecto de los lechos de arena contaminados con cemento de tipo portland y saturados de humedad.

La elevada intensidad de corrosión en los primeros momentos del contacto del mortero con el galvanizado, debida a la basicidad del cemento, desciende rápidamente conforme van apareciendo las capas pasivantes las cuales, según la mayoría de los especialistas, están constituidas por hidroxincinato cálcico. En este caso, al extenderse la pasivación por la totalidad de la superficie, no cabe la existencia de las pilas metal activo-metal pasivo a las que se le han atribuido la responsabilidad de las intensas corrosiones que aparecen en otros medios.

Aunque no de manera muy frecuente, el yeso puede aparecer junto a las tuberías, no ya como simples contaminaciones sino embebiéndolas total o parcialmente. Son típicas las clásicas pellas que a veces utilizan los operarios para hacer fijaciones provisionales. De acuerdo con la creencia general, en el seno del yeso, el recubrimiento galvanizado sufre un desgaste considerable, pero debe subrayarse que este ataque se produce de manera muy uniforme, por lo que este material de construcción no produce un efecto tan perjudicial como comúnmente se cree, ya que en realidad no provoca perforaciones rápidas en las tuberías. Ciertamente, al contrario que en los morteros, el recubrimiento de cinc no experimenta pasivación, por que los productos de corrosión formados en contacto con el yeso no presentan este carácter; sin embargo, si el recubrimiento es completo, tampoco se permite la formación de pilas activa-pasiva, lo que sin duda es la causa más probable de que en las probetas se aprecien menos daños en estos lechos que en otros considerados más inocuos, como los granulares.

Los resultados del presente trabajo han demostrado que muchas de las prácticas, a veces utilizadas para prevenir la corrosión de las instalaciones galvanizadas, resultan completamente ineficaces. Las envolturas de papel, a pesar de haber sido recomendadas desde diversas instancias, no han proporcionado ningún tipo de protección a las probetas, incluso parecen haber favorecido la corrosión que ya de por sí muestran los medios granulares saturados de humedad. Previsiblemente, sobre los recubrimientos galvanizados envueltos en papel, también se forman las citadas pilas activa-pasiva responsables de los intensos ataques que tienen lugar en las zonas anódicas.

Las pinturas más comúnmente usadas en la protección de los metales (minio, pinturas bituminosas), a las que se recurre a veces, en un intento de proteger las instalaciones de acero galvanizado, tampoco han resultado eficaces para prevenir la corrosión de las mismas, al menos en los lechos granulares húmedos, contaminados de manera usual por cemento portland. La infima velocidad de corrosión inicial que muestran las probetas pintadas se ve incrementada ostensiblemente con el paso del tiempo, alcanzando a los 30 días unos valores totalmente análogos a los de las probetas que se instalan sin "protección" en tales medios. A través de la morfología de los productos formados en la superficie metálica puede deducirse que, también en estos casos, el rápido progreso de la corrosión

se encuentra favorecido por la aparición de pilas activa-pasiva.

Las coquillas utilizadas para el aislamiento térmico de las conducciones pueden presentar efectos dispares, según su permeabilidad, su capacidad para retener humedad y según la uniformidad que confieren a la superficie metálica. Las de fibra de vidrio, por ejemplo, permeables y absorbentes (con más del 1.000% de absorción) han permitido también la formación de las pilas activa-pasiva y han facilitado el desarrollo del proceso corrosivo gracias a la abundancia de electrolito que aportan y mantienen en los medios saturados. Las coquillas de polietileno, en cambio, cuya porosidad es mayoritariamente cerrada, son muy poco permeables y apenas si retienen humedad, razón por la cual han mantenido la estabilidad de las probetas, tanto en las condiciones de humedad que corresponde al equilibrio con los ambientes de las viviendas como en las de saturación. El agua que penetra al interior en este tipo de coquillas, por las inevitables aberturas que poseen (a longitudinal para su colocación o las transversales para salvar las bifurcaciones), no han tenido incidencia apreciable en la corrosión de las probetas, lo que puede ser atribuido a las condiciones de homogeneidad que deberán existir en el interior de las mismas. En todo caso, las zonas descubiertas y en contacto con lechos no protectores siempre constituirán un riesgo importante para la estabilidad de las tuberías. Los resultados de este trabajo avalan la conveniencia de aplicar un recubrimiento de mortero rico en cemento sobre la coquilla, tanto para minimizar el riesgo en las zonas desnudas como para contrarrestar los efectos de la eventual permeabilidad y absorción de algunas coquillas.

Como resumen, de forma cualitativa y esquemática, se exponen en la tabla II los efectos de las distintas circunstancias constructivas estudiadas.

CONCLUSIONES

El trabajo realizado permite concluir que las causas de las intensas corrosiones, localizadas en algunas zonas de la superficie de los tubos y responsables de las rápidas perforaciones que sufren las instalaciones de acero galvanizado de las viviendas, tienen que buscarse en la existencia de heterogeneidades de tipo químico sobre dicha superficie, en concurrencia con altos contenidos de humedad junto a las mismas.

En ausencia de cualquiera de estos dos factores, heterogeneidades o altas humedades, las tuberías se comportan de un modo bastante satisfactorio, incluso en contacto con algunos materiales de construcción comúnmente considerados agresivos.

Por ello, todas las prácticas constructivas que permitan la existencia de tales factores supondrán un riesgo importante para las instalaciones galvanizadas. No obstante, sólo las prácticas que aseguren una pasivación completa, extendida a la totalidad de la superficie, garantizarán la estabilidad de las tuberías, prácticamente de forma indefinida.

Los morteros de cemento o cal son, sin duda, los más adecuados para preservar del ataque, gracias a su capacidad de pasivar la superficie del acero galvanizado, siempre que su dosificación de cemento sea suficiente y su aplicación cuidadosa en todo el perímetro de los tubos, ya que en estas condiciones las tuberías serán estables, cualquiera que sea el contenido de humedad del medio.

Prácticas usuales y poco recomendables para la protección exterior ...

	CONDICIONES DE HUMEDAD			
	SATURADO DE AGUA		EN EQUILIBRIO CON LA H.R. del ambiente	
	INTENSIDAD DE CORROSION	MORFOLOGIA DEL ATAQUE	INTENSIDAD DE CORROSION	MORFOLOGIA DEL ATAQUE
ARENAS (con o sin yeso)				
LECHO DE CENIZAS				
TERRENO NATURAL				
MORTERO DE CEMENTO o CAL				
PASTA DE YESO				
RECOBRIMIENTOS PARCIALES DE YESO (lecho de arena)				
PINTURA DE MINIO (lecho de arena)				
PINTURA BITUMINOSA (lecho de arena)				
ENVOLTURA DE PAPEL (lecho de arena)				
COQUILLA DE FIBRA DE VIDRIO (lecho de arena)				
COQUILLA DE FIBRA DE VIDRIO (capa de lechada) (cubrición con mortero rico)				
COQUILLA DE POLIETILENO (lecho de arena)				

INTENSIDAD DE CORROSION



MORFOLOGIA DEL ATAQUE



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Normas Tecnológicas de la Edificación. IFF Agua Fría. B.O.E. de 23 de junio de 1973.

2. P.I.E.T. 70, Prescripciones del Instituto Eduardo Torroja de Fontanería y Saneamiento.

3. Normas Básicas para las instalaciones interiores de suministro de agua. Orden de 9 de diciembre de 1975 del Ministerio de Industria. (B.O.E. de 13 de enero de 1976)

4. DOCUMENT TECHNIQUE UNIFIE. Travaux de plomberie sanitaire. Additif n.4. Installations de distribution d'eau en tubes d'acier a l'interieur des bâtiments. CSTB.

5. GONZALEZ, J.A. Control de la corrosión. Estudios y medida por técnicas electroquímicas. Ed. C.S.I.C., Madrid, 1989.

6. STERN, M. y GEARY, A. L., Electrochemical polarization. Journal of the Electrochemical Society, n. 104, 1957.

CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGON DE EDIFICACION MEDIANTE LA MEDIDA DE LA VELOCIDAD DE CORROSION DE SUS ARMADURAS

Jesús RODRIGUEZ, Luis M^o ORTEGA, Aurora M. GARCIA
GEOCISA

RESUMEN

Las estructuras de hormigón de edificación deben satisfacer durante su vida útil las condiciones de seguridad y funcionalidad indicadas en los códigos o requeridas por el propietario del edificio. Sin embargo, algunas de ellas sufren procesos de degradación prematuros debidos, entre otras causas, a la corrosión de sus armaduras.

La evaluación de la vida útil de estas estructuras dañadas y la optimización del momento más oportuno para su reparación debe llevarse a cabo mediante el empleo de modelos que permitan establecer la evolución de su comportamiento a lo largo del tiempo. Estos modelos requieren el conocimiento del estado de los materiales y, en especial, el valor de la velocidad de corrosión de las armaduras que se encuentra relacionado con la pérdida de sección de las mismas.

En este trabajo se resume un modelo para el estudio de las estructuras dañadas y se presentan los resultados de la medida de la velocidad de corrosión de las armaduras en algunos edificios. Estas medidas han sido realizadas con corosímetros GECOR que utilizan la técnica electroquímica del confinamiento sensorizado de la señal.

SUMMARY

Building concrete structures might fulfil during their planned service life the safety and serviceability requirements, established in codes or fixed by the building owner. Nevertheless, some structures suffer premature deterioration processes due to reinforcement corrosion among other causes.

The service life prediction of these structures and the optimization of the time for repairing should be carry out by means of the application of models able to establish the evolution of their long term performance. These models require the knowledge of the materials state and, mainly, the reinforcement corrosion rate which is related to the bar section decrease.

In this paper, a model to estimate the corroding structures performance is summarized and the corrosion rates reinforcing bars in some building structures are also included. These measurements have been obtained by GECOR corrosion-rate-meters, using the electrochemical, technique of the sensorized confinement of the signal.

PALABRAS CLAVE: Predicción de Vida Útil, Estructuras de Hormigón con Armaduras Corroidas, Velocidad o Intensidad de Corrosión.

CONSIDERACIONES PREVIAS

Las estructuras de hormigón deben proyectarse y construirse de manera que su seguridad y su funcionalidad queden garantizadas durante su vida útil, sin que durante la misma se produzcan gastos imprevistos en su mantenimiento o reparación.

Sin embargo, algunas estructuras sufren procesos de degradación prematuros debidos, entre otras causas, a la corrosión de las mismas. Sin embargo, dicha protección desaparece en hormigones contaminados por cloruros (estructuras en ambientes marinos o en la que se utilicen

sales de deshielo) y en hormigones cuya carbonatación haya alcanzado la armadura.

En estos casos, una vez que el agresivo penetra en el hormigón y llega hasta la armadura, se inicia un proceso de deterioro que afecta a la seguridad y funcionalidad de la estructura. Como consecuencia de ello, disminuye la sección de las armaduras, el hormigón puede fisurarse y la adherencia acero/hormigón puede resultar afectada, sobre todo si no existe armadura transversal. En resumen, disminuye la capacidad portante de los elementos estructurales con armaduras corroidas y su funcionalidad resulta también afectada a causa de la fisuración del hormigón y del aumento de las deformaciones.

MODELO PARA ESTIMAR LA VIDA RESIDUAL DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON CON ARMADURAS CORROIDAS.

En la bibliografía se han publicado modelos para estimar la vida residual de las estructuras dañadas por corrosión de sus armaduras, aunque la mayor parte aportan exclusivamente consideraciones de tipo cualitativo.

A título de ejemplo, se cita el modelo propuesto por Tuutti (1) en el que la vida útil de una estructura se divide en dos periodos: uno de iniciación, hasta que el agresivo llega a la armadura, y otro de propagación, hasta que se alcanza un nivel inaceptable de deterioro, asociado con la aparición de fisuras.

Andrade (2) presentó un modelo de cálculo de la vida residual, referido sólo al periodo de propagación, que supone una cuantificación del modelo de Tuutti. El parámetro significativo que se toma es la disminución de la sección de la armadura (3) (4) en lugar de la fisuración o rotura del recubrimiento de hormigón, suponiendo que no se alteran las propiedades mecánicas del acero.

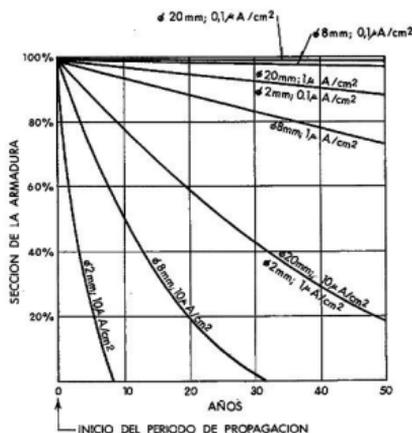


Fig. 1: Disminución de la sección de la armadura, en función del tiempo, para diferentes diámetros y velocidades de corrosión.

La velocidad de disminución de la sección de la barra se evalúa mediante la velocidad de penetración del ataque por corrosión, en $\mu\text{m/año}$. Esta penetración puede medirse con la técnica electroquímica de la Resistencia de Polarización, obteniendo valores de la velocidad de corrosión i_{corr} en $\mu\text{A/cm}^2$, ($1 \mu\text{A/cm}^2$ equivale a $11,5 \mu\text{m/año}$, en el caso de una corrosión generalizada y uniforme). Velocidades por debajo de $0.1-0.2 \mu\text{A/cm}^2$ corresponden a casos de corrosión despreciable, mientras que valores comprendidos entre 1.0 y $10 \mu\text{A/cm}^2$ corresponden a niveles de agresividad importantes.

En la figura 1 se representa la disminución de la sección con el tiempo, de tres reciondos de $2,8$ y 20 mm de diámetro, en función de distintas velocidades de corrosión.

Estos valores se han obtenido mediante la aplicación de la Ley de Faraday, y admitiendo que la velocidad de corrosión se mantiene constante y que el ataque se produce homogéneamente en toda la superficie de la armadura. Si la velocidad de corrosión varía a lo largo de la vida de la estructura puede deducirse un valor promedio de la misma en el tiempo para estimar la pérdida de sección de armadura.

Este modelo se ha aplicado al estudio de secciones de hormigón sometidas a distintos tipos de sollicitaciones. En dicho estudio se ha supuesto que el hormigón no se fisura tanto como para afectar significativamente a su integridad o a la adherencia entre la armadura y el hormigón que la rodea. Esta situación puede corresponder con el caso de un hormigón carbonatado, en el que no se produzca fisuración, debido a que se mantenga húmedo y el óxido pueda difundirse a través de sus poros.

En la figura 2 se representan los resultados de la aplicación del modelo a la evaluación del esfuerzo axial resistido por una sección cuadrada de hormigón armado sometida a distintas velocidades de corrosión, que se mantienen constantes a lo largo de la vida de la estructura o que corresponden al valor promedio, caso de que dichas velocidades fueran variables.

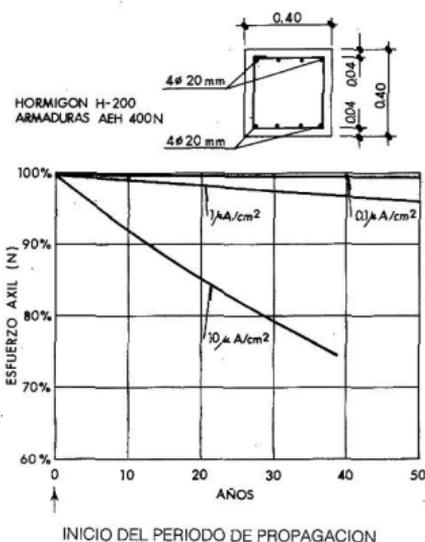


Fig. 2 : Disminución del esfuerzo axial último, en función del tiempo, para diferentes velocidades de corrosión.

Las curvas representadas muestran la disminución del esfuerzo axial resistido por la sección, en función del tiempo transcurrido desde el inicio del periodo de propagación. La disminución del coeficiente de seguridad para una velocidad de $10 \mu\text{A/cm}^2$ es importante, durante los 50 años de vida previsible de las estructuras, mientras que dicha disminución es pequeña para velocidades comprendidas entre 0.1 y $1.0 \mu\text{A/cm}^2$.

Cuando el nivel de deterioro alcanza cotas muy significativas, algunas de las hipótesis contenidas en el modelo propuesto pierden toda su validez. Por ello, en la curva correspondiente a $10 \mu\text{A/cm}^2$ sólo se representa su tramo inicial, que en cualquier caso es el necesario para conocer la seguridad residual de una estructura en servicio y para optimizar el momento de su posible reparación.

Actualmente, se está llevando a cabo un programa experimental para estudiar la evolución de las propiedades mecánicas del acero en función del grado de corrosión del mismo (4). Aunque dicho trabajo no está finalizado, parece confirmarse que la corrosión no sólo reduce la sección de la armadura sino que también reduce de forma significativa su alargamiento bajo la carga máxima. De esta forma, la corrosión afectaría también a ductilidad de la sección de hormigón armado.

VELOCIDAD DE CORROSION DE LAS ARMADURAS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGON

Medida de la Velocidad de Corrosión.

La velocidad de la corrosión de las armaduras es un parámetro significativo que permite conocer la evolución del deterioro de las mismas mediante un procedimiento no destructivo.

El método de medida más extendido en la actualidad es el conocido como Resistencia de polarización. Consiste básicamente en aplicar a la armadura una señal eléctrica de pequeña amplitud obteniendo la Resistencia de Polarización mediante el cociente entre la variación del potencial y la de intensidad. Dicha Resistencia de Polarización está directamente relacionada con la velocidad instantánea de corrosión de las armaduras i_{corr} , que se expresa en microamperios por unidad de Área metálica afectada.

Esta técnica de medida tan simple permite el seguimiento de un proceso de corrosión a lo largo del tiempo y ha sido desarrollada en laboratorio, para medidas en probetas de hormigón, por los equipos de investigación de Corrosión del CENIM y de Corrosión de Armaduras del ICCET (I. Torroja), ambos pertenecientes al CSIC. Sin embargo, la dificultad de su aplicación a la medida en estructuras de hormigón radica en que en éstas la señal alcanza una distancia en principio desconocida, y por tanto, resulta inviable el cálculo de la intensidad de corrosión por unidad de área.

Con el fin de resolver este problema, a mediados de 1989 se inició un proyecto de investigación EUREKA/EUROCARE EU-401 destinado a desarrollar técnicas y equipos que permitiesen la medida de la velocidad instantánea de corrosión de las estructuras de hormigón. El proyecto es liderado por GEOCISA y colaboran en el dos centros de investigación anteriormente citados y un centro de investigación sueco. (CBI).

Desde mediados de 1990, se están utilizando los primeros prototipos de corrosímetros portátiles GECOR que utiliza el método de medida del confinamiento sensorizado de la señal, (5) (6) (7), mediante el que puede garantizarse un confinamiento de la señal eléctrica dentro de una zona de dimensiones conocidas.

Este método utiliza una técnica galvanostática y supone una modificación a los métodos basados en el anillo de guarda. El confinamiento de la señal se controla mediante

dos electrodos, S1 y S2 (fig.3), colocados entre un contraelectrodo central y un contraelectrodo exterior. Estos electrodos determinan el confinamiento correcto de las líneas de corriente bajo el círculo de diámetro "D", y permiten obtener el valor de la "Verdadera Resistencia de Polarización".

Este método ha sido contrastado en el laboratorio y se está utilizando desde 1990 en la medida de la velocidad de corrosión, tanto en el laboratorio como en estructuras de hormigón (puentes, depósitos, edificios, naves industriales y estructuras portuarias.).

Con uno de los prototipos de corrosímetro GECOR, se participó en un plan de evaluación de métodos de medida, realizado por la Universidad de Penn State (USA), dentro del contrato C-101 del SHRP (Strategic Highway Research Program) (8). En dicha evaluación, en la que participaron también equipos desarrollados en USA y Japón, el corrosímetro GECOR basado en el método del confinamiento sensorizado de la señal ha proporcionado valores contrastados de la velocidad de la corrosión, tanto en situaciones correspondientes a velocidades importantes como en aquellas en que la corrosión era apenas perceptible. Los otros dos equipos proporcionaron medidas no coincidentes con los valores contrastados, especialmente en los casos de estructuras con armaduras en estado pasivo, debido a la falta de confinamiento de la señal eléctrica.

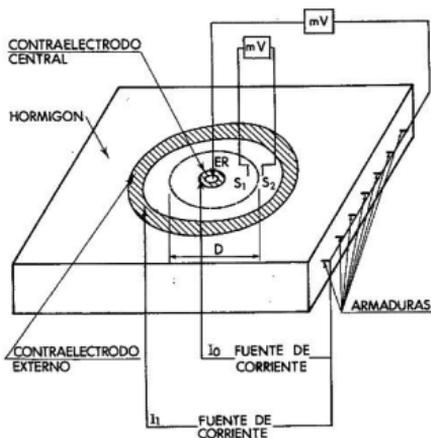


Fig. 3. Esquema del método de medida del confinamiento sensorizado de la señal.

Resultados Obtenidos mediante la Aplicación del Método del Confinamiento Sensorizado de la Señal.

A título de ejemplo, se resumen los resultados obtenidos en la medida de la velocidad de corrosión de algunas estructuras de edificación, aplicando el método del confinamiento sensorizado de la señal con los corrosímetros GECOR.

En primer lugar, se comentan las medidas realizadas en tres estructuras afectadas por la carbonatación del hormigón que recubre sus armaduras. En todos los casos, el frente de carbonatación había alcanzado las armaduras debido a la edad de las estructuras y al suficiente y al insuficiente espesor del recubrimiento.

Dos de los casos estudiados corresponden a fachadas de edificios situadas en la zona centro de España. La fachada del primero, construida hace 20 años, está forma-

da por elementos prefabricados de pequeño espesor, armados con redondos $\phi 8\text{mm}$ cada 0.15 m. El hormigón tiene algunas fisuras paralelas a las armaduras, especialmente en zonas con recubrimientos inferiores a 1.0 cm. Sin embargo, las velocidades de corrosión Icorr, obtenidas en tres momentos distintos del año 1991, proporcionaron valores comprendidos entre 0.01 y 0.05 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, correspondientes a situaciones de corrosión despreciable, lo que indica que el contenido de humedad del hormigón en los días de las medidas no era suficiente como para que se produjeran valores más altos de la Icorr, acordes con la fisuración observada.

La estructura de la fachada del segundo edificio está formada por pilares y vigas de hormigón visto. Los pilares están armados con redondos $\phi 25\text{mm}$ y cercos de $\phi 8$ y se observan en ellos daños con rotura y desprendimiento del hormigón en sus esquinas. La Icorr se midió tres días en épocas distintas. Dos correspondieron a días secos y soleados y un tercero a un día con una humedad ambiental elevada. Mientras en los primeros se obtuvieron valores comprendidos entre 0.01 y 0.07 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, en el tercero se alcanzaron valores del orden de 0.2 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, que indicaban una situación de corrosión en las armaduras.

El modelo resumido en el segundo apartado de este trabajo no contempla la fisuración y la posible rotura del recubrimiento de hormigón. A este respecto, Molina (9) ha realizado ensayos numéricos en los que se aprecia el inicio de la fisuración del hormigón para penetraciones de ataque de unas 20 μm , con redondos $\phi 12\text{mm}$ y 24 mm de espesor de recubrimiento. Estos valores han sido contrastados experimentalmente por Andrade mediante ensayos en el laboratorio (trabajo pendiente de publicación). Ello explicaría los daños observados en los pilares con velocidades del orden de 0.2 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ que han afectado a su seguridad y funcionalidad. Además, la aparición de las fisuras ha estado favorecida por el valor pequeño de la relación recubrimiento-diámetro de la armadura en los pilares estudiados.

El tercer caso estudiado corresponde a un chequeo realizado en forjados de un conjunto de edificios en los que se emplearon viguetas armadas y pretensadas fabricadas con cemento aluminoso. Estos hormigones han sufrido en algunos casos la conversión del aluminato hexagonal en cúbico que, además de reducir muy significativamente su resistencia, aumenta su porosidad y facilita su carbonatación. Por otra parte estas viguetas se fabricaron con alambres de diámetro pequeño, ($\phi 2\text{mm}$ ó $\phi 3\text{mm}$), más sensibles a los efectos de la corrosión. El chequeo preliminar que se comenta comprende unos 60 puntos de medida, de los que el 50% corresponden a forjados de las plantas de viviendas y el resto a forjados de las plantas bajas y sótanos. En estas dos últimas, es frecuente la rotura de las bajantes y la existencia de cámaras no ventiladas con un contenido alto en humedad.

La casi totalidad de las medidas realizadas en las viguetas de las plantas de pisos proporcionaron valores de Icorr inferiores a 0.1 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, que indicaban que el acero tenía una corrosión despreciable en el momento de la medida, y en general, concordaban con el aspecto exterior de las viguetas. Sin embargo, la situación en las viguetas de los forjados del sótano y planta baja era muy distinta. El 40% de las medidas proporcionaron velocidades de corrosión comprendidas entre 0.1 y 1.0 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, y el 20% comprendidas entre el 1.0 y 2.0 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. En las inspecciones visuales, se observaron importantes daños en las viguetas con abundancia de óxidos recubriendo las armaduras, con alambres partidos y con el hormigón fisurado y fuertemente dañado.

Los valores de Icorr en cada punto se han obtenido en una sola ocasión, al comienzo del otoño, por lo que probablemente no corresponden a los máximos valores que se podrían medir en las condiciones de máxima agresividad ambiental. No obstante, velocidades de 1.0 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ durante 40 años reducirían los alambres $\phi 2$ y $\phi 3\text{mm}$ al 30 y 50 %

de su sección inicial, lo que perfectamente explicaría la rotura de muchos de ellos.

En segundo lugar, se comentan las medidas efectuadas en la estructura de un edificio industrial, formada por pórticos de hormigón pretensado de 20 m de altura y 20 m de luz en el que se almacenan productos con un alto contenido en cloruros. El edificio fue construido hace unos quince años y su estructura muestra signos claros de corrosión con fisuración y rotura del recubrimiento de hormigón de las armaduras pasivas. Los testigos extraídos arrojaron contenidos, en cloruros comprendidos entre 0.1 y el 1% de contenido de Cl⁻, referidos al peso del hormigón.

Los valores de I_{corr} medidos coinciden con el nivel de daños observados, tanto en las zonas no reparadas como con signos evidentes de corrosión (intensidades comprendidas entre 0.4 y 1.4 $\mu A/cm^2$) como en las zonas ya reparadas sin signos externos de corrosión (intensidades inferiores a 0.04 $\mu A/cm^2$).

En las zonas con velocidades de corrosión mayores ($I_{corr} = 1.4 \mu A/cm^2$) se repitieron las medidas sin realizar el confinamiento de la señal, obteniéndose valores 3 veces superiores, lo que pone de manifiesto el efecto del confinamiento en la medida de la velocidad de corrosión obtenida.

Según se indicó en el apartado segundo de este trabajo, las medidas obtenidas con el corrosímetro GECOR proporcionan valores de la I_{corr} que están relacionados con la profundidad media del ataque en la superficie de la armadura. Sin embargo, en el caso de la estructura de este edificio, con hormigón contaminado por cloruros, puede deducirse valores mayores de la profundidad del ataque en las zonas de las picaduras. En ellas, la disminución de la sección de la armadura sería superior a la prevista en el caso de una corrosión generalizada, lo que explicaría mejor alguno de los daños observados.

CONCLUSIONES

Hasta la fecha, la estimación de la vida residual de estructuras de hormigón con armaduras corroidas se ha realizado mediante el empleo de métodos empíricos de tipo cualitativo. El modelo propuesto en anteriores trabajos, (2) (3) (4), basado en relacionar la pérdida de capacidad portante con la pérdida de sección del acero, permite un tratamiento cuantitativo y más integral. Sin embargo, en el estado actual de la experimentación, el método supone ciertas simplificaciones que es necesario contrastar experimentalmente.

Actualmente, se están llevando a cabo ensayos para relacionar la corrosión de las armaduras con la pérdida de las características mecánicas del acero, con la fisuración del hormigón y con el deterioro de la adherencia entre acero y hormigón, cuyos resultados permitirán completar el modelo propuesto para evaluar la seguridad de las estructuras dañadas y su comportamiento en servicio.

Por otra parte, el método de medida electroquímico indicado, basado en el confinamiento sensorizado de la señal, permite obtener la velocidad de corrosión de las armaduras en las estructuras reales y es un medio adecuado para determinar la evolución del deterioro en las mismas. Dicha velocidad está relacionada con la disminución del diámetro de las armaduras, y mediante el modelo propuesto, con la disminución de la capacidad resistente de las secciones de hormigón armado.

Es necesario seguir investigando en los casos de armaduras embebidas en hormigones contaminados por cloru-

ros, para que mediante métodos estadísticos se pueda llegar a predecir la disminución de la sección de la armadura en una picadura, relacionándola con la velocidad de corrosión medida. Este aspecto cobra especial interés si las picaduras se producen en zonas en las que las solicitaciones sean máximas ya que el comportamiento de estas zonas puede ser determinante en la evaluación de la seguridad residual de la estructura.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado dentro de dos proyectos de investigación. El primero es el proyecto EUREKA-EURO-CARE EU-401 "Medida in situ no destructiva de la velocidad de corrosión de las armaduras en estructuras de hormigón, mediante la utilización de técnicas electroquímicas", financiado parcialmente por la Dirección General de Electrónica y Nuevas Tecnologías y por el CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial) del Ministerio de Industria y Comercio. El segundo es el proyecto de investigación MAT91-1047 "La predicción de la vida residual de estructuras de hormigón con armaduras corroidas", financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

(2) C. Andrade, C. Alonso, J.A. González, "An initial effort to use the corrosion rate measurements for estimating rebar durability", Symposium on Corrosion Rate of Reinforcement in Concrete, pp.29-37 (ASTM, Baltimore, USA, June, 1988).

(4) C. Andrade, C. Alonso, D. Graclá, J. Rodríguez. "Remaining service lifetime of reinforced concrete structures: Effect of corrosion in the mechanical properties of the steel", Symposium on Life Prediction of Corrodible Structures, pp. 12/1-12/11, NACE, Cambridge (UK). Sep. 1991.

(7) C. Andrade, S. Felú, J.A. González, C. Alonso, M. García, "Onsite corrosion rate measurement in chloride contaminated concrete structures", Spring Convention, American concrete Institute, Boston, USA, March, 1991.

(6) V. Ausin, J. Rodríguez, L.M. Ortega, "Measurement of corrosion rates on R.C. structures: A contribution to the assessment of damaged structures", IASS Symposium on Spatial Structures, Dresden-Coburg, Germany, Sep. 1990.

(8) J.P. Broomfield, "The determination of rates of highway bridges deterioration. Rehabilitation and life cycle costing under de Strategic Highway Research Program", Symposium on Life prediction of corrodible structures, pp. 14/1-14/16, NACE, Cambridge, U.K. Sep. 1991.

(5) S. Felú, J.A. González, S. Felú Jr., M.C. Andrade, ACI Materials Journal, (September-October 1990), pp 457-460.

(9) F.J. Molina, E. Alarcón, Hormigón y Acero nº 175 (2º trimestre, 1990) pp. 127-132.

(3) J. Rodríguez, C. Andrade "Load-bearing capacity loss in corroding structures", Spring Convention, American concrete Institute, Toronto, Canadá, March 1990.

(1) K. Tuutti, "Corrosion of steel in concrete", Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982.

A BUILDING REHABILITATION EXPERT SYSTEM AS A TUTORIAL TOOL (1)

Isabella Amirante*, Ernesto Burattini**

*Dipartimento di Configurazione e Attuazione dell'Architettura, Università di Napoli - Federico II^a

**Istituto di Cibernetica - CNR - Arco Felice Napoli LA.FOR.IA. - Institute Blaise Pascal - Paris VI

SUMARIO

Con este estudio se quiere explorar la posibilidad de volver utilizable a fines didácticos la metodología diagnóstica dispuesta por nuestro equipo de investigación que está elaborando un Sistema Experto para recalificar el patrimonio edilicio existente. En este trabajo, después de una breve introducción a los Sistemas Expertos y a las problemáticas de tutoring, se trazan los aspectos más importantes de nuestro proyecto de Sistema Experto, el estado del arte de su implementación y de sus posibles aplicaciones didácticas.

KEYWORDS: building rehabilitation, expert systems, tutorial systems

0. INTRODUCTION

The fast growth of artificial intelligent tools, available for many human activities like medicine, civil engineering, chemistry, manufacturing and so on, has induced many research groups to verify the possibility of using such tools in tutorial activities.

In some recent works [4,6] we designed a set of expert systems useful for the building rehabilitation diagnosis from static, technological and architectural points of view. Starting from these experiences we propose here the use of a part of such systems, suitably adapted, for tutorial aims.

In general an expert system is a computing system capable of representing and reasoning about some knowledge-rich domain, with a view to solving problems and giving advice. Moreover it must be capable of explaining and justifying solutions and recommendations in order to convince the user that its reasoning is, in fact, correct. It seems evident that such a system has the potentiality of becoming a tutorial system. In this direction, in the past, many experiences have been carried out starting from that of Ciancay [8]. All of them outlined the necessity of having systems based on real world experiences and on the actual reasoning performed by the experts.

Our procedure is essentially based on an expert system which has been designed for real situations on the basis of experiences of many experts, and tested on real cases solved by those experts.

In the following we will describe the structure of the knowledge base of our system for the dampness problems, the inferential engine adopted and its potential tutorial aspects.

1. THE DAMPNES DIAGNOSIS PROBLEM.

The water action (both in liquid or vapour form) is one of the most frequent causes of building wearout [1,2].

The water infiltration may be originated by four different types of events:

- meteoric water (snow, hail, rain and wind-rain) which acts periodically and in a not eliminable way on the outside walls;
- running water, which pass through the waterworks (fee-

ding grid, sink, heating, fireplug) spreading inside the building in various ways, with relation to the different typologies of the installations and of the building itself;

- water-bearing, which can penetrate, by capillarity or rising, through the foundations to the base level;

- water of urban grids (sewer, main running water grid) which, because of hidden damages, can rise through the basement area.

Other interesting considerations for implementing a dampness diagnostic expert system are: frequency, gravity and ambiguity of cases which may happen in the whole building both in the external or internal parts.

In particular for the pre-modern buildings, in which the technical installations are frequently irrational, the damage for water infiltrations are always very heavy [3,9,14,15,17].

The ambiguity and complexity of the effects interpretation is due both to the co-occurrence of more than one cause which may determine wearout situations not promptly definable, and to the fact that, since the water runs in an unforeseeable way along the building structures, damages may happen in places very far from the origin of the phenomena. The entity of the damage often influences the welfare, the safety, the look and the management of the whole building [11,12].

The method used for expliciting the logic procedure used by the expert in diagnosing those phenomena is based on the analysis of wearout effects. Such effects are both visible evidences and signs perceived by senses like smell, cold sensation and so on [9,18].

From the effects we always find six possible set of causes with relative subsets [4] (see fig.1). The passage from effects to causes occurs through four logical processes. We named such a process nexus, i.e. the logical, the ubicational, the chronological and the causal nexus.

The logical nexus connects the effects with all possible causes to which it can be related, neglecting the impossible ones.

The ubicational nexus takes into account the place in which the effects have been detected.

The chronological nexus investigates different possible and co-existent causes using a temporal selection.

The causal nexus evaluates if the selected cause may or may not produce quantitatively the observed effects.

The relation between effects and causes is also constrained to the specific contextual situation in which the building is located, for instance the geological characteristics of the site, the climate, the construction materials and so on.

The effects have been divided into seven main classes. Each class has been split in subclasses following the definitions commonly given by the academic community.

The classes of effects are (see fig.2):

- increase of materials: with reference to phenomena such as accumulation of materials or presence of crusts, imputable to a superimposition of new materials on the existing ones;

CAUSES OF DAMPNESS

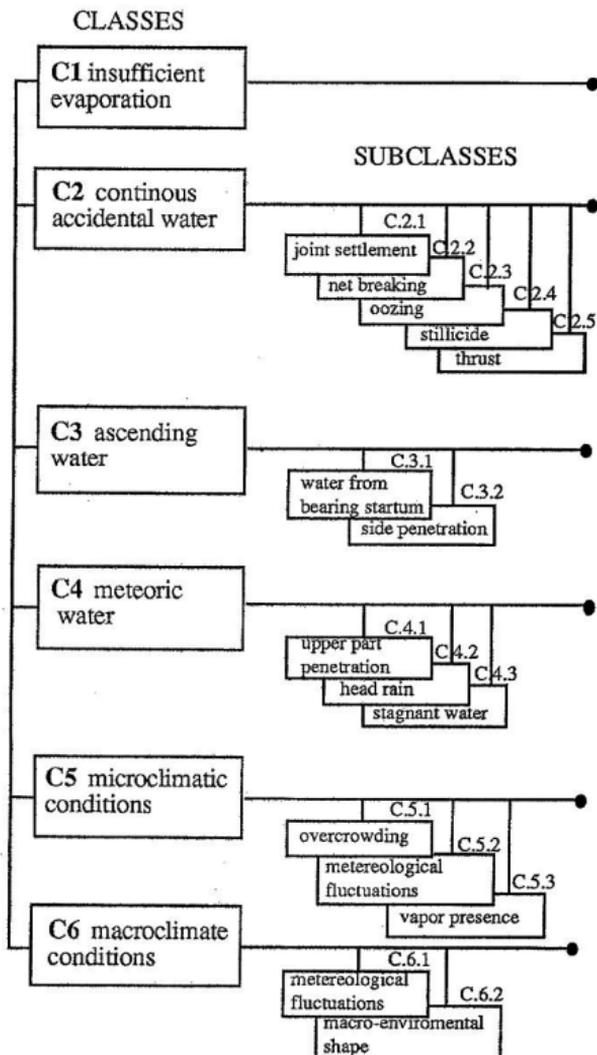


Figura 1

EFFECTS CLASSIFICATION

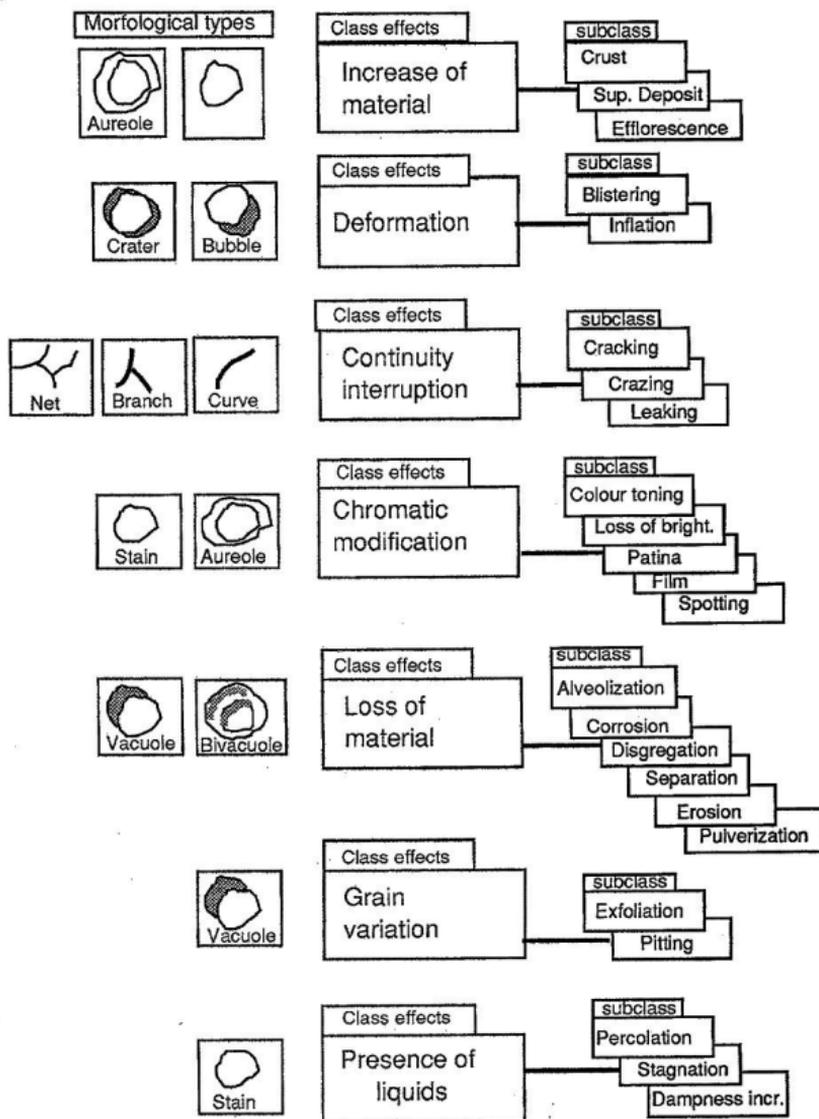


Figura 2.

- deformation: with reference to the variations of the surfaces flatness (bubbles, wood swelling, and so on);

- continuity interruption: with reference to the formation of masonry cracking and surface breaking;

- chromatic interruption: with reference to the modification of dye and tone of materials (stains, patina, fading);

- loss of material: with reference to deformations producing separation or disgregation of materials (plaster separation, erosion, corrosion of metallic components);

- grain variation: with reference to the phenomena which modify the tactile surface characteristics, with loss of smoothness or, in the case of wrinkled surfaces, loss of roughness;

- presence of liquids: with reference to evident wet surfaces (percolation, stagnation, etc.).

Special iconic symbols have been connected to each class of effects. Those iconic symbols are a useful reference for the user. They in fact allow to link immediately visible phenomena to classes of effects and, through the proposed logical processes, select the possible set of causes [18].

A second phase of the diagnostic process, following the singling out of the dampness effects, is picking out the localization of the effects, with reference to a specific site in the building.

In order to facilitate this singling out, the building has been taken to pieces and reassembled into a spatial and a technological system. The network waterworks system has been differentiated by the other two. The reason of this choice originated by the consideration that the network grid cannot be disassembled as done in the two previous systems. Among the network localization, the spatial and technological systems, a series of connections have been established in a successive phase.

2. THE EXPERT SYSTEM IMPLEMENTATION

Starting from the analysis outlined in the previous section, we designed a knowledge base as a bipartite graph. The two sets of nodes represent, respectively, the causes and the facts produced by those causes. Edges link facts with their possible causes.

The set of fact nodes is split into four classes. Each class denotes the different kind of information: logical, ubicational, chronological and causal; therefore, the knowledge base is structured as in fig. 3.

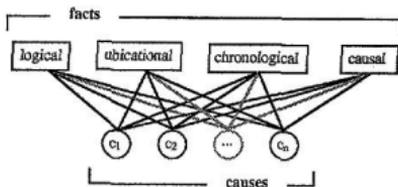


fig. 3

Splitting the set of fact nodes into classes allows us to introduce a qualitative evaluation [6]. For example, we can assert that a causal fact is more relevant than a ubicational fact, that is, the abductive support of a causal fact is stronger than a ubicational fact (1). To each one of these classes we assign a numerical value, merely to provide a total ordering of the causes.

(1) For a medical application we have split the set of facts into three subclasses: specifically, anamnesis (the facts coming from the patient history), symptoms (the facts coming from medical examination) and laboratory tests. We say that qualitatively a laboratory test is more relevant than a symptom or an anamnestic fact.

Moreover, domain analysis led to a further subdivision of each of the four classes of facts into two subclasses: one of them, containing facts which are related to only one cause (for instance: the logical fact spot from biological sediments is specific only for the cause breaking of fecal pipeline); and the other one, containing all the others (non-specific) facts. In fig. 4 a graphic representation of such subdivision is showed.

The list of slots contains the classes ordered by their relevance. If one of these classes is not in the knowledge base, the corresponding slot is labelled forbidden, and its filling is made impossible. This knowledge representation allows us to know immediately which classes of facts are linked to the possible causes.

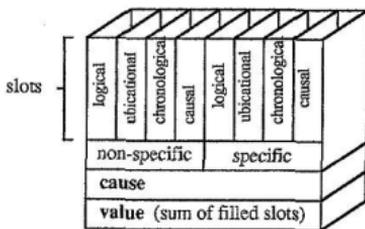


fig. 4

In order to evaluate the plausibility of the inferred cause, instead of adopting a numerical (e.g.: bayesian, fuzzy, etc.) inference schema as in [7] where the most probable inferred cause is assumed to be the best, we adopt a "qualitative" approach. We notice that such an approach was present in Peirce [16] and Hintikka [13], and more recently in Burattini [5] who reject any probabilistic or numerical construct. Furthermore, we use abduction to generate those causes which can justify the observed facts; abduction can be viewed as the step from the observed facts to possible causes.

With a bipartite graph as knowledge base, we can simulate an abductive inference engine as well as a deductive inference engine. The first one will be adopted when we want to obtain the set of hypothetical causes from a set of facts; the second one, when we want to search for other facts which could be present if the advanced causes were correct. However, both deduction and abduction contribute to singling out the best cause.

The abductive-deductive process is showed in fig. 5.

3. TUTORIAL ASPECT

On the basis of the representation described in section 1 and of the implementation introduced in section 2 we tried to verify the possibility of using our expert system as a tutorial schema for teaching the diagnostic approach for the rehabilitation problems.

The path pursued for such an experiment has been the following.

First of all we illustrated to our students the general reasoning which must be followed when dampness wearouts arise and the particular heuristics adopted in some special cases. In other words we showed to our students the main reasonings described in section 1. Then we submitted to the students a case study in which some different type of dampness were present and we asked for the possible causes. Moreover the students were requested to illustrate the reasoning performed in reaching the conclusions.

The experimentation has been performed with students

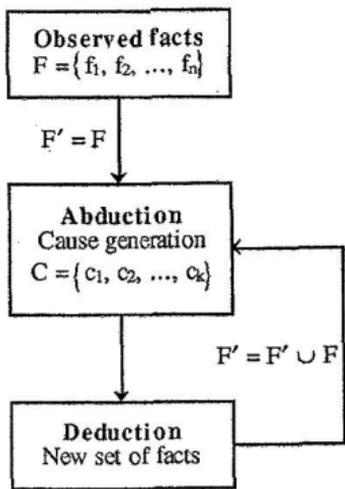


Figure 5.

of the "Corso di Tecnologia del Recupero Edilizio" (4th year of Architectonic degree, prof. P. Brecci) and applied to a building of the historical center of Naples. The students have been asked to diagnose dampness phenomena following the logical process elaborated for our expert system.

The purposes of this tutorial experiment were:

- verify the usefulness of our E.S. for a non expert user;
- verify the usefulness of the E.S. for tutorial aims in the architectonic field.

Regarding the first point we needed to give the students specific information, logical and reasoning bases and methodological suggestions, useful for supplementary help in a tutorial version of the expert system. The student evaluation could be connected to the number of times he applied for such help.

Regarding the second point, we verified both the students active participation and interest and the validity of tutorial methodology.

In fact, during the work, the students realized logical syntheses which permitted us to verify the following aspects:

- the direct involvement;
- the knowledge improving;
- the recalling of past knowledge for different disciplinary fields;
- the improvement of synthesis capability.

The results, we obtained were very encouraging, since the description of reasoning and the step followed in diag-

nosing the causes of the different types of dampness were very close to those implemented in our expert system.

The next step will be that the system can in some moments of the teaching phase substitute the teacher, guiding the student along the more plausible path of reasoning and helping to infer the correct answer for some classic case study.

3. ACKNOWLEDGMENTS

The authors are very grateful to Arch. S. Rinaldi and Arch. F. Muzzillo for helpful discussions, to students for the care given in the tutorial experiment and to Miss A.M. Mazzarella for her help in proof reading the present paper.

REFERENCES

- AA.VV. "L'umidità nelle murature, una metodologia di indagine", e "La misura dell'umidità nelle pareti degli edifici", in *Recuperare* n.7, sett. 1991.
- AA.VV. "Tecnologia del recupero edilizio", a cura di G. Caterina, UTET, Torino, 1989.
- AMIRANTE I., "Recuperare con gli abitanti", ed. Giannini, Napoli 1989.
- AMIRANTE I., BURATTINI E., MUZZILLO F., RINALDI S. - "Proposta di sistema esperto per la diagnosi dell'umidità negli edifici in muratura", Convegno su "L'umidità ascendente nelle murature: fenomenologia e sperimentazione" CNR, Progetto Finalizzato Edilizia, Bari, 17-19 Settembre 1991.
- BURATTINI E., DE GLAS M., DE GREGORIO M. - "A qualitative approach to the representation of uncertain knowledge. Theory and applications" Rapport 09/91, Institut Blaise Pascal, Laforia, Juillet 1991.
- BURATTINI E., DE GREGORIO M., PAGANO M. - "An Expert System for Building Rehabilitation and Restoration Analysis", Proc. World Congress on expert Systems, Dec 16-19, 1991, Orlando, Florida, USA, accepted.
- CHARNIAK E., Mc DERMOTT., "Introduction to Artificial Intelligence", Addison Welsly, Reading Mass., 1985.
- CLANCEY W.J., "Knowledge-Based Tutoring", MIT Press, Cambridge Mass., 1987.
- DI BATTISTA V., "Umidità negli edifici, procedimenti tecnici di intervento", in *Recuperare* n. 30.
- FEIGENBAUM E.A., "The art of Artificial Intelligence, 1: Theories and case studies in knowledge engineering", Proc. 5th IJCAI, 1014-29, 1977.
- FRANCESE D., "Il degrado ambientale", in "Tecnologia del recupero edilizio", a cura di G. Caterina, UTET, Torino, 1989.
- GANGEMI V., "Repertorio di soluzioni tecnologiche per il controllo delle qualità figurative", in AA.VV., "L'Università per Gesualdo", a cura di Gangemi V., Caterina G., ed Liguori, Napoli, 1985.
- HINTIKKA, J., (1983), "Sherlock Holmes formalizzato", in [Eco et al. 83], (chap. 8).
- MARSH P., "La tenuta all'aria e all'acqua degli edifici", ed. Be-Ma, Milano, 1979.
- MASSARI G. e I., "Risanamento igienico dei locali umidi", ed. Hoepli, Milano, 1967, p.8.
- PEIRCE C.S., "Philosophical writings", J. Buchler ed., Dover pub. 1955.
- PINNA E., "Le efflorescenze saline", in *Recuperare*, n.31, 1987.
- RINALDI S., "Le forme del degrado: note per una lettura morfologica delle superfici in architettura" (in corso di stampa) E.s.i. Napoli.

AN EXPERT SYSTEM FOR THE DIAGNOSIS OF STRUCTURAL DAMAGES IN MASONRY BUILDINGS

R. Antonucci, S. Possati, L. Spalazzi
University of Ancona

SUMMARY

An expert system (FISSURE) capable of diagnosing the causes of general structural damages in masonry buildings is presented. The Certainty Factor Theory proved to be useful for expressing the cause relationships between cause and effect. The expert system provides two methods of reasoning, hypothetical deductive reasoning and the critical approach; An example is given with the presentation of the system.

Structural damage diagnosis, expert system, artificial intelligence

INTRODUCTION

There is today a widespread tendency in urban and building practice to recuperate historical centers. This tendency has led to many studies and strategies for the application and designing of building recovery, which have clearly identified the most important points and, above all, the problems which the expert must resolve. If the field of analysis is limited to purely the structural aspect, there are two principle problems, which also represent the major designing problems in recovery work:

- 1) diagnosing the damage
- 2) optimization of the recovery work.

This paper examines the first problem, namely that involving the diagnosis of damage. In general, the solution of the diagnostic problem consists essentially in creating efficient correlations between the signs of system inefficiency and its causes (1). It has, in addition been proved that resolving complex diagnostic problems is often obtained not only by careful analysis, precise knowledge of the cause-effect relationship but also the intuition and experience of the technician. It is this very component, known as the euristic component, which makes diagnosis a problem which is particularly suitable for resolving with an expert system, intended as an instrument which tries to simulate the decision procedure of a human expert (2,3,4). The reasoning model or logical procedure at the basis of the system realized may be valid in general terms, in other words it may easily be adapted to any type of diagnostic problem (5). The reliability and credibility of the results will depend essentially on the accuracy and completeness of the knowledge (3 6 4).

DIAGNOSIS OF A STRUCTURAL DAMAGE

All signs of decay are related to the damage by relationships which are closely interdependent, in the same way that the effect is related to its cause. In a damaged building, which is to be recovered, it is therefore essential to examine the characteristics of the lesions and their development with the careful and intelligent use of relationships which relate these signs to the damages, in order to define these and consequently the nature of the causes. It is evident from this, that in masonry decay, the main causes are a continuous regression from one fact to another, in order to prevent the initial cause. The most interesting point to notice is that, if initially the damages are the effects, and the damages become the effects of determining causes and these in turn become effects of the previous causes and so on (1). The principle of causality in masonry decay is above all governed by a simple single correspondence between damages (causes) and damage (effects), in the sense that if the first of these is assigned, the other is determined. This does not

however occur if we follow this direction in reverse order, namely if we attempt to define the damage starting from the cracking observed, which often is characteristic of different types of damages. Nor does this simple single correspondence occur in the regression phase, in that, damage, considered as effect, is not a consequence of a single and determining cause, but a set of often numerous causes which occur in many different combinations. We can conclude by saying that if each elementary lesion corresponds to a single elementary damage, it is not true that a single disturbing cause corresponds to a single damage, but many different causes which can occur individually or together. Finding the disturbing cause or causes is therefore a further problem, which, in order to be resolved, requires investigation, tests and trials that are often difficult and costly, but where, the very nature of the damage and the characteristics of the structure and environment are undoubtedly assists the intuition of the expert.

LOGICAL FLOW

When facing any phenomenon of masonry decay, the technician must coordinate his investigations and study on the following fundamental cycle of operations:

- 1) Examination of the structures and signs of deformation and cracking
- 2) Definition of the nature of the static damage
- 3) Identification the disturbing causes
- 4) Planning of intervention only at this point can intervention be planned. The logical flow may be schematized as follows:

LESIONS - STATIC DAMAGES - DISTURRING CAUSES - REMEDY

The expert system used is also based on this scheme (6).

DIAGNOSIS METHODS

Regarding the actual diagnosis of the static damage, we must concentrate our attention on the existing cause effect relationship between lesions and damage. There are two main reasoning methods which guide the system: hypothetical-deductive reasoning and the critical approach (7, 5). The principle behind hypothetical deductive reasoning is that the technician uses a kind of scientific method whereby, by basing himself on the knowledge available, he formulates a hypothesis to explain the facts which are known; this hypothesis will suggest acquiring new data which may help to confirm or reject it. The procedure continues until a suitable hypothesis which explains all the data collected, is reached.

The critical approach, is fundamentally a constructive criticism by the system each time it is called to evaluate a hypothesis formulated by the user. In this case, we suppose that the technician has already independently evaluated the problem and has reached a preliminary hypothesis before using the computer for consultation. Instead of duplicating the decision procedure of the technician, the system criticizes it providing a detailed analysis.

The system was provided with both reasoning methods, since, in the first approach it is the system which formulates the hypothesis and this has the psychologically negative effect of giving the technician the impression that it is the

system which makes the decisions, and in this case it is better to use the critical approach. on the other hand, the first method is very useful for teaching and training.

THE CERTAINTY FACTORS THEORY

The cause-effect relationships are translated into numeric terms by using the certainty factors theory already used successfully by Myein (8,9). Although this starts from a probabilistic presupposition, is far less rigid and limiting and consequently undoubtedly more effective for diagnostic problems which often involve considerable margins of uncertainty and indetermination. Theory (8) provides a set of rules of the following type:

if effect is observed ei, then the cause is cj

where for the same effect there can be different causes producing it. A number is associated to each rule which is related to the certainty factors of the effects, representing the feasibility of the observation, and with the certainty factor of the cause cj consequent to the previous observation of other effects (and consequently the selection of other rules). The result is the final credibility of cause cj.

THE EXPERT SYSTEM - FISSURE

The expert system was implemented using a KEE environment on an Apollo Domain 3500 workstation. The organization of the system can be summarized in a list of fundamental points which are represented in block form in the diagram shown in figure 1 (6). Let us consider these points:

1) Judgment on structural conception

The first module of the system involves an analysis of the structure. This consists of rather detailed subdivision of the building into structural elements (this subdivision is also maintained for the actual diagnosis). The main characteristics to be assessed for each element in order to provide a judgment of the quality, were identified on the structural conception of the single element, at a first level and on the structure as a whole, at a second level. For example:

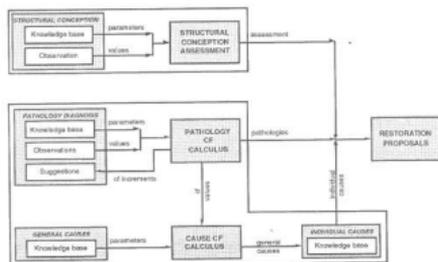


fig. 1 - Structure of the system - FISSURE

Structural element: WALLS WITH OPENINGS

Characteristics and assessment:

LARGE
VERTICAL CONNECTIONS MEDIUM
SMALL

LAYOUT OF ROOMS GOOD
SUFFICIENT
POOR

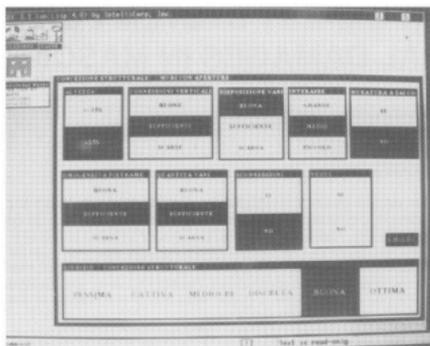


Photo 1 - Assessment of the structural conception.

The user can provide an assessment of the characteristics of the single structural elements by means of a system interface (photo 1). It is the system itself which, on the basis of this assessment, provides a quality appraisal expressed in natural and legible language on a panel of the interface.

This appraisal may go from a minimum indicated by the word "POOR" to a maximum indicated by the word "EXCELLENT", with intermediate appraisals such as "BAD", "SUFFICIENT", "MEDIocre", "FAIR" and "GOOD". This subdivision was chosen since it is sufficiently precise (number of levels) and easy to interpret (natural language). Regarding the method used by the system for calculating the assessment on the structural conception, this is nothing more than a mean weighing of the following kind:

$$\bar{q} = \frac{\sum_{i=0}^n p_i q_i}{\sum_{i=0}^n p_i}$$

where

q - mean weighing expressing the judgment on the structural conception of the element considered

pi - is the weighing attributed to the umpteenth characteristic

qi - judgment expressed for the umpteenth characteristic

Finally, by combining the assessments of the single elements, it is possible to obtain a similar assessment of the structural conception of the entire structure, which is also the result of an averaging operation. The importance of carrying out an analysis of this type in order to obtain a quality assessment of the structural conception of the building, is due to the fact that during this phase fundamental elements can be identified for correctly reaching an actual diagnosis of the damage. It is in fact in this phase that possible project errors can be found, which can sometimes be the cause of the most serious malfunctions and which often force the technician to carry out serious recovery work such as the replacement of the element or faulty elements.

2) Diagnosis

The diagnosis procedure was subdivided into three phases. In the first phase, by observing the signs of the damage (deformation, lesions and secondary signs), a diagnosis is reached of the damages that have produced these. In the second phase, once the most feasible damage has been identified, it is necessary to determine the causes of the damage. The problem of the causes is further complicated since there are general causes, which can be identified once the damages are known and the specific causes which are all equally feasible, but for which the user will have to carry out further investigations to identify them. These observations lead to the introduction of another three modules. a) Diagnosis of the damage. For this module, a classification of all the possible damage signs which can occur on each structural element, has been prepared, attempting to make this as complete and as ordered as possible. These signs were subdivided into deformations, lesions and secondary signs. The user can select the sign observed by means of the interface panels (photo 2) on which the user can indicate the characteristics of the lesions, such as the width, the depth, the extension of the crack etc. Another classification was designed for all the possible types of damages that can occur for each single structural element. The system matches a certainty factor to each element, which quantifies the credibility of the hypothesis that it has actually occurred. This credibility varies according to the signs observed by the user (photo 2).

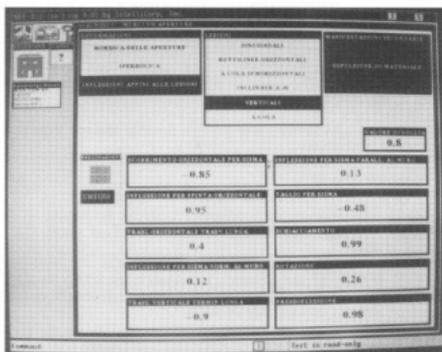


Photo 2 - Diagnosis of the damages

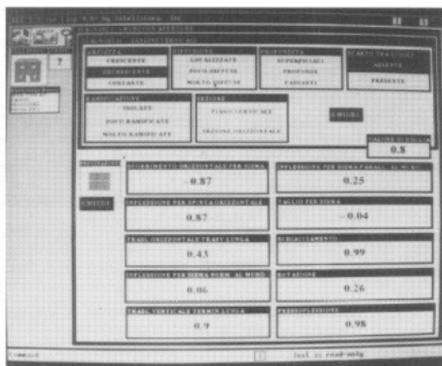


Photo 3 - Characteristics of the lesions

The possible indications made by the user for the individual type of lesion (photo 3), contribute to correcting the values of the certainty factor for the single damages.

This module uses a set of rules, which in view of an observed damage, relates it to the possible damage producing the same. Each rule has the following form:

Rh if sign mi (CF(mi3) is observed **then** the damage is dj (CF(Rh))

Rk if lesion li is observed **and** specification sp (CF(li sp) **then** the damage is dj (CF(Rk))

where CF (Rh) and CF (Rk) are the certainty factors of the rule. Using the combination rules of the certainty factors theory, it is possible to identify the most feasible damages. The system provides a procedure, which, when questioned on a certain damage, indicates which signs, if observed, reinforce the feasibility of the damage itself. Depending on how this procedure is used, it is possible to use either according to the hypothetical-deductive approach or the critical approach. In fact, if the user indicates the observations that have been made, the system finds the most feasible damages and suggests further investigations. If the user questions the procedure without indicating any observations he is asking the system for a critical assessment of the hypothesis formulated, as well as for an indication of the factors which confirm the same (photo 4).

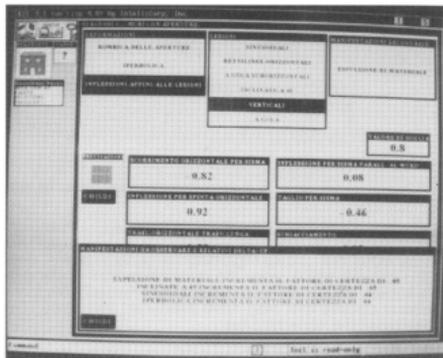


Photo 4 - System suggestions

All this occurs following a calculation procedure carried out by the system on the basis of which it considers only those observations which, if selected, provide increments of the certainty factor relevant to the hypothesis. b) General causes

The complexity of the existing relationships between damages and generating causes has already been described previously. To this, one must add the difficulty of organizing, in a coherent manner which can be used by the system, all the potential cause is responsible for any type of damage. The set of causes of damage has been organized at two levels: the first level refers to the so called general causes and the second level refers to the specific causes. The general causes are intended as those phenomena which, when they occur, though justifying the damages diagnosed, do not provide data regarding the contributing cause which may have produced them and which are represented by the specific causes. For example:

GENERAL CAUSE: SWELLING OR CONTRACTION OF THE GROUND AS A RESULT OF A VARIATION OF THE WATER FLOW SPECIFIC CAUSE: LIFTING OF A WATER FLOW LEVEL DUE TO LEAKS FROM WATER PIPES OR SEWAGE PIPES

The distinction made during the classification stage, which includes the two cause levels, is completely justified if the differences between the two relationships mentioned, are considered in depth: if the relationship between the damages and the general causes are examined, it is true to state that it is always possible for an expert in the field, to define in mathematical terms, the cause-effect relationship, and to overcome the problems regarding possible indeterminations, by using instruments suitable for this purpose. Even in this case, therefore it is possible to use the certainty factor theory as an instrument for translating the relationship (photo 5).

CAUSE	EFFETTO	CAUSE	EFFETTO
INNESTI DEL TUBO SOTTO ALLE PIAZZE D'APPoggio	0.52	MOVIMENTO DEI CARICHI SOTTO ALLE PIAZZE D'APPoggio	0.89
MOVIMENTO DIFFERENZIALE SOTTO ALLE PIAZZE D'APPoggio	0.45	MOVIMENTO DIFFERENZIALE SOTTO ALLE PIAZZE D'APPoggio	0.45
MOVIMENTO DIFFERENZIALE SOTTO ALLE PIAZZE D'APPoggio	0.21	MOVIMENTO DIFFERENZIALE SOTTO ALLE PIAZZE D'APPoggio	0.21
MOVIMENTO DIFFERENZIALE SOTTO ALLE PIAZZE D'APPoggio	0.61	MOVIMENTO DIFFERENZIALE SOTTO ALLE PIAZZE D'APPoggio	0.61

Photo 5 - Diagnosis of the General Causes.

Therefore the module regarding the general causes uses a set of rules which, once the certainty factors of damage are known, selects the most feasible and relates them to the general causes that may have produced the same. The rules are of the following type:

Rt) if damage d_j (CF (d_j)) and CF (d_j) > st then the general cause is c_q (CF(Rt))

c) Specific causes

By examining the relationship between the general causes and the specific causes, it is evident that a module like that of the certainty factor loses its validity. The first problem which becomes evident from an analysis of the problem is the difficulty of translating the relationship between the two causes identified in terms of probability, due to the fact that, often, there are a number of specific causes for each general cause and above all, they are all more or less equally probably. It would therefore be rather risky and not realistic to expect the system to provide precise indications on the type of specific cause responsible for the damage diagnosed, unless the user, can, at this stage, provide the parameters and data which in almost all the cases correspond in practice to the conclusions which the system should reach. Let us consider the following example to explain this: supposing that the system has diagnosed a damage of combined compressive and bending strength; one of the general causes which might have contributed to this damage will undoubtedly be an increase of load eccentricity. Determining the contributing factor responsible for the increase of eccentricity entails verifying the existence of certain objective elements, which in our example are, super-elevation with offset, non uniform decay of the material, demolition or partial collapse. Establishing which of these

factors has actually occurred is not possible using the relationships between the sizes, analyzing data etc. but consists essentially in verifying the existence of one or more of the elements hypothesized, through observation. In this phase, the system must not act as an actual instrument of diagnosis, but as a suggesting instrument, in other words, a means for having as wide a range as possible of the specific causes for each general cause hypothesized. The user will therefore have to, from time to time, verify which of the causes indicated by the system, does in fact correspond to the case in question.

SYSTEM OUTPUT

For the purposes of this procedure, the system output consists of three elements: 1) the judgment of the structural conception

2) the diagnosis of the damage
3) the hypothesis of the cause This may in turn represent the input for a possible optimization system for structural recovery (10).

CONCLUDING REMARKS

The main features of expert system "Fissure" are the following:

1) the systematization of both the structural characteristics and the types of damage which makes the range of information wide and very well detailed.

2) The utilization of two different approaches to the diagnosis: the former, hypothetical - deductive, has an educational utility while the latter, the critical approach, leads the user to the diagnosis formulation without imposing it.

3) The certain factors are a more flexible means than the theory of probability.

REFERENCES

(4) M. Genesereth, N.J. Nilsson "Logical Foundations of Artificial Intelligence", Morgan Kaufmann, Los Altos, CA, U.S.A. 1987

(1) S. Mastrodicasa, "Static Damages of building structures, diagnosis-consolidation of theoretical institutions" seventh edition, Hoepli, Milan 1981

(7) P. Millar, "A Critiquing Approach to Expert Computer Advice", ATTENDING, Pitman, 1984

(3) N.J. Nilsson "Principles of Artificial Intelligence" Springer-Verlag, New York, N.Y. U.S.A. 1982

(2) M.A. Parisi, S.J. Fenves, D.R. Rehak, "Expert Systems and their applications in civil engineering and in seismic engineering", in Ingegneria sismica year III, no. 2 May-August 1986

(6) S. Possati, "An expert system for the diagnosis of a widespread structural damage", University Degree thesis, A.A. 1989-1990, Faculty of Engineering, University of Ancona

(5) V. Ripa di Meana, "CAP" An expert critical system for medical diagnosis" AIIA Notice No. 4, p. 22 1990

(8) E.H. Shortliffe, "Computer-based Medical Consultation: MYCIN", American Elsevier, New York, N.Y. U.S.A. 1976.

(9) E.H. Shortliffe, B.G. Buchanan, "A model of inexact reasoning in Medicine", Mathematical Biosciences, 23 p. 351-379.

PROCESOS DE RESTAURACION DE CLAVES DE BOVEDA GOTICAS

JUAN BASSEGODA NONELL

I CONGRESO INTERNACIONAL DE REHABILITACION DEL PATRIMONIO ARQUITECTONICO Y EDIFICACION

PROCESOS DE RESTAURACION DE CLAVES DE BOVEDA GOTICAS

Durante el siglo XIV se produjo un fenómeno constructivo de gran importancia en Barcelona.

La catedral, iniciada el 3 de mayo de 1298, conoció un importante período de actividad entre 1317 y 1340 bajo la dirección del arquitecto mallorquín Jaime Fabre, y desde 1370 a 1390 en tiempos del obispo Pedro de Planella.

El monasterio de Pedralbes se hizo entre 1326 y 1327. La iglesia de Santa María del Mar entre 1329 y 1383.

Pero esto no fue todo, simultáneamente se trabajó en la iglesia de Ntra. Sra. de los Reyes o del Pino (1322-1400), en Santos Justo y Pastor (1342-1400), en el monasterio de Junqueras (1300-1340), el de Montesión (1388) y en otras obras de menos importancia.

Ello se debió a la riqueza de Cataluña en su expansión por el Mediterráneo, que le llevó a dominar Córcega, Cerdeña, Sicilia, Nápoles y los ducados de Atenas y Neopatria.

Pues bien, todas estas iglesias más arriba descritas fueron construidas con piedra de las canteras reales de Montjuïc, montaña que domina Barcelona por la parte de mar.

La piedra de Montjuïc es una roca sedimentaria, arenisca, formada por arena de cuarzo aglutinada por sílice o carbonato cálcico, de color que oscila entre el gris y el amarillento, muy dócil de labra y altamente resistente.

Las canteras de Montjuïc se hallan ahora totalmente agotadas, habiéndose colocado en 1956 el último fragmento extralido de cantera en la reconstruida puerta de Santa María del Mar.

Esta piedra tiene cualidades distintas según los puntos de extracción, variando los colores y las resistencias.

La mejor es la llamada por los picapedreros "blancatge", de grano muy fino, uniforme y de color blanco en el momento de la extracción y que con el tiempo deriva hacia el gris. Se utilizaba especialmente para dinteles, arcos y partes esculpturadas.

Otro tipo llamado "raig" es de grano más grueso y color variable por lo que a veces se le llama "raig groc", cuando es amarillento o "raig blanc" cuando es más blanquecina. Se usa sólo en cimientos y mampostería.

Finalmente está el "raig triat" formado por las piedras seleccionadas del "raig", puede tener colores variados, pardos y hasta rojizos y se usa para muros de cantería y suelos.

La labra de la piedra de Montjuïc era competencia del Gremio de Arquitectos, Maestros de Casas, Picapedreros y Moleros, constituido en el siglo XII y que prevaleció hasta 1833, con una capilla propia en el claustro de la catedral, y luego desde 1602, en otra del presbiterio de la misma catedral dedicada a los santos patronos San Jaime y San Felipe, apóstoles.

En esta conferencia se tratarán cuatro casos específicos de restauración sobre piedra de Montjuïc en tres insignes monumentos de Barcelona: el Pino, la Catedral, Santa María del Mar y Pedralbes.

Las tres iglesias están construidas con piedra de Montjuïc y en las claves de bóveda se utilizó el "blancatge" de mejor calidad.

En los documentos antiguos se describe como era labrada la piedra en la propia cantera y luego trasladada procesionalmente a pie de obra donde era terminada antes de ser colocada en lo alto de las bóvedas.

Las claves de bóveda tienen forma cilíndrica, en las navas grandes, y cónica en las pequeñas y las capillas, y en su cara inferior se esculpiran figuras en alto relieve rodeadas de una orla decorativa. En la parte curva del cilindro, es decir en el tambor, se grababan en bajo relieve los escudos, reales, episcopales o gremiales de los donantes.

Generalmente estaban policromadas con pintura al huevo y oro, aunque hay abundantes excepciones.

La colocación en obra de las grandes moles de piedra debió ser operación complicada y difícil, valiéndose de medios rudimentarios como eran la madera y las cuerdas de cáñamo.

Debe tenerse en cuenta que la clave es la primera piedra que se colocaba al construir la bóveda.

Los constructores medievales cuando tenían que cerrar el espacio cuadrado o rectangular de un tramo de nave, mediante una bóveda ojalada nervada cuatripartita, empezaban por levantar un castillejo con tabloncillos hincados en barriles llenos de arena, travesaños y riostras, en el punto central del suelo del tramo.

Este castillejo, en forma de torre cuadrada u octogonal, tenía la anchura interior suficiente para que por su interior pudiera ser izada la clave de bóveda.

En lo más alto del castillejo, por encima del nivel de cierre de la bóveda, se instalaba la calandria o máquina con tambor giratorio alrededor de un eje horizontal, movido por el peso de uno o varios hombres que entran en él. Es una escalera sin fin compuesta por dos ruedas verticales unidas en sí por listones horizontales que se usan como peldaños.

Cuando mediante cuerdas de cáñamo lograban subir la clave hasta el punto deseado dentro del castillejo, sentaban la piedra con maderas transversales horizontales y entonces colocaban las cerchas de los nervios que eran contruñidos inmediatamente. Luego se colocaban las cerchas de los tímpanos y así se cerraba la bóveda.

Esta técnica se usó incluso en tiempos neogóticos, tal como se puede ver en una fotografía de 1886, cuando se izaba la clave de la bóveda de la cripta de la Sagrada Familia proyectada por Gaudí y decorada con la imagen de la Anunciación, de Juan Flotats.

Las claves de bóveda de la nave central de la catedral, al igual que en el Pino y Santa María tienen medidas que oscilan entre 1,90 y 2,10 metros de diámetro y un grueso de 0,6 a 1 metro.

En la clave concurren los nervios de las bóvedas y las partes extremas de los plementos o tímpanos.

Por encima del cilindro que forma la clave de bóveda se colocaban pesos adicionales para evitar la tendencia de las bóvedas góticas a abrirse por su extremo superior. La clave actúa en función de contrapeso que no resulta suficiente, a pesar de que en los casos que aquí se estudian su peso es de seis toneladas por clave, por lo que se incrementaba el peso mediante muros escalonados que emergían por encima de las cubiertas.

En las claves de presbiterio, que reciben ocho o diez nervaduras, encima de la clave se formaba otra casi idéntica a la inferior, solamente que formada de varias piezas constituyendo una escalera de gradas circulares sobre la que se ponía una cruz de piedra que era utilizada, una vez al año, para efectuar desde allí la bendición del término.

El particular sistema de construcción de bóvedas góticas en Cataluña hace posible que se pueda ver la clave tanto desde el interior como desde el exterior de la iglesia.

En las catedrales francesas, inglesas o alemanas, una vez cerradas las bóvedas se colocaba encima la cubierta con armaduras de madera y tejas de cobre, zinc o pizarra.

En Cataluña, una vez cerrada la bóveda se llenaban los senos o enjutas con cacharros de cerámica de mala calidad, llamados "frentum" en los documentos antiguos, rellenándose los intersticios con mortero de cal y arena, formándose encima las pendientes para la expulsión de las aguas de lluvia que pasaban de la nave central a las laterales por unos canales por encima de los contrafuertes hasta las górgolas, que la echaban a la calle.

Todo el juego de pendientes triangulares era simplemente cubierto con cuatro gruesos de rasilla y en algunos casos, como en el monasterio de Pedrales, con tejas árabes. Este sistema de cubierta queda escondido por los muros de las iglesias y no es posible ver desde la calle la techumbre.

De este modo en las iglesias góticas de Barcelona sólo se puede ver en la cubierta subiendo a los campanarios. Desde allí se ven los juegos de pendientes de ladrillo con su llamativo color rojo y los refuerzos de piedra encima de las claves de bóveda.

En los casos que aquí se trata hubo necesidad de actuar en obras de restauración en las claves de bóveda, pero en cada caso de un modo diferente.

La exposición de los procesos restauratorios se presenta aquí según el orden con que fueron ejecutados.

El proceso de destrucción por el fuego es muy traidor, ya que mientras dura el incendio y el calor, la piedra de Montjuïc solamente se ennegrece, en tanto se evapora el agua de cantera. Terminada la acción del fuego la piedra se enfría y entonces se produce la rotura y caída de fragmentos, principalmente en las partes esculturísticas de las claves de bóveda, por ser las más salientes y estar expuestas francamente a la acción del fuego.

Al caer los fragmentos queda la clave completamente negra en las partes que permanecen en su sitio y totalmente blanca en los lugares donde se producen los desprendimientos, apareciendo allí el "blancatge" limpio del interior de la clave.

De no tocarse nada más quedaría así la clave, aparentemente segura, sin más daño que los fragmentos caídos y el cambio de color.

En la iglesia del Pino el incendio fue en julio de 1936 y la restauración se inició en octubre de 1949, sin que en los trece años y tres meses transcurridos se hubiese producido novedad alguna en las claves.

Las fotos muestran el estado engañoso de buena salud de las claves en 1949.

Cuando se montó el andamio y se inició la restauración se comprobó que la mayor parte de la piedra de la clave estaba dañada y se sostenía in situ de modo casi inverosímil.

Por ejemplo. En la parte lateral de la piedra estaban grabados los escudos del rey (las cuatro barras de Aragón), de la ciudad (barras de Aragón y cruz de San Jorge) y del Pino (con la representación de un pino). Cuando se intentó obtener un molde para reproducirlos aplicando una masa o apretón de barro, los escudos se deshicieron totalmente.

En vista de la gran debilidad de la clave, cuya parte auténticamente resistente era mínima, se decidió un procedimiento de restauración muy especial.

Como se dijo antes, además de los daños por causa del fuego existían los producidos por deformaciones de la estructura, que habían debilitado los nervios, deformándolos.

Por todo ello se decidió hacer una restauración y consolidación al mismo tiempo.

La clave de bóveda del presbiterio del Pino tenía un agujero central que debió servir para izarla cuando la construcción. Este sistema es muy particular puesto que no aparece, ni en Santa María, ni en la Catedral.

Aprovechando la circunstancia de existir este agujero se decidió hacer pasar por él una serie de elementos metálicos que en su parte inferior sostenían una plataforma de hierros cruzados para que sirviera de apoyo a la clave y, en la parte superior, se construyó una especie de sombrilla con vigas de hierro que se extendían radialmente coincidiendo con los trazados de los nervios.

De las vigas de referencia pendían unas barras de hierro que atravesaban la bóveda y los nervios y se unían por debajo de estos formando un refuerzo que consolidó completamente la clave y los nervios.

Se trata de una armadura exterior que envuelve toda la parte dañada de la estructura.

En la parte superior, es decir en la azotea de la iglesia, esta armadura fue tapada, para evitar oxidación, con una cubierta de tejas.

En la parte inferior, es decir dentro del templo, se reprodujo la forma de los nervios y la escultura de la clave, con la figura de la "Maestras Domini" y los cuatro Evangelistas, con moldes de yeso que quedaron fijos a la estructura metálica. Toda vez que esta clave no estuvo policromada, la reproducción en yeso se pintó simplemente del color de la piedra de Montjuïc.

En realidad se hizo como una máscara alrededor de la deteriorada clave, por lo que resulta un poco mayor que la original. El diámetro de la clave antes de la restauración era de 2,05 m. y actualmente mide, 2,15 m.

Un aspecto interesante de la restauración fue el andamio ya que no se pudo montar en el suelo del presbiterio ante la imposibilidad de interrumpir el culto.

Por ello se hizo un andamio exterior que penetraba por uno de los ventanales y, mediante una serie de tres plataformas escalonadas, alcanzaba la clave, debajo de la cual se colocó un tablero de madera suspendido de la bóveda. Desde este tablero salía un corredor de tablonos que conducía a las demás claves que fueron igualmente restauradas, aunque sin tanto problema, puesto que estaban dañadas en menor grado que la del presbiterio.

2º.- La Catedral de Barcelona.

Esta restauración dirigida por el conferenciante entre 1968 y 1972 tuvo un carácter muy distinto. La catedral no fue incendiada en 1936, constituyendo la excepción en medio del cuadro general de destrucciones de aquella fecha.

Sin embargo el humo de los cirios y el polvo habían ennegrecido totalmente las claves de bóveda, hasta tal punto que se desconocía la espléndida policromía original oculta bajo la suciedad.

La limpieza fue general en el interior de las naves y la que respecta a las claves de bóveda, es sólo parte de un proceso general.

Para ello se montaron andamios de tubo metálico sobre los que se ponían tablonces de madera para formar las plataformas donde trabajaban los obreros.

Para actuar en la limpieza se utilizó primeramente el cepillo sobre la piedra de las claves para efectuar luego un lavado con agua y detergente. El agua era bombeada hasta la altura de 25 m. y una vez usada, caía sobre lienzos de plástico que la recogían y la conducían a los desagües.

La limpieza se hizo mediante un proceso doble con tratamiento por productos químicos.

En primer lugar se aplicaba Petrolim PH-9, mezcla estabilizada de compuestos orgánicos y minerales en cuya composición intervienen productos que reaccionan con la materia orgánica (humo de los cirios) y el micropolvo atmosférico. Actúa invirtiendo la carga eléctrica estática por efecto termoestático, disolviendo posteriormente la suciedad una vez separada de la piedra. Se utiliza sobre materiales pétreos de carácter básico.

Una vez arrancada y disuelta la suciedad con Petrolim PH-9, se procedió a un enjuague con agua y Petrolim PH-7, que es un agente termoactivo de un aceite sulfonado que lleva incorporados fluoruros. Sirve para neutralizar los elementos tanto ácidos como alcalinos, por disolución de la fase primera.

Al tener las claves completamente limpias quedó a la vista la policromía original del siglo XIV, resaltada con aplicaciones de oro en las orlas, que rodean las grandes piedras, de casi dos metros de diámetro.

La pintura estaba intacta, pues la suciedad había actuado a modo de protector, por lo que después de la limpieza se procedió a una nueva defensa con aplicación de esmalte transparente Polidux, que es una cera poliétnica unida a ciertos plásticos, de gran utilidad para proteger superficies pétreas pintadas, conservando el brillo del color original.

El mismo tratamiento se hizo con las cinco grandes claves de la bóveda de la nave central, cuatro de las cuales, la del presbiterio y las de los tramos tercero, cuarto y quinto, están policromadas en tanto que la del segundo tramo está solamente dorada en alguna de sus partes.

Otra serie interesante de claves policromas de menor diámetro se hallan en las naves laterales, en las alas del crucero y en la cripta de Santa Eulalia.

La limpieza de todas ellas se inició en noviembre de 1969 y se concluyó en abril de 1971.

Tampoco aquí se interrumpió el culto ya que en el presbiterio se colocó un gran puente metálico por encima del altar mayor que quedó siempre en disposición de ser utilizado.

Esta restauración fue sumamente importante porque devolvió a la catedral su espléndido efecto cromático y deshizo la leyenda de que el edificio era oscuro y triste. Pero además permitió conocer perfectamente y en sus

menores detalles el tipo, forma y características de la policromía sobre piedra, elementos que han sido de gran utilidad en otras restauraciones.

Las obras de restauración del órgano mayor de la catedral, en diciembre de 1969, dejaron al descubierto una clave de bóveda con la imagen policroma de San Pedro que había permanecido oculta durante muchos años. Se trata de una obra escultórica de la segunda mitad del siglo XIV de indudable interés histórico y artístico.

El órgano de la catedral se halla situado en el triforio encima de la puerta de San Ivo e inmediatamente debajo de la puerta del reloj o del "seny de les hores". Esta torre está compuesta por una superposición de salas abovedadas, comunicadas entre sí por la escalera de caracol contenido en una torre más pequeña pegada al campanario y que culmina con la imagen de un caracol de piedra, para no engañar a nadie.

El primer piso del campanario lo forma la bóveda estrechada en la puerta de San Ivo, en cuya clave figura la imagen de San Pedro "ex cathedra", de brillante policromía, que quedó manifiesta en la limpieza de 1969. En la simétrica puerta del claustro se puede ver una bóveda igual, en cuya clave se ve a San Juan Evangelista. Por esta razón los espacios de ambas torres, a continuación del triforio, se llaman el coro de San Pedro y el coro de San Juan, en el primero está el órgano y en el segundo la cantoría o lugar para el coro de cantores de la catedral.

Las importantes obras de restauración de la caja y maquinaria del gran órgano, emprendidas por el Cabildo con la colaboración de la Generalitat y la aportación de los fieles, permitieron desmontar un conjunto de altillos de madera que llenaban completamente el coro de San Pedro, impidiendo ver sus formas generales y el aspecto de su bóveda ojal nevada cuatripartita, construida en la segunda mitad del siglo XIV, siendo arquitecto de la catedral Bernardo Roquer.

En la clave ha quedado perfectamente visible la imagen, suavemente policromada, del apóstol San Pedro, de regular tamaño, vestido con túnica y capa, teniendo un libro en la mano izquierda y una gran llave, o quizás dos, en la derecha. La decoración escultórica de la torre del reloj se sabe que fue obra del alemán Franz Müller en 1387, pero tal decoración se refiere a las tracerías y gárgolas de la parte alta del campanario, en tanto que la clave ahora estudiada pudo muy bien ser obra del propio arquitecto de la catedral, ya que en aquel tiempo los "lapiscidas" eran a la vez maestros de obras y escultores.

Desde los tiempos paleocristianos se tienen imágenes de San Pedro, en sarcófagos de mármol, con la figura del santo llevando un libro o una gran cruz.

A partir del siglo VI aparecen las primeras representaciones de San Pedro recibiendo las llaves del Reino, tal como la describe San Mateo (17, 19), o bien de pie, con las llaves en la mano. En ciertas imágenes el santo lleva una sola llave, en otras dos y también tres en ciertos casos. La llave única es símbolo del poder absoluto otorgado por Cristo a Simón Pedro, las dos llaves, una de oro y otra de plata, representan el poder absoluto y el poder de excomunión y cuando son tres simbolizan la facultad de enseñar, la de atar y desatar y la de gobernar.

En la catedral de Barcelona San Pedro lleva el libro de las representaciones más antiguas y las dos llaves, de gran tamaño, que le confieren el poder divino y también la facultad de la excomunión. De las muchas representaciones del santo que se pueden ver en la ciudad de Barcelona ésta es realmente digna de consideración y estudio, después de las tareas de limpieza de su policromía concluidas a fines de 1989.

3º Santa María del Mar.

Esta espléndida iglesia gótica de esbeltas columnas

octogonales y bóvedas amplísimas de planta cuadrada, tiene cinco tramos con sus correspondientes claves de bóvedas, que en su tiempo estuvieron policromadas.

En el presbiterio figura la coronación de la Virgen, y sucesivamente, la Anunciación, el Nacimiento, el rey Alfonso a caballo y el escudo de la ciudad de Barcelona.

Las claves en cuestión sufrieron daños en épocas diversas. Cuando se estaba construyendo la iglesia en su cuarto tramo y estaba colocado el gran andamio de madera, en la noche de Navidad de 1379, se produjo un incendio que destruyó el maderamen y dañó considerablemente la clave y la bóveda recién construidas.

El rey Pedro III el Ceremonioso ordenó la reconstrucción, que se hizo de un modo defectuoso.

La bóveda quedó abombada hacia adentro, es decir convexa en lugar de cóncava, con las dovelas separadas dejando juntas muy peligrosas.

Los nervios en gran parte dañados, y la clave de bóveda, sometida a la violenta acción del fuego, se desprendió casi totalmente en su parte escultórica al enfriarse después del incendio, quedando sólo la silueta del rey a caballo blandiendo en alto la espada.

La restauración de la bóveda se limitó a la colocación de cuñas de hierro en las juntas más abiertas que resistieron perfectamente seiscientos años y el incendio de 1936, a pesar de que su equilibrio era muy precario. La iglesia se inauguró el 15 de agosto de 1384.

En cuanto a la clave se hicieron una serie de agujeros cuadrados donde se pusieron tacos de madera, en los que se clavaron gruesos clavos de hierro, formando unos ganchos de los que se sujetó una falsa clave de bóveda de yeso parecida a la que se ha descrito antes al referir la restauración de la iglesia del Pino.

Pero en el incendio de 1936 esta máscara de yeso, muy imperfecta en cuanto a su ejecución artística, se desprendió, reapareciendo la silueta del rey caballero en la primitiva clave.

En 1971 se procedió a la restauración con métodos completamente distintos a los descritos hasta ahora.

En primer lugar se consideró la forma que debía darse a la escultura, teniendo en cuenta que había desaparecido totalmente, quedando solo la silueta.

No podían utilizarse las fotos anteriores al incendio ya que sólo mostraban la falsa clave de yeso, muy defectuosa.

Afortunadamente se disponía de otros testimonios contemporáneos muy fidedignos. Eran estos los sellos de las cartas reales.

Todos los documentos de la cancellería real de Aragón llevan sellos de cera de tamaño que oscila entre los 6 y los 15 centímetros, con figuras en relieve sobre marco circular. Estas figuras representan al rey sentado y visto de frente o al rey cabalgando con su armadura, su escudo y la espada en alto.

Se tomaron modelos de una serie de sellos de cartas reales conservados en el Archivo de la Corona de Aragón y en el Archivo de la Catedral de Barcelona y se buscó la silueta más parecida a la que figuraba en la clave.

Encontrada esta silueta, no hubo más que ampliar el modelo del sello real hasta el tamaño de 2 metros de diámetro que corresponde a la clave. Previamente se dibujó y luego se hizo un modelo a escala 1:10 para tener la plena seguridad de éxito.

Se levantó el andamio de tubo de hierro y se empezó por reparar la bóveda desmontando algunas dovelas y vol-

viéndolas a su lugar, corrigiendo la curvatura defectuosa y rejuntilas con mortero de cemento.

Luego se limpiaron los restos de la clave, se quitaron los ganchos de hierro y los tacos de madera y se quitó toda la piedra dañada por el calor.

Cuando se llegó al nivel de la piedra sana se cepilló con cepillo de puas metálicas la superficie de la arenisca "blancate" de Montjuïc y se procedió a hincar una serie de barras de acero inoxidable como si fueran afileres en un acericó.

Hecho esto se utilizó el cemento de lata resistencia patente del arquitecto alemán Max Krusemark, que tiene la cualidad de ser plástico como el barro durante un periodo de varias horas, después de haber sido empapado en agua.

Colocada la masa plástica sobre la piedra antigua y, solidariamente unida a ella por los hierros inoxidables, el escultor reprodujo el modelo que había previamente preparado, esculpiendo por capas superpuestas la figura del caballero.

Una vez fraguado el cemento, quedó con resistencia parecida a la de la piedra auténtica, teniendo la ventaja de formar cuerpo con la misma. Se trata pues de un proceso de regeneración de la piedra arenisca, más que de una restauración.

Una vez reconstruida la escultura se procedió a la policromía siguiendo los modelos conocidos de las claves auténticas, poco antes limpiadas en la catedral.

Los colores en este caso no ofrecían dudas, puesto que tanto el escudo del rey como la gualdrapa del caballo, presentan las barras rojas y amarillas de Aragón.

Cuando se hizo la pintura pareció que los colores quedaban demasiado vivos y, ante el miedo de dejar la restauración demasiado "nueva", se procedió a aplicar una patina que debilitara los colores.

Hecho esto se desmontó el andamio y entonces, al poder contemplar la clave libremente desde el suelo, se vio que aquellos colores apagados producían muy mal efecto. Ante la imposibilidad de volver a montar el costoso andamio, se pidió ayuda al cuerpo de bomberos, que penetró en el templo con un camión escalera, que permitió llegar de nuevo a la clave a la que, se limpió y se le dio un baño de barniz, con lo que su aspecto mejoró mucho.

Luego se procedió del mismo modo que en la clave del rey a caballo, es decir regenerando la piedra con cemento unido a la clave mediante elementos de metal inoxidable y forjando encima por mano de escultor el delicado grupo escultórico, que luego fue policromado tomando modelo de las esculturas de la bóveda de la catedral, que son rigurosamente contemporáneas a las de Santa María.

La quinta clave de bóveda no estaba tan afectada y en ella se conservaba aún la forma del escudo de Barcelona eso sí, totalmente ennegrecido. Se procedió a la limpieza por el mismo procedimiento que en la catedral. Previamente el conferenciante ascendió hasta la clave izado en una jaula suspendido de un cable para comprobar el estado de la misma, que era muy sucio, pero resistente.

En aquella ascensión se localizaron los escudos del tambor que no habían sido reseñados en ninguna historia.

En el mes de agosto de 1985, con una subvención concedida por la Generalidad de Cataluña, se procedió a la restauración de las dos claves restantes. La del Nacimiento, más cercana al presbiterio, y la de la Anunciación.

Se montaron dos torres metálicas debajo de las claves y, entre ellas una escalera que permitió el cómodo acceso a

las bóvedas donde se instaló el taller de restauración. Se utilizó el mismo procedimiento de mortero refractario Mineros y policromía, siguiendo los modelos de la catedral.

En la clave de la Anunciación se localizó, en el tambor, el escudo de Berenguer Bertran, un rico comerciante que debió pagar la construcción de todo el tramo o capilla.

Así quedó completa la restauración de las claves de la nave mayor de Santa María de la Mar, pero quedan por restaurar otras sesenta claves del deambulatorio, naves laterales y capillas entre contrafuertes.

Precisamente en estos momentos el que les habla ha iniciado la realización del proyecto de restauración de los terrados y de las vidrieras de esta iglesia, quedando para más adelante la restauración interior de las restantes bóvedas.

4.- El Real Monasterio de Santa María de Pedralbes.

Fue fundado por el rey de Aragón Jaime II el Justo y por su esposa la Reina Elisenda de Montcada y de Pinós, en 1326, para acoger una comunidad de monjas franciscanas. La mayor parte de la obra de fábrica es de los siglos XIV y XV.

En la iglesia, gótica de una sola nave, con capillas entre contrafuertes, hay bóvedas ojivales nervadas cuatrimpartitas, con sus correspondientes claves. En el curso de la restauración realizada en 1897 por el arquitecto Juan Martorell Montells fueron repintadas, por lo que no se tiene noticia exacta del estado de tal policromía con anterioridad. La iglesia se construyó en el s. XIV, mientras que la sala capitular, construida con un donativo de doña Constanza de Cardona y de Pinós, prima de la Reina Elisenda, se hizo entre 1416 y 1419. Es una sala cuadrada cubierta con bóveda cuatrimpartita ojival con una gran clave que representa Pentecostés.

En la restauración del interior de la sala en 1977 se procedió a la limpieza de la misma y se pudo apreciar la gran calidad de la policromía cuyo autor fue el pintor Pere Closas.

Barcelona, domingo 3 de febrero 1991

Festividad de San Blas, ob., mar.

Juan Bassegoda Nonell.

Bibliografía

Juan Bassegoda Nonell
La catedral de Barcelona. Su restauración. (1968-1972).
Editores Técnicos Asociados
Barcelona, 1972.

Juan Bassegoda Nonell
La cerámica popular de la arquitectura gótica.
Ed. de Nuevo Arte Thor.
Barcelona, 1977, 1978, 1983.

Bonaventura Bassegoda i Amigó
Santa María de la Mar.
Ed. Universitat Politècnica de Barcelona
Barcelona, 1976.

Juan Bassegoda Nonell.
Guía de Santa María de la Mar
Fundación Caixa de Barcelona.
Barcelona, 1987.

Juan Bassegoda Nonell
Guía del Monestir de Pedralbes.
Ed. de Nou Art Thor,
Barcelona, 1977.

Joan Bassegoda i Nonell
Restauracions a la catedral de Barcelona
Butlletí II
Reial Acadèmia Catalana de Belles Arts de Sant Jordi
Barcelona, 1985.

ILUSTRACIONES PARA LA COMUNICACION DE Juan Bassegoda Nonell

"RESTAURACION DE CLAVES DE BOVEDA GOTICAS"

1.- Iglesia de Ntra. Sra. de los Reyes o El Pino.

- 1.1.- Fachada de la iglesia parroquial del Pino.
- 1.2.- Clave del presbiterio antes del 19 de julio de 1936.
- 1.3.- Efectos del fuego en la clave presbiterial.
- 1.4.- Esquema de la solución utilizada por el arquitecto Angel Truño Rusiñol (1895-1979).
- 1.5.- Andamiaje montado para restaurar la clave (1959).
- 1.6.- Alzado y planta del andamio, dibujo de Truño.
- 1.7.- Aspecto de la terraza de la Iglesia con la estructura metálica soporte de la nueva clave.

2.- Santa Iglesia Catedral Basílica de Barcelona.

- 2.1.- Clave del presbiterio con la Crucifixión.
- 2.2.- Clave mayor restaurada.
- 2.3.- La clave mayor después de la limpieza.
- 2.4.- Clave de Santa Eulàlia.
- 2.5.- Clave de la Virgen de Misericordia.
- 2.6.- Clave de la Anunciación.
- 2.7.- Clave de la Anunciación durante los trabajos de limpieza.
- 2.8.- Clave del Obispo Pedro de Planella.
- 2.9.- Clave del Obispo.
- 2.10.- Clave del Obispo, antes de la limpieza.
- 2.11.- Clave de "Maiestas Dornin".
- 2.12.- Bóveda estrellada del coro de San Juan.
- 2.13.- La bóveda antes de la limpieza.
- 2.14.- Bóveda por devanadera de la antigua sala Capitular.
- 2.15.- La bóveda ennegrecida por el humo, antes de la restauración.

3.- Parroquial Basílica de Santa María de la Mar.

- 3.1.- Clave del quinto tramo antes de su restauración.
- 3.2.- Estudio directo de la clave antes de la limpieza.
- 3.3.- La clave del escudo de la ciudad una vez restaurada.
- 3.4.- La clave del Rey a caballo después del incendio de 1936.
- 3.5.- Proceso de restauración de la clave del Rey.
- 3.6.- La clave de Alfonso II, el Benigno, restaurada.
- 3.7.- La Anunciación antes de 1936.
- 3.8.- Estado de clave en 1983.
- 3.9.- La clave de la Anunciación arreglada en 1985.
- 3.10.- La clave de la Natividad en 1925.
- 3.11.- La clave destruida en julio de 1936.
- 3.12.- La clave de la Natividad restaurada en agosto de 1985.
- 3.13.- La clave mayor en 1925.
- 3.14.- La clave de la Coronación de la Virgen en 1939.
- 3.15.- La Coronación restaurada en 1973.

LAS TÉCNICAS BIOCLIMÁTICAS APLICADAS A LA REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS

BEDOYA FRUTOS, César Dr. Arquitecto
NEILA GONZALEZ, F. Javier Dr. Arquitecto
PUENTE GARCIA, Raquel Dra. Ingeniero Industrial

Profesores del Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid.

Esta ponencia tiene como objeto mostrar un conjunto de técnicas aplicables a la rehabilitación del edificio en aspectos ambientales, como alternativa a las técnicas convencionales de rehabilitación de las instalaciones existentes.

Dentro de la rehabilitación integral del edificio, una de las actuaciones más singulares que se puede realizar, por ser menos frecuente, es la encaminada a su rehabilitación ambiental. La rehabilitación ambiental, es decir, la rehabilitación del ambiente higrótérmico en el que se vive, se identifica automáticamente con actuaciones sobre las instalaciones de climatización, ya sea las de calefacción o las de refrigeración, sustituyéndolas o simplemente mejorándolas. Sin embargo, existen técnicas directas de rehabilitación del ambiente que no precisan de la actuación indirecta sobre las instalaciones. Esas técnicas son las que tienden a mejorar las condiciones ambientales mediante la conservación energética y la captación o eliminación espontánea de energía.

Este tipo de técnicas, que se denominan genéricamente técnicas bioclimáticas, pueden ser de distinta índole, desde las más elementales que se limitan a actuar sobre el aislamiento del edificio o a proponer protecciones para los huecos acristalados, hasta técnicas mucho más complejas basadas en el enfriamiento o calentamiento pasivo.

Las técnicas bioclimáticas tienen como objeto adecuar el funcionamiento del edificio al medio ambiente en el cual se encuentran; por tanto, no son extrapolables de una región climática a otra diferente. Por otro lado, son técnicas que no se limitan a la captación de energía calorífica, sino que también sirven para generar aire frío o provocar la sensación de enfriamiento.

Estas técnicas de rehabilitación se pueden agrupar en diversos apartados:

1. Técnicas rehabilitadoras basadas en la conservación de energía.

2. Técnicas de rehabilitación higrótérmica para condiciones de invierno.

3. Técnicas de rehabilitación higrótérmica para condiciones de verano.

1. Técnicas rehabilitadoras basadas en la conservación de energía.

Las técnicas que se refieren a la conservación de energía se fundamentan básicamente en la adecuada colocación del aislamiento. Es habitual que los edificios antiguos que se van a rehabilitar carezcan de aislamiento. En la mayoría de los casos será precisa su colocación, ya sea para mejorar el coeficiente de transmisión de calor del cerramiento (muros delgados) o para controlar la inercia térmica y el tiempo de puesta en régimen del local (muros gruesos). Según las características del cerramiento será posible:

1.1 Aislamiento por inyección en cámara.

1.2 Aislamiento semirrígido por el exterior.

1.3 Aislamiento semirrígido por el interior con trasdosado.

1.4 Aislamiento rígido por el interior sin trasdosado.

1.5 Aislamiento flexible en cámaras horizontales.

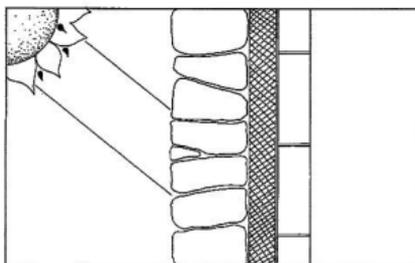


Ilustración 1. Diversas técnicas de aplicación del aislamiento.

El empleo de cada una de estas soluciones (Ilus. 1) estará motivado por diversas circunstancias constructivas o de uso del edificio: la existencia de cámara de aire permitirá la inyección de aislantes en su interior; las pequeñas dimensiones de los locales obligará a sistemas que no reduzcan notablemente el espacio útil interior; la necesidad de conservación de la cara exterior o interior del muro puede obligar a aislantes por la cara contraria; etc.

Cualquiera de estas soluciones afecta también al comportamiento general del local, como es el tiempo de puesta en régimen del local, el aprovechamiento de su inercia térmica, etc. Un cerramiento muy grueso tiene también una gran inercia térmica. Este hecho se ve reflejado en un tiempo de puesta en régimen del local de muchas horas; si el local va a tener a partir de ese momento un uso continuado el efecto de la inercia no sólo no será un problema, sino que, incluso, será muy beneficioso para mantener una temperatura interior muy estable, independientemente de las fluctuaciones térmicas del ambiente exterior. Sin embargo, en un local de uso eventual, muy habituales en la rehabilitación de edificios antiguos para usos institucionales o culturales, esa gran inercia imposibilita su uso de una forma energéticamente racional; resulta imprescindible en estos casos reducir el efecto de la inercia dotando al cerramiento de un importante aislamiento interior.

Por otro lado, analizando el problema únicamente desde el punto de vista de las transferencias de calor, el aislamiento de un edificio de tamaño mediano con un grado de acristalamiento del 10% de su superficie de fachadas puede tener efectos notables. Por ejemplo, el aislamiento de su cubierta con 4 cm. de un material de tipo medio representa una reducción del 10% de la carga térmica por transmisión del edificio. Pero si ese mismo aislamiento se hace extensivo a todos los muros la reducción

llegará a ser del 55%. Incorporando los huecos acristalados a la actuación de terrazas o la protección de fachada con vidrios por vidrios aislantes el ahorro puede llegar hasta el 57%. Y si, por último, lo que se corrigen son las carpinterías y su hermeticidad, la carga por infiltraciones se puede reducir hasta en un 75%. Todo esto aplicado a un edificio con la calefacción subdimensionada, con un funcionamiento a bajo rendimiento, con unos altos gastos en mantenimiento, o incluso sin calefacción, representa una técnica rehabilitadora en sí misma, pues puede validar el sistema y su estado actual.

2. Técnicas de rehabilitación higrótérmica para condiciones de invierno.

El objetivo que se plantea en este segundo apartado es la utilización de la radiación solar una vez transformada en energía térmica. Su aprovechamiento se puede realizar mediante tres conjuntos de técnicas:

2.1 Captación directa de la radiación a través de huecos.

2.2 Obtención de aire caliente generado gracias a la captación indirecta de la radiación a través de galerías, terrazas cerradas, etc. (Ilus. 2)

2.3 Captación indirecta de radiación mediante la conservación de la energía acumulada en los muros de fachada (Ilus. 3)

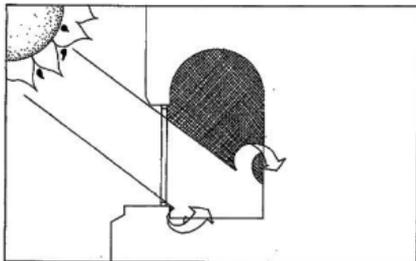


Ilustración 2. Creación de galerías cerradas.

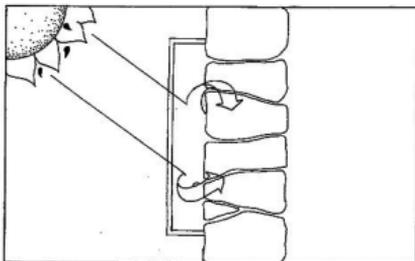


Ilustración 3. Protección de muros acumuladores.

La actuación rehabilitadora en estos apartados se dirige a la formación del efecto invernadero. Para ello es necesario el cerramiento de terrazas o la protección de fachada con vidrio para que se produzca el efecto invernadero, el tratamiento de la superficie de estos espacios para favorecer la captación de la radiación solar, y la disposición de rejillas en los cerramientos para la distribución de aire a los locales que se pretende acondicionar.

Cualquiera de estas técnicas, siempre que cumpla con una proporción de al menos 0,50m² de superficie captadora por cada metro cuadrado de superficie a acondicionar de local bien aislado, puede ser capaz en sí misma de producir el suficiente calor como para el acondicionamiento del ambiente a rehabilitar, aún en el caso de que no exista ningún sistema convencional de acondicionamiento funcionando.

3. Técnicas de rehabilitación higrótérmica para condiciones de verano.

Las técnicas aplicables a los edificios para combatir las condiciones de verano pueden agruparse en:

3.1 Técnicas de prevención del sobrecalentamiento.

3.2 Técnicas de eliminación del sobrecalentamiento.

3.3 Técnicas de actuación sobre la sensación.

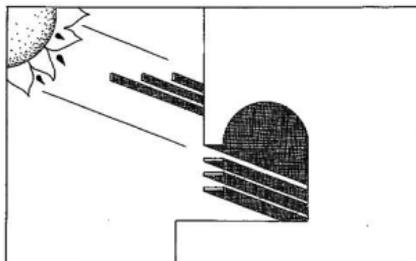


Ilustración 4. Protecciones exteriores.

3.4 Técnicas de producción de aire frío.

Las técnicas que tienen como objeto la prevención del sobrecalentamiento (Ilus. 4), se basan fundamentalmente en la reducción de la carga correspondiente a la radiación solar mediante el adosamiento en los edificios a rehabilitar de protecciones fijas o móviles adecuadamente dispuestas. Pueden ir desde elementos de uso muy variable, pero también muy flexible, como son las persianas o las cortinas, a elementos de uso más preciso, como son los parasoles, las dobles fachadas, las lamas exteriores móviles, etc. Su efecto en general puede ser altísimo, ya que la mayor parte de la carga de refrigeración tiene su origen en la radiación, concretamente en la radiación directa a través de huecos acristalados.

Las técnicas que eliminan el calor acumulado en el interior, ya sea provocado por fuentes externas, radiación, transmisión e infiltraciones, o por fuentes internas, ocupación e iluminación, se basan en el fomento de la ventilación cruzada. Para ello se conectan los locales incorporando rejillas y huecos a muros, tabiques, puertas y ventanas. Las chimeneas de ventilación, que pueden llegar a ser mucho más efectivas, pueden emplearse para locales con mucha carga acumulada, incorporándolas en cubierta, como una chimenea convencional, en el peto de una terraza o, simplemente, en las zonas altas de los muros controladas por algún equipo dinámico (Ilus. 5).

Dado que el bienestar higrótérmico es un hecho absolutamente subjetivo, para evitar el calor no solamente se puede actuar sobre la temperatura real del ambiente sino también directamente sobre la sensación que nos provoca. Las técnicas que actúan sobre la medida de la sensación pretenden la reducción, entre otros objetivos, de la sensación de calor sin modificaciones apreciables de la

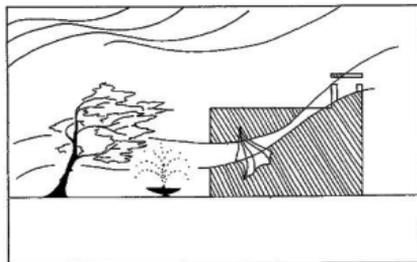


Ilustración 5. Creación de chimeneas de ventilación.

temperatura ambiente. Esto se alcanza fundamentalmente mediante los incrementos de la velocidad del aire y mediante la reducción de la temperatura de las paredes

de los locales. El primer objetivo se podrá alcanzar de nuevo mediante técnicas de ventilación cruzada, fácilmente incorporable en los edificios a rehabilitar, mientras que el segundo precisa de planteamientos en la mayoría de los casos que trascienden la propia rehabilitación para convertirse en técnicas de diseño de nueva planta. Sin embargo, es posible reducir la temperatura del suelo utilizando un suelo radiante por el que se haga circular agua fría durante el verano. Dado que la temperatura del pavimento nunca puede estar por debajo de la temperatura de rocío del ambiente, pues se producirían condensaciones, el efecto no es absolutamente de refrigeración ambiental, y permite el empleo de agua no excesivamente fría que podría obtenerse de cursos naturales; este sistema permite reducir la sensación de calor entre 2 y 4 °C.

Todas estas técnicas, combinadas o aisladas, son técnicas de rehabilitación ambiental de edificios existentes que no precisan de actuación sobre las instalaciones, cuando existan, ni de su implantación, cuando no existan.

REHABILITACION Y REVITALIZACION DE ARAMUNT VELL

Francesc Xavier Casanovas i Boixereu

Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona

SUMARIO

La despoblación de las áreas rurales, es hoy un hecho consumado en muchos países, con la consecuente pérdida patrimonial que ello comporta. La ponencia presenta una iniciativa que se ha planteado recientemente en el Pirineo de Lleida para recuperar el núcleo de Aramunt Vell en una visión integral de rehabilitación física, de revitalización con diversos aprovechamientos, algunos relacionados con la propia rehabilitación y de dinamización del entorno comarcal fuertemente deprimido.

KEYWORDS:

Rehabilitación, revitalización, gestión, formación.

INTRODUCCION

A lo largo de todo este siglo, pero especialmente a partir de los años 50, en los países occidentales se ha desarrollado un modelo de crecimiento económico potenciador del desarrollo de los sectores secundario y terciario, en detrimento del primario, lo que está causando unos efectos que seguramente a los economistas que trabajan con macrocifras ni les interesa ni les preocupa, pero que en un futuro cercano deberán ser tenidos en cuenta para evitar pérdidas irreversibles para toda la sociedad.

Una de las consecuencias claras de la consolidación de este modelo económico, son los desequilibrios territoriales que a nivel demográfico han comportado tendencias polarizadas. Así, mientras las áreas industriales se han ido saturando progresivamente, las áreas rurales han entrado en una fase de clara decadencia y en un inicio de desertización que altera de forma importante el equilibrio territorial vigente durante siglos, con la degradación del medio natural en su conjunto, del patrimonio cultural y arquitectónico de gran valor y de todo un ecosistema que se ve alterado por el progresivo abandono de los pueblos con sus explotaciones agrícolas y ganaderas que en una implantación racional actuaban como elemento catalizador del entorno.

La despoblación de las áreas rurales en el Estado español, resulta hoy en día un hecho difícilmente reversible, existiendo amplias zonas del territorio con densidades por debajo de 1 ó 2 habitantes por hectárea, más de mil pueblos con población "0" y es previsible que en el año 2000 sean varios millares los que estén totalmente abandonados.

La desaparición del hombre de este medio, no tiene únicamente repercusiones en los núcleos urbanos, sino que causa cambios importantes en el paisaje, viéndose las tierras de labor abandonadas, rápidamente invadidas por el bosque y la maleza que van avanzando, el propio bosque se está convirtiendo día a día en un lugar inaccesible y propenso a los incendios, la fauna está cambiando al no mantenerse su sistema de alimentación y muchos otros factores que conforman el paisaje se van degradando poniendo en peligro una de las pocas alternativas de recuperación de estas zonas marginales como son la segunda residencia y el turismo.

Una de las primeras iniciativas significativas en este sentido, ha sido el encuentro de la Conferencia de Seguridad y Cooperación en Europa reunida en Cracovia (Polonia) en Junio de 1.991 para tratar por primera vez temas de patrimonio cultural. En este encuentro, representantes de 34

gobiernos se comprometieron, entre otros temas, a iniciar una colaboración de "autoridades" y "expertos" para dar una importancia primordial a la protección y conservación del paisaje histórico y cultural.

PERDIDA DEL PATRIMONIO CONSTRUIDO

Hablar de miles de pueblos abandonados en el Estado español, resulta estremecedor, sobre todo si nos paramos a reflexionar qué sucede en ellos en su proceso de abandono.

Muchos de estos pueblos tienen una historia de más de 1000 años, los edificios que los conforman fueron construidos con grandes esfuerzos y con muchos años de trabajo han ido evolucionando para adaptarse a los nuevos tiempos, respondiendo a una tradición constructiva local, a una sabiduría en el oficio y a un conocimiento consuetudinario que permite dar la mejor solución en cada caso para hacer frente a la agresividad climática y ambiental y a todos los factores intrínsecos y extrínsecos que envuelven al hábitat rural.

Toda esta historia y estos valores se echan a perder de forma rápida en el momento del abandono. A una casa que después de cinco siglos ha llegado hasta nuestros días en perfecto estado de conservación, le bastan 15 ó 20 años de no estar habitada, para que se convierta en una ruina. Se produce una gotera, ésta degrada una viga, cae un trozo de cubierta y en poquísimo tiempo la casa se ha convertido en un montón de piedras.

A esta alarmante pérdida de patrimonio, hay que añadir otra compleja problemática que se presenta en la mayoría de estas poblaciones durante el proceso de abandono, generándose una especie de cáncer que va degradando zonas, haciéndolas peligrosas e intransitables, viendo los vecinos que quedan, como se van cortando las calles por la caída de edificios y nunca más se vuelven a abrir. En esta situación se encuentran hoy miles y miles de núcleos rurales, viéndose sus moradores obligados a la huida en cuanto pueden, para no morir atrapados en el pueblo que les vio nacer y en la casa que acogió muchas generaciones de su familia, ya que mantenerse en el pueblo no sólo requiere mantener su casa en buen estado, sino todas las demás.

Afrontar este problema corresponde a los Ayuntamientos, los que según la Ley vigente, deberían consolidar o derribar de forma controlada los edificios que presentan peligro. Si hacemos un esfuerzo para conocer los medios a su disposición nos encontramos en la mayoría de los casos, con la gran decepción de que el presupuesto anual resulta insuficiente para resolver el problema de un sólo edificio, con lo que la desprotección de las personas y del patrimonio construido parece un hecho absolutamente irreversible.

Desde hace algunos años, se vienen desarrollando, tanto en nuestro país como en otros del ámbito europeo, diversas experiencias encaminadas a corregir este grave problema que siguiendo orientaciones absolutamente diferentes y sistemas de financiación asimismo dispares, pretenden un objetivo común centrado en evitar la pérdida de valores significativos de nuestro patrimonio construido.

En el Estado español en estos momentos son destacables por su ejemplaridad iniciativas como la de Navapalos en Soria, en la que se intentan recuperar las técnicas tradicionales de construcción con tierra de la zona, al tiempo que se rehabilita el pueblo, de carácter totalmente turístico.



son las recuperaciones emprendidas por los Ministerios de Educación y Obras Públicas para adaptar algunos pueblos abandonados en escuelas temporales y poner en contacto los estudiantes con el medio rural, en otra línea tenemos las acciones de diversos sindicatos para rehabilitar pueblos ofreciendo lugares de vacaciones a sus afiliados y muchas otras iniciativas en las que no se puede descuidar a los neorurales o personas que haciendo un gran esfuerzo emprenden un camino inverso al de la emigración más habitual, yendo desde las ciudades a vivir a los pueblos y evitando así, en muchos casos, su desaparición.

Todas estas iniciativas se enfrentan con una grave y complicada problemática para poder realizarse ya que aunque parezca paradójico, conseguir la propiedad de los pueblos abandonados resulta un reto en muchos casos inabordable que hace desistir de llevar adelante un proyecto a los grupos más entusiastas, la disponibilidad de edificios se obtiene, por lo general, cuando éstos se encuentran absolutamente degradados y después de que el vandalismo, el pillaje y la rapiña hayan dado buena cuenta de todos los elementos de interés y hasta de los signos identificativos del pueblo.

ARAMUNT VELL

Uno de los mil pueblos abandonados es Aramunt Vell, que vivió una lenta agonía y vió marcharse a su último habitante hace ya unos 10 años.

El interés histórico y arquitectónico del lugar, ha despertado desde mucho antes de su abandono total, la inquietud de personas sensibles y de algunos organismos para su recuperación, pero siempre han chocado con dificultades que han hecho inviables las iniciativas previstas.

El progresivo incremento en la velocidad de degradación y la continua expoliación a que ha estado sometido el pueblo durante estos últimos tiempos, decidió el Ayuntamiento de Pallars Jussà, cabeza de partido, encarar un estudio previo para determinar las posibilidades reales de rehabilitación física y de revitalización del núcleo. Paralelamente se realizó un sondeo entre los antiguos vecinos y propietarios de los inmuebles para estimar la viabilidad de una cesión de los derechos, en el caso de emprenderse una vía de recuperación de tipo público.

Para la dirección y coordinación de esta fase previa, el Ayuntamiento solicitó la colaboración del Servei de Rehabilitació del Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona, quien juntamente con el de Lleida preparó los primeros documentos y en la actualidad sigue asesorando la puesta en marcha de las primeras actividades.

LOCALIZACION Y RESEÑA HISTORICA.

Aramunt Vell es un pequeño núcleo del Pirineo Catalán, situado en la comarca del Pallars Jussà, en la margen izquierda del río Noguera Pallaresa, donde éste forma el pantano de San Antonio, entre las poblaciones de Tremp y la Pobla de Segur. Si bien los orígenes de la población en esta zona se remontan a la época romana, este núcleo aparece documentado por primera vez el año 959 con el nombre de Eramonte. Durante toda la época medieval el "Castell d'Aramunt" o recinto amurallado va siguiendo diversas vicisitudes relacionadas con los cambios políticos del entorno, asumiendo un papel de cierta importancia y va creciendo ocupando toda la colina que envuelve la zona amurallada. La riqueza de la zona le permite algunas épocas de prosperidad económica que quedan claramente reflejadas en los elementos arquitectónicos hoy presentes.

El documento que nos permite conocer mejor el pueblo data de 1790 y el él podemos leer su condición de sociedad agraria con unas condiciones de vida y una actividad productiva típicas del antiguo régimen, ahogada por las obligaciones feudales con los Duques de Medinaceli, las ofrendas a la Iglesia y los impuestos municipales, que

absorben los excedentes de producción manteniendo una comunidad absolutamente cerrada.

A lo largo del siglo XIX estas condiciones no variaron mucho, si bien se iniciaron las primeras construcciones agrícolas en la zona baja denominada "Les Eres" que se convertirán en el embrión del nuevo asentamiento y del abandono del núcleo original.

A inicios del siglo XX, son ya 10 las familias que se han trasladado a vivir a "Les Eres", apareciendo un factor de estabilización temporal como es la construcción de la presa de la central hidroeléctrica de Talarn en el año 1917 que dará riqueza momentánea al pueblo de Aramunt, pero que anegará todas sus mejores tierras.

El período que va de 1945 a 1960 marca el gran descenso demográfico del núcleo pasando de tener 50 casas a tener sólo 6 y en 1980 será definitivamente abandonado por su último habitante que no podía seguir viviendo en un pueblo que se iba desmoronando a su alrededor día a día.

DESCRIPCION DEL NUCLEO.

El núcleo de Aramunt Vell presenta tres zonas claramente diferenciadas, como son: el castillo, el pueblo y las construcciones fuera murallas.

El castillo situado en la cumbre de la colina, en una posición claramente dominante, es la zona de asentamiento más antiguo y en los últimos tiempos estuvo ocupado por los edificios representativos de la Iglesia y del poder civil. La Iglesia, el ayuntamiento, la casa rectoral y las murallas de esta zona, son de grandes dimensiones si los comparamos con los del resto de la población, y sus características constructivas son de mejor calidad en todos sus elementos.

El pueblo, emplazado en una amplia explanada que queda a los pies del castillo en su cara sur, acoge a todos los edificios de vivienda, talleres artesanos, etc. y una pequeña iglesia. Estos edificios están organizados de tal forma que crean un recinto cerrado que dispone únicamente de dos puertas de acceso y que es atravesado por dos calles principales y alguna pequeña transversal. Los edificios de esta parte son característicos de la arquitectura tradicional si bien presentan muchos alguna particularidad en cuanto a la calidad de algunos elementos constructivos como son dinteles o arcos en fachada, bóvedas en su interior, etc.

Las construcciones fuera murallas se alinean en su mayoría a lo largo de los caminos de acceso por su zona norte y sur, siendo por lo general edificios de vivienda de construcción relativamente reciente con algunos casos de tipología aislada. En esta misma situación se encuentran los molinos cercanos al río, la Torre dels Moros y la iglesia de Santa María.

Hay que destacar que este núcleo disponía de agua potable y desagües con dos fuentes públicas y un lavadero y de electrificación, si bien estos años de abandono han dejado absolutamente inservibles estos servicios por lo que actualmente no dispone de ellos.

OBJETIVOS

Todo proyecto de las características del que aquí se presenta, se plantea unos objetivos finales a alcanzar, que en este caso se puede concretar en la revitalización del núcleo urbano en su conjunto, no orientada a la reconstrucción social y económica original, sin ningún tipo de dudas implantables hoy en día, sino hacia la salvación de un patrimonio construido, dándole una nueva función social en la dinamización de unas comarcas deprimidas. En este sentido podemos considerar el objetivo paralelo de aprovechar la infraestructura existente para la creación de nuevos servicios, evitando el contrasentido que representa el que la inversión pública destine grandes recursos

a la construcción de nuevos conjuntos dirigidos a la promoción comarcal, al tiempo que otros van desapareciendo a pesar de contener todos los valores culturales e históricos que se pretenden potenciar y salvar.

Alcanzar los objetivos finales, requiere plantearse unos objetivos estratégicos previos en dos líneas claras, la rehabilitación arquitectónica del núcleo y la creación de un instrumento de gestión y dinamización efectivo y operativo.

La rehabilitación arquitectónica del núcleo, debe orientarse en tres vías:

- Dotación de los servicios necesarios para su funcionamiento.
- Adecuación de los servicios existentes a las actividades que se vayan a desarrollar.
- Recuperación de la imagen urbana tradicional del núcleo.

Los problemas principales que se plantean en esta etapa están centrados en la obtención de una importante partida económica para la realización de los trabajos y en encontrar los criterios de intervención más adecuados para que la imagen del núcleo sea lo más fiel posible a su tradición, evitando mimetismos inútiles que lo conviertan en un decorado y dificulten la adaptación a su nueva realidad.

El instrumento de gestión, es la herramienta fundamental para que esta iniciativa alcance sus objetivos finales, en tanto que deberá plantearse dar respuesta a las siguientes demandas:

- Dar la orientación funcional al futuro núcleo recuperado.
- Diseñar y poner en funcionamiento unas actividades que aúnen las posibilidades del lugar con las necesidades del entorno.
- Conseguir implicar la iniciativa pública y privada en el proyecto, para hacer posible la financiación inicial y la de las actividades permanentes a desarrollar.

ACTIVIDADES A DESARROLLAR

En el estudio comentado, se plantea a nivel orientativo una amplia gama de actividades que pueden resultar adecuadas para el núcleo de Aramunt Vell, y a la vez ejercer un efecto dinamizador en el ámbito comarcal.

1) Campos de trabajo.- Como actividad complementaria en el ocio y la formación de jóvenes de todo el mundo, los campos de trabajo resultan una actividad idónea a desarrollar en un lugar como el que nos ocupa, no tanto en el aprovechamiento del trabajo de los jóvenes para recuperar físicamente el núcleo, sino en el estudio del mismo y en darlo a conocer en un ámbito muy amplio.

Se plantea realizar dos tipos de cambio, los convencionales de voluntarios y otros especializados en el estudio de factores históricos, arquitectónicos y artísticos.

Durante el año 1.991 se han desarrollado ya tres campos con unos resultados excelentes.

2) Estancias escolares.- Como cursos especializados de corta duración orientados a diferentes niveles y temas, en los que puedan participar a lo largo del curso escolares de todo el país, viviendo muy intensamente la materia del trabajo, en cuanto se escojan temas directamente relacionados con la realidad del núcleo, de su historia y de su entorno más próximo.

En este sentido, se puede considerar una primera experiencia la participación de estudiantes de arquitectura técnica los dos últimos años realizando trabajos concretos vinculados a la rehabilitación del núcleo.

3) Escuela permanente de técnicas y oficios tradicionales.- En este caso se plantea la creación de una Escuela de alta especialización en oficios tradicionales de la construcción, dada la necesidad a nivel nacional, de disponer de operarios capacitados en los trabajos de rehabilitación.

Se podrá aprovechar el propio núcleo para realizar los trabajos prácticos y habría que consolidarse como una Escuela especializada en algunos temas concretos para asumir un protagonismo a nivel internacional coordinado con las muchas iniciativas semejantes que hay en el resto de Europa.

En estos momentos, la Conselleria de Treball de la Generalitat de Catalunya, ha asumido este proyecto y está previsto el inicio de la Escuela en el curso 1991-92.

4) Centro de estudios y documentación de la construcción tradicional.- Paralelamente a la Escuela comentada resultaría muy útil la creación de un Centro de estudios y documentación especializado en la construcción tradicional que debería trabajar en la investigación teórica y en aplicaciones prácticas en la propia Escuela.

5) Promoción de iniciativas económicas.- La infraestructura material y el equipo humano que se creará en todo este proyecto, puede tener una magnífica aplicación en la promoción de iniciativas económicas en la dinamización del entorno comarcal, en actividades formativas en todos los campos de interés y en la promoción y apoyo a actividades concretas.

6) Aprovechamiento turístico.- Sea en una iniciativa pública o mixta, se hace necesario pensar en el máximo aprovechamiento y diversificación del conjunto, pudiéndose introducir en un futuro próximo la acogida de turismo rural que actualmente se está desarrollando en toda Europa con una demanda creciente.

7) Otras actividades.- Son muchas otras las actividades y aprovechamiento que se pueden dar en un núcleo de las características de Aramunt Vell una vez recuperado y tiene que ser un reto constante del instrumento de gestión encontrar nuevas iniciativas a desarrollar.

POSIBLES INTERLOCUTORES

Un proyecto de las características de las que se ha planteado, no puede ser asumido por un Ayuntamiento de las dimensiones y capacidad administrativa del de Pallars Jussà, viéndose como imprescindible la creación de un órgano más amplio en el que participen las administraciones que puedan tener un interés en las actividades a desarrollar y organismos o empresas privadas que estén dispuestas a rentabilizar alguna faceta o a esponsorizar algunas de las actividades a desarrollar.

Algunas instituciones públicas pueden ser:

- Ayuntamiento de Pallars Jussà
- Consell Comarcal del Pallars Jussà
- Diputació de Lleida
- Conselleria de Treball
- Conselleria de Política Territorial i Obres Públiques
- Conselleria d'Ensenyament
- Conselleria d'Agricultura, Ramaderia i Pesca
- Conselleria de Comerç i Turisme
- Direcció General de la Joventut

OPERATIVA DE PUESTA EN MARCHA

Crear una organización tan completa como la que requiere coordinar los diferentes organismos de la administración no resulta sencillo, planteándose en inicio constituir un órgano de Dirección en el que los representantes de todas las instituciones estén representados y otro de Gestión que haga operativas las decisiones de la Dirección.

En base a esta estructura elemental habría que pensar

en cuatro etapas sucesivas de cara a la consolidación:

- Etapa fundacional.- Preparación del proyecto y constitución de los órganos de Dirección y Gestión.

- Etapa inicial.- Puesta en marcha de las actividades básicas tanto en la rehabilitación del núcleo como en las actividades de dinamización.

- Etapa de crecimiento.- Consecución de los primeros objetivos en el núcleo con determinación de las vías de trabajo definitivas.

- Etapa de consolidación.- Una vez marcadas las vías de trabajo definitivas habrá que consolidarlas y difundirlas para alcanzar la proyección y aprovechamiento con que ha nacido la iniciativa.

CONCLUSIONES

Las plazas, de calles silenciosas y las cosas ahora deshabitadas, son los únicos testigos de una historia y de muchas formas de vida propias de la etapa pre-industrial y que irremisiblemente se han degradado hasta desaparecer.

Las posibilidades de modificar esta situación son ciertamente limitadas. El elevado coste económico de los trabajos de rehabilitación hace que este tipo de actuaciones sean casi irrealizables, si no se aplican criterios de rentabilidad social.

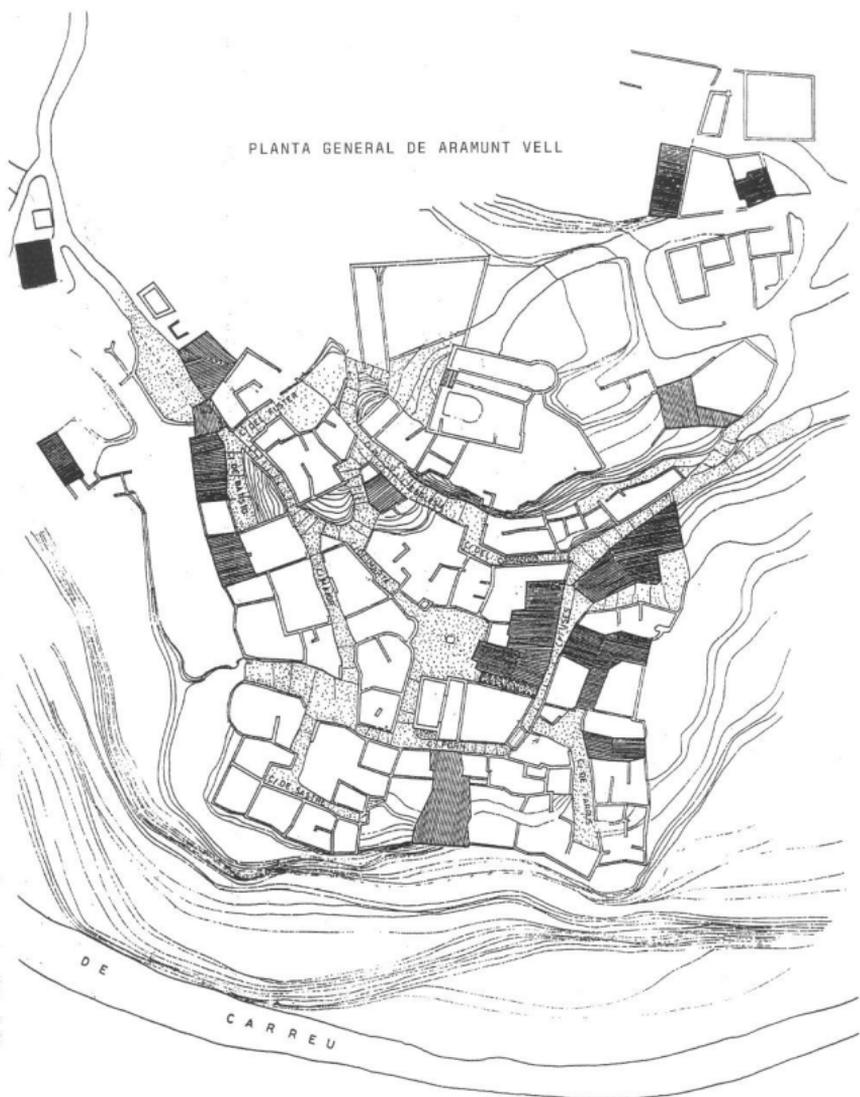
La falta de dinamismo económico de las zonas donde encontramos los pueblos abandonados y su alejamiento de los grandes centros urbanos, constituyen a priori algunos de los principales inconvenientes que pueden limitar la realización de un proyecto concreto. No obstante, son diversos los argumentos que permiten reforzar la validez de una propuesta, desde una perspectiva local-comercial y especialmente en una visión de globalidad del país.

En primer lugar, porque las actividades a desarrollar tendrán unas incidencias directa y real en la comarca contribuyendo a su recuperación económica, social y cultural y por otra parte al introducir una nueva visión en las administraciones respecto a los pueblos abandonados y a la desertización de las áreas rurales que a buen seguro contribuirá a dar un contenido más efectivo a una política de reequilibrio.

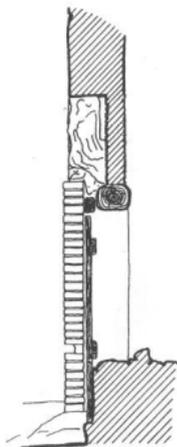
La acogida que hasta el momento ha tenido el proyecto inicial propuesto a diferentes instituciones, la respuesta dada por los vecinos-propietarios, cediendo los derechos sobre sus casas en vistas a la recuperación de su pueblo y el hecho de que a un año de la presentación del primer documento podamos hablar de actividades ya realizadas o en curso, hace pensar que tal vez los esfuerzos no hayan sido en vano y se logrará salvar uno de los miles de pueblos abandonados que ya había perdido toda esperanza de recuperación, como primer paso hacia una nueva visión del equilibrio territorial de la nación.

Barcelona, Octubre de 1.991

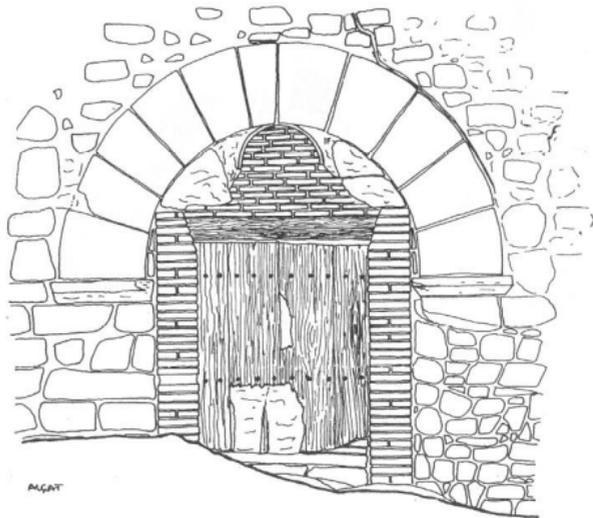
PLANTA GENERAL DE ARAMUNT VELL



DETALLE DE UNA PUERTA (Dibujo realizado por estudiantes de arquitectura técnica)



SECCION VERTICAL



ALZAT

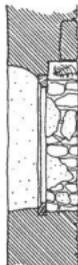
LA PORTA DE L'ANTIGA ESCURIA
COM PODEM OBSERVAR HA SOFERT VÁRIES
INTERVENCIÓNS I DESPRÉS UN RENOU-
VEMENT I DETERIORAMENT DELS MATERIALS.
LA NOVA UTILITZACIÓ QUE TROBEM QUE
VA ADQUIRIR L'EDIFICI RESTAUA LA IM-
PORTÀNCIA AL CARÀCTER MONUMENTAL
DE L'EDIFICI.



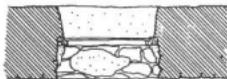
PLA II



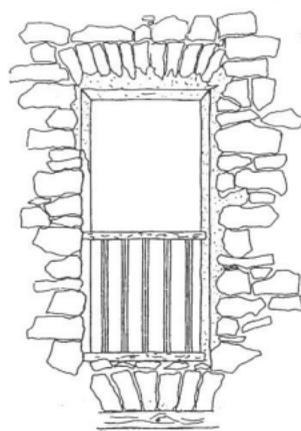
ALZAR.



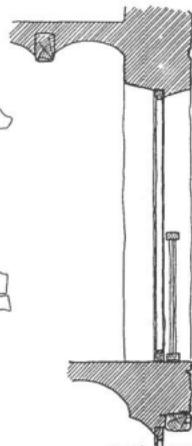
SECCO VERTICAL.



PLANTA.



ALZAR.



SECCO VERTICAL.



PLANTA.



DETALLES DE UNA VENTANA Y DE UN BALCON
(Dibujos realizados por estudiantes de
arquitectura técnica.)

EXISTING BUILDINGS PROJECT: INFORMATION MANAGEMENT

Responsabile: Prof. G. Caterina

Architetti: E. Attianese, V. Fiore, D. Francese, D. Nicoletti, A. Petrai, M. R. Pinto

Dipartimento di Configurazione e Attuazione dell'Architettura, Napoli, Italia

Summary

Diagnosis is a term which recall, for analogy, the presence of an "ill" organism and shows the need to indicate causes of "discomfort" as preliminary condition for defining hypothesis of prognosis or prevision of future development - and therapy- or definition of means and modes to face it.

During the process of rehabilitation, this procedure -finalized to the design- requires to employ a number of technical analysis to evaluate if performance of construction (or environment) answers to users' requirements and to die activities which have been planted, or will be planted in the building.

These researches are aimed to form an opinion about building performances and features, either to be accepted or to be improved.

Methods and techniques of diagnosis for fabric systems are fairly new and constantly evolving. The employment of these techniques -in the field of rehabilitation- and their development is a necessary condition for applying correct therapies.

Keyword:

Rehabilitation project, Informative system, instrumental diagnostic, Thermography.

The process of knowledge of the construction needs to be defined over again, because of the complexity of the built up system, constantly evolving and characterized by heterogeneous events, by materials and techniques which have been, often, forgotten or replaced.

Managing this reality, means the design of "know how" and the application to instrumental researches and informativ techniques, in order to elaborate and catalogue data base.

Thus, having to elaborate informations that change rapidly, "time and knowledge speed" become very important.

This study analyses existing buildings under a systemic-performance view point: it trends to find out the level of congruence between performances, which the building offers, and their length, and the users' requirements.

An "informative system" must be studied, in order to improve the knowledge of the existing building and its possible qualitative evaluation.

Diagnostics -during the rehabilitation project- comes to assume more and more binding and difficult role, for it must give a synthesis of a number of informations coming from different disciplinary horizons. In this way diagnosis becomes a project for defining all the phases of knowledge, by means of formulation of methodical and technical procedures in order to validate the phenomena which have been already observed.

Instrumental inquiries give, therefore, the chance of defining methods of knowledge absolutely necessary for information quality, and able to supply quantified data for knowing building.

Experimental survey on the existing starts from a conceptual revolution: it must be adapted to the object and not

to expect the object to be subjected to abstract rules. Instrumental diagnostic proposes an interpretation of building under an analytical and not syntactical point of view. Thus, the model - produced with the instrumental diagnosis- leads to judgements of value recognizable on shapes according to specific and separable foundations of modern epistemology.

It is possible to read the building through many passages of scale: starting from the urban scale up to the constructive elements.

All the scale are ruled by an organizing principle, and are articulated in parts that correspond to environmental and technological system. These two systems gather environmental unities (formed by environmental elements) and technological unities (formed by technological elements).

In this way, because of the connections between all the parts, an interventions operated on one of them should always guarantee a correct working of the whole building.

Diagnostic inquiry through thermographic technique.

The state of decay of "Casale di Posillipo" and the possibility of surveying the court without interfering with ordinary residential activities induced to carry out a diagnosis of the state referring to so-called "non-destroying" methods.

Non destroying analysis such as methods, proves and controlling systems which do is a very interesting field of research for checking up all the performances of the built up patrimony.

The usefulness of these analyses concerns the possibility of gathering a great deal of data and informations in order to orient the operations of rehabilitation. It is, also, possible to compile a "map of the risks for the built up patrimony" based on its present decay and a forecast of future decay.

This kind of research -carried out on buildings diagnostic aims- should present the following peculiarities:

- preservation of the case-study integrity
- totality of informations
- rapidity of the survey
- possibility of producing either quantitative and qualitative data
- easiness of simulation.

Non destroying analyses can be classified in two groups: passive and active.

Passive analyses are used for surveying those physical phenomena which take place by nature, and can be registered without modifying all the transied conditions artificially.

Active analyses need (even if in a very light way) artificial excitations. The nature of these excitations -mechanical, electrical, thermal- depends on the physical phenomena that instruments must survey.

Some of these instruments can be used for both, passive and active analyses. The thermographic apparatus works in this way, using the surveying principles of radiation for the infra-red frequency. These instruments can catch materials emissivity. Because of theirs sensivity, these instruments, can be used even for passive analyses, infact the phenomenon of emissivity happens constantly in

nature.

When submitted to thermal excitations, all the materials that form a wall (mortar, stones) reach different temperatures.

For example, stones have a thermal conductivity higher than bricks, while their specific heat is lower. When invested by solar radiations, stones warm more rapidly than bricks: when the heating source disappears they become cold more quickly. This trend is due to the entity of excursions and to swiftness of these changes.

These differences, even if in an attenuate way, appear on the plaster surface, reproducing shapes and sizes of the elements below.

Thermographic surveyer gives a difference of electric potential, in relation to the intensity of received relations.

On the display of the control system, a brilliant point appears in connection with every point of the image.

The brilliance of all the points is related to the intensity of electromagnetical radiations. The higher the temperature of this point is, the greater is the intensity of radiations.

In this way, it is possible to obtain a thermic representation in which brighter points correspond to those with higher temperature, while darker points correspond to those with lower temperature.

Thermographic inquiry for determination of the building envelope "map of risk"

The inquiry carried out at the "Casale di Posillipo" with the infra-red technique, aims to define an approach for determining the "map of superficial risk for the building envelope".

The first aim (applying to thermographic survey) is to trace out: a trend of thermal distribution, and to single out all the "exposed to risk" points of the envelope.

All thermographic shots should be done when materials emissivity is higher, in the evening or in the early morning.

In the operation phase, all environmental parameters should be set, such as:

- emissivity of examined materials
- environmental temperature
- distance of the subject from the television camera

It is possible to obtain the temperature in C in the ISO section; it corresponds to all the white and black pointed zones.

The colored thermograms, analysed during our study, have been taken from the north front of a Court of the "Casale di Posillipo" during the period June-September 1991. They refer to the conditions of the external envelope of the building.

The survey shows distribution of temperatures. In the scale -at the bottom- it is possible to read, from the left to the right side the increasing temperatures.

The inquiry refers to those surfaces that, when analysed with thermographic technique, showed more thermal discontinuities, and all the conditions of the moment.

This inquiry allows a first definition of all the risk points and to define a first qualitative and quantitative evaluation of materials emissivity.

It should be added, that the study of the isotherms in the ISO section, allows to single out all the points at the same

temperature and therefore to define, in laboratory, a "thermal map" of the building envelope.

Inquiry on plasters

The surveyed thermograms show, on the old plastered surfaces, different levels of emissivity.

The central part of the analysed wall, shows a darker and compact color; this surface keeps a grip stranger than that of the boundaries.

The marginal band, seems more emissive, showing a loss of grip performances if compared with the tufa wall.

The just plastered wall, shows uniformity in emissivity (excluding thermal bridges). It demonstrates that thermal exchange processes between plaster and structure are homogeneous and contribute to a better insulation.

Then, under the same condition of radiation, thermal excursion is more considerable for all those parts that show flaking and bad conditions of grip.

The inquiry -concerning a facade of tufa walled structure, uncovered with new and toned down plaster- showed that more emissive parts are those with a stonger thermal inertia. A wall made of tufa, with more thermal inertia, more conductivity, more density and less specific heat, shows more emissivity than plastered surfaces. These considerations confirm the usefulness of plastered surfaces to slow down thermal sleckening of walls.

Conclusions

Thermography is a useful and flexible instrument for non-destroying analyses; it offers new chances of experiments and researches in the field of images treatment and decay analysis.

It should be put in evidence the contribution given by this technique to the solution of maintenance problems for the existing building patrimony.

The carried out application allowed to specify:

- conditions of decay: possible plaster's separation, humidity survey, thermal loss;
- morphology survey: preexistent forms, dimensional and geometrical forms of structures, structural modifications and alterations.

Beside all potentialities of this technique, it should be underlined the importance of a correct employment of the method, especially during the interpretation of what has been surveyed in the thermograms.

In fact for a success of the study, the operator should be prepared not only in the field of thermography, but also in physical comprehension of the building and of its environmental behaviour.

The term diagnostic -once referred to the control of structural break- is now extended to the attention given to pathologies and phenomena of decay and age, which extended from monuments to ordinary buildings as a consequence of the practices of rehabilitation.

The knowledge through thermographic technique tends to exploit all distinctive feature and all potentialities of the existing patrimony in order to lead the operations of requalification according to stages and methods proportioned to the real conditions of the system. The method consists in gathering all the data -that the existing systems can offer in terms of economic values, use, quality of life and evaluating potentiality and limits showed by these systems, for a possible use.

References

- 1) Caterina G. (a cura di), Tecnologia del recupero edilizia, Torino, UTET ed., 1989
- 2) Bellini A., Brunetti G., Tecniche della conservazione, Milano, Franco Angeli ed.
- 3) Seracini M., La termografia come strumento di indagini non invasive nella diagnostica architettonica Firenze, E.DI.TECH.
- 4) Urbani G. (a cura di), Problemi di conservazione Bologna, Compositori, 1972.
- 5) Piano R., Arduino M., Fazio M., Antico è Bello, il recupero della città, Bari, Laterza.
- 6) Castiglioni A., Le indagini diagnostiche per l'intervento sui prospetti, in *Recuperare*, anno 8, n.43, sett-ott. 1989
- 7) Marino A., Il riscaldamento degli ambienti, Milano, Hoepli
- 8) A.I.C.E.s.r.l., Esperienze di analisi termografiche in edilizia, in *Isolare/CTA 51*
- 9) Nicoletti D., Applicazione sperimentale per il controllo delle prestazioni termiche dell'involucro murario nell'edilizia tradizionale in "Proposta di normativa per la riqualificazione degli edifici in muratura in zona sismica", Amministrazione Provinciale di Napoli, Università di Napoli, Centro Studi per l'Edilizia (CESUN), 1984.

LA RECUPERACION DE TECNOLOGIAS TRADICIONALES EN LA RESTAURACION ARQUITECTONICA Y ARQUEOLOGICA

Stefano Gizzi, Arquitecto

Superintendencia Arqueológica del Lacio (Italia)

SUMARIO

El artículo pone de manifiesto la posibilidad de la recuperación de las tecnologías tradicionales en la práctica de la restauración de monumentos en un momento en el que se discute sobre los efectos, muchas veces negativos, que ha tenido el uso de materiales y técnicas modernas en las operaciones de consolidación estructural de edificios monumentales construidos en mampostería de piedra o de ladrillo.

MATERIALES Y TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS TRADICIONALES

En lo que concierne la conservación de monumentos se está produciendo en la actualidad un momento de reflexión referente al uso de los nuevos materiales. Existe hoy la exigencia de conducir la restauración a través de nuevas evaluaciones de conjunto que, superando errores cometidos hasta ahora por exceso de confianza en las técnicas operativas innovadoras y en las tecnologías avanzadas, poco controlables (pero, sobre todo, poco controladas), y superando asimismo los desequilibrios que se han producido entre la consolidación y las disciplinas afines, restablezca una mayor identidad en la cultura específica de la restauración.

Como consecuencia de la pausa de meditación, en Italia se ha formado un Comité Nacional para la Prevención del Patrimonio Cultural del Riesgo Sísmico, el cual redactó, en 1987, las "Recomendaciones" y, en 1989, las "Directivas" para la realización y ejecución de proyectos de restauración en zonas sísmicas.

Lo anterior está ligado, en particular, a la problemática ocasionada por la escasa experimentación en la compatibilidad de los nuevos materiales con las estructuras antiguas originales, especialmente aquellas realizadas en mampostería. Por ello, se tiende hoy a dar prioridad al control de algunas operaciones, en la constatación de cómo el haber hasta ahora pretendido saber "haber provocado daños irreparables a edificaciones deterioradas por intervenciones excesivamente intensivas". (1)

Específicamente, la cultura extensiva del hormigón armado, del hierro y del acero ha prevalecido en este siglo, tanto en el campo de la arquitectura moderna como en el de la restauración de las construcciones en mampostería, con el extenderse de las técnicas y de los métodos concebidos para las estructuras elásticas a las que no lo son y, sobre todo, de los sistemas de los que no se ha experimentado la compatibilidad (con los núcleos murarios antiguos) y la durabilidad.

Como afirma a este propósito Renato Bonelli, "a menudo el edificio viejo, que nosotros, los historiadores y los críticos, sentimos como un organismo sensible y como un cuerpo vivo, se ve atacado en su integridad estructural, demolido en algunas partes vitales, violado por armaduras metálicas, atravesado por barras y traveses, embebido y saturado de resinas y mezclas. Esta injustificada violencia, ejercida en nombre de la salvación de la obra [...] se debe al modo errado con el cual ha sido concebida la consolidación". (2)

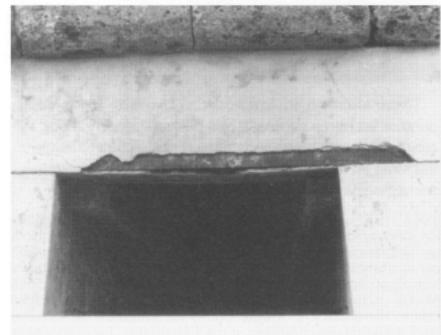
Por otra parte, las "Cartas de la Restauración" (1931,



Teatro Marittimo en Villa Adriana (Tivoli) en 1948, antes y durante las obras de anastilosis de arquivates y frisos utilizando barras de hierro, que años después han causado fracturas en el material marmóreo. (Foto: Soprintendenza Archeologica per il Lazio).

1964, 1972) había sido siempre favorables a la utilización de innovaciones científicas y técnicas; el mismo abandono de la Ciencia de la Construcción en mampostería en favor de la atención prestada a los estudios sobre el acero y el hormigón armado no había, desde luego, favorecido desarrollos culturales en beneficio de las tecnologías tradicionales. Herencia importante como los estudios de Cauchy, de Lamé, de Saint-Venant y de Clapeyron, fundamentales para la mecánica de los sólidos y para las construcciones en mampostería, fueron casi completamente abandonados desde finales del siglo XIX, cuando se ajustó y se superó la antinomia entre la disertación de lo "continuo" (es decir, de los sólidos) y el estudio de lo "compuesto" (o sea, de las estructuras). (3) Escribe a tal propósito, Antonino Giuffrè: "El Arte de Edificar, para usar el término puesto por Rondelet como título a su tratado teórico-práctico, pretende que junto al capítulo sobre la Ciencia del Construir, a éste estrechamente relacionado, se encuentre el de la Ciencia del Restaurar". (4)

Y si, en el pasado, la carencia de los conocimientos científicos estaba de algún modo compensada por una tradición rica y consolidada, por la maestría de los artesanos, por la habilidad de los oficiales, hoy, "en una sociedad que debe producir mucho y rápidamente, que necesita mayor seguridad y protección reactiva a las cargas y a los terremotos y en la cual si no hay Ciencia no hay cultura, quedan sólo el albedrío y el desorden". (5)

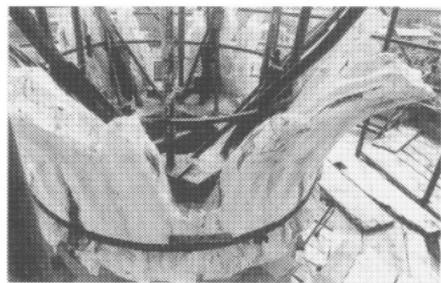


Cerveteri, en los dinteles de reintegración de algunas tumbas de la necrópolis se notan los desprendimientos ocasionados por la oxidación de las barras de hierro.

Con fundamento en el equivoco provocado por tales principios, se han verificado numerosos daños en monumentos consolidados con la inserción de barras de acero o con inyecciones de resinas (sobre todo en las superficies con decoraciones pictóricas) o bien, con tecnologías

tales que hubiesen requerido una verificación durante, por lo menos, veinticinco años.

En efecto, el ejemplo más clamoroso de los daños derivados de la no compatibilidad de los materiales modernos injertados en las estructuras originales nos lo ofrece el caso del Partenón, en donde las barras de hierro insertadas por Balanos entre la primera y la tercera década de este siglo han dado lugar, a causa de la oxidación y de su consiguiente aumento de volumen, a fracturas de los bloques de mármol tanto que, como es bien sabido, se está actualmente procediendo a sustituir los elementos ferrosos con barras de titanio.



Daños provocados por los refuerzos de hierro injertados en las estatuas de la Fontana di Trevi y en los remates en forma de antorcha del tambor de la iglesia de Sant'ivo alla Sapienza en Roma. (Fotos: Xa. Ripart. Comune di Roma y Sopr. ai Beni Ambient. e Archit. del Lazio).

Naturalmente también en Italia los ejemplos en este sentido son múltiples. Baste pensar en las restauraciones de anastilos realizadas entre 1955 y 1962 en Villa Adriana, para levantar partes de la columnata y de arquivadros y frisos del Teatro Marítimo y de la Sala de Pilastras Dóricas

que, realizados con el auxilio de armaduras internas a los bloques marmóreos, están hoy dando lugar a fracturas de los mismos.

Problemas análogos se están presentando en la actualidad en Sicilia, en los templos helénicos, tanto en Segesta como en Selinunte, restaurados insertando barras metálicas hoy completamente deterioradas por la acción del salitre marino. Del mismo modo se han producido daños considerables en las columnas del Foro de Pompeya así como en las restauraciones de anastilosis realizadas en Herculano entre 1934 y 1950.

En Cerveteri, los dinteles de reintegración de hormigón armado colocados en las tumbas de la necrópolis (en Via dei Monti Ceriti), muestran evidentes señas de desprendimiento y de fisuración.

Pero también en las "restauraciones arquitectónicas", y no sólo en las "arqueológicas", la evolución y el manifestarse de los daños recorre el mismo camino: por ello sea suficiente pensar en los capiteles de la Catedral de Modena, restaurados en la post-guerra (1948) recurriendo a la inserción de armaduras de acero para descargarlos del peso propio que hoy se encuentran seriamente lesionados; o bien, en Roma, en las antorchas borrominianas de los tambores de las iglesias de Sant'Andrea delle Fratte y de Sant'Ivo alla Sapienza, reforzadas con estructuras de hierro, que hoy se presentan completamente "estalladas", siempre debido a fenómenos de oxidación de las barras metálicas. En la reciente intervención efectuada en la célebre Fontana di Trevi, una de las operaciones más delicadas consistió en la extracción de los refuerzos metálicos, presentes en el interior de las estatuas, que también habrían producido el desprendimiento de fragmentos de travertino.

La predilección por las "operaciones ocultas" ha llevado en el período entre la promulgación de las dos "Cartas de Restauración" más conocidas (Atenas y Venecia), a dar prioridad a investigaciones y estudios sobre determinados materiales así como a preferir tecnologías basadas en la inserción de ciertos materiales dentro de otros (perforaciones armadas, costuras, inyecciones) con las que no se obtiene ni siquiera la colaboración, desde el punto de vista estático, entre los dos tipos de estructura, sino que se confía a las nuevas la totalidad de la función portante y, a las viejas, una función meramente estética o de revestimiento.

Parecería casi que el recurso a dichas tecnologías "ocultas o escondidas", o por lo menos no visibles, fuese en esa época bajo la influencia de una concepción purovisibilista (de la visión pura): se piense a lo expresado en la Carta de Atenas, o sea que: "los medios de refuerzo [modernos] deban ser disimulados para no alterar el aspecto y el carácter del edificio que se restaura". A pesar de ello, tal posición no encuentra efectiva base ni siquiera en los escritos de los más agudos exponentes de la teoría de la "visión pura" aplicada a la restauración de monumentos - como Alois Riegl (6) - que, por el contrario, prefería precisamente el impacto y no la disimulación de las tecnologías modernas.

En el momento actual, las posiciones conceptuales son más bien confusas. Algunos autores pugnan por un regreso absoluto hacia las tecnologías de restauración tradicionales (cuci e scuci, recurso a elementos de mampostería tradicionales como contrafuertes y arbotantes, tapiados y ampliación de la sección de muros y columnas, colocación de abrazaderas en columnas fracturadas, etc.); otros están todavía a favor de las tecnologías modernas sosteniendo que sólo gracias a ellas se han podido salvar los monumentos u otras obras de arte que de otra forma hubieran estado condenadas a la destrucción (San Ciriaco di Ancona).

A quienes consideran no válidas aquellas intervenciones de consolidación que transforman los esquemas estáticos de las edificaciones históricas, arquitectónicas y arqueológicas (Paolo Marconi) (8), se contraponen otros (por ejemplo, Gaetano Miarelli Mariani) que sostienen que la gama

de las operaciones que pueden ser efectuadas varía de la reestructuración a la restauración y a la consolidación entendida como "un aspecto de la recuperación (o de la restauración) que presenta ámbitos de libertad mayores o menores, en relación a la calidad de la obra". (9)



Contrafuerte tradicional de consolidación que existía en la Biblioteca Griega de Villa Adriana antes de la demolición efectuada en 1965 y refuerzo similar todavía presente en el Templo de Vesta en Baia. (Fotos: Soprintendenza Archeologica per il Lazio y Deutsches Archäologisches Institut Rom).

Para conciliar ambas tesis sería fundamental, por el contrario, adquirir la conciencia de que es necesario superar y reparar la fractura existente entre la concepción puramente "tecnicista", de la así llamada "restauración estática" y de la relativa "consolidación", y la otra, la de la "restauración arquitectónica" entendida como una operación distinta de aquella.



Sistemas tradicionales de consolidación empleados en la actualidad en las restauraciones de Villa Adriana. (Foto: Stefano Gizzi).

Una posición intermedia, que se va abriendo camino entre algunos exponentes de la Escuela Romana de la Restauración (Carbonara y Rocchi), es aquella que sostiene que no se deba hablar de tecnologías modernas o tradicionales sino, más simplemente, de tecnologías "apropiadas", caso por caso.

Esta posición se ve reforzada, por fortuna cada vez más, por análisis y estudios de las estructuras portantes y de los

modelos "estáticos" de los edificios del mismo modo que se tratan los elementos figurativos, es decir, en un cierto sentido, confiriendo un valor histórico a la consolidación. El re-descubrimiento de tales valores figurativos no significa sin embargo no considerar el "dato material" en toda su plenitud, por lo que la consolidación, la restauración arquitectónica y aquella arqueológica deberían llegar a una unidad de intentos, cosa que no sucede porque en la restauración arquitectónica se efectúa todavía hoy prevalentemente un tipo de lectura a través de datos no materiales. (10)

Una distinción "didáctica" bastante útil podría estar representada por la diferenciación entre métodos tradicionales recuperables -y no- en la restauración arqueológica y arquitectónica.

En la restauración de conjuntos arqueológicos, notamos como, ya desde la segunda mitad del siglo XVIII y sobre todo en la primera mitad del XIX, uno de los métodos más usuales empleados en la consolidación era el de realizar grandes contrafuertes o refuerzos similares en mampostería, proyectados en manera "arquitectónica" con taludes a la manera de las zapatas y con aparejos de ladrillo o de piedra que siguen hiladas no horizontales, sino sensiblemente inclinadas hacia el edificio que se consolida.

Por ejemplo en la Villa de Adriano, en Tivoli, se encuentran numerosos ejemplos de contrafuertes tradicionales de restauración realizados entre 1843 y 1847 por el Camerlengato (en el Pretorio, en el Teatro Griego y en las dos Bibliotecas, Griega y Latina). En algunos se trataba de verdaderas obras de arte, realizadas bajo las indicaciones del arqueólogo Luigi Canina, que fueron demolidas, por una equivocada concepción de la restauración (11) ligada a consideraciones de tipo estético del todo subjetivas, entre 1952 y 1978. Actualmente, en un estudio teórico-científico dirigido por quien escribe, se ha realizado una serie de levantamientos de los contrafuertes y de los refuerzos que han quedado, procediendo a compararlos sucesivamente con otros tipos de consolidación tradicionales similares, presentes en zonas arqueológicas análogas.

Precisamente, el uso y estudio de estos sistemas tradicionales de consolidación, que además son del todo reversibles (debe tenerse siempre presente la reversibilidad como uno de los principios fundamentales de la restauración), se halla sugerido y auspiciado por las últimas, "Recomendaciones" del Comité Nacional Italiano: "aparecen por lo tanto preferibles, aunque sean de morfología claramente ajena a la obra, recursos de consolidación de tipo tradicional (contrafuertes y tapiados, tirantes, abrazaderas, etc.) ya que son fácilmente controlables y sustituibles".

Y como parte del proceso de reflexión el uso de tales técnicas de restauración se vuelve hoy a proponer y a difundir. El sistema que se está abriendo paso en los últimos tiempos, en lugar de las cementaciones generalizadas y de las inyecciones, es el de "cuci-scuci" ya que se ha visto que se trata de una técnica que ha mejorado en manera "homeopática" la consistencia compacta de los muros en el momento en que éstos no son ya capaces de desarrollar la propia función dado el estado avanzado de deterioro, o bien debido a fisuras, lesiones o aplastamientos.

Con esta técnica se está interviniendo para mejorar las condiciones estáticas de la Villa Chigi en Ariccia, en donde se ha renunciado a realizar una dala en cemento armado que debía colocarse por debajo de la armadura y, por el contrario, se ha insertado un tramo de mampostería tradicional, más dura y compacta, recurriendo precisamente al método mencionado.

También en las obras de restauración y de consolidación del Acueducto de los Quintili -en la periferia de Roma- y del Acueducto Claudio, en pleno centro de la ciudad, la Superintendencia Arqueológica de Roma ha evitado, por ejemplo, recurrir a técnicas no experimentadas, prefiriendo

do, por el contrario, volver a "forrar" los paramentos de los pilares que sostienen los arcos o bien reparaciones basadas siempre en el método de "cuci-scuci". Recientemente, también en la Villa Adriana, restauraciones concluidas en 1988 llevaron a rehacer verdaderos "forros" de la superficie de los muros del Pecile y a reconstruir los contrafuertes de consolidación en la zona de las "Cento Camerelle".

En Anzio, en las obras de restauración de la Villa de Nerón, realizadas con el objeto de detener el deterioro de parte del muro que se había desprendido, en un estudio realizado en manera conjunta por quien escribe y el Prof. Ing. Antonio Giuffrè, se propusieron una serie de contrafuertes tradicionales, de dimensiones reducidas, en mampostería de piedra de tipo arenoso.

Pero también en lo que concierne el mantenimiento estructural y funcional de las estructuras en madera (trabes y viguerías, entresuelos, techos, armaduras, etc.) se está recurriendo a técnicas tradicionales de restauración.

La recuperación de tales técnicas se debe, por otra parte, al hecho de que al haber desechado los "entresuelos en madera, a los cuales hacía falta solamente algún remiendo, para sustituirlos con entresuelos de ladrillo-cemento con trabes y tejas" se consiguió solamente "una pérdida considerable en contenido estético e histórico, y una vulgar alteración del sistema estético precedente en madera, basado en la flexibilidad y elasticidad sobre los apoyos". (12)

Baste recordar además que las mismas "Recomendaciones" propugnan por la "verificación y la reparación de las estructuras horizontales (vigas, techos, entresuelos, arcos, bóvedas, platabandas) con procedimientos prevalentemente tradicionales (sustituciones parciales de elementos aislados de madera deteriorados, restitución de la tensión a cadenas y tirantes y a las cabezas de los mismos, rigidización de tableros a través de un segundo tablero clavado, colocación de nuevos tirantes en los planos de baja tensión de ejercicio, reintegraciones parciales de arcos o platabandas, etc.".

Mientras, hasta hace aproximadamente diez años, la tendencia era la de sustituir los elementos de madera con elementos de hierro o de acero (Museo de Capodimonte en Nápoles, iglesia parroquial de San Martino en Pensilis), en la actualidad, la nueva "filosofía", pide también el respeto de la distribución de cargas originales y de la "colaboración" de las diferentes partes de madera. Además, el mantenimiento de los entresuelos de madera es útil porque tienen una mayor elasticidad y proporcionan un mejor aislamiento sonoro.

Esto, naturalmente no quiere decir que se trate de intervenciones "escondidas" o que se deba recurrir al "falso histórico". Pero en algunos casos (por ejemplo, en el plafón de la Iglesia de San Cesareo de Appia en Roma), cuando la lacuna del artesanado es mínima y cuando una denuncia excesiva puede hacer que se pierda el carácter del contexto, bien se puede integrar, utilizando medios modernos, a la manera antigua.

Podría entonces decirse que se trate de intervenciones débiles, es decir, alineadas con la corriente filosófica del "pensamiento débil" de Vattimo. Se pugnaria por una restauración "soft", que no quiere decir que comprometa poco sino, precisamente, que su resultado deba ser máximo, pudiendo recordar entonces el concepto expresado hace setenta años por Gustavo Giovanni de "mínimo trabajo", en el cual mínimo debía interpretarse como estrictamente indispensable y limitado, enfocado, con mira hacia un objetivo bien definido y con exclusión de virtuosismos personales o de inútiles redundancias.

De tales operaciones, para mantenerse en el ámbito estricto y cerrado de una sola región (el Lacio), se pueden recordar algunas intervenciones realizadas por la Superintendencia de Bienes Ambientales y Arquitectónicos del Lacio, en donde el objetivo principal ha sido el mejoramiento de pequeños y grandes ejemplos existentes; entre

otros, de armaduras de especial valor en conjuntos religiosos (abadía de Casamari, Cartuja de Trisulti). También en Roma se han realizado consolidaciones de armaduras de iglesias con elementos en madera, además de todo decorados, que hubiera sido absurdo sustituir con prótesis de metal: ello sucedió en la basílica de Santa Cecilia y en la mencionada anteriormente iglesia de San Cesareo de Appia, así como en la iglesia de los Santos Domingo y Sixto.

Hoy, en el punto 11.6 de las "Directivas para la redacción y ejecución de proyectos de restauración en los conjuntos arquitectónicos de valor histórico artístico en zona sísmica" se afirma finalmente que "en los casos en los cuales un entresuelo de madera no pueda ser conservado a causa del deterioro irreversible es preferible sustituirlo con uno nuevo también de madera" y que "la inserción de dalas en ranuras hechas en la mampostería y que comportan cortes continuos de la misma, deberán evitarse, dando preferencia a los tirantes y uniones perimetrales puntuales".

No se pugna, en efecto, por un hipotético o inactuable regreso a lo antiguo, sino más bien por un amplio conocimiento de técnicas y de metodologías pre-modernas para poder moverse mejor en el ámbito de una disciplina difícil y abierta como es la de la restauración.

Tal conocimiento se está obteniendo en Italia a través de la realización sistemática, lenta y costosa de Manuales y de Atlas, (13) lo más posible detallados y adherentes a la realidad material de las estructuras y de las técnicas pre-industriales, en las cuales el relevé y el conocimiento de los sistemas tradicionales se presenta como premisa necesaria y condicionante para el conocimiento de métodos cuyo uso se va debilitando cada vez más.

1. Cfr. Romeo BALLARDINI, *Editoriale* de "Restauro & Città" año II, n. 3/4, pp. 3-5, en especial p. 4.

2. Renato BONELLI, *Restaurare, conservare, aggiornare: revisione critica del problema*, en AA. VV., *Problemi storici, tecnici e normativi per la conservazione dei centri urbani in zona sismica*, Ed. Associazione Nazionale Italiana di Ingegneria Sismica e Direzione Generale dei Beni Ambientali, Archeologici, Architettonici, Artistici e Storici, Roma 1987 (1988), pp. 5-6.

3. Riccardo BALDACCINI, *Presentazione* a Edoardo BENVENUTO, *La Scienza delle Costruzioni e il suo Sviluppo Storico*, Ed. Manuali Sansoni, Firenze 1981, p. VII.

4. Antonio GIUFFRÈ, *Premessa* a la edición facsimilar de Giovanni POLENI, *Memorie storiche della Gran Cupola del Tempio Vaticano...*, Stamperia del Seminario, Padova 1748, reeditado por Kappa Ed., Roma 1991, p. 1.

5. Giorgio CROCI, *Cultura e scienza nella scelta delle tecniche per il restauro strutturale*, en AA. VV., *Problemi Storici...* cit., pp. 45-75, en especial p. 46.

6. Alois RIEGL, *Scritti sulla tutela e il restauro*, antología recogida por Giuseppe La Monica, Ed. Ila Palma, Palermo 1982.

7. Término italiano que significa cose-descose y que se utiliza metafóricamente para designar las operaciones de consolidación sustitutiva consistente en la demolición de una porción reducida y bien delimitada de mampostería y en su reconstrucción inmediata, utilizando los mismos materiales u otros afines o similares.

8. Paolo MARCONI, *Dal piccolo al grande restauro. Colore, struttura, architettura*, Ed. Marsilio, Venezia 1988, pp. 155-165.

9. Gaetano MIARELLI MARIANI, *Intervención* en la Mesa Redonda del encuentro sobre el tema: "Consolidación y recuperación: perspectivas profesionales y normativa", Bologna, 10 de marzo de 1985, SIAE 2, Sala verde, en "Notiziario ASS.I.R.C.CO" editado por Federica Galloni, año VIII, n. 1-2-3, p. 86. Véase también esta contro-

vertida cuestión, Ruggiero MARTINES- Paola SANTILLI, la prevenzione dal rischio sismico dei beni culturali. lo stato della questione, en "Restauro & Città", año II, n. 3/4, pp. 244-246.

10. Cfr. Romeo BALLARDINI, Editoriale de "Restauro & Città", año I, n. 2, p. 4.

11. Sería mejor no juzgar la concepción errada sino definirla como una línea de actuación estrechamente ligada a los principios funcionalistas, modernos, de moda en aquel entonces.

12. Paolo MARCONI, op. cit., pp. 163-164.

13. Sobre la necesidad y la oportunidad de constituir "atlas" actualizados para las diferentes disciplinas histórico-artísticas, Cfr. Paolo MARCONI et al., manuale di Recupero del Comune di Roma, Ed. D.E.I., Roma 1988. Cfr. también Enrico GUIDONI, Editoriale de "Storia della Città", año I, n. 1, Septiembre 1976, Ed. Electa, p. 3. La publicación más reciente referente a este tema es de Paolo ROCCHI - Carmen PICCIRILLI, Manuale del Consolidamento. Contributo alla nascente trattatistica, Ed. D.E.I., Roma 1991.

ESTUDIO TECNOLÓGICO DE LOS ESGRAFIADOS DE EL "EL SALVADOR" EN TOLEDO

LOPEZ AZCONA, M.C*, ALONSO ZARZA, A.M.* Y MINGARRO, F.**

* Inst. Geología Económica. C.S.I.C. 28040 Madrid.

** Dtp Petrología y Geoquímica. Universidad Complutense. 28040 Madrid.

RESUMEN.-

Se estudian los esgrafiados mozárabes más antiguos de Toledo. Se describe el diseño dibujado directamente sobre el enfoscado, definiéndose por microscopía petrográfica, difracción de Rayos-x y microscopía electrónica, la construcción, y dosificación del muro, enjarrado, esgrafiado y enlucido. Mediante prospección ultrasónica se definen las zonas despegadas del muro y posteriormente se analizan los productos y técnicas más idóneas para su conservación y restauración.

SUMMARY.-

The oldest mazarabad esgrafiados are studied in this paper. Firstly we describe the design which was made directly on the mortar filling. We have analysed the composition of the different parts of the wall through thin section studies, X-R. Diffraction and S.E.M. The ultrasonic prospection allowed us to determine which parts of the wall are detached. The more adequate techniques and products are also analysed in view of the necessary conservation and restoration of this beautiful wall.

KEYWORDS: Toledo, esgrafiados mozárabes, conservación, restauración.

1.- INTRODUCCION.

En el nº.1 del Callejón de El Salvador en Toledo se encuentra una casa antigua, actualmente en proceso de restauración y rehabilitación, cuya fachada principal queda cubierta por unos esgrafiados casi en su totalidad, exceptuando arreglos y restauraciones más modernas que los han tapado, como al recibir unas rejas de ventana. (Fig. 1).

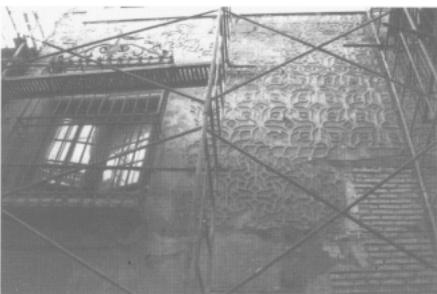


Fig. 1. Fachada principal de la Casa nº 1 del Callejón de El Salvador.

Al parecer, estos son los esgrafiados más antiguos y mejor conservados del Toledo mozárabe, ya que en otros edificios existen fragmentos muy pequeños y muy deteriorados, de forma que resulta imposible reconocer los dibujos representativos y además recientes obras de rehabilitación del edificio los han dejado prácticamente irreconocibles.

Se pretende estudiar su construcción, estado de conservación, posibilidades y forma de restauración y consolidación, para en consecuencia decidir sobre: a) consolidación "in situ", tal y como se encuentra sin reconstruir las partes desaparecidas por degradación o por obras posteriores; b) consolidación y restauración de las partes perdidas con las mismas técnicas e ingredientes que se utilizaron en su construcción, pero dejando ver claramente la diferencia entre lo conservado y lo construido, y c) una tercera posibilidad sería arrancar el esgrafiado y trasladarlo a uno de los museos de la ciudad.

2.- CRONOLOGIA

Resulta muy difícil realizar una datación en base a los componentes mineralógicos y dosificación de los materiales en su construcción. Tal vez si se utilizaran metodologías analíticas muy sofisticadas como análisis isotópicos, termoluminiscencia, etc., se podría obtener algún resultado de nuestro trabajo, no siempre dan resultados óptimos en cronologías recientes, como la que nos ocupa.

Con estos criterios la arqueóloga de la C.A. de Castilla-La Mancha, D. Soledad Sanchez-Chiquito opina que debe tratarse de una obra del siglo XIV o XV.

Basándonos en el diseño especial y primitivo, sus dibujos simétricos pero no geométricos entre el ataurique árabe, en tránsito del Gótico y el geométrico mudéjar geométrico y simétrico; y teniendo en cuenta el tipo de enfoscados utilizados posteriormente para restaurar la fachada, basados en una masa de yeso con áridos también de yeso cristallino, que son análogos a los utilizados en restauraciones antiguas de la Catedral de Toledo para enfocar piedra caliza deteriorada, durante los siglos XIV o principios del XV, pensamos que estos esgrafiados fueron construidos hacia la mitad del siglo XIV próxima a la época en que se construyó también la Sinagoga del Tránsito de Toledo (1357).

3.- DISEÑO.

Es de resaltar el diseño de estos esgrafiados que les da un extraordinario poder decorativo y embellece la arquitectura y por tanto, son de un gran valor patrimonial.

No se han realizado con plantilla, como los modernos del mismo Toledo y muchos antiguos, ni siquiera moldeando sobre losetas, que se adosaban sobre los muros como las antiguas yeserías árabes, sino que han sido dibujados sobre la misma pared, sobre un enfoscado o tendido de argamasa de cal con espesor variable de 8 a 12 mm.

Los dibujos esgrafiados se presentan en tres cuerpos perfectamente diferenciados (Fig. 1): bajo, intermedio y superior, separados entre sí por cenefas de diferente dibujo. El tramo inferior presenta una altura de 0.90m; el intermedio 1.30 m y el superior de 1.13 m.

Aparte de la puerta principal de entrada al Palacio, el tramo inferior, está interrumpido actualmente, por una ventana con reja de 1.70 m de ancho por 2.50 m de alto, terminando con un dintel de madera que llega hasta la parte baja del tramo intermedio; también en el tramo bajo aparece una zona en la que ha desaparecido el esgrafiado e incluso el enfoscado, dejando visto el muro de ladrillo de la fachada, con una anchura de 1.10m.

El tramo bajo se separa del intermedio por una cenefa de 0,20 m sobre la cual se construye otro esgrafiado con diseño más figurativo (foliar) bastante bien conservado, y sólo interrumpido a poniente por una ventana con reja enclavada con posterioridad, por lo que alrededor de ella aparece una zona de unos 0,30 m de espesor de yeso que enmascara y recubre el esgrafiado.

Sobre este tramo, se muestra otra cenefa diferente a la anterior y especialmente florida de 0,24 m de ancho, que da paso al tramo superior, con diseño análogo al inferior de motivos florales, sobre el cual se presenta otro tipo de cenefa, tal vez floral, con el que se remata el conjunto de esgrafiado.

El diseño del esgrafiado se realizó en base doble cuadrada con sólo compás y regla especialmente en los tramos inferior y superior de la fachada, utilizando sólo seis radios, según se demuestra en el gráfico adjunto (Fig. 2) en el cual se diseña una parte fundamental del conjunto y en el que se resalta la "unidad de dibujo" que se repite en el diseño mediante ejes de simetría de rotación y reflexión con los planos de simetría correspondientes, de forma que este "elemento" se continúa y repite por todo el paramento de una manera simétrica, aunque la "unidad de dibujo" no sea geométrica sino tal vez figurativa, diseñando cálices de flores o pétalos ondulados, recordando los atauriques árabes toledanos.

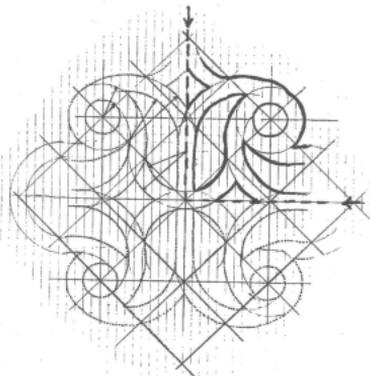


Fig. 2. Unidad de simetría y dibujo fundamental del Esgrafiado. Cuerpo superior e inferior.

Se debe resaltar en la valoración y autenticidad de este diseño, el haber sido dibujado sobre el tendido de argamasa de cal, antes de su completo fraguado (Fig. 3,4), siendo posteriormente vaciado para dejar en relieve el diseño del esgrafiado, lo cual representa unas características únicas y específicas de estos dibujos ornamentales.

4.- CONSTRUCCION

El muro de la fachada fue construido con mampostería típica árabe, de ladrillo macizo formando un aparejo a soga, las hileras con piezas de unos 2 cm de espesor se sujetan con mortero de cal y arena en tortadas de unos 3 cm y rematadas sus llagas superiormente.

La mampostería es jaharrada, alisando el conjunto y después se enfosca con argamasa de cal, sobre la cual se dibujan los esgrafiados, vaciándose posteriormente los huecos deseados, con lo que queda en relieve sólo el dibujo, siendo a continuación pintada toda la fachada con

yeso fino coloreado para igualar en conjunto e incluso protegerlo del medio ambiente exterior.

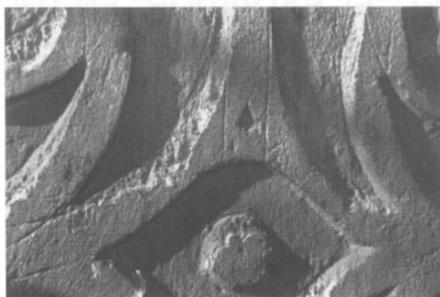


Fig. 3. Detalle del esgrafiado mostrando tipo de diseño, degradación por disolución y enlucido (tramo intermedio)

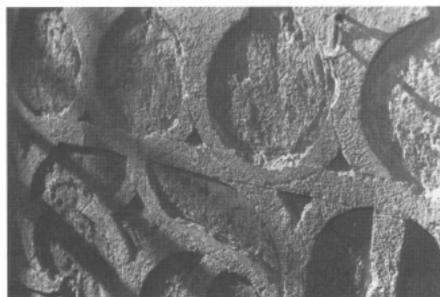


Fig. 4. Detalle del Esgrafiado de la parte superior y cenefa, se aprecia el diseño y estado de deterioro.

4.1. EL JAHARRADO

Al microscopio de polarización, se observa que está formado por una pasta de yeso, utilizando como áridos diversos tipos de clastos de yeso, cuyos tamaños suelen estar comprendidos entre 1,37 y 2,12 mm, llegando en algunos casos a encontrarse clastos de hasta 3,65 mm; estos clastos

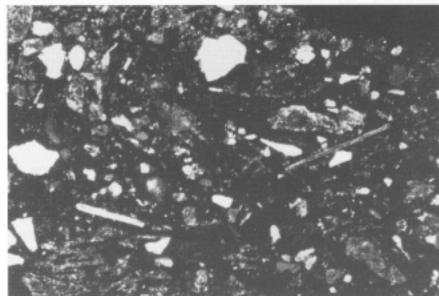


Fig. 5. Fotomicrografía del Jaharrado, mostrando sobre una pasta de yeso los áridos de los tipos: yesos, cuarzo...

se presentan en formas cristalinas, semicocido, sacaroideo, etc... (fig. 5).

También aparecen en la composición de los áridos granos de caliza y cuarzo, estos últimos con tamaños que oscilan entre 0.47 y 1.5mm, con formas subangulosas y subredondeadas, junto con otros componentes, generalmente redondeados y subredondeados y en mucha menor proporción de metacuarcitas y metapizarras, estas últimas muy alteradas.

Los enfoscados utilizados en posteriores restauraciones, de zonas desaparecidas de los esgrafiados e incluso de los estudiados y utilizados también en restauraciones de la Catedral de Toledo durante los siglos XIV o XV son totalmente análogos, siendo tan sólo significativo el mayor tamaño de los utilizados, que a veces llegan a tener hasta dos o tres centímetros de longitud, predominando fundamentalmente el tipo cristalino. Al presentarse como áridos diversos tipos de yesos (junto con otros clastos) con petrogénesis distintas, se denuncia un aporte posterior, no pudiendo ser el resultado de deficiencias en la cocción de un material yesífero único.

4.2 EL ESGRAFIADO.

El esgrafiado está formado por los dibujos en relieve de unos 3 cm de ancho por 6.95 mm de espesor en el tramo inferior, mientras en el superior llega a 8.7 mm y a veces llega a 11.72 mm, lo cual debe interpretarse como irregularidades del soporte o del esgrafiado, pero no como característica del mismo.

Al microscopio de polarización se observa, que este material está formado por una pasta de cal que engloba como áridos granos de yeso cristalino (de 0.37 a 1.12 mm de diámetro), otros más pequeños de yeso negro debido a la materia orgánica que incluyen e incluso algún clasto de cuarzo subredondeado de diámetros comprendidos entre 0.6 y 0.3 mm. En general, es una pasta muy trabajada donde a veces se aprecia una cierta orientación de los clastos de yeso (Fig. 6).

El análisis mediante Difracción de Rayos X atestigua la misma composición mostrando una dosificación general del 70% de calcita, un 25% de yeso y un porcentaje de cuarzo próximo al 5%, según muestra el difractograma adjunto (Fig. 7).

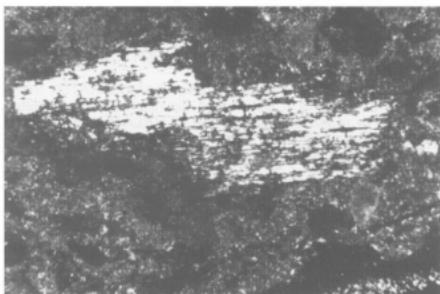


Fig. 6. Fotomicrografía del esgrafiado, se aprecia un cristal de yeso rodeado de pasta calcárea.

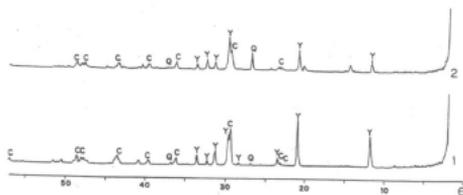


Fig. 7. Difractogramas: 1.- del esgrafiado, 2.- del enlucido. C= Calcita, Q=Cuarzo, Y= Yeso.

Las observaciones al microscopio electrónico de barrido (SEM) confirman la composición citada, pudiendo observarse un entramado bastante compacto de cristales romboédricos de calcita englobando cristales de yeso con morfología más o menos lenticular junto con algún clasto de cuarzo redondeado. (Fig. 8).

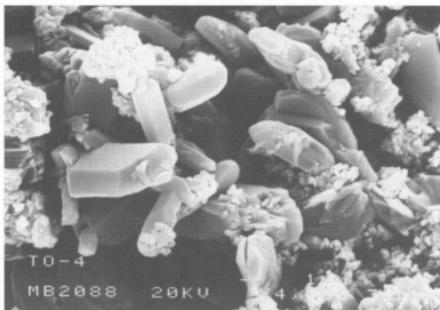


Fig. 8. Fotografía al Microscopio Electrónico del Esgrafiado. Se observan cristales romboédricos de calcita englobando cristales de yeso.

4.3.- EL ENLUCIDO

En las zonas mejor conservadas del esgrafiado se puede apreciar perfectamente que están pintados posteriormente (Fig. 3); enlucido que también ha sido analizado por difracción de Rayos X (Fig. 7), y que comprende tanto los relieves como los vaciados que dejan libre el enfoscado soporte.



Fig. 9. Fotografía de Microscopio Electrónico de el Enlucido. Se aprecia su composición fundamental de yeso.

Su composición queda determinada por una pasta de yeso, aunque también engloba algún clasto pequeño de calcita y en muy escasa proporción también partículas de cuarzo.

Al microscopio electrónico se observa una pasta compuesta por cristales lenticulares de yeso entre la que se aprecian localmente cristales romboédricos de calcita, así como algunas partículas de cuarzo y feldspatos (Fig. 9).

Al parecer podría corresponder a una pintura a base de escayola coloreada con ocre y óxidos de hierro que la dan una totalidad amarillenta que homogeneiza el colorido de toda la fachada.

5.- ESTADO ACTUAL

Las condiciones meteorológicas extremadamente continentales de la ciudad de Toledo (Tabla I) van a determinar el desprendimiento, primero del enlucido, después del esgrafiado e incluso del jaharrado, dejando al descubierto el muro de ladrillo, por lo cual a veces y para protección, ha sido enfoscado, antiguamente con morteros yesíferos y más modernamente con morteros de cemento portland que sustituye a los esgrafiados perdidos o incluso los tapan y enmascaran.

TABLA I (Media de los últimos 80 años)

Máxima absoluta (anual)	42°C (4-8-1946)
Mínima absoluta (anual)	-14°C (8-1-1945)
Máxim oscilación(anual)	56° (1945)
Mínima oscilación(anual)	36,6°C (1977)
Precipitación media anual	388,5 mm
Higrometría media	62%

También en tiempos recientes se han realizado obras de instalación de rejas o de tendidos eléctricos que han ocasionado la fijación de aisladores de cemento, que también ocasionaron la destrucción local del esgrafiado.

Por otra parte estas condiciones meteorológicas y la contaminación ambiental han determinado que el esgrafiado se presente prácticamente despegado del soporte casi en su totalidad e incluso parte de este soporte se encuentre agrietado y también despegado del muro del edificio.

Para corroborar y cuantificar estos términos se realizó una prospección ultrasónica (Fig. 10) "in situ" de cuyos resultados se ha podido levantar el plano adjunto (Fig. 11) en el que las zonas punteadas representan las despegadas del muro.

Los procesos de disolución son evidentes especialmente en las zonas más expuestas a la acción de las lluvias (Fig. 3) así como los enmugrecidos por suciedad ambiental (media anual de humos 16,23 µg. m⁻³).



Fig. 10. Momento de realizar la Prospección ultrasónica sobre el Esgrafiado (zona intermedia).

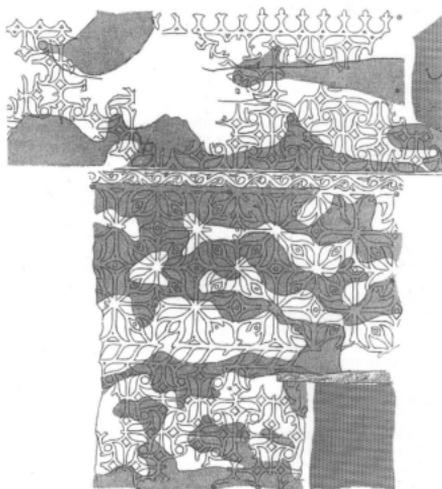


Fig. 11. Plano de el Esgrafiado, indicando las zonas despegadas del muro con punteados.

6.- RECOMENDACIONES PARA SU CONSERVACION Y RESTAURACION

Para determinar la actuación para conservar y restaurar los esgrafiados, se han estudiado, con la experiencia ya adquirida en la Catedral de Toledo, los productos de la firma TEXA, con la que el Instituto de Geología Económica tiene un convenio de investigación sobre sus fabricados y los materiales de construcción a los que se les pueden aplicar. Así, se recomienda:

- fijar el jaharrado al muro de la fachada mediante inyecciones de resinas epoxídicas de baja viscosidad: EPOKOL-B.V.
- Limpiar toda la fachada con agua jabonosa, expandida con pulverizador y ayudada la limpieza con cepillo de pelo.
- Fijar el esgrafiado al soporte con COTELATEX puro.
- Reconstruir las partes perdidas con PETRATEX (mortero de cal, arena y polímeros de resinas hidrófugas), pegando la masa al soporte con COTELATEX puro; diseñando el esgrafiado con plantilla y dejándolo 1,5 mm más bajo que el original.
- Enlucir toda la fachada con una pintura espesa a base de escayola con COTELATEX diluido en agua 1:3 y ocre como colorante.
- Hidrofugar la fachada con COTEFILM-H.F. (resina de silicona).

NAFLION

THE IMAGE OF THE OLD TOWN-PROPOSALS FOR PROTECTION

HELEN MAISTROU, architect

Lecturer at the Architectural Department of the National Technical University of Athens, GREECE.

Nafplion the first capital of the modern Greek state, before Athens took its place, inhabited since the pre-historic era continuously to the present day, retains very clearly in its form and structure, traces of its historic continuity and evolution. The introduction which follows will make reference to the historic evolution and the image of the town. The problems it faces today for survival will be analysed and proposals for preservation will be presented, as defined within the framework of a special town-planning study drafted during the period 1983-1986 by an interdisciplinary team for account of the Ministry of Environment, Regional, Planning and Public Works.

Nauplie, une de ces villes qu'on rencontre bien souvent en Grèce, disposant de vestiges de vie continue dès l'antiquité jusqu'à présent, constitue actuellement un exemple caractéristique d' "ensemble urbain", qui combine l'intérêt historique, culturelle et esthétique. La présente introduction comprend un bref rapport sur l'aspect et la structure de la ville, ses problèmes actuels de survie et de développement ainsi que les propositions formulées pour sa protection, résultant d'une étude urbaine relative; celle-ci a été réalisée entre 1983-1986 d'une équipe multidisciplinaire à la suite de la commission de la part du Ministère de l'Environnement, de la Planification et des Travaux Publics.

Keywords: old town, form and function, protection, preservation.

INTRODUCTION

Nafplion, the first capital of the modern Greek state, before Athens took its place, is a medium size town today of 10,500 inhabitants, lying at the North-Eastern extremity of the Peloponnese at a distance of 160 Kms from Athens built deep at the innermost point of the Bay of Argolis. Inhabited since the prehistoric era continuously to the present days, Nafplion retains very clearly in its form and structure traces of its historic continuity and evolution.

The particular topographic features of the area in which it developed, sections of fortifications which have survived until now and complex of historical traces, monuments and noteworthy buildings of various periods, in combination with the urban tissue which has remained almost unchanged, combine to form a remarkable urban entity endowed with special historic and cultural interest, as defined in the 1964 Venice Chart and the 1975 Declaration of Amsterdam.

The introduction which follows will make reference to the historic evolution and the image of the town. The problems it faces today for survival will be analysed and proposals for preservation will be presented, as defined within the framework of special town-planning study¹ drafted during the period 1983-1986 for account of the Min. of the Environment, Regional Planning and Public Works.

URBAN FORM- HISTORIC EVOLUTION.

The form of Nafplion, today's historic centre of the modern town and its size are closely linked to the town covering about 15 Ha with approximately 1500 permanent residents, spreads over the space lying between the foot of the hill of Akronafplia and the sea (picture 1).



Picture 1. The city, seen by the Hill of Palamidi.

1. The fortress of Akronafplia, 2. Bourdzi, 3. The town's museum (Arsenale), 4. The town's cathedral in Aghios Georgios Square, 5. Modern hotel, built on the hill of Akronafplia, 6. Syntagma Square, 7. The state School.

The study group consists of: Helen Maistrou, Architect, Townplanner, Head of the team Pan. Karellas, Architect, Townplanner, Thomas Papayannopoulos, Architect.

Special collaborators: G. Koliopoulos, communications specialist, G. Manailoglou, Hydraulics specialist, M. Maistros, Mechanical Engineer and G. Exindavelonis, Topographer.

Special Consultant : Dr. D.A. Zivas, Architect, Prof. at the National Technical Univ. of Athens.

Collaborators in the study of the historic centre: M. Kardamitsi-Adami, Architect and Lecturer at the National Technical University of Athens, T. Malikoutis, Architect, G. Kyriakides, Architect.

The hill of Akronafplia played the leading part in the choice of a site of the establishment of the first settlement and fortification, as always formed a stable and impenetrable boundary. Notward, in the direction of the sea, the town developed in the course of time through consecutive silting up. By the beginning of the XIIIth Century, Nafplion was one of the most important towns in the Peloponnese. It was there that the first Byzantine walls were built, most probably on the remains of the ancient Greek walls (picture 2). From the XIIIth to the XIXth Centuries Nafplion passed successively from the hands of the Byzantines to the Franks (1212-1389), the Venetians (1389-1540), the Turks (1540-1686), back to the Venetians (1686-1715) and to the Turks again (1715-1822) until finally liberated by the Greek War of Independence in 1828. All these stages in history have left their imprint on the town's fortifications and its subsequent image. Early in the XIIIth Century during the rule of the Franks the fortress assumed its final shape.



Picture 2. The fortifications of the city.

In the first stage of Venetian rule the small islet "Bourdzi" at the entrance to the town's gulf, was fortified (picture 1). In the second Venetian period, Nafplion became the capital of the Kingdom of the Morea and for the first time the tall and precipitous hill of Palamidi was fortified to the South East of the town (picture 2). Further extension of the land outside the walls continued and the townplan of the area outside the walls differs only very slightly from today's.

As of December 1822, Nafplion passed into Greek hands again and played an important part throughout the entire period of the struggle to free the rest of the Peloponnese. As of 1828 to the end of 1834, it became the capital of the newly-founded Greek State and enjoyed the special care of the government for its restoration. From 1828 to 1862, the period was very important for the rebuilding of the historic centre of Nafplion which, to a large extent, assumed the image it has today. The oldest townplan for Nafplion which has survived, drafted by the Bavarian architect Stademann, dates back to that period.

Comparing this with the situation which has now developed, proves the high degree to which the urban tissue has been preserved.

From 1862 onward the town began to decline, triggered by the Nafplion Rebellion and the transfer of the capital to Athens. During the World War II the North West edge of the town suffered damage from air bombardment with the result that is the quarter which now contains the greatest number of modern buildings.

From 1862 onward the town began to decline, triggered by the Nafplion Rebellion and the transfer of the capital to Athens. During the World War II the North West edge of the town suffered damage from air bombardment with the result that is the quarter which now contains the greatest number of modern buildings.

However, despite all the changes to which the old town has been subjected with the passage of years and the replacement of quite a number of old buildings with modern ones, it retains an entity of historic traces, monuments and noteworthy buildings to which it owes its uniqueness. Important points of reference to the old town with a strong monumental value to this day are the Akronafplia fortress, the fortified islet of Bourdzi and the relatively newer Palamidi fortress. The relationship between the ekistic whole with its two precipitous hills, Akronafplia and Palamidi, and the part played by Bourdzi in the final image of the town, constitute, on the other hand, elements for composition of the natural surroundings with man-made works which are worthy of attention and protection (pictures 1 and 2).

Typical important monuments of the town's history, preserved to the present day are:

1. Its churches (some of which dating back to the first Venetian period 1389-1540 (picture 3)).



Picture 3. The town's Cathedral Church and the school in Aghios Georgios square (right of the church) dating both to the first Venetian period.

Palamidi fortress is seen behind. A modern building is seen in the right and a building dating to 1828-1831 is seen in the left.

2. Public buildings belonging to the Venetian and Turkish periods.

The more important among buildings in this category are the School in Aghios Georgios Square dating to the First Venetian period, (picture 3), the Mosque in Syndagma Square, belonging to the First Turkish period (1540-1696), the Governor's building in Sydagma Square which housed the Naval Ordnance Depot (Arsenale) which is now converted to the town's museum (picture 1).

3. Residences which fall into three categories.

Popular residences (30%). These are small scale houses lacking in any particular architectural style which could express local tradition, the way of life or traditional technique and use of buildings materials. Most of these are

located in the first zone of the town's development having been constructed for the most part prior to 1828, the year when the modern Greek State began to exist (picture 4).



Picture 4. Small popular residence. A Venetian fountain is incorporated in its wall.

Buildings (24%) dating basically back to the first period of Independence (1828-1831). The larger and more important among these are the work of military and civilian engineers, both Greek and foreign. The remainder are the work of local craftsmen with their popular origin much in evidence but also influenced by the new architecture expressed in more austere formality, symmetry in axis, repetition in style of openings, etc. These buildings were

mostly two and three storey structures and are to be found mostly in the second zone of the town's development (picture 5).

Neo- Classical buildings (7%), noted for the symmetry of their plans and frontages and the presence of the principal elements of style such as balcony supports, antae capitals and mouldings, on the outer surfaces. They are to be found in the last two zones of the town's development dating between 1840-1920 (picture 6).



Picture 5. Three storey building dating to 1828-1831.



Picture 6. The 1st State School of the New Greek State.

Various other buildings of differing functional purposes and forms, dating before 1920, such as port warehouses, the Customs House, the State school and the considerably newer building of the Law Courts (1907-1911).

The total of buildings covered by the aforementioned four categories represent about 70% while the remaining 30% consists of entirely modern buildings, incompatible with the general character of the area.

Together with the noteworthy buildings and monuments account must also be taken of the series of historic traces and elements such as the fountains of the Venetian era (picture 4) which have survived to the present day. The connecting link in all these notable buildings is the urban tissue which of itself constitutes and element which indeed merits preservation seeing that, as it has remained almost unchanged in style up to now, it makes for a uniform whole with all its partial elements. As already explained, its shape is closely related to the area's topography, the fortifications which surrounded it and the successive phases in the growth of the settlement. The area where the settlement has developed close to the walls of Akronafplia slopes quite sharply whereas near the shore it is almost flat. A narrow, intermediate belt with minor slopes marks the transition from the one to the other (picture 7).



Picture 7. The townplan today. Traditional buildings and monuments.

To be precise, we can discern in general terms three phases in the town's development expressed by three zones having different townplanning and architectural features and, moreover, with differing functions. In the first zone, about 110m. broad by 600 m. long, which runs parallel with the Akronafplia walls, the buildings plot and blocks are directly related to the inclines of the land. The roads follow the similar levels and are interrupted by narrow and usually terraced crossroads which provide movement vertical to the contours.

The area is intensely picturesque not only because of the tracing of its streets and their movement in the space but also because of the form of the buildings and their lay-out. Small, irregular level spaces, streets whose width varies, sharp or obtuse corners, improvised solution, familiar from the way masterbuilders cope with problems, are the main ingredients of this picturesqueness.

It is, after all, the oldest inhabited area of the historic centre of Nafplion. Its northern boundary, as already stated, was marked by a firis shoreline. The zone is occupied mainly by popular buildings which often display elements of Turkish or Venetian architecture.

There follows, as the town develops northward a second narrow belt which runs alongside the firis and is bounded by Spiliadou-Staikopolou and Plapouta streets southward and Amalia Ave northward. The mean breadth of this zone is about 70 m, and its length approximately 500m. The road network here appears somewhat more regular but it still retains some of the features of the preceding zone of which, in a way, it forms the natural continuation and develops along the same reasoning. The building blocks, for example, are shaped more as rectangles and present small, narrow, blind alleys which the tracing of the streets still retains, presenting many elements of freedom and picturesqueness. The atmosphere of the region becomes more urban with the houses larger, usually two or three-storeyed and of more austere zone. Syndagma Square which fits into this intermediate zone is by reason of the size, proportions and buildings which surround it, one of the more important public buildings are located on King Constantine street, known in the past as "the broad-way". It should be noted that the position, breadth and direction of the Amalia Ave demarcates a subsequent city front upon the sea because it occupies the site of the city's walls on the shoreline.

The third zone, likewise running parallel with the previous two, lies between Amalia and Boucoulina streets. It is 100 m. broad and about 200 m. long on level ground. The streets are absolutely regularly traced and the building plot are lengthy, rectangular parallelogrammes having an average width of 14-15-m. and 25-55 m. long. The particular feature at this point is that, because of the small width of the building plots, they all give onto streets on both sides. It is the quarter of the town which was the latest to expand. It is the most urbanised area of the historic centre with two and three-storey buildings and prominently visible elements of the Neo-classical style.

As regards installed functions in these three zones of the town, it may be said that the firis is basically residential with quite a few abandoned buildings in poor state of repair while the western extremity of the town which suffered air raids during the World War I in combination with the ease of road access to it has been taken up by hotels and boarding houses.

The second zone is characterized by the town's central functions such as shops, services and offices which occupy ground floors, the upper floors continuing to the residences. In particular, the King Constantine street axis was always and still, is the main shopping centre while, at the same time together with the two important squares which it links, it contains the town's administrative functions. In the latest zone of the town's development, central functions continue on the ground floors but, at the same time, tourist catering installations and refreshment centres such as bars, restaurants, popular art shops, etc., make their appearance. The cornice roads are completely given over to tourist establishments. On the quay the town's commerce takes place which handles the trade of the entire Prefecture. An important section of the town is taken up by one of the three elementary state schools which shares premises with the secondary school and the lyceum.

PROBLEMS FACING THE OLD TOWN

The special townplanning study, elaborated by an interdisciplinary team from 1983 to 1986, had as its objective to carry out a reconnaissance of the particular features of the town described above and to identify problems facing its survival for the purpose of recommending administrative, legislative and economic measures for its protection. Naflion, like other historic towns and traditional settlements in Greece and the rest of Europe, under pressure from modern economic and funtional structures, faces on the one hand dangers of survival and economic decline and, on the other, problems from over-exploitation and disfiguration which could deprive it of its historic identity.

The questions therefore arise, what is the present day's state of the town which, in a broader sense could be regarded entirely as a city-monument, what is the relationship it has built up with the modern town and what are the prospects for its further evolution?

The fact that the modern town developed outside the bounds of the traditional town helped in a way to preserve to a major degree the old buildings. However, at the same time, because of the high repair and modernisation cost for old buildings, it led to their abandonment and, sometimes, to complete dereliction and demolition. The firis functions to evacuate old buildings and take over premises in the more modern town were the administrative services which traditionally had occupied a large portion of the town, they being followed by residences. The result of this abandonment was decline accompanied by an exodus of the commercial functions. The empty premises were then taken over by tourist shops, taverns, hostels and bars. There are in addition a number of empty buildings which have been converted into warehouses. Disfiguration of the image of the town's buildings has been the direct result of changes in their function, involving advertising inscriptions, tourists gift-shop wares, investment project, etc. At the same time, common spaces and infrastructure networks have also suffered the wear and tear caused by time¹, and also by the changes in the town's functions such as the influx of motocars into streets originally designed for pedestrian traffic, occupation of streets and pavements by chairs, tables and awnings of catering centres etc. Finally, buildings now being erected in the old town are often incompatible with their environment and sometimes very ostentatiously so.

PROPOSALS FOR PROTECTION.

In order to achieve thorough protection and preservation of the form and function of the town and, in accordance with the Venice Chart (1964) the UNESCO directives at the Warsaw Conference (1976) and the ICOMOS International Chart for Saving Historic Towns (1986), the following protective measures were proposed within the framework of the town-plan study:

- For the urban tissue
- For the relationship of buildings to its open spaces
- For the architectural nature of its buildings (as expressed by structure, volume, style, scale, proportions of building, materials used, colour and decoration
- For the relationship of the town to its natural and man-made environment
- For the whole of the functions it has accumulated with the passage of time.
- For its role in the economy.

Recommendations made in the study which were processed into legislative regulations as well, were the following:

- Precise definition of the boundaries of the section of the town to be protected which include the hills of Akronaflia and Palamidi.
- A new townplan which legalises the traditional urban tissue and corrects any new tracing of roads that may have occurred, or alterations which may have been proposed for the old town and regulates traffic, marking numerous streets reserved for pedestrians only and fixing parking lots

1. (The old city's sewage system, constricted by the Venetians, operates to the presentday and its oulest pour into the port.),

in such manner as to protect the function and form of the town's common open spaces.

- A special land-use control Code which defines uses which may be installed in the town's buildings, aimed at encouraging residence and such commercial functions as accompany it, re-induction of public services into the old town and close control over installation of a new tourist establishment which could damage the image and damage the function of the town, downgrading the quality of life of its inhabitants.

- Classification of all traditional buildings and elements which, as a whole, give the old town its architectural character, as "subject to preservation". With the object of recognising their particular features a special register was drawn up for each.

- A special decree regulates repair and modernisation possibilities for these buildings in such manner as to preserve or restore their original image while, at the same time, aiming at making them meet modern needs of their inhabitants.

- Setting terms and restrictions for the display of inscriptions and advertisements which must be affixed in such manner as will not cover up or disfigure the architectural elements of buildings.

- Ensuring the necessary social infrastructure,

Finally as "in a historic entity which is alive there must co-exist continuity and change", as ICOMOS 1979 words it, parallel with the town's historic buildings, a special buildings regulation was drafted and passed into Law concerning new building so that.. "new buildings being constructed in the town should respect existing architecture and the townplan concept and must harmonise with the built-up environment through their appearance, scale and materials used"...

Apart from the aforementioned legislation, the study recommends a complete programme of studies and projects in order to achieve the target of "integrated conservation". To be precise:

- Restoration of the architectural style of open common spaces in combination with replacement, improvement or

supplementation of the town's networks which will contribute toward better living conditions.

- Model studies and implementations for restoration, strengthening and modernising State and Municipal buildings which will serve as educational guidance for similar initiative by private individuals.

- Housing of public services in buildings of the old town and adoption of financial incentives for the preservation of the commercial functions which will maintain control over the spread of tourist catering and entertainment units.

- Appointment of special Architectural Control Committee for the old town which will scrutinise and approve each study and every constructional activity or demolition job before they are undertaken and, at the same time, will exercise and advisory role with local authority, architects and the inhabitants.

- Adoption of tax exemptions in cases of transfers of ownership or repair jobs to buildings on the "preservable" list and favourable financing terms for the creation or preservation of shops selling daily requirements in streets foreseen by the Decree governing the use of land.

None of the last set of proposals which mainly show up the relationship between protection of the town and "desirable development" and improvement in the quality of life of its inhabitants has yet been implemented. Today, the States grants only small loans on relatively favourable terms for repairs to traditional buildings and this, of course, applies to Nafplion also, from the moment boundaries were fixed with precision as to what is the protected section of the town and old buildings were declared "presevable" to whose entire lot the old town owes its architectural character.

Besides, implementation of legislative adjustments is no easy matter. Efforts are made to render municipal authorities, competent services and the inhabitants themselves sensitive toward the town's problems and the ways in which they can be overcome. Time will show how far the targets set by the study for the overall protection of the old town of Nafplion will have succeeded.

“CONSIDERACIONES ACERCA DEL METODO FOTOGRAMETRICO COMO TECNICA PARA EL LEVANTAMIENTO DE EDIFICIOS Y MONUMENTOS”.

P. NAVARRO ESTEVE, M. GALINDEZ HERNANDEZ -1-

A. SANJUAN HERNAN- PEREZ, P. ROMERO LOPEZ, T. MORANT DE DIEGO -2-

-1-U. Politécnica de Valencia, -2- U. de Las Palmas de Gran Canaria.

Introducción. Ecuaciones fundamentales de la fotogrametría terrestre. Consideraciones acerca de las vertientes científica y de producción en la aplicación de la fotogrametría al proceso de intervención del Patrimonio. Métodos simplificados de restitución. Metodología seguida en los siguientes casos: Bóveda Capilla de los Reyes Sto. Domingo (Valencia), Ermita de San Telmo y Casa de los Romero (Las Palmas).

Instrumental utilizado.

Introduction. Fundamental equations of close-range photogrammetry. Considerations about the scientists and productions in the application of photogrammetry to the process of patrimony intervention. Simple restitutions methods. Instrumental and methods used in some cases (Capilla de los Reyes. Sto. Domingo, in Valencia. Ermita se San Telmo and Casa de los Romeros, in Las Palmas de Gran Canaria).

Dentro de los planteamientos propuestos por la organización de este Congreso, nuestro equipo de trabajo pretende exponer las aplicaciones que en el proceso de intervención sobre el Patrimonio puede suponer la técnica de la Fotogrametría aplicada a la arquitectura.

Expondremos los trabajos de restitución fotogramétrica efectuados conjuntamente entre las Universidades de Las Palmas de Gran Canaria y Politécnica de Valencia, así como la línea de investigación que sobre teoría de errores llevamos a cabo bajo la dirección de D. Manuel Chueca Pazos a quien debemos las formulaciones teóricas sobre ajustes rigurosos en Fotogrametría Terrestre.

La Fotogrametría en su acepción general puede definirse como la técnica que permite deducir las coordenadas espaciales de un determinado punto a partir de las coordenadas planas (bidimensionales) del mismo obtenidas en dos fotografías (Fotogramas apoyados) con distintos puntos de vista. Es una técnica de fotointerpretación, que se estudia en las Escuelas de Topografía y en algunos Departamentos de Expresión Gráfica en la Ingeniería y Arquitectura.

La comunicación presentada pretende introducir a las aplicaciones esta técnica, exponer sus utilidades y limitaciones y divulgar este método que cuenta con más de 100 años, y que nació curiosa y directamente vinculado a la Arquitectura, pero sin embargo dentro de esta profesión es una perfecta desconocida.

Se dedicará una primera parte de la comunicación para explicar someramente los fundamentos de la Fotogrametría, de modo que queden claros algunos aspectos que tradicionalmente se interpretan erróneamente, y otros referidos al instrumental que se utiliza, que suelen ser confundidos por los no especializados.

De este modo el profesional que tenga conocimientos precisos sobre Fotogrametría puede obviar esta primera parte.

1. Nociones fundamentales sobre Fotogrametría arquitectónica.

El método fotogramétrico es relativamente antiguo, casi tanto como la fotografía. No debió transcurrir demasiado tiempo desde los descubrimientos de Daguerre

para que curiosos de la fotografía pensarán la forma de medir la escala sobre aquellas primitivas placas. El problema geométrico estaba resuelto y los geómetras de la época sabían resolver mediante la proyectiva la restitución a partir de dos perspectivas cónicas estableciendo una homografía entre figuras de la tercera categoría.

Para ello necesitaban cámaras que obtuviesen imágenes no deformantes de la realidad, es decir que representasen la perspectiva cónica desde el punto de vista del centro óptico de la lente, sin distorsión ni aberración alguna e instrumentos que permitieran formar "el modelo" a escala resultante de la proyección desde ambos fotogramas (perspectivas cónicas).

Estas dificultades "técnico-constructivas" no existían en las formulaciones analíticas, siendo su expresión matemática inicial bien sencilla:

Como sobre una hipotética fotografía sólo podemos medir (físicamente sobre ellas), coordenadas X placa e y placa y en el modelo real tenemos las tres coordenadas X, Y, Z reales, necesitaremos 2 fotografías para establecer una correlación entre coordenadas placa y coordenadas terreno. Supondremos el caso más favorable y sencillo de dos tomas perpendiculares al modelo a la misma distancia de él, tal como se ve en el corquis:

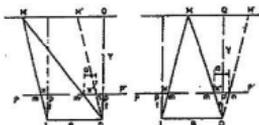


Fig 1.

Suponiendo dos fotografías P y P' verticales y obtenidas desde l y l' y siendo M la proyección horizontal de un punto del espacio, P y P' puntos principales de cada placa, se tendrá:

$$x = mp$$

$$x' = mp'$$

Se llama paralaje estereoscópico A la diferencia de las abscisas anteriores y se representa por:

$$a = x' - x$$

y trazando DM' paralelo a lM se tendrá Dm'n' DMM' que implica:

$$\frac{MM'}{m'n'} = \frac{DQ}{DP}$$

Fig 2.

y puesto que: MM' = B (IDMM', paralelogramo)

$$m'n' = a$$

$$DQ = Y \text{ (distancia al plano de frente)}$$

$$Dp' = f$$

se tendrá:

$$\frac{B}{a} = \frac{Y}{f} \quad Y = \frac{Bt}{a}$$

Fig 3.

Esta es la ecuación fundamental de la fotogrametría estereoscópica, que define la distancia de un plano frontal a la base en función de un paralaje. Todos los puntos de un mismo plano de frente tienen pues la misma paralaje, y para conocer la situación de dicho plano, recíprocamente, bastará con medir la paralaje de uno de sus puntos.

Si suponemos unos ejes cartesianos XYZ con origen de I, foco del fotograma izquierdo (que se toma siempre como fotograma director), sentido positivo de la X hacia la derecha, Y en la dirección de la placa y Z normal al plano XY en I, se tendrá:

$$\frac{X}{X} = \frac{Y}{f} ; X = \left(\frac{X}{f} \right) Y$$

$$\frac{Z}{Y} = \frac{Y}{f} ; Z = \left(\frac{Y}{f} \right) Y$$

Fig 4.

Se podrán expresar las coordenadas XYZ del punto M del modelo en función de xy, (coordenadas de la imagen M en el fotograma director) y de la paralaje estereoscópica a.

$$X = \left(\frac{X}{f} \right) \left(\frac{Bt}{a} \right) = \left(\frac{B}{a} \right) x$$

$$Y = \left(\frac{B}{a} \right) f$$

$$Z = \left(\frac{Y}{f} \right) \left(\frac{Bt}{a} \right) = \left(\frac{B}{a} \right) y$$

Fig 5.

B = base de la toma, es decir distancia entre las dos tomas fotográficas.

f = distancia focal de la cámara (distancia entre el origen de coordenadas del fotograma y el centro óptico de la lente).

a = paralaje del punto.

Necesitaremos fotografías lo suficientemente precisas como para medir sobre ellas. Les denominamos fotogramas y han de cumplir los siguientes requisitos:

1.- Estar exentas de cualquier distorsión y aberración producidas por la lente del objetivo.

2.- Que de algún modo sobre las fotografías queden determinados sus ejes principales x e y para poder medir coordenadas placa y situar en la perpendicular a su origen el centro óptico de la cámara.

A las cámaras de este tipo les denominamos cámaras métricas y lógicamente deben disponer de:

1.- Lentes cuyas distorsiones y aberraciones sean mínimas.

2.- Impresionar unas marcas fiduciales que determinen el centro del fotograma.

3.- Tener perfectamente calibrado su distancia focal, de modo que este dato se pueda introducir en los cálculos.

La construcción de las primeras cámaras métricas se remonta a finales del siglo pasado. Cita Bonneval en su tratado de Laussedat como el primero en levantar planos topográficos mediante lo que se denominó "metrophotographie" y entre sus ejemplos reproduce el levantamiento del Castillo de Vincennes (1.850) pero fue el ingeniero alemán Meydenbauer el primero en construir una cámara fotogramétrica. Con placas de gran formato para poder medir directamente sobre ellas, las diseñó de modo que previamente a la toma fotográfica colocaba un goniómetro en su interior para calcular la dirección del eje óptico.

No se pueden dejar de citar sus primeras pruebas en la Iglesia de Freyburg on Unstrut, con fines topográficos y documentales, y pese a no haber tenido entonces una especial acogida el término FOTOGAMETRIA quedó acuñado desde este año de 1.867. Fundador del Real Instituto de Fotogrametría de Prusia, a lo largo de su vida, él y su equipo tomaron un total de 11.940 fotografías de 1.080 monumentos.

Sus negativos fueron monumentales para la reconstrucción del Patrimonio Arquitectónico Alemán tras la Segunda Guerra Mundial. Los pocos dibujos y levantamientos de aquella época se hacían analíticamente calculando las coordenadas punto a punto aplicando las fórmulas antes mencionadas. Téngase en cuenta que en vida de Meydenbauer no existían los restituidores.

La aparición del instrumento rey de la fotogrametría, el restituidor, posibilitó el dibujo directo desde los fotogramas. Primero fueron los denominados "analógicos" que reproducen mediante un proceso mecánico la proyección desde las dos fotografías produciendo un modelo a escala de la realidad, y recorriendo este modelo podemos trazar también mecánicamente (fijando una de las coordenadas) sus distintas proyecciones en el sistema diédrico.

La irrupción en la última década de la informática en todos los campos de la técnica ha impulsado también el mundo de los restituidores haciendo desaparecer prácticamente el sistema analógico en favor de los llamados "analíticos". Estos instrumentos, apoyados en ordenadores, calculan las coordenadas reales de los puntos que va marcando el operador y los envían a una serie de archivos informáticos para ser procesados mediante distintos sistemas de CAD.

Entre la toma fotográfica y la restitución se intercala el proceso más tedioso y laborioso de cualquier levantamiento, el apoyo fotográfico, fundamental para la precisión de un trabajo. Consiste en medir la base de toma fotográfica (si la cámara es estereométrica no es necesario, pues es un dato del instrumento) y calcular las coordenadas de una serie de puntos del objeto a fotografiar y poder así antes de restituir efectuar dos operaciones:

1.- Colocar sobre el restituidor las fotografías en la misma posición relativa de la toma real.

2.- Calcular la escala del modelo proyectivo resultante.

Estas operaciones se denominan "orientación del estereográfico"

Con la restitución sobre la mesa trazadora se cierra el proceso que se ha descrito sucintamente para que el profano en la materia pueda tener una cierta idea de las formulaciones matemáticas básicas y el ciclo secuencial de fotografía, apoyo topográfico y restitución gráfica característico de un levantamiento con esta técnica.

II.- La fotogrametría como técnica de medición y representación. Sus aplicaciones en casos de intervención del Patrimonio Histórico Arquitectónico.

Dos son los campos en los que nuestro método puede ser de utilidad; en la medición y evaluación del error cometido (asunto puramente topográfico) y en la representación gráfica del objeto fotografiado. Estas dos vertientes que podemos denominar científica y de producción no deben aislarse una de otra, como va siendo cada vez más frecuente.

Todo proceso fotogramétrico, tradicionalmente ha llevado parejo el cálculo del apoyo, la orientación de los fotogramas, etc.; un trabajo lento y laborioso en aras de conseguir una determinación puntual o un dibujo "preciso de la realidad". La precisión ha sido el caballo de batalla de la fotogrametría y hasta hace unos pocos años la reproducción gráfica directa y mecánica de un objeto real sólo era posible desde la fotogrametría.

Se creó la imagen de la fotogrametría como método de dibujo de edificios y monumentos, cuando ello no es sino uno de los aspectos del sistema produciéndose muchas veces levantamientos en los que la calidad gráfica, delineación y en general la presentación de la exposición gráfica primaban sobre el rigor topográfico (apoyo de campo insuficiente, orientaciones poco cuidadas, etc.).

Ultimamente, sin embargo, aparecen más y más métodos de restituciones a partir de fotografías corrientes, o restituciones con apoyo reducido, digitalizaciones de fotogramas, etc.; Son procesos perfectamente válidos sin olvidar el margen de error real en el que nos vamos a mover en cada caso. Antes de efectuar el levantamiento fotogramétrico debe estimarse el margen de error previsible, pues determinará los planteamientos del trabajo en función de la instrumentación a utilizar. Muy pocas veces se requiere la precisión que sin embargo se suele ofrecer. Acudir a restituidores de primer orden, apoyos topográficos muy exactos para obtener a lo sumo unos alzados, o perfiles a escalas de 50, 100 o incluso 25 como base para un proyecto de rehabilitación es innecesario. Además el dibujo que se ofrece desde el restituidor suele carecer de calidad gráfica, incluso si se depura a través de algún programa CAD, a menos que un profesional de arquitectura opere en el restituidor o esté colaborando durante la ejecución del trabajo. La solución típica de redelinear los planos fotogramétricos elimina además la cualidad fundamental: su precisión.

Digitalizando a partir de ampliaciones de fotogramas, corrigiendo con los datos de los puntos de apoyo hemos levantado planos perfectamente útiles para los fines comentados, conscientes del error, perfectamente asimilable que se comete. Los programas gráficos en 2D (Autocad por ejemplo) lo admiten perfectamente. La no compatibilidad entre el sistema informático del Planicom y los PC impiden el proceso de datos en 3D (Autocad), aunque hemos producido maquetas electrónicas pasando puntos de uno a otro, en modelos de fuerte geometría que facilita el proceso (véase la maqueta de la superficie interior de la bóveda de la Capilla de los Reyes en el Convento de Sto. Domingo).

En casos de determinaciones fotogramétricas de precisión no sólo se ha de tener en cuenta el error

previsible en la determinación de un punto, según el instrumental que se utilice (diámetro de la marca fiducial, apoyo, parámetros de orientación etc.) sino además establecer un método para comprobar realmente el error cometido en cualquier punto de un fotograma.

III.- Metodología de trabajo seguida en los siguientes casos: bóveda de la Capilla de los Reyes del Convento de Sto. Domingo (Valencia), levantamientos de la planta y alzados de la Ermita de San Telmo y del alzado principal de la Casa de los Romero (Las Palmas de Gran Canaria). Instrumental utilizado.

Previamente a la ejecución de las tomas fotogramétricas se efectuó un estudio de la localización y número de pares fotogramétricos que se tendrían que realizar para que todos los alzados quedaran representados en su totalidad por duplicado desde una misma base (recubrimiento). A continuación se pasó a elegir cuales iban a ser los puntos de apoyo (P.A) sobre las fachadas a fotografiar., de modo que todos los recubrimientos dispusieran de los P.A necesarios para su posterior restitución. Estos P.A

deben ser detalles que queden puntual y perfectamente definidos sobre la fachada, teniendo en cuenta siempre que sus dimensiones serán considerablemente aumentadas a los ojos del operador de restitución: si no se encuentran puntos que puedan servir para nuestros fines es habitual recurrir al empleo de pequeñas etiquetas de papel adhesivas en las que figure una señal de referencia. Estas etiquetas se pegan en las fachadas, determinando así el punto de apoyo en el lugar de la misma que consideremos más idóneo.

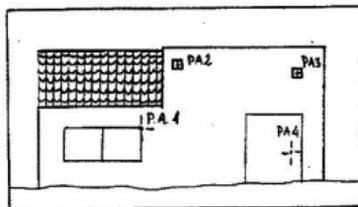


Fig 6.EJEMPLO DE DISTRIBUCION DE LOS PUNTOS DE APOYO EN UNA FACHADA.

Tras la determinación y señalización (si procede) de los P.A necesarios se efectuó la toma fotográfica de los pares simultáneamente desde las dos cámaras que forman la base. Esta toma, en nuestro caso, se realizó con la cámara estereométrica SMK-40 de la casa ZEISS, y se emplearon emulsiones tanto de poliéster como de cristal, en blanco y negro y en color. A su vez, y para facilitar posteriormente las tareas de identificación por parte del operador, se elaboraron croquis de detalle a mano alzada de las fachadas, así como de la situación y numeración de los diferentes P.A dispuestos en las mismas.

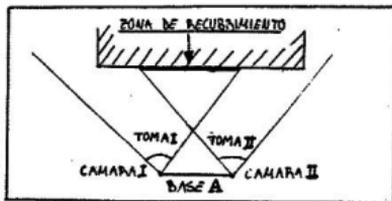


Fig 7.VISTA EN PLANTA DE LAS TOMAS DEL PAR FOTOGAMETRICO.

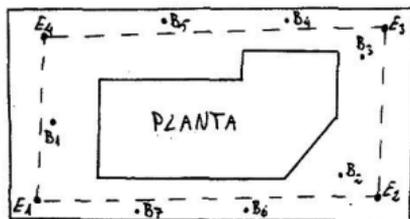


Fig 8. ESTABLECIMIENTO DE LAS ESTACIONES DEL ITINERARIO (BN = BASES FOTOGRAMÉTRICA, EN = ESTACIONES DEL ITINERARIO)

Seguidamente, se realizó el apoyo topográfico, consistente en determinar las coordenadas (X, Y, Z) de cada uno de los P.A., en un sistema de referencia arbitrario. La forma más habitual de determinar estas coordenadas es a partir de una intersección directa desde dos estaciones de coordenadas conocidas, para lo cual se tendrá que observar un itinerario o poligonal, cuyo número

de tramo dependerá de la situación del apoyo a determinar, y desde las estaciones de dicho itinerario efectuar las observaciones angulares pertinentes a los P.A.. En nuestro caso, los itinerarios se observaron con la estación total SET-3 de Sokkisha, la cual nos daba la precisión requerida en este tipo de trabajo. Además se utilizaron teodolitos con apreciaciones de segundos para las observaciones a los puntos de apoyo.

Una vez finalizadas las observaciones de campo, se revelaron las tomas fotográficas, comprobando su calidad para posteriormente restituirlas y se calcularon los itinerarios e intersecciones realizadas, obteniendo finalmente las coordenadas de los P.A. necesarias para la restitución de los pares.

La restitución de los pares se efectuó en el restituidor analítico Planicomp C-120 de la casa Zeiss, y su dibujo se realizó a través de un plotter AO de HP. Puesto que el dibujo obtenido por restitución necesita ser depurado, los datos de la restitución (es decir las coordenadas X, Y, Z, de los puntos que definen la fachada) son volcados en una estación de trabajo y depurados a través del programa de diseño Autocad, quedando los mismos almacenados para producir las copias, vistas, secciones y escalas de dibujo que se deseen.

"ESTUDIOS PREVIOS EN LA RESTAURACION Y REHABILITACION DE EDIFICIOS: LA TOMA DE DATOS PARA LA DEFINICION GEOMETRICA DE LA ACTUACION"

- ILDEFONSO TORREÑO GOMEZ: ARQUITECTO - APAREJADOR - ARQUITECTO TECNICO - INGENIERO TOPOGRAFO
- FERNANDO LOPEZ RODRIGUEZ: APAREJADOR - ARQUITECTO TECNICO - SOCIOLOGO
- VENTURA RODRIGUEZ RODRIGUEZ: APAREJADOR - ARQUITECTO TECNICO
- PASCUAL UBEDA DE MINGO: APAREJADOR - ARQUITECTO TECNICO - ANTROPOLOGO
- JOSE LUIS MOREIRA SANCHEZ: ARQUITECTO- APAREJADOR - ARQUITECTO TECNICO

SUMARIO

1. Introducción.
2. Reconocimiento y estudio del edificio.
3. Toma de datos.
4. Definición geométrica y representación del edificio.
5. Memoria Descriptiva.

ANEXO

1. Documentación gráfica ilustrativa de la ponencia.

1. INTRODUCCION

En toda actuación de Rehabilitación y Restauración es necesario partir de un conocimiento, lo más completo posible, del edificio, de su entorno y del ambiente en el que se ubica. Para realizar y objetivar su gestión, será necesario conocer la estructura social y aspectos socio-económicos de sus propietarios e inquilinos.

El estudio y conocimiento del edificio y su entorno habrá que realizarlo desde el punto de vista histórico, partiendo del análisis del tejido social que lo hizo posible, su época, situación política y económica y su conexión con el desarrollo de la trama urbana de la ciudad. Permitiendo un análisis tipológico-artístico, relacionando la edificación con las tipologías urbanas y concepciones compositivas y estéticas de la época.

La posibilidad de enmarcar el edificio en una determinada época facilita la comprensión e identificación de los sistemas, subsistemas y soluciones constructivas de la edificación.

Desde hace diez años venimos dirigiendo a los alumnos de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de Madrid (EUATM), que realizan su Trabajo Conjunto de Fin de Carrera en la especialidad de Rehabilitación. En todos estos trabajos, algunos de los cuales se relaciona en otra ponencia, los estudios previos al proyecto de actuación se han estructurado en las siguientes fases, interrelacionadas entre sí:

* Reconocimiento "in situ" y estudio del edificio (Obtención de datos "extrínsecos" y elaboración del historial "clínico" del edificio).

* Toma de datos "intrínsecos" del objeto de actuación. (Reconocimiento para la elaboración de la ficha "física" de la actuación).

* Definición geométrica y representación del edificio. (Ficha "física" del edificio).

* Desarrollo de la Memoria Descriptiva y diagnóstico del estado patológico del edificio. (Diagnóstico del edificio).

* Consideraciones previas de anteproyecto: propuestas de soluciones. (Dictamen y toma de decisiones).

2. RECONOCIMIENTO Y ESTUDIO DEL EDIFICIO

La observación organoléptica nos permite "percibir", "sentir" y contactar con el edificio, con su entorno y deseablemente con sus gentes y moradores. Obteniéndose una información física, social y espacial de primera mano que nos permitirá captar detalles "intrínsecos" del edificio, tales como su composición, volumen, relación con las edificaciones contiguas, servidumbres aparentes, textura, color y tipo de materiales, sistemas constructivos, estado de conservación, patología, etc.

La relación con los propietarios y personas que lo habitan facilitará el conocimiento de las distintas alteraciones del edificio desde su construcción. Estas variaciones pueden ser de carácter formal y compositiva, de tipo estructural, ampliaciones, derribos, modificación e implantación de instalaciones, reparaciones, etc.

En estas reuniones es muy importante concretar cuándo y cómo se realizará la toma de datos y obtener los teléfonos de contacto para facilitar el acceso a las viviendas y espacios comunes al equipo de campo. Siendo el momento de explicar y repartir, en su caso, las encuestas diseñadas para la actuación y establecer el distintivo o credencial que acredite la identidad del personal que participe en la toma de datos.

Otras informaciones complementarias, del mismo tipo que los anteriores y que denominamos datos "extrínsecos" del edificio, se deben de obtener en el Archivo Histórico Municipal, Oficina Urbanística Municipal, Colegios Profesionales, propietario, administrador, etc. La información obtenida nos permitirá datar la fecha de construcción, conocer el nombre del arquitecto y técnicos que hayan intervenido en la construcción, obtener documentación gráfica y escrita, expedientes de licencias de obras, informes, peritaciones, dictámenes, escrituras, normativa urbanística, y todas aquellas informaciones que permitan documentarnos sobre la actuación y que formará parte de la Memoria Descriptiva del Edificio.

En esta fase se habrán de establecer, de acuerdo con el tipo de actuación, los objetivos, metodología y forma de realizar la toma de datos y el levantamiento topográfico arquitectónico del edificio, determinando métodos y medios para su ejecución, así como la confección de fichas resúmenes del edificio y sus detalles (Figura 1).

3. TOMA DE DATOS

En las primeras visitas se suele y debe de realizar un levantamiento fotográfico general del edificio, procurando que las tomas tengan la menor deformación perspectiva posible,

De acuerdo con la impresión recibida en las visitas previas, con las tomas fotográficas reveladas y con la documentación gráfica que se haya podido reunir se establecerá la forma de materializar la "toma de datos". Distribuyendo los equipos de campo, seleccionando las plantas, secciones, alzados principales y secundarios, detalles y elementos de conjunto a levantar previamente,

que normalmente suelen modificarse y ampliarse durante la propia fase de toma de datos.

Si el estudio del edificio lo requiere, habrá que cuantificar y valorar una campaña de ensayos -destructivos y/o no destructivos-, de materiales, cimentaciones, instalaciones, etc., para un mejor conocimiento del edificio.

El levantamiento debe de realizarse lo más exacto posible y en el menor tiempo posible, por lo que es importante marcar los objetivos del mismo. Si la toma de datos fuera muy exhaustiva, podría permitir levantar el mismo edificio en otro lugar, como es el caso que se indica en la Figura 2 y 3, que representa un estudio de fachada de un edificio que obstaculizaba, dentro del casco urbano de San Vicente de la Barquera, el paso de la carretera, se numeraron todos los sillares de las fachadas, efectuándose un amplio estudio detallado del mismo, con el objeto de que se pudiera emplazar el edificio en un solar próximo al Ayuntamiento.

En la mayoría de los casos lo que se obtiene es una aproximación a la realidad, que dependerá del grado de exactitud y precisión que sea necesario alcanzar, lo que condicionará los métodos e instrumentos empleados. En otros casos lo que se pretende es completar la información gráfica disponible y obtener un inventario, a través de mediciones, fotografías con escala y textos aclaratorios complementarios: acabados, instalaciones, etc., que servirán para la elaboración de la Memoria Descriptiva del edificio.

En el supuesto de disponer de documentación gráfica habrá que comprobar "in situ" su bondad, generalmente mediante medidas perimetrales y diagonales con cinta. En el supuesto en que los planos no se ajusten a la realidad, se podrán utilizar como croquis y se añadirán como Anexo de la Memoria Descriptiva. En todo caso, podrán informarnos de las variaciones del proyecto o de su ejecución.

Es importante tener en cuenta que la representación gráfica supone una pérdida de información, tanto mayor cuanto mayor sea el denominador (M), de la escala, definido por el límite de percepción visual: $(0,2 \text{ mm.}) \times (M)$, debiéndose tomar los datos necesarios que permitan pasar de tres dimensiones a una representación bidimensional. En este sentido pensamos que los datos se deben de obtener con la mayor precisión posible ($\pm 0,5 \text{ cm.}$, a milímetros en detalles). No hay que olvidar que si el levantamiento está bien realizado, su propia definición gráfica indicará la disposición del sistema estructural y constructivo, facilitando su estudio y valoración.

Los modernos sistemas de dibujo asistido por ordenador permiten manipular, de una manera rápida y eficaz, la información obtenida, incluso en tres dimensiones, por lo que la tendencia actual es la de obtener lo más fielmente posible el registro de un edificio.

En alguno de los últimos trabajos realizados en la EUATM se han tomado los datos generales de plantas y fachadas con un equipo topográfico formado por una estación total y prismas que permiten la medida electrónica de distancias y desniveles. Acoplándose a la estación total un colector de datos, que permite almacenar hasta 2.000 puntos con sus datos, previamente codificados. El colector se puede conectar a un sistema informático y obtener el dibujo asistido por ordenador (Figuras 4 a 7).

Un levantamiento completo comprenderá en general los planos de situación (1/1000) y emplazamiento (1/100), plantas del edificio (1/50 ó 1/100), alzados principales y secundarios (1/50 ó 1/100), una sección longitudinal y otra transversal como mínimo (1/50 ó 1/100), y los planos de detalle que sean necesarios para definir el proyecto: carpintería, cerrajería, etc. (1/10 a 1/20). Tomando los planos anteriores como soporte gráfico se obtendrán los planos de estructura, saneamiento, instalaciones en general y patología observada, aportándose los datos complementarios de detalle que sean necesarios.

Para la medición del edificio es conveniente dividirlo en distintas partes, croquizándolas independientemente, utilizando como croquis de conjunto un esquema y/o unas buenas fotografías. Es muy corriente en equipos inexpertos el dedicar varias horas de trabajo a la obtención de un croquis de conjunto que forzosamente se representa, como máximo, en formato DIN-A3 y luego, cuando empieza la medición, no se tiene espacio suficiente para anotar las medidas o representar pequeños detalles. Por contra hay que evitar la sustitución de mediciones necesarias y completar los planos con datos obtenidos de las fotografías.

La metodología de observación partirá, en su caso, de plantearse el problema topográficamente ajustando sus métodos planimétricos y altimétricos al edificio y entorno a menudo.

Las poligonales de precisión se suelen utilizar cuando se tiene que efectuar un levantamiento de cierta extensión cerrando el edificio o manzana y destacando vértices de la misma en su interior. Los vértices de la poligonal pueden servir como puntos de control y apoyo del levantamiento, tomándose desde ellos, por radiación, los puntos más destacados y singulares del levantamiento arquitectónico.

Los vértices se deben de instrumentar en el terreno con señales provisionales: clavos, chinchetas, pinturas, cruces de losetas, marcas formadas por cruces de papeles pegados al pavimento, etc., de manera que permanezcan durante la toma de datos y su verificación.

A partir de ellos se tomarán los detalles complementarios, pequeños retranqueos, escaleras, distintas alturas y materiales, etc., utilizando los conocidos métodos de agrimensura: medidas de diagonales, abscisas y ordenadas sobre ejes, intersección lineal, triangulaciones con cinta, etc., debiéndose tomar siempre más datos que los que definen geoméricamente la zona medida.

Los instrumentos a utilizar para la ejecución de las poligonales serán: taquímetros, cintas y miras verticales, sustituidos por la nueva generación de instrumentos topográficos: estaciones semitotales, distanciómetros y estaciones totales. Los puntos de relleno y detalles complementarios se pueden tomar con los mismos instrumentos citados y/o con jalones y cintas.

El cálculo de los vértices, en los trabajos que hemos realizado, se ha obtenido previa compensación angular y de distancias de las poligonales que tienen errores de cierre inferiores a la tolerancia marcada, determinándose los puntos por sus coordenadas cartesianas que, referidas a un sistema prefijado, nos han permitido en algunos casos definir y obtener las alineaciones de fachadas y medianerías, grosores de paredes y cerramientos, que de otra forma hubiera sido imposible obtener con precisión y rapidez. En el trabajo que realizamos en una de las manzanas del casco antiguo de Logroño, se realizó una poligonal perimetral, desde cuyos vértices se radiaron, además de la infraestructura y mobiliario urbano, todos los puntos de fachada y medianería de los edificios, se calcularon por coordenadas, se representaron y se listaron los resultados. Los edificios que tenían fachada a distintas calles con medianerías giradas y retranqueadas se pudieron definir con estos datos analíticamente y comprobaron gráficamente el estado de sus alineaciones, calculándose incluso las superficies de sus solares y los desniveles entre sus distintas fachadas. La precisión planimétrica en la determinación de los puntos así obtenidos es del orden del centímetro.

La determinación altimétrica de los vértices que estructuran el trabajo normalmente lo realizamos aprovechando los datos taquimétricos obtenidos con la estación total y calculando la nivelación trigonométrica, compensando los desniveles directos y recíprocos, obteniendo precisiones del centímetro. En algunos casos hemos utilizado niveles de línea y métodos específicos de nivelación geométrica, con precisiones milimétricas.

Los desniveles para definir las secciones y alzados del edificio de alturas pequeñas y accesibles se obtienen con jalones, niveles simples y cintas.

Las alturas de huecos, dinteles en fachadas y secciones interiores complejas o de difícil acceso los hemos venido obteniendo por la aplicación de métodos de cálculo de nivelación trigonométrica, a partir de los datos obtenidos con un taquímetro, cinta y mira vertical y aplicando las sencillas fórmulas taquimétricas. En trabajos específicos, como el realizado en levantamiento de bodegas en el núcleo urbano de Navapalos, en Soria, se utilizaron métodos mixtos, niveles de línea y jalones y cintas (Figuras 8, 9 y 10).

En la actualidad y con la Estación total de que disponemos, la obtención altimétrica de los datos de una sección y de una fachada son inmediatos al tener ésta incorporados programas de cálculo sencillo que permiten obtener directamente en el "display" del instrumento las distintas alturas de los puntos visados, respecto del eje del prisma o respecto al punto del suelo donde se apoye el jalón que soporta al prisma.

A través del teclado se puede también obtener la distancia y el desnivel entre puntos de la fachada, sin más que colocar consecutivamente el prisma en ellos. En una ventanilla del instrumento aparece la distancia y en la otra el desnivel parcial entre ambos puntos.

Cuando no se dispone de estos instrumentos la toma de alzados puede plantear dificultades, siendo a veces necesario la disposición de andamios o medir a través de los huecos de fachada. La forma más fácil es la de disponer en la fachada una red de retículas, la vertical se puede obtener fácilmente con un nivel y la vertical con cuerdas y plumadas, cuidando de que las cuerdas discurren libremente por la fachada y desplazando un metro o cinta en horizontales y una mira o jalones telescópicos en alturas. Cuando la fachada tiene detalles como esgrafiados, mosaicos, fábrica de ladrillo compleja, el método se completa con fotografías (Figura 11).

En actuaciones no puntuales, estudio de manzanas, conjuntos, se han utilizado métodos puramente topográficos para el levantamiento de alzados, utilizando los conceptos anteriores, como el que realizamos en San Vicente de la Barquera (Figura 12 y 13).

La toma de puntos inaccesibles, centros de torres, chimeneas, depósitos -caso de la toma de datos realizados en la antigua fábrica de cervezas "El Águila" en Madrid-, se puede realizar con suma precisión estableciendo una base topográfica definida por 2 ó 3 vértices, desde los que se observará el punto inaccesible, determinándose éste por intersección angular y determinándose sus coordenadas a partir de cálculo de la base y de sus medidas angulares.

El método de intersecciones angulares se puede utilizar también en la determinación precisa de secciones en edificios complejos -Iglesias, catedrales, etc.-, estacionando en uno de los extremos de la base un teodolito con dispositivo de rayos láser que irá definiendo los puntos de la sección a intersectar angularmente a otro teodolito estacionado en el otro extremo de la base. El cálculo de las coordenadas planimétricas y altimétricas de sus puntos definiendo la sección intersectada.

Las secciones deben de tomarse por aquellos puntos más característicos del levantamiento, incluido el terreno, con trazado rectilíneo por razones de claridad, aunque a veces para evitar nuevas secciones se pueden retranquear. Se suelen tomar por los huecos de ventanas, puertas, escaleras, etc... Si es posible la sección debe de recoger toda la información arquitectónica y constructiva, siendo a veces necesario realizar "cintas" de información.

Para realizarla se define el plano de la sección, dejando, si es menester, marcada su intersección mediante cuer-

das, lasser, etc., de manera que se puede completar los datos por abscisas y ordenadas con jalones y cintas.

Durante el levantamiento nos encontramos con situaciones de medición imprevistas, que requerirán de nuestro ingenio, inventiva y de nuestra paciencia, lo que hace que nuestro trabajo sea una actividad artesanal, sin prisas y sin perder nunca de vista la necesidad de precisión y exactitud en la toma de datos, estimando que la forma de conocer, para luego realizar el proyecto de actuación del edificio, es participar en la toma de datos y seguirá de cerca cuando ésta se encargue a un equipo de especialistas.

Hemos dicho que cada levantamiento, por su extensión, precisión, dificultades de acceso, exigencias de tiempo y presupuesto, requerirá una metodología e instrumental adecuado. Sin pretender hacer una lista exhaustiva se relacionan a continuación un listado de los principales instrumentos que se suelen utilizar en un levantamiento de edificios:

- * Escaleras plegables y fijas.
- * Linternas y lámparas portátiles.
- * Cuerdas normal y de albañil.
- * Pintura de replanteo, tiza blanca y grasa.
- * Cinta adhesiva y de señalización.
- * Clavos normales, especiales y chinchetas.
- * Martillo de albañil, de carpintero, buriles.
- * Plomadas y niveles de albañil.
- * Cinta métrica metálica de hasta 50 m.
- * Cintas sónicas.
- * Metros plegables de 3 m. y metros articulados de albañil.
- * Miras y jalones telescópicos, con niveles esféricos adaptables.
- * Niveles de burbuja y de agua.
- * Niveles de línea topográficos.
- * Taquímetro, distanciómetro, estación total.
- * Accesorios de instrumentos topográficos: Plomadas ópticas acodadas, cuñas, primas, miras, etc.
- * Cámara fotográfica con flas y, a ser posible, de objetivo recambiable.
- * Tablero y útiles de dibujo.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es la indumentaria de los operarios del equipo de medida, para resistir el frío, lluvia y calor. La experiencia demuestra que si la ropa no es adecuada no se tomarán medidas en sitios difíciles, sucios que nos encontraremos, sobre todo en sótanos y cubiertas, y si hace frío y los operarios no llevan guantes, al cabo de poco tiempo apenas podrán sujetar la cinta metálica.

El equipo deberá de estar formado por 3 ó 4 personas, dos utilizan los instrumentos de medida, la cinta por ejemplo, y los demás efectúan las lecturas y llevan el croquis. A estos últimos les será muy práctico llevar una camisa o chaqueta con varios bolsillos, con el objeto de llevar sus útiles de dibujo: lapiceros de minas de distinta dureza y color, flexímetro, gomas de borrar, escuadras, cartabones, transportador de ángulos, etc. Por tanto, además de ser cómoda y práctica la indumentaria debe de cumplir las normas oficiales de seguridad: calzado, chalecos, casco, etc.

También es útil y aconsejable el disponer de un tablero DIN-A3 o DIN-A2, con paralelo o un pantógrafo de campo que permita croquizar a escala, sobre todo en el levantamiento de detalles.

El paso a limpio del levantamiento conviene realizarse lo antes posible, cuando las anotaciones están recién observadas, para evitar olvidos y falsas interpretaciones, siendo conveniente antes de abandonar la zona de trabajo realizar el cálculo de las poligonales, puntos destacados y comprobaciones, de manera que se eviten posteriores desplazamientos. Los carretes deben de ser revelados en la zona de trabajo, para comprobar la calidad de las fotografías, y numerados para su clasificación e identificación. Es aconsejable que se realice un croquis que indique el sitio desde donde han sido tomadas las fotografías.

La fotografía adquiere un papel muy importante en cualquier levantamiento, al captar de forma rápida los detalles y fachadas del edificio, no solamente por ser un apoyo nemotécnico sino por la cantidad de información que contiene -estructura, textura, color, forma, etc.-. En algunos casos será el único recurso de obtener información, siendo imprescindible en la toma de detalles. La toma fotográfica debe de realizarse lo más ortogonalmente posible al objeto, para evitar deformaciones no olvidemos que es una proyección cónica.

Es conveniente dar la escala colocando, previamente a la toma, un jalón, metro o mira, a ser posible en dos direcciones ortogonales. Si la fachada es plana se podrá, al menos en el centro de la fotografía, obtener medidas parciales si se han medido su anchura y altura.

En algunos trabajos hemos obtenido, proyectando el negativo de la fotografía sobre un papel, una perspectiva cónica del edificio y su entorno, en muchos proyectos de rehabilitación la normativa para tramitar su autorización y otorgar la licencia de obras, exige se presente una composición volumétrica de la actuación y su relación con el entorno, por este procedimiento es fácil cumplimentar esta exigencia normativa.

En la representación de la patología la fotografía es imprescindible, ya que aporta una información más objetiva y próxima a la realidad que cualquier dibujo, testificando una realidad fácilmente reconocible incluso por cualquier profano en la materia. En las tomas de patología se ha de ir de lo general a lo particular, para poder identificar el detalle. A veces es conveniente incluir en la toma una pequeña pizarra con un código de identificación de la misma.

En grandes edificios monumentales se pueden hacer levantamientos por técnicas de Fotogrametría Terrestre y más modernamente por tomas de cámaras métricas que, a diferencia de las fotogramétricas, no necesitan crear modelos estereoscópicos ni puntos de apoyo, simplemente se da escala a las fotografías y mediante potentes programas de cálculo se pueden obtener representaciones del objeto.

En algunas actuaciones será necesario estudiar más exhaustivamente al edificio, siendo necesario realizar ensayos simultáneamente a la toma de datos. Estos ensayos pueden ser "destructivos" y "no destructivos".

Los primeros se refieren a estudios de muestras de materiales, lo que exige picar parámetros para tomar muestras y hacer catas para determinar la tipología y estado de los elementos estructurales e instalaciones, etc... Este tipo de ensayos conlleva molestias a los usuarios. Los segundos permiten una cuantificación mayor del estado del edificio sin necesidad de generar molestias, si bien son de mayor costo que los destructivos. Se fundan en principios físicos, destacando de la amplia gama de ensayos no destructivos que constituyen la arqueométrica, los ensayos de Termografía -que permite la determinación de la naturaleza de los materiales constructivos, forma, disposición, detección de humedades, pérdidas de instalaciones, etc.- y los ensayos debidos a la Magnetométrica que se utiliza para detectar elementos metálicos de estructuras, refuerzos, trazado de conducciones, tuberías, bajantes ocultas, etc...

Los ensayos que hemos realizado en nuestros trabajos han sido "no destructivos", realizados con esclerómetros, e instrumentos ultrasónicos. En algunos casos se han obtenido muestras de materiales para su análisis en el laboratorio de la Escuela.

4. DEFINICION GEOMETRICA Y REPRESENTACION DEL EDIFICIO

A partir de los croquis de campo y fotografías se pasa a la representación gráfica del edificio a la escala definida, determinándose previamente el grosor de muros, cerra-

mientos interiores, escaleras, carpintería, etc., y definiéndose los signos convencionales a emplear, diferenciando, con tramas, claramente entre lo existente y lo medido de aquellas zonas del edificio en las que no se han podido tomar datos.

El desarrollo del edificio se iniciará con el plano de emplazamiento, definiendo el perímetro del mismo a partir de las coordenadas calculadas, comprobando sus dimensiones con las medidas directas de cinta. Una vez encajado el perímetro y partiendo de los puntos de control, se dibujarán los detalles de planta. Si éstas se han obtenido por métodos de agrimensura se ha de cuidar el no ir acumulando errores en la determinación de puntos gráficamente, evitando iniciar la representación por un extremo de la planta. En la representación se han de acotar las medidas más representativas.

Suele ocurrir que el edificio tenga deformaciones, alabeos y desplomes, de manera que para detectarlos es necesario que se hayan relacionado, durante la toma de datos, las distintas plantas a través de puntos y alineaciones de control, materializadas por cuerdas colgadas de huecos, plomadas ópticas y métodos topográficos. Estas consideraciones se habrán de tener en cuenta en la representación del edificio.

Los dibujos de los alzados se realizarán sin sombras.

A partir de los planos generales se obtendrán reproducibles en los que se definirán las estructuras, instalaciones, acabados y patología.

Para analizar y estudiar los detalles, huecos y elementos característicos más representativos se diseñan unas fichas como la indicada en la Figura 15.

Los detalles se suelen medir con precisión y dibujar con ayuda de tomas ampliadas de fotografías. En determinados casos, el conocimiento de geométrica facilita el desarrollo del detalle. El hecho más significativo de lo expuesto fue el trabajo de levantamiento, realizado con los artesanos de Toledo. Partiendo de la medida de la Planta, y con regla y cartabón, se pudo dibujar geoméricamente los artesanos sin apenas medidas complementarias.

La representación de la patología tiene como misión principal el intentar estudiar sus causas, para ello a veces no sirve la sola representación por plantas, secciones y alzados, sino que es necesario realizar una perspectiva axonométrica para aclarar el fenómeno patológico, tal es el caso de un asiento producido fuera de los ejes principales de un edificio, un asiento de esquina que producirá dos familias de grietas en dos direcciones. La patología debida a humedades, meteorización de materiales, eflorescencias, etc., se pueden representar en los planos de planta, mediante tramas y acompañando a todas ellas del reportaje fotográfico realizado (Figuras 14 a 23).

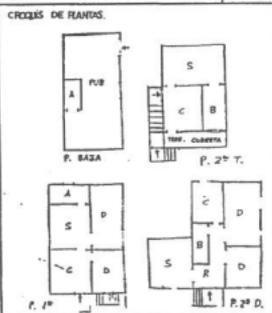
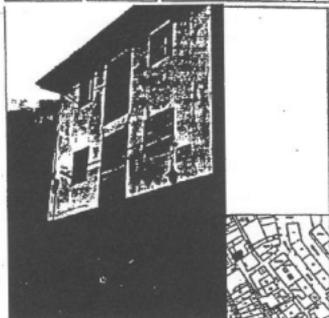
5. LA MEMORIA DESCRIPTIVA

Las fases anteriores han de permitir tener una amplia información "extrínseca" e "intrínseca" del edificio que es necesario recopilar y describir en un documento resumen del trabajo, que denominamos Memoria Descriptiva del Edificio. En él se parte de la descripción del edificio, uso, superficies construidas, normativa urbanística, definición constructiva, estado patológico, documentación gráfica elaborada con un capítulo de anexos donde se aportan la documentación recopilada en la investigación del edificio: planos, memorias, informes, licencias, dictámenes, reportajes fotográficos, normativa urbanística, etc.

Como conclusión, se puede elaborar un apéndice final en el que se establece una evaluación de las posibles soluciones y se emite un DIAGNOSTICO de la situación, con el que se pueda realizar un DICTAMEN de actuación partiendo de los siguientes aspectos. Histórico-sociales, económicos, operatividad y viabilidad.

Madrid, octubre de 1.991

UBICACION DEL EDIFICIO		SITIO		SITIO		SITIO		SITIO		SITIO		SITIO		SITIO															
C/ RONDA N° 16		12.08		F-3		CONSTRUCCION		REFORMA		TIPO DE OBRA		OFICIO CATASTRAL		ESTADO ACTUAL															
SUPERFICIES	USOS	ESTRUCTURA DE LOS OCUPANTES				CONDICIONES				TIPO DE CONSTRUCCION				ESTADO ACTUAL															
SOLAR 220	NOTAS	TITULAR	P	SEÑO	V	SITUACION	LABORAL	CONSTR.	ALICATA	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	
34	C	EICARDO BERRI GARCIA	I	V	V	X																							
1°	100	V																											
2°	50	V																											
TOTAL	150																												
		SINIESTRO		REPARACION		RECONSTRUCCION		RECONSTRUCCION		RECONSTRUCCION		RECONSTRUCCION		RECONSTRUCCION		RECONSTRUCCION		RECONSTRUCCION		RECONSTRUCCION		RECONSTRUCCION		RECONSTRUCCION		RECONSTRUCCION		RECONSTRUCCION	
		33		28		11		11		11		11		11		11		11		11		11		11		11		11	



UBICACION DEL EDIFICIO		SITIO		SITIO		SITIO		SITIO		SITIO		SITIO		SITIO															
C/ RONDA N° 13		12.08		G-3		F-3		CONSTRUCCION		REFORMA		TIPO DE OBRA		OFICIO CATASTRAL															
SUPERFICIES	USOS	ESTRUCTURA DE LOS OCUPANTES				CONDICIONES				TIPO DE CONSTRUCCION				ESTADO ACTUAL															
SOLAR 77	NOTAS	TITULAR	P	SEÑO	V	SITUACION	LABORAL	CONSTR.	ALICATA	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.	CONSTR.
37	T	JOYANERA	I	V	V	X																							
1°	77	V																											
2°	77	V																											
5°	77	V																											
TOTAL	308																												
		SINIESTRO		REPARACION		RECONSTRUCCION		RECONSTRUCCION		RECONSTRUCCION		RECONSTRUCCION		RECONSTRUCCION		RECONSTRUCCION		RECONSTRUCCION		RECONSTRUCCION		RECONSTRUCCION		RECONSTRUCCION		RECONSTRUCCION		RECONSTRUCCION	
		25		66		17		17		17		17		17		17		17		17		17		17		17		17	

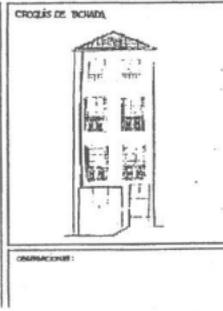
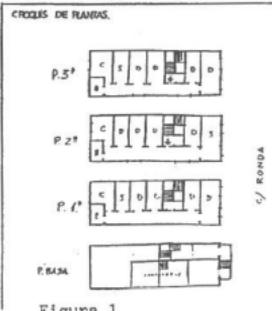
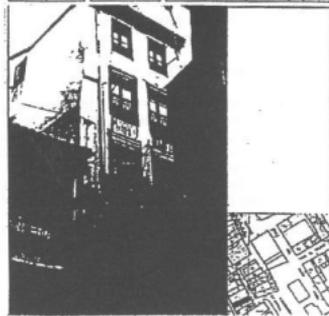


Figura 1

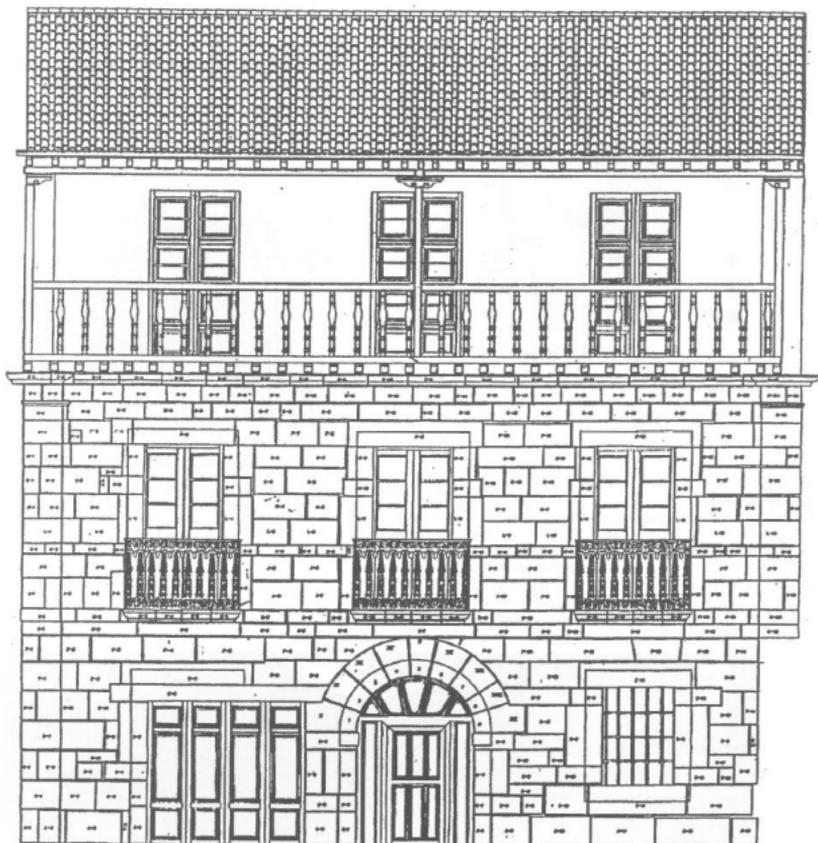


Figura 2

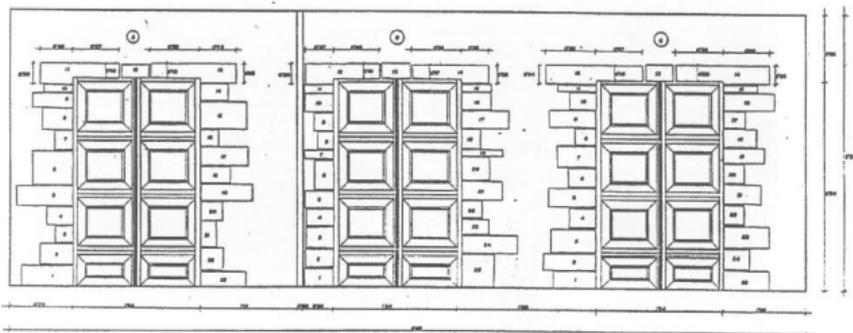
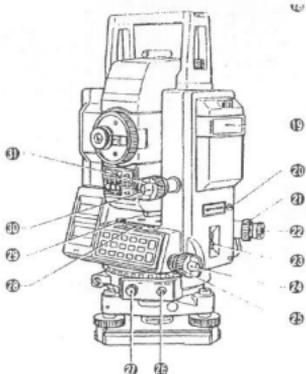


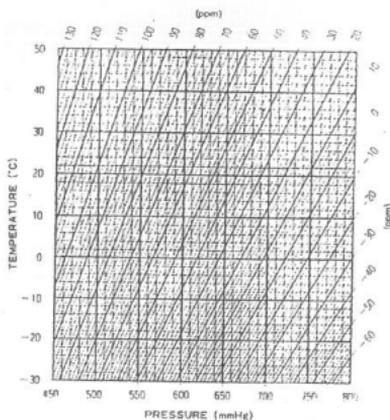
Figura 3



- 1 Tubular compass slot
- 2 Battery, BDC18
- 3 Sensor index adjustment cover
- 4 Optical plummet focussing ring
- 5 Optical plummet eyepiece
- 6 Power switch
- 7 Horizontal clamp
- 8 Horizontal line motion screw
- 9 Data output connector
- 10 External power source connector
- 11 Plate level
- 12 Plate level adjusting screw
- 13 Vertical clamp
- 14 Vertical fine motion screw

Figure 4

ATMOSPHERIC CORRECTION (Metric)

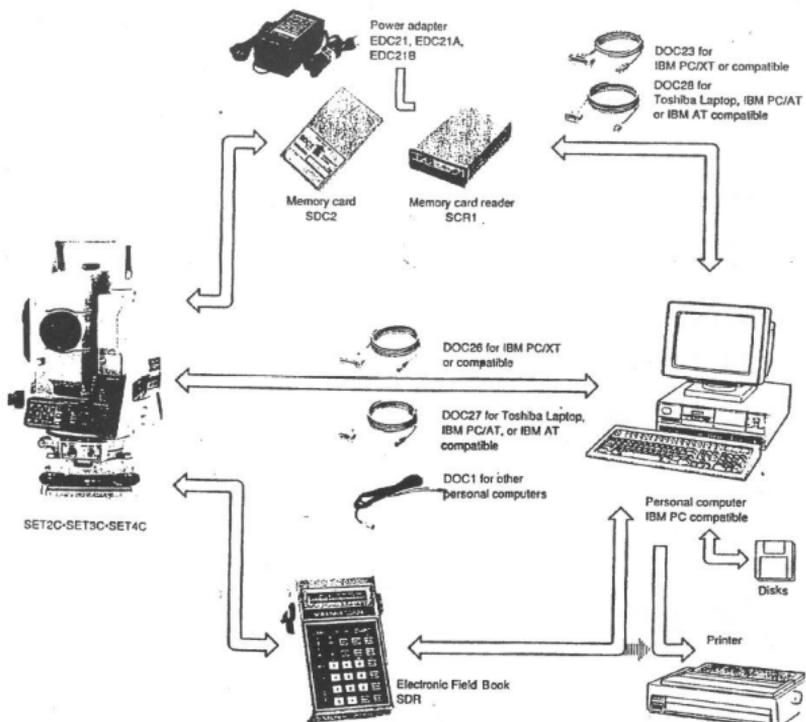


SOKKISHA

Figure 5



Figure 6



For details about cables, please refer to ordering information.



Figura 7



Figura 8

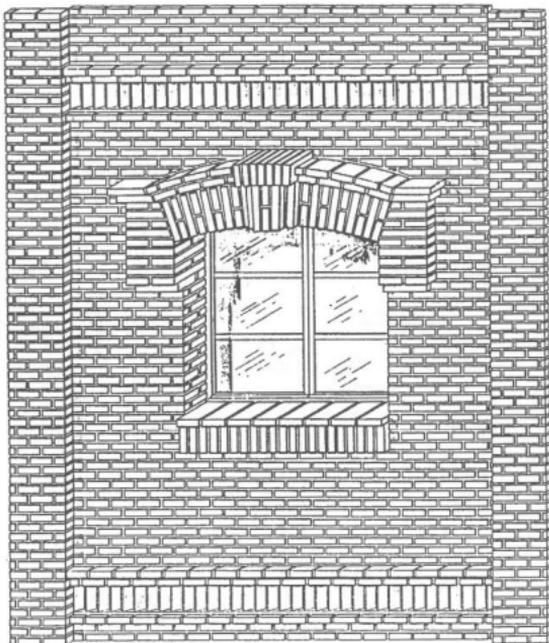


Figura 11

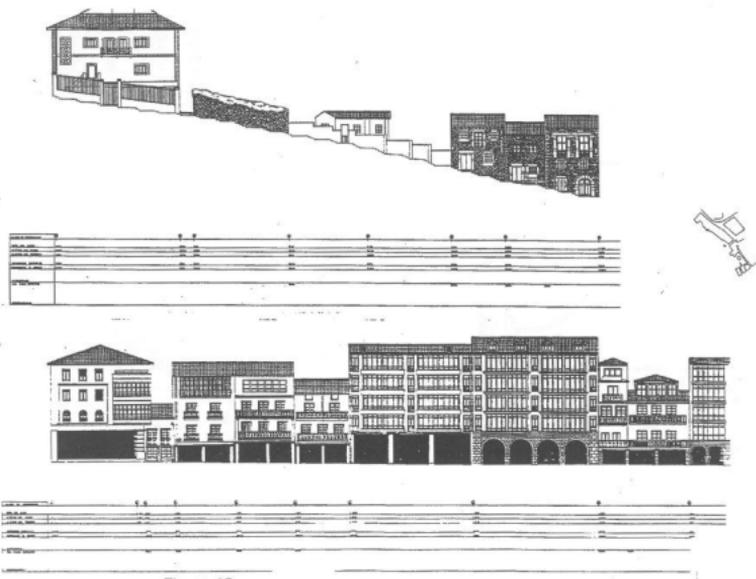


Figura 12

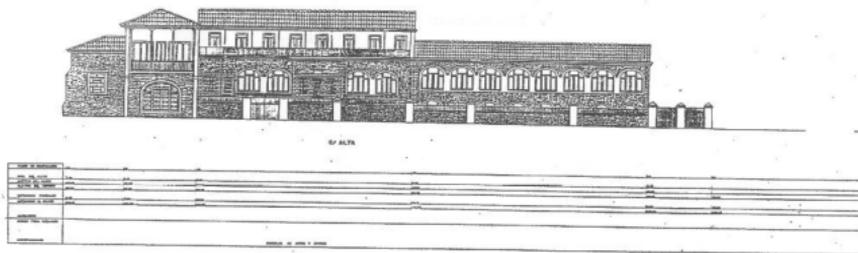


Figura 13

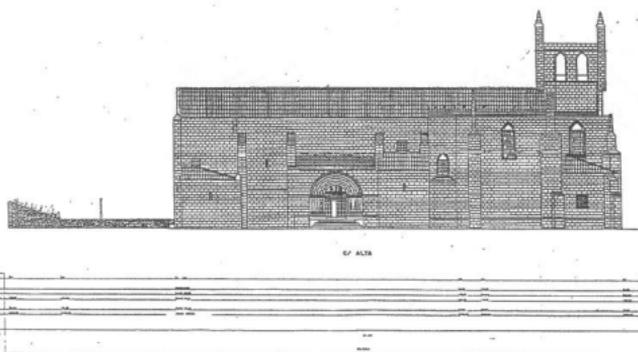
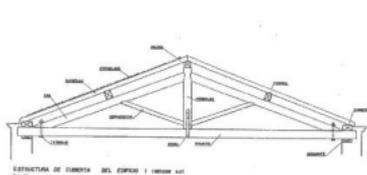
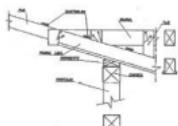
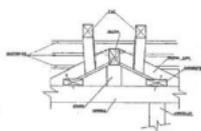


Figura 13



ESTRUCTURA DE CUBIERTA DEL ESPACIO 1 (verano 191)

6.1.10



CONJUNTO LAM-VEJERA

verano 11

6.1.10

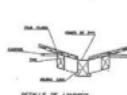


CONJUNTO DE CUBIERTA verano 17(2)



ESTRUCTURA DE CUBIERTA DEL ESPACIO 2 (verano 191)

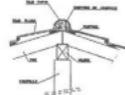
6.1.10



DETALLE DE LAMIERA

verano 11

6.1.10



DETALLE DE CAVALETE

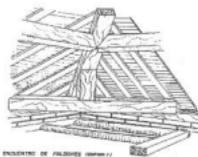
verano 11

6.1.10



ESTRUCTURA DE CUBIERTA DEL ESPACIO 3 (verano 191)

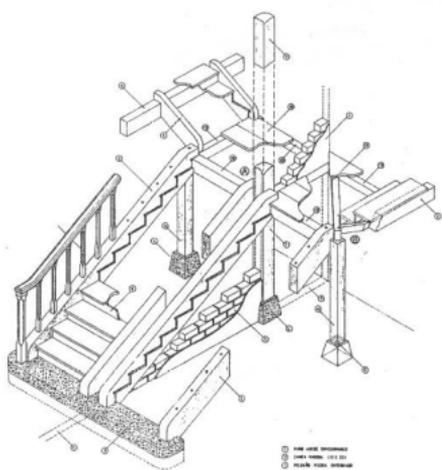
6.1.10



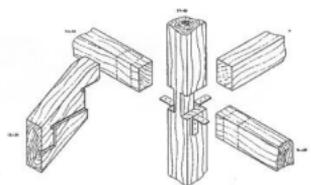
CONJUNTO DE PALANCO verano 11

Figura 14

CONSTRUCIÓ DE ESCALERA

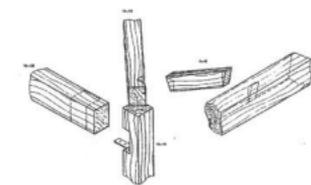


- 1. PASADIZO
- 2. PASADIZO
- 3. PASADIZO
- 4. PASADIZO
- 5. PASADIZO
- 6. PASADIZO
- 7. PASADIZO
- 8. PASADIZO
- 9. PASADIZO
- 10. PASADIZO
- 11. PASADIZO
- 12. PASADIZO
- 13. PASADIZO
- 14. PASADIZO
- 15. PASADIZO
- 16. PASADIZO
- 17. PASADIZO
- 18. PASADIZO
- 19. PASADIZO
- 20. PASADIZO
- 21. PASADIZO
- 22. PASADIZO
- 23. PASADIZO
- 24. PASADIZO
- 25. PASADIZO
- 26. PASADIZO
- 27. PASADIZO
- 28. PASADIZO
- 29. PASADIZO
- 30. PASADIZO
- 31. PASADIZO
- 32. PASADIZO
- 33. PASADIZO
- 34. PASADIZO
- 35. PASADIZO
- 36. PASADIZO
- 37. PASADIZO
- 38. PASADIZO
- 39. PASADIZO
- 40. PASADIZO
- 41. PASADIZO
- 42. PASADIZO
- 43. PASADIZO
- 44. PASADIZO
- 45. PASADIZO
- 46. PASADIZO
- 47. PASADIZO
- 48. PASADIZO
- 49. PASADIZO
- 50. PASADIZO
- 51. PASADIZO
- 52. PASADIZO
- 53. PASADIZO
- 54. PASADIZO
- 55. PASADIZO
- 56. PASADIZO
- 57. PASADIZO
- 58. PASADIZO
- 59. PASADIZO
- 60. PASADIZO
- 61. PASADIZO
- 62. PASADIZO
- 63. PASADIZO
- 64. PASADIZO
- 65. PASADIZO
- 66. PASADIZO
- 67. PASADIZO
- 68. PASADIZO
- 69. PASADIZO
- 70. PASADIZO
- 71. PASADIZO
- 72. PASADIZO
- 73. PASADIZO
- 74. PASADIZO
- 75. PASADIZO
- 76. PASADIZO
- 77. PASADIZO
- 78. PASADIZO
- 79. PASADIZO
- 80. PASADIZO
- 81. PASADIZO
- 82. PASADIZO
- 83. PASADIZO
- 84. PASADIZO
- 85. PASADIZO
- 86. PASADIZO
- 87. PASADIZO
- 88. PASADIZO
- 89. PASADIZO
- 90. PASADIZO
- 91. PASADIZO
- 92. PASADIZO
- 93. PASADIZO
- 94. PASADIZO
- 95. PASADIZO
- 96. PASADIZO
- 97. PASADIZO
- 98. PASADIZO
- 99. PASADIZO
- 100. PASADIZO



DETALLE MISO

E 1/10



DETALLE MISO

E 1/10

Figura 15

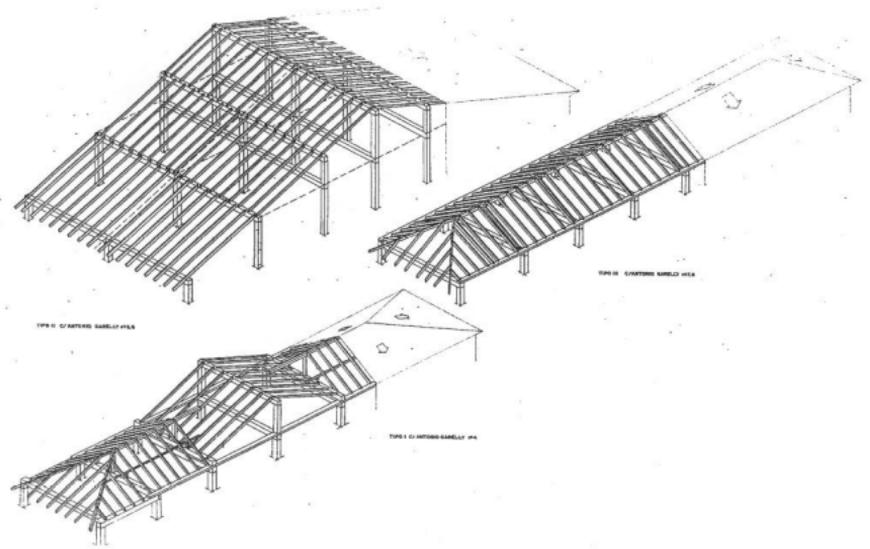


Figura 16

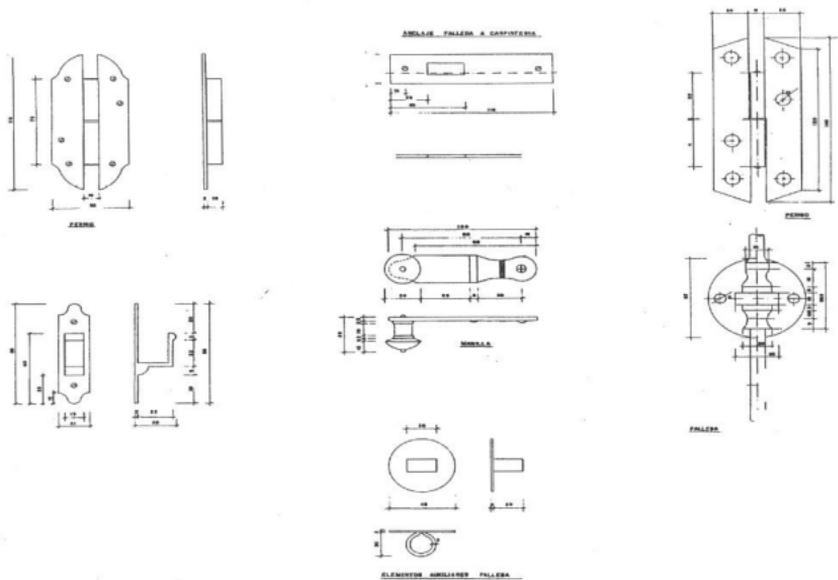


Figura 19

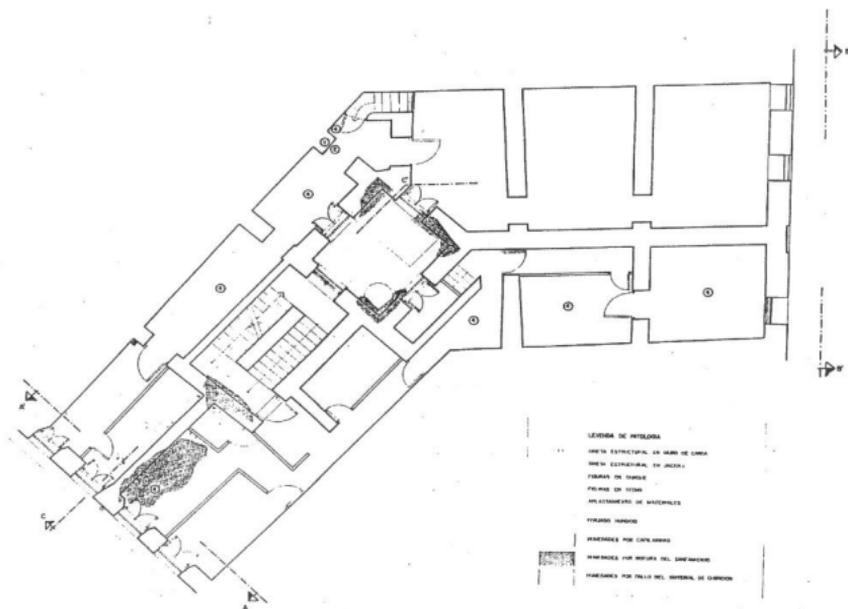


Figura 20

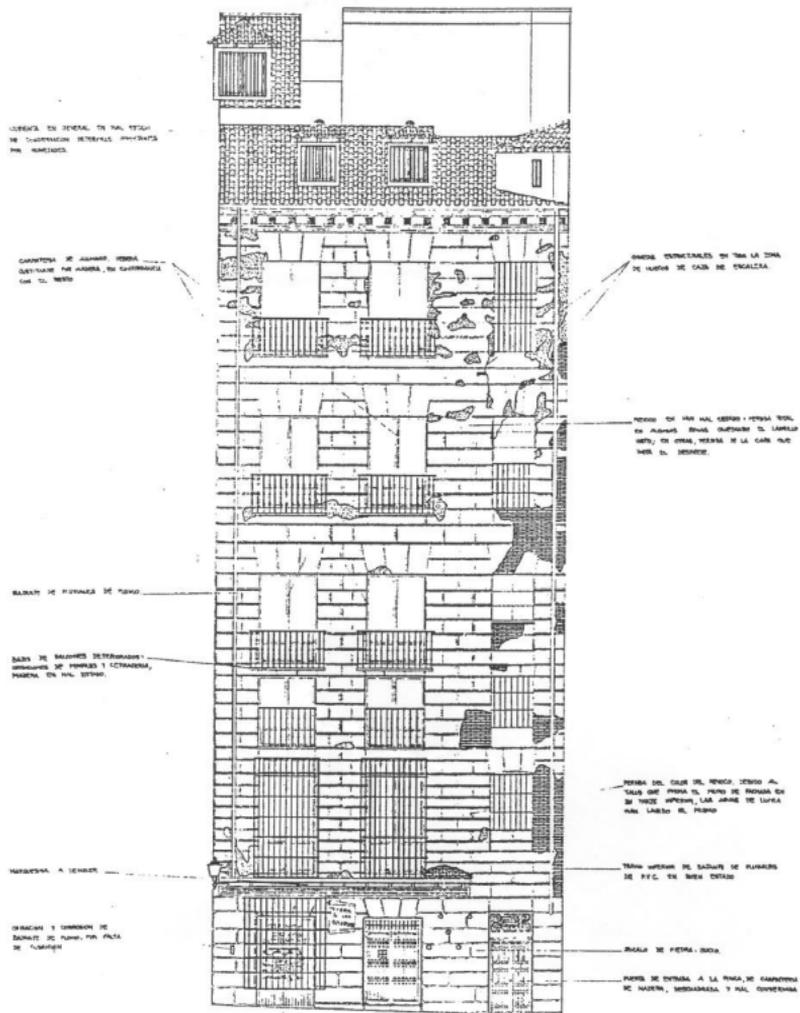


Figura 21

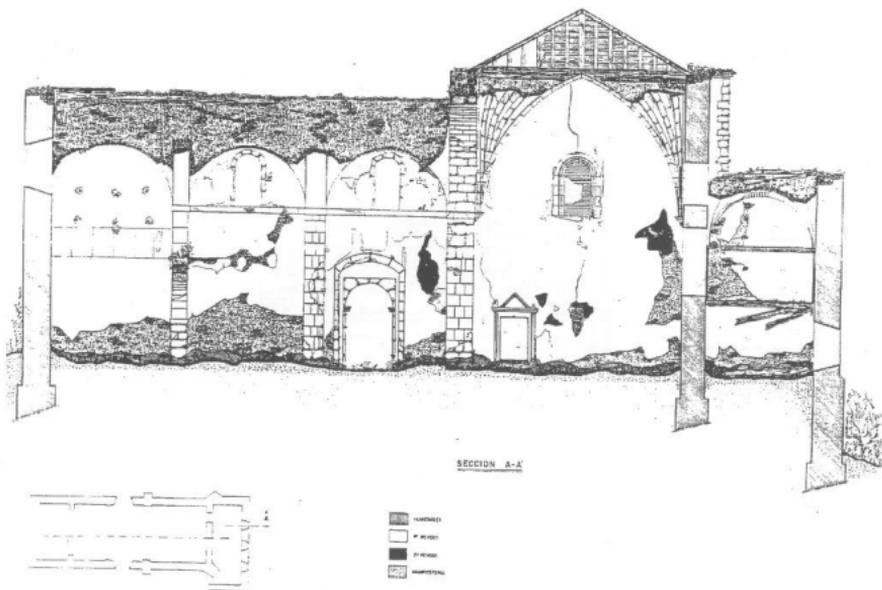


Figura 22

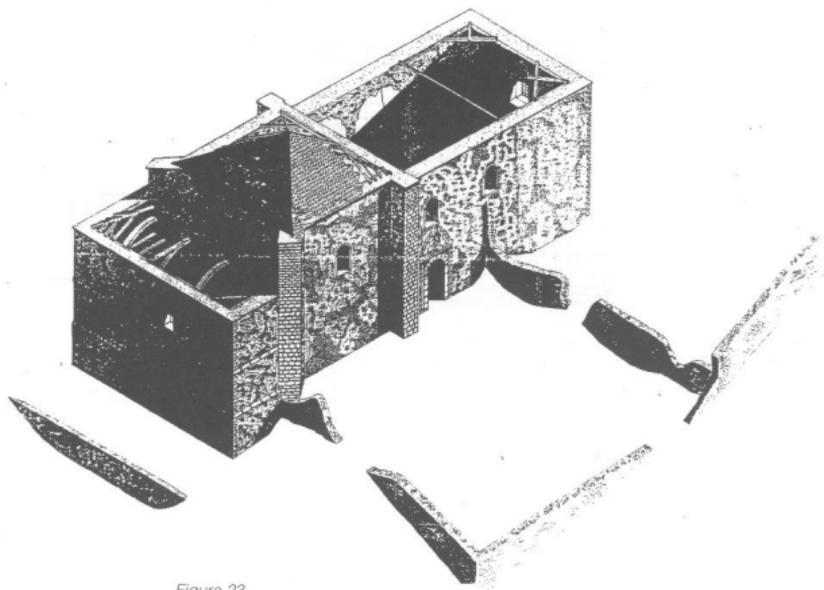


Figura 23

CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LAS INCLUSIONES DE SILLERIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS MUROS DE MAMPOSTERIA ORDINARIA

José M. Izquierdo Bernaldo de Quirós
Ingeniero de Caminos, canales y Puertos
Jefe del Departamento de Patología y Rehabilitación

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES (INTEMAC)

1. INTRODUCCION

El estudio del comportamiento de los muros de carga en un edificio es uno de los aspectos que se consideran generalmente con menor detalle por parte del Técnico. El carácter masivo de estos elementos en la mayor parte de los casos produce una sensación de seguridad que no invita a la realización de estudios sofisticados sobre su comportamiento.

Usualmente, los estudios se reducen a determinar las agresiones que han sufrido los muros a lo largo de su vida, y a estimar si serán capaces de soportar las nuevas agresiones a que vamos a someternos. La mayor parte de estas agresiones son de origen andrógono, y consisten en la apertura indiscriminada de huecos con el más absoluto desprecio al comportamiento del conjunto del muro, que llegan a producir situaciones que desafían no ya las leyes de la resistencia de materiales sino incluso las leyes del equilibrio.

Con respecto a las agresiones naturales, las más conocidas son la merma de las mamposterías y tapias por disminución del índice de huecos, la pérdida del material de juntas, en fábricas de ladrillo, mampostería y algunos tipos de sillería y la pudrición de elementos de madera en durmientes, dinteles y entramados cuajados, cuyo estudio simplemente se obvia, reparando, sustituyendo o reforzando localmente los elementos afectados.

Con respecto al muro propiamente dicho, los estudios se realizan introduciendo simplificaciones importantes. En general, se tiende a considerarle como elemento continuo y homogéneo, determinando tensiones medias de trabajo y comparando su valor con valores considerados tradicionalmente como conservadores. Se admite la formación de arcos de descarga para el cálculo de los dinteles, pero apenas se tiene en cuenta su efecto en el comportamiento de conjunto del muro. Y las inclusiones de materiales más rígidos dentro de un mismo paño son consideradas prácticamente como adornos, que no afectan a su comportamiento medio, en la idea de que siempre nos quedaremos del lado de la seguridad si los sustituimos en el modelo de cálculo por un material menos resistente.

En el estudio que realizó INTEMAC sobre el comportamiento de la torre del homenaje del palacio de la Aljataría de Zaragoza observamos que esta hipótesis simplificadora podía quedarse del lado de la inseguridad. En este caso concreto, en que las plantas superiores eran de mampostería de cal y canto, mientras que la planta baja de la torre estaba construida con un muro a la romana, (esto es con dos hojas rígidas rellenas con un material más desfavorable), se generaban concentraciones de tensiones no previstas en el cálculo simplificado, que justificaban la ruina progresiva de la torre.

En efecto, el estudio por elementos finitos de la sección del muro mostró la formación de arcos de descarga internos en el muro, que tendían a sobrecargar la cabeza de las hojas de sillería, produciendo, por una parte empujes horizontales hacia el exterior, y de otro, lo que resultaba ser mucho más importante, una concentración de tensiones en la mampostería en contacto directo con las hojas rígidas, que alcanzaba valores muy por encima de las tensiones admisibles para el material menos resistente.

Este resultado no ha hecho plantearnos la conveniencia de estudiar en detalle el efecto de los elementos rígidos de categorización en el comportamiento global del muro. La ocasión se nos planteó en el año 1990 en que la Comunidad Autónoma de Madrid nos encargó el estudio de los condicionantes que imponía a su rehabilitación la situación actual de la estructura del Conjunto Histórico-Artístico de Nuevo Baztán.

2. EL PALACIO DE NUEVO BAZTAN

El conjunto constituido por el palacio, la iglesia y las dos plazas inmediatas del pueblo de Nuevo Baztán, fue declarado monumento Histórico-Artístico por decreto del Ministerio de Educación Nacional de 16 de Octubre de 1941.

Fue elegido el asentamiento para realizar en él el Estudio Básico correspondiente al "Programa de Operaciones Piloto de Rehabilitación Integrada en Centros Urbanos y Asentamientos Rurales" en fecha 2 de Noviembre de 1979 tras ser incoado expediente de declaración de conjunto Histórico-Artístico el 30 de Abril del mismo año, si bien la resolución no fue publicada en el B.O.E. hasta el 26 de Febrero del año siguiente.

La historia del conjunto comienza en la primera década del siglo XVIII, cuando Don Juan Carlos de Goyeneche, que había sido tesorero de Milicias de Carlos II y lo era de María Luía de Saboya, decide montar, en unos terrenos comprados por él y conocidos como "Bosque de Acevedo", una villa industrial, en la que se van a asentar fábricas de sombreros de munición y de lujo, destilerías de aguardientes, fábricas de tejidos, cererías, confiterías, talleres de zapatería, y hasta vidrios finos, de papel y posteriormente de jabón; Todo ello con la seguridad de los encargos de la milicia, que él como tesorero, garantizaba.

El conjunto fue encomendado por Goyeneche a su amigo y protegido José Benito de Churriguera, y como obras singulares incorporaba un palacio, y una iglesia dedicada a San Francisco Javier que sustituiría a una pequeña ermita que era probablemente la única edificación que existía en el lugar. Las obras principales debieron prolongarse hasta el año 1722, y en Octubre del año 1723, una bula papal de

Inocencio XVIII segregó a la villa de la jurisdicción parroquial de Olmeda, (villa de la que D. Juan era señor) y le concedió autonomía propia, lo que indica un asentamiento de población de cierta consideración.

La población se mantuvo en auge hasta mediados del siglo XVIII, alcanzando los 250 habitantes, y comenzó a decaer desde entonces, cerrándose algunas fábricas (la de vidrios, y la de papel), coincidiendo con las fechas en que concluían los privilegios y exenciones decretadas por Felipe V entre 1718 y 1720 para favorecer el asentamiento. Al finalizar el siglo, la población se había estabilizado en torno a los 180 habitantes, en la que se ha mantenido desde entonces el casco urbano, que en 1980 contaba un censo de 190 personas.

Del agregado de edificios que rodean la Plaza del Conjunto Monumental de Nuevo Baztán, la pieza principal está formada por una unidad de prestigio formada por el Palacio y la Iglesia. El Palacio ocupa la parte izquierda de la fachada. En su parte frontal, tiene planta cuadrada, con un patio central, y en la parte posterior, entre el fondo de la Iglesia y el Patio de Fiestas a este cuadrado se adosa otro, compuesto por otro patio interior y unas dependencias que le flanquean, completando la planta.

El edificio tiene dos plantas, la inferior asentada directamente sobre el terreno y la superior con forjados de rollizos o vigas de madera. La cubierta era originalmente de cerchas de madera a dos aguas y con teja curva (en el momento de la intervención del Instituto había sido levantada y reconstruida, aprovechando en lo posible la madera de las cerchas originales que se mantuviera en buen uso).

La fachada principal del palacio queda flanqueada por la estructura de la iglesia, con sus dos torres en el ala derecha del conjunto, y por un torreón en el ala izquierda, que tiene en altura cuatro plantas, pero cuya planta superior había sido desmontada en el momento de la intervención del Instituto, y sus sillares, numerados, se ordenaban en la plaza de Fiestas.

Los muros del edificio están compuestos con mampostería de piedra caliza concertada con mortero de cal, en la cual se observan muy pocos rípios en la estructura original, aunque no así en obras posteriores de cerramientos huecos. La organización general de la estructura es mediante unos muros perimetrales, unos muros paralelos a éstos a la altura de las caras interiores del torreón (cuya estructura se repite simétricamente en las cuatro esquinas del cuerpo principal del palacio, si bien una de ellas pertenece a la iglesia y las dos posteriores tienen tan sólo dos alturas), un tercer muro interior, que forma la fachada al patio central y una galería de soportales en torno a dicho patio. Esta organización general presenta algunas variantes en las dependencias que flanquean el patio posterior, en el gran salón de la planta primera, (adosado al patio central y entre éste y la iglesia), y en el zaguan tras la entrada principal. Las esquinas de fachada de los torreones están cantoneadas con sillería labrada asentada a hueso, como asimismo las jambas y dinteles de los huecos de fachada, por su parte exterior, y una llena de cornisa a niveles de plantas y cubierta (ver fotografía nº1).

3. CARACTERÍSTICAS DEL MODELO DE CÁLCULO

La torreen estudio es de planta cuadrada, de 6,57 m de

lado en fachada, con muros de 1,50 m de espesor en su base. Situada en una esquina del palacio, dos de sus fachadas dan al exterior en toda su altura, mientras que otras dos son interiores en las dos plantas del palacio, parcialmente interior en la planta de cubierta y exteriores en el cuerpo superior.

Esta disposición (por otra parte totalmente normal en las torres de esquina) condiciona su configuración estructural, que incluye cornijales de sillería en las tres esquinas que dan al exterior (mientras que es de mampostería careada en la interior), así como dinteles, jambas y umbrales de sillería en los marcos de los huecos que dan al exterior, mientras que los dinteles son de madera y las jambas de mampostería en los huecos que dan al interior. Además, entre piso y piso hay una cornisa de sillería hacia el exterior, que obviamente desaparece al interior.

El espesor de estos remates es de tan solo 40 centímetros, esto es, de cerca de la cuarta parte del espesor total del muro, con excepción de las piezas que forman la cornisa en que apoya el cuerpo superior de la torre, que se retrae 20 cm hacia el interior, y obliga a disponer losas de 60 cm de ancho para asentar correctamente el torreón. Esta escasa entidad de las piezas de sillería invita, como hemos apuntado en la introducción, a considerar la torre como homogénea en mampostería, y despreciar el efecto de los remates, realizando un cálculo manual clásico. No obstante, el ejemplo de la torre de la Aljafaría nos tentó a considerar un modelo más complejo, introduciendo estos elementos con su mayor rigidez relativa.

El cálculo se hizo modelizando la torre con un total de casi 4.000 nudos y 2.000 elementos tridimensionales, cuyo tamaño oscila entre 30 x 30 x 15 cm y 100 x 70 x 90 cm, esto es, descendiendo casi al nivel del mampuesto o sillar elemental. La cubierta se representó con elementos tipo placa, y las cargas transmitidas por los forjados se supusieron puntuales, localizadas en los nudos, afectando a cada nudo de la carga correspondiente a la superficie de influencia de la zona comprendida entre los puntos medios de las aristas confluyentes, y admitiendo un reparto triangular de las presiones en la entrega de las viguetas de forjado.

Para las zonas de sillería se supuso una densidad de 2.800 Kg/m³, y para las de mampostería de 2.600 Kg/m³. Los módulos de deformación respectivos se admitieron iguales a 14.700 Mpa y 2.060 Mpa. El cálculo se realizó en la hipótesis de terreno infinitamente rígido y terreno deformable, con la cimentación modelizada por muelles equivalentes a un módulo de balasto de 24.500 KN/m³

4. RESULTADOS OBTENIDOS

a) Efecto de la inclusión de zonas rígidas.

En las figuras nºs 2 y 3 se representan los valores de las tensiones en la hoja de fachada en ambas hipótesis de comportamiento del suelo, y puede observarse la gran analogía que existe entre ellas. En estos diagramas se aprecia claramente el efecto de la formación de arcos de descarga internos en el muro entre las piezas de sillería.

Como puede observarse en estas figuras, las compresiones del muro, lejos de tener un reparto uniformemente creciente desde la coronación a la base, presentan una distribución de tensiones sumamente irregular. Las piezas de

sillería, tanto en las jambas como en los cornijales tienden a sobrecargarse, y a atraer hacia sí una fracción de carga nada despreciable, hasta el punto de que la mampostería entre ellas apenas recibe incrementos de carga.

El efecto se aprecia mejor en las secciones a nivel de 1ª planta que se representan en las figuras nº 4 y 5. Frente a una distribución relativamente regular de tensiones en los dos muros que en segundo plano (sólo afectada por el cornijal de sillería, entre ellos la distribución de tensiones en los muros de fachada, situados en primer plano, es sumamente irregular. Además, se aprecia perfectamente cómo las zonas de mampostería inmediatas a las jambas de sillería se sobrecargan de una forma notable, alcanzando presiones de más de 650 KN/M2 en el ejemplo estudiado, frente a presiones medias del orden de 200 a 250 KN/m2 en las zonas intermedias (a este nivel la presión media de toda la torre es del orden de 280 KN/m2). Además, puede observarse que las mayores concentraciones de tensiones se producen precisamente en las proximidades del cornijal situado al fondo de la figura, que resulta aislado en sus muros, sin que se produzca la descarga relativa que supone en los muros de fachada el efecto de los dinteles de sillería.

En las proximidades de la base, la distribución de tensiones queda condicionada fuertemente por la rigidez de la cimentación. En efecto, mientras que una cimentación rígida (figura nº 6) supone que la acumulación de presiones en la sillería se prolonga hasta el pie de la torre, la existencia de un terreno deformable hace que las zonas más sobrecargadas tienda a producir asentamientos mayores e inmediatamente se forman arcos de descarga en sentido opuesto a los anteriores, que producen una cierta regularización de tensiones en este nivel (figura nº 7). Sin embargo, la rigidez de la torre impide que este efecto se prolongue en altura, y como hemos visto en el nivel de planta 1, enseguida el comportamiento de aquella es casi independiente del terreno sobre el que se asienta, tanto en tensiones verticales como horizontales (figuras nºs 8 y 9).

En la figura nº 10 se aprecia también un efecto consistente en la formación de arcos internos en la sección transversal del muro en los huecos abocinados, que tienden a producir también concentraciones de tensiones importantes en las esquinas internas de las bocinas, fenómeno también que tiende a minusvalorarse en un cálculo que considera tensiones medias. Este efecto se produce en todos los niveles, si bien dada la escala de colores del modelo sólo se aprecia bien en el arranque de la base en la hipótesis de suelo rígido, en que las tensiones llegan a alcanzar en la hoja interior valores que superan, en el modelo realizado, los 1000 KN/m2, comparables a los que se alcanzan en los remates de sillería.

En la figura nº 11 puede apreciarse el muy diferente comportamiento a que antes nos hemos referido entre un remate aislado de sillería en un muro de mampostería (el cornijal interno, en la derecha de la figura) y la existencia de múltiples adornos que reparten la carga en todo el paramento (a la izquierda de la figura, muro de fachada). Como puede observarse, y en contra de lo que podría parecer en un análisis superficial, el efecto de concentración de tensiones no sólo no se alivia, sino que se agrava al aumentar la distancia relativa entre zonas rígidas.

b) Efecto de la disposición anárquica de huecos.

En las figuras nºs 12 y 13 se representan las tensiones de compresión en uno de los muros interiores de mampostería, en que los huecos en las distintas plantas no coinciden en la misma vertical. Pese a que la proximidad de los muros laterales contribuye de forma importante a paliar este defecto, se aprecia perfectamente el incremento de carga que debe recibir el machón resultante en planta baja. Sin embargo, los mecanismos de distribución por arcos de descarga internos resultan ser muy eficaces, y el incremento de tensiones no es excesivo. En estas dos figuras se aprecia perfectamente, además, el efecto de regularización que supone un terreno deformable, aliviando de forma muy considerable los picos de tensiones que se producen en la base de la torre.

c) Efecto de los cambios de sección

En la figura nº 14 se representan las tensiones horizontales de tracción que se producen en la torre por causa de la formación de los arcos de descarga. Como era presumible, son máximas en la base, pero se observa también la aparición de tracciones circunferenciales en base y cabeza de todas las plantas (producidas claramente por la rigidización introducida por las cornisas de sillería) y especialmente en la zona de acuerdo en el arranque del cuerpo superior, de menor sección.

La base de este cuerpo se representa en los diagramas de las figuras nºs 15 y 16, que representan las tensiones según los ejes X e Y de las figuras. Las tracciones más importantes se producen en las esquinas, llegando a alcanzar 0,25 Mpa, valor muy por encima de la resistencia de una mampostería normal y difícilmente absorbible por una sillería de calidad, pero es aún más importante observar que la tensión de tracción media es del orden de 70KN/m2, valor que no resulta nada despreciable, y que no es tenido generalmente en cuenta al diseñar zunchos de refuerzo en este tipo de estructuras.

5. CONCLUSIONES

El comportamiento real de una obra de fábrica es más complejo de lo que ordinariamente se tiene en cuenta en los proyectos de rehabilitación de edificios. Del análisis realizado para el caso estudiado se obtienen las siguientes conclusiones:

- El comportamiento de los muros de un edificio, cuando su espesor es considerable, está condicionado por la formación de bóvedas de descarga, en lugar de los arcos de descarga, tradicionalmente tenidos en cuenta. El estudio debe hacerse en tres dimensiones y su simplificación a dos dimensiones produce errores no despreciables del lado de la inseguridad.

- La existencia de adornos, remates o cornijales de sillería introduce distorsiones importantes en la distribución de tensiones en el interior de las fábricas, de magnitud muy superior a la que podría parecer en principio, teniendo en cuenta la relación entre su volumen y el volumen total de la fábrica.

Estas distorsiones se traducen en una disminución de las tensiones medias en la fracción más deformable, y en una sobrecarga de los elementos más rígidos, pero lo más importante es que para ello se produce un importante incremento de presiones en las capas de los elementos menos rígidos (y al mismo tiempo menos resistentes): en



contacto con los más rígidos, lo que hace que se pueda superar ampliamente su resistencia de cálculo. Aunque en estas zonas el material está confinado, se deben producir deformaciones plásticas importantes lo que generaría un incremento de las presiones laterales de empuje hacia el exterior de los sillares. Este efecto no ha podido estudiarse con el modelo elástico utilizado en el estudio realizado, pero se estima que puede ser la causa de los desencajes, desenjarjes y roturas que se observan en muchos casos y que se atribuyen en ocasiones erróneamente a causas de carácter termohidrológico, con lo cual la reparación que se realiza es insuficiente para garantizar su seguridad.

- La rigidez del terreno de cimentación influye en la distribución de tensiones en la fábrica en una cierta altura, tendiendo a suavizar las concretaciones de tensiones cuando el terreno tiene una deformabilidad alta. Su efecto, sin embargo, resulta ya casi despreciable a partir de una cota relativamente reducida (en el modelo estudiado, a partir del nivel de la primera planta).

- La disminución de sección en el muro en plantas superiores produce un incremento de las tensiones horizontales, de valor no despreciable, al tender a homogeneizarse las tensiones mediante arcos de descarga perpendiculares al plano del muro.

- El efecto combinado de la formación de bóvedas de descarga internas y de disminución de sección resistente en los abochamientos de los huecos, produce concentraciones de tensiones en las esquinas interiores de éstos, que pueden conducir a que se superen las tensiones admisibles e incluso las capacidades resistentes de cálculo con carácter local. Este efecto, maximizado en el caso de terrenos rígidos en el arranque de los muros, podría ser la causa, en muchas ocasiones, de la aceleración del fenómeno de pérdida de material de juntas que es tan corriente

que se observe en estas zonas, el cual sería provocado por su justificación y no por el mal uso del edificio, defectos de conservación y humedades como a menudo se diagnostica.

- Pese a que el estudio realizado se ha limitado a un caso concreto, sus conclusiones abren un camino que permitirá comprender mejor muchos de los fenómenos que actualmente resultan insuficientemente explicados. Los resultados obtenidos deben confirmarse y completarse con investigaciones posteriores que permitan caracterizar el fenómeno. Como campos de investigación a seguir en esta dirección, proponemos los siguientes:

-Estudio de influencia de la distancia entre elementos rígidos.

-Estudio con comportamiento no lineal de los materiales.

-Estudio de la influencia de la relación entre módulos de deformación de los materiales constituyentes.

-Estudio del comportamiento de muros a la romana o de muros de varias hojas.

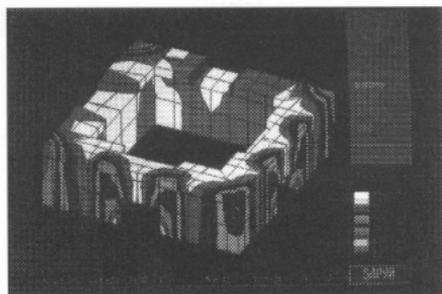
-Determinación del espesor crítico de los muros a partir del cual dejan de ser despreciables los fenómenos tridimensionales.

Todas estas investigaciones nos permitirán tener un conocimiento más preciso del que poseemos sobre el comportamiento de estos elementos, lo que posibilitará la realización de estudios de rehabilitación mejor fundamentados y más optimizados.

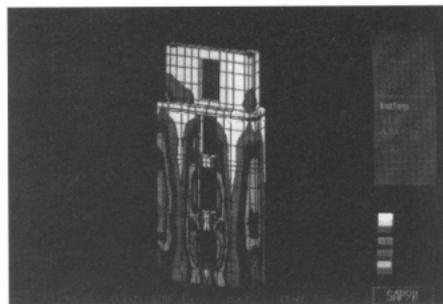
DOCUMENTACION FOTOGRAFICA



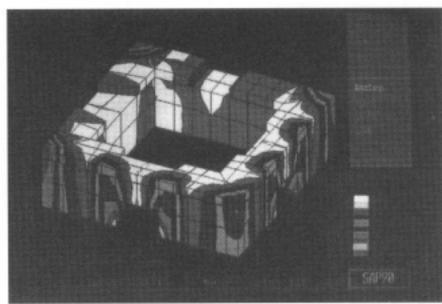
Fotografía 1: Vista del palacio



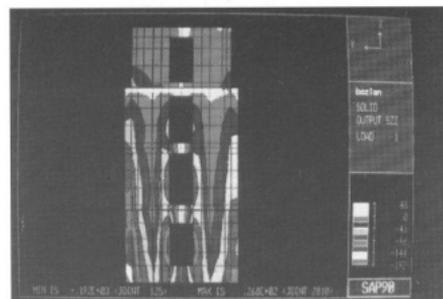
Fotografía 4: Tensiones verticales a nivel de planta 1. Suelo rígido.



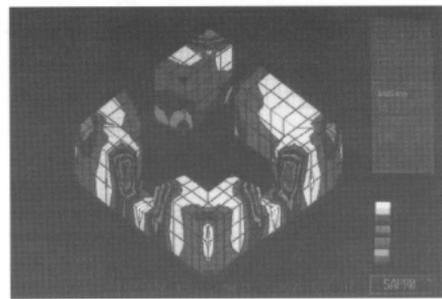
Fotografía 2: Tensiones verticales en la hoja de la fachada. Suelo rígido.



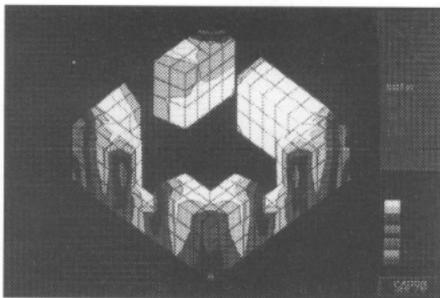
Fotografía 5: Tensiones verticales a nivel de planta 1. Suelo flexible.



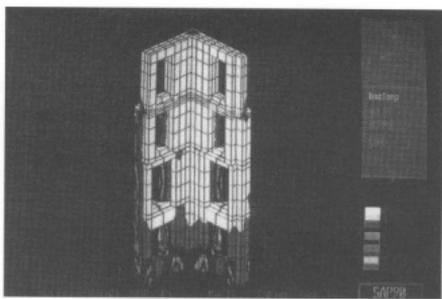
Fotografía 3: Tensiones verticales en la hoja de la fachada. Suelo flexible.



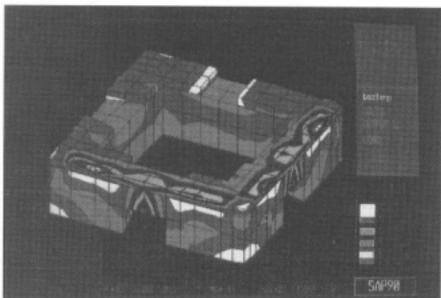
Fotografía 6: Tensiones verticales en el arranque. Suelo rígido.



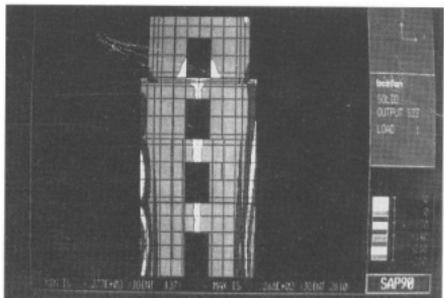
Fotografía 7: Tensiones verticales en el arranque. Suelo flexible.



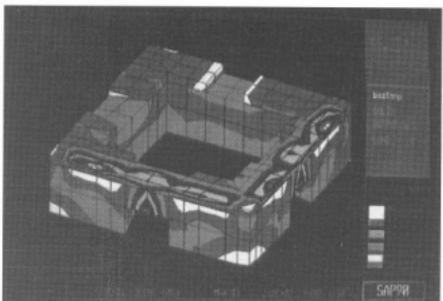
Fotografía 10: Tensiones verticales en las caras interiores de muros de fachada. Obsérvese, sobre todo en el arranque, las concentraciones de tensiones bajo las esquinas de los huecos. Suelo rígido.



Fotografía 8: Tensiones horizontales a nivel de planta 1. Suelo rígido.



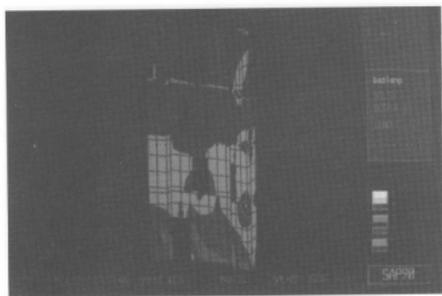
Fotografía 11: Tensiones verticales en el muro posterior y secciones de los dos muros laterales. Suelo flexible.



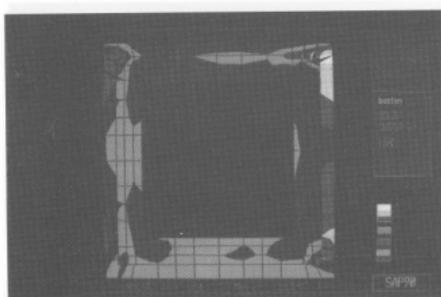
Fotografía 9: Tensiones horizontales a nivel de planta 1. Suelo flexible.



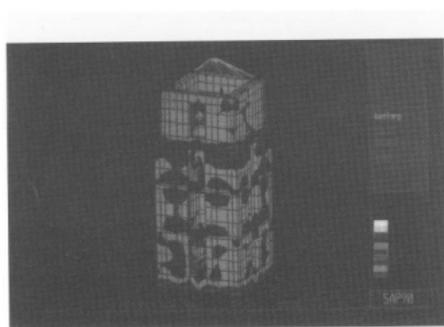
Fotografía 12: Muro lateral derecho, cara interior: Tensiones verticales suelo flexible.



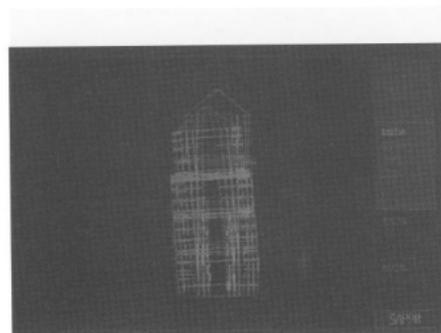
Fotografía 13: Muro lateral derecho, cara interior, tensiones verticales. Suelo rígido.



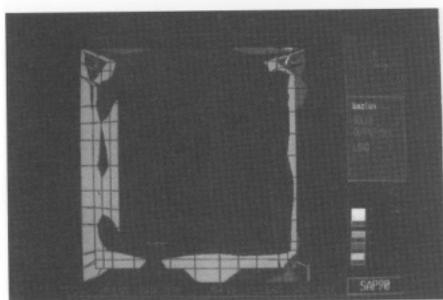
Fotografía 16: Tracciones horizontales (S/Y-Y) en la base del cuerpo superior (suelo rígido).



Fotografía 14: Tracciones horizontales. Suelo rígido.



Fotografía 17: Deformada de la torre. A la izquierda: muro de mampostería. A la derecha: muro con adornos de sillaría.



Fotografía 15: Tracciones horizontales (S/X-X) en la base del cuerpo superior (suelo rígido).



GOBIERNO DE CANARIAS

P.V.P. 15.000, Ptas
(2 Tomos)