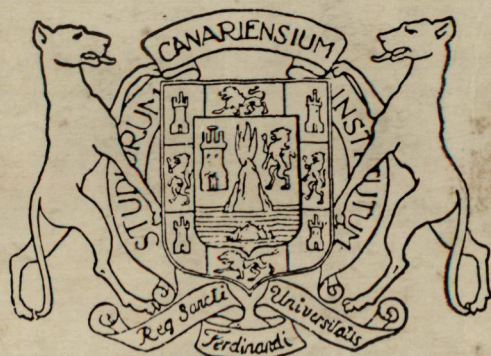


ALEJANDRO CIORANESCU

AGUSTIN DE BETANCOURT

SU OBRA TECNICA Y CIENTIFICA



LA LAGUNA DE TENERIFE

1965

STUDIORUM
CANARIENSIVM
INSTITVTVM



REG. SANCTI
FERDINANDI
VNIERSITATIS

Copyright by
INSTITUTO DE ESTUDIOS CANARIOS
La Laguna, 1965

AGUSTIN DE BETANCOURT

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
INSTITUTO DE ESTUDIOS CANARIOS
EN LA UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

MONOGRAFÍAS

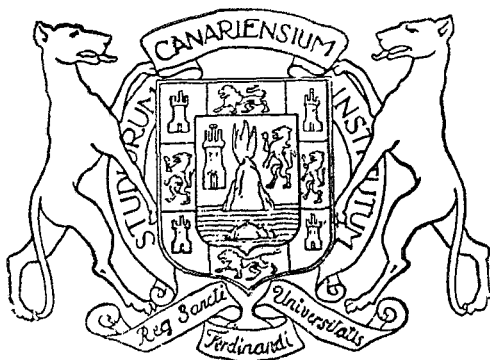
SECCIÓN I: CIENCIAS HISTÓRICAS Y GEOGRÁFICAS

VOLUMEN XX (11.º DE LA SEC. I).

ALEJANDRO CIORANESCU

AGUSTIN DE BETANCOURT

SU OBRA TECNICA Y CIENTIFICA



LA LAGUNA DE TENERIFE

1965



АВГУСТЕНЪ ДЕ ВЕТАНКУРЪ

Августинъ Деветанкуръ

1. Agustín de Betancourt

I

VIDA Y TRABAJOS

La vida de Don Agustín de Betancourt y Molina es bastante conocida*. Como en todas las biografías, se podrán hallar, con un poco de suerte o de paciencia, nuevos documentos que aclaren o completen lo que sabemos en la actualidad sobre los distintos aspectos de su existencia y de sus actividades. Tales acopios de datos y de detalles serán siempre bien venidos, si se considera el destacado interés del personaje y de su vida; pero parece seguro que sólo se puede tratar de detalles de importancia secundaria, ya que, en sus grandes líneas, conocemos suficientemente bien los hechos básicos que componen la biografía del ingeniero canario. No se puede decir lo mismo de su obra. Como nuestro mayor interés se centra naturalmente en esta última, será natural que tratemos el capítulo biográfico brevemente, a manera de preámbulo. Sin la pretensión de alegar hechos nuevos, tendremos siempre a la vista el principal propósito de nuestro trabajo: es decir,

* Cf. sobre todo SEBASTIAN PADRON ACOSTA. *El ingeniero canario don Agustín de Béthencourt y Molina*, en "Revista de Historia", XVII (1951), pág. 51-79; se ha vuelto a publicar, con motivo del centenario del nacimiento de Agustín de Betancourt, con notas puestas al día, por el Instituto de Estudios Canarios (*El ingeniero Agustín de Béthencourt y Molina*, La Laguna 1958, 8.º de 50 pág.).

De la literatura anterior, se pueden consultar las publicaciones siguientes, de las que algunas no han perdido todo su interés, y de las cuales las primeras apenas si han sido utilizadas en la historiografía canaria: *Agustín de Betancourt*, artículo en ruso, en "Zhurnal poutey soobstchenija", 1826, con traducción en la edición francesa de la misma revista, "Journal des Voies de communication", I (1826), pág. 39-49, publicación muy rara, que falta en las bibliotecas españolas y francesas; *Noticias biográficas de D. Agustín de Béthencourt*, en "Revista peninsular-ultramarina de caminos de hierro, telégrafos, navegación e in-

que consideraremos en su biografía sobre todo aquellos aspectos y aquellas peculiaridades, que nos ayudarán a comprender mejor su actividad técnica y científica.

Don Agustín de Betancourt descende de la antigua familia de los Betancourt de Canarias*. La verdad es que esta descendencia no es muy directa, y que entre los Betancourt del siglo XV y los antepasados de Don Agustín por varonía, miden tres generaciones seguidas, en que la transmisión de la sangre se hizo por mujeres. Es verdad también que estos mismos antepasados por varonía se llamaron Verde, y sólo dieron la preferencia al apellido de Betancourt a partir de mediados del siglo XVII; pero la ulterior ilustración de su casa hizo que quedaran olvidados estos detalles, y que su familia llegó a ocupar una posición de las más prominentes, en la vida isleña.

El bisabuelo de Don Agustín fue Don Marcos de Betancourt y Castro, caballero de la orden de Alcántara, brigadier de los Reales Ejércitos y gobernador de la provincia de Caracas, hijo de Simón de Betancourt y de Andrea de Castro Salvatierra. Había

industria", II (1857), pág. 345-6 y 353-4, artículo anónimo, que probablemente se debe a la pluma del redactor de la revista, Manuel Pérez y Durán, y que reproduce esencialmente los datos del artículo anterior; AURELIO PÉREZ ZAMORA. *Apuntes para la biografía de Don Agustín de Béthencourt y Molina*, en "Eco del Comercio" de Santa Cruz de Tenerife, folletín de marzo de 1859, que, a pesar de la importancia que le concede como fuente S. Padrón Acosta, es simple compilación del artículo anterior; EUGENIO MAFFEI y RAMON RUA FIGUEROA. *Apuntes para una biblioteca española de libros, folletos y artículos impresos y manuscritos relativos al conocimiento y explotación de las riquezas minerales*, Madrid 1871, pág. 80-4, que se funda principalmente en el mismo artículo de la "Revista peninsular"; PATRICIO ESTEVANEZ, *D. Agustín de Béthencourt y Molina*, en "La Ilustración de Canarias", II (1883), pág. 19-20, que es mera refundición del artículo de A. Pérez Zamora; AGUSTIN MILLARES CARLO. *Ensayo de una bio-bibliografía de escritores naturales de las Canarias*, Madrid 1932, pág. 123-8; JOSE GONZALEZ QUIROJANO. *Béthencourt*, en "Revista de Obras Públicas", 20 de enero de 1945, pág. 3-8.

* Cf. LEOPOLDO DE LA ROSA OLIVERA. *Los Béthencourt en las Canarias y en América*, en "Anuario de Estudios Atlánticos", II (1956), pág. 111-64. En lo que sigue, hemos escrito siempre este apellido en la forma *Betancourt*, que es la que usó exclusivamente D. Agustín con toda su familia, y la que conocen todas las publicaciones que hablan de él. Es verdad que en la actualidad se prefiere la ortografía francesa *Béthencourt*; pero se trata de una variante ortográfica que no ha tenido nunca un curso real en las islas, en donde el apellido ha sido hispanizado desde el siglo XV en la forma *Betancor*, y más tarde acercado al francés por medio de la ortografía híbrida *Betancourt*.

sido bautizado en la iglesia parroquial de Icod, en 30 de mayo de 1663, y falleció en su gobierno de Caracas, en 1726. Había casado dos veces, la primera con doña Alfonsa Inés del Castillo Llaarena, hija del capitán Felipe del Castillo y de doña Josefa Magdalena de Llaarena y Ponte, en La Laguna, el 26 de marzo de 1684, quedando viudo en 1687; y la segunda vez en Icod, el 30 de octubre de 1690, con doña Luisa Inés Carrasco del Hoyo, hija de Alonso Carrasco de Ayala y de doña Francisca del Hoyo y de la Peña, que falleció antes que su marido, en el Puerto de la Cruz, en 20 de febrero de 1706.

Entre los hijos de su segundo matrimonio tuvo don Marcos a José Antonio de Betancourt y Castro, abuelo del ingeniero, coronel y brigadier de los Reales Ejércitos, que falleció en el Realejo Bajo, en 13 de agosto de 1729. Había casado con doña Ana Jacques de Mesa, de cuyo matrimonio nació el 7 de julio de 1720, en Las Palmas, Don Agustín de Betancourt y Castro, caballero de la orden de Calatrava. Este último casó en La Orotava, el 12 de agosto de 1755, con Doña Leonor de Molina y Briones, hija de Don José Alonso de Molina Ponte y Castilla y de Doña Josefa María Rosa de Briones Sotelo, marqueses de Villafuerte. Doña Leonor, que había nacido en Garachico, el 20 de febrero de 1732, falleció en La Orotava, el 17 de enero de 1808; su marido había ya fallecido, en 18 de febrero de 1795. De su matrimonio habían tenido ocho hijos, cuatro varones y cuatro hembras, el mayor de los cuales fue Don José de Betancourt y Castro, heredero del mayorazgo de su casa, nacido en el Puerto de la Cruz, en 5 de enero de 1757, casado en Santa Cruz de La Palma con Doña Rosa Viña Massieu, hija del capitán Don Francisco de Lugo Viña y de doña María de las Nieves Massieu, y fallecido en La Orotava, el 27 de abril de 1817. Don José de Betancourt y Castro estudió en Madrid, y fue socio de la Real Sociedad Económica de Amigos del País de Tenerife. Muy aficionado al dibujo y a la arquitectura, se le deben varias obras que hasta ahora han sido mal estudiadas, entre ellas un tabernáculo que se conserva en la iglesia parroquial de la Concepción de La Orotava.

Don Agustín de Betancourt y Molina fue el segundo hijo del matrimonio que antes mencionamos. Había nacido en el mismo Puerto de la Cruz, el primero de febrero de 1758, siendo bautizado el día 7 del mismo mes. Pasó su infancia entre la casa paterna de La Orotava y la casa de campo de La Rambla, que más

tarde representó en una de sus primeras pinturas, y que le dejó el más grato recuerdo. Fue aquella infancia como todas las infancias, es decir, dedicada al juego y a las correrías, y también a los primeros elementos de una mediana instrucción, cual era la que en la villa de su residencia podía recibir entonces.

Sin embargo, parece que desde aquellos primeros años se advierte en los juegos de este niño una especie de propensión para los juegos utilitarios, para aquellas diversiones que pueden dejar algún resultado aprovechable. En una carta a su hermano mayor exclama, recordando aquellos años ya lejanos de su infancia: "¡Cuánto me acuerdo de los gusanos de seda que criamos en La Rambla y de las cintas que tejimos! Y ¡de cuánto no me ha servido este entretenimiento!"* Y más tarde, escribiendo a su hermana, compañera favorita de sus primeros juegos, recordaba igualmente "el feliz tiempo que pasamos juntos, tejiendo las cintas de rasoliso y terciopelo, haciendo entorchados, etc., etc. Yo puedo asegurarte que de cuanto he aprendido en mi vida, nada me ha sido tan útil como el ejercicio que tuve entonces del hilado, tejido, tinturas y demás cosas que hicimos como por pasatiempo. Estos conocimientos que adquirí jugando han sido el origen de mi afición a las artes mecánicas y de toda mi felicidad; y estoy tan persuadido de su grande utilidad, que hago trabajar dos horas por día a mi hijo Alfonso, ya en el torno, ya limando o haciendo alguna máquina"**.

Gusanos de seda, cintas de rasoliso, entorchados, he aquí juguetes de un tipo bastante particular para un niño que debía tener por aquel entonces de diez a quince años, y que no parece divertir de igual modo a todos los niños. Se comprende, como lo indica el mismo interesado, que estas primeras aficiones habrán informado y desarrollado en él el gusto para las artes industriales y la técnica en general; o quizá, al revés, que su propensión innata para las artes mecánicas se habrá manifestado desde su infancia en la selección de los juguetes que mejor convenían con

* Carta de D. Agustín de Betancourt a su hermano D. José de Betancourt y Castro, de San Petersburgo, en 15 de septiembre de 1814. Como todas las cartas que más adelante se citan, se conserva en posesión de los descendientes de don José de Betancourt y Castro, en La Orotava.

** Carta de D. Agustín de Betancourt a su hermana, doña Maruca o María Magdalena de Betancourt y Molina, escrita de San Petersburgo, el 10 de octubre de 1821.

sus aptitudes. La última explicación parece más plausible, ya que el hijo de Don Agustín, a pesar de las distracciones pedagógicas que le ofrecía o imponía su padre, no demostró más tarde ninguna afición particular para las máquinas y las invenciones.

En cuanto a Don Agustín, estos juegos lo llevaron insensiblemente, como a todos los niños que acaban pronto con desmontar sus juguetes para examinarlos al interior, a la observación de los instrumentos de trabajo y a la idea subsiguiente, de su posible mejora. Así es como lo vemos inventando, o mejor dicho perfeccionando, desde los años de su estancia en Tenerife, probablemente por el año de 1778, una máquina de hilar seda, en cuya construcción intervino también su hermana y compañera de juegos*. Se trata de una máquina epicilíndrica de pedal, cuyo principal mérito parece haber sido el doble efecto de la rueda movida por el pedal, que saca al mismo tiempo dos hilos, de dos marañas colocadas lateralmente. Si no nos equivocamos, se trata menos de una máquina nueva, que de una mejora, que aumenta la capacidad de producción de la máquina ya conocida, al sacar mejor resultado de la fuerza que se invierte en su impulsión. Es una aplicación tan feliz, como corriente en los futuros trabajos de Betancourt, cuyos inventos se distinguen en general por una rara ingeniosidad, que sabe sacar partido de todas las posibilidades de un artefacto.

Al mismo tiempo, como todos los segundones de las familias más destacadas, Betancourt abrazó la carrera de las armas, en las milicias provinciales de Tenerife. Ingresó como cadete el 21 de julio de 1777**, y ascendió rápidamente a subteniente (6 de marzo de 1778) y a teniente (13 de mayo de 1778). A partir de este último grado, su ascenso fue mucho más lento, y sólo en 1790 llegó al grado de capitán de las mismas milicias provinciales***.

* Una reproducción de esta máquina ha sido publicado por JUAN GOYANES CAPDEVILLA. *Las antiguas industrias de la seda en Tenerife*, Santa Cruz de Tenerife 1938, pág. 11, y reproducida por S. PADRON ACOSTA. *El ingeniero A. de Béthencourt*, pág. 20

** Así en S. PADRON ACOSTA. *El ingeniero A. de Béthencourt*, pág. 19; en las *Noticias biográficas* de la "Revista peninsular", II (1857), pág. 345, se indica la fecha del 15 de octubre de 1777.

*** Se ignora la fecha de su nombramiento de capitán; pero debe ser de 1790, o posiblemente de 1789, ya que en una carta a su padre, del 10 de enero de 1789, dice que "el Ministro de Estado me ha dado letra abierta para que yo gaste cuanto quiera en mis viajes, en modelos, libros, mapas, etc., y le ha dicho a mi hermano que me

Según todos los biógrafos de Don Agustín, “el marqués de La Sonora, conoedor de la capacidad intelectual y de los anhelos de saber de Don Agustín de Betancourt, lo llama a la Corte para que perfeccione sus estudios*. Como es raro que el interés de los grandes para los intelectuales vaya tan lejos como ir a buscarles en su casa, es preciso suponer que en la benevolencia del marqués había influido alguna persona más estrechamente aligada a Betancourt. Se trata sin duda de Don Estanislao de Lugo y Molina, primo del joven teniente, ya que sus madres eran hermanas; don Estanislao, que sólo tenía cinco años más que su primo, era por aquel entonces director de los Reales Estudios de San Isidro de Madrid, y parece natural el que haya ayudado a que Betancourt, quien efectivamente merecía ser apoyado para continuar sus estudios, consiguiese una especie de beca para poderlo hacer.

Así es como Don Agustín se fue a estudiar en la Corte, donde empezó a seguir cursos el 9 de enero de 1779**. Durante el primer curso académico estudió matemáticas, y pasó a realizar ejercicios públicos a los cinco meses de su llegada, el 4 de julio, bajo la

haría capitán de ejército al instante que yo se lo pidiera”; y que, por otra parte, en su informe a la Academia de las Ciencias de París, fechado en lo de febrero de 1790. Borda lo llama “Caballero de Betancourt, capitán”.

La carrera puramente militar de Béthencourt es oscura. Los grados que aquí mencionamos se entienden en las milicias insulares; y no nos consta que haya llegado a figurar en el escalafón de los Reales Ejércitos. Además, en la primavera de 1958, con motivo del segundo centenario de su nacimiento, parece que el cuerpo español de Ingenieros militares quiso celebrar esta conmemoración; pero las investigaciones hechas con este motivo en el archivo militar de Segovia no han dado ningún resultado; de modo que se puede afirmar categóricamente que don Agustín de Béthencourt no ostentó ningún grado militar dentro del escalafón del Ejército, y que el nombramiento de mariscal de campo que le atribuyen sus biógrafos (cf. S. PADRON ACOSTA. *El ingeniero A. de Béthencourt*, pág. 24), es resultado de una confusión con el grado que efectivamente obtuvo en Rusia.

Para comprender cómo una persona cuya carrera militar española termina con el grado de capitán de milicias, llegó al grado de general ruso inmediatamente y a base de reconocimiento de títulos, hay que tener en cuenta que los empleos públicos del imperio ruso estaban igualados con los grados del ejército; de modo que, al reconocérsele la categoría de inspector general, que realmente tenía en España, se le asimilaba implícitamente al grado de general.

* S. PADRON ACOSTA. *El ingeniero A. de Béthencourt*, pág. 19. Lo mismo en la biografía de la “Revista peninsular”, en Maffei y Rua, en Pérez Zamora, y en las demás fuentes en general.

** *Noticias biográficas*, en “Revista peninsular”, II (1857), pág. 345.

presidencia del catedrático Vicente Durán Sacristán*; los buenos resultados que obtuvo en esta circunstancia parecen halagüeños, no sólo para su propia preparación, sino también para los profesores de La Orotava que le habían enseñado hasta entonces.

Siguió después los estudios de matemática superior, con nuevos ejercicios públicos al año siguiente, bajo la presidencia del catedrático Antonio Rosell Viciano**. Se ve fácilmente, por los temas de estos ejercicios, que su preparación matemática, por seria y profunda que fuese, —ya que Betancourt había estudiado aritmética, álgebra, geometría, trigonometría, análisis matemático, cálculo diferencial, cálculo integral y mecánica—, no era lo que hoy día llamaríamos una especialidad, sino un arma para penetrar más adelante en el estudio de la física. El mismo oponente precisa, además, que sus conocimientos de “álgebra y geometría sublimes” no miran a otro objeto; que sólo la física le interesa, y que estos ejercicios se justifican por “el ánimo de dirigir nuestros conatos a ciencia tan útil, de quien depende el progreso de casi todas las artes”. Así se explica el que todos sus temas versen sobre la mecánica, sobre la teoría del movimiento, del centro de gravedad, de la rotación, sobre los diferentes tipos de movimientos y sobre las máquinas simples: es decir, un temario de mecánica, en unos ejercicios que se titulan de matemáticas en general.

Después de esto, o quizá al mismo tiempo en que iba preparando matemáticas, Betancourt debe haber seguido los cursos de física, que explicaba en los Reales Estudios el profesor Antonio Fernández Solano, natural de Montilla. Este profesor, que parece haber desempeñado con particular interés y aplicación la enseñanza que le había sido confiada, había fundado desde 1774 y seguía dirigiendo dentro de los Reales Estudios de San Isidro un taller, donde los hermanos Diego y Celedonio Rostrigari fabri-

* *Ejercicios de matemáticas que han de tener en los Estudios Reales de esta Corte D. Agustín de Betancourt y Molina, teniente del regimiento de La Orotava en la isla de Tenerife, y D. Carlos Viola y Benavente. Día 4 de julio, a las 4 de la tarde. Presidiéndoles D. Vicente Durán y Sacristán, catedrático de matemáticas en los mismos Reales Estudios. Madrid 1779.*

** *Ejercicio de matemáticas que ha de tener en los Estudios Reales de esta Corte D. Agustín de Betancourt y Molina, teniente del regimiento de La Orotava de la isla de Tenerife. Día 9 de julio, a las 10 de la mañana, presidiéndole D. Antonio Rosell Viciano, catedrático de matemáticas en los mismos Reales Estudios. Madrid 1780.*

caban los instrumentos de laboratorio necesarios para la enseñanza de la física. Más aún, el mismo profesor hizo en 1783 un viaje a París y a Londres, con el objeto de adquirir nuevos modelos y máquinas, de visitar otros talleres del mismo tipo que el suyo, para poder proponer después las eventuales mejoras de su enseñanza*. En este taller, en que los Rostriga trabajaron sin interrupción durante treinta años, debió de entrar más de una vez Don Agustín de Betancourt. Allí fue donde vino en contacto con la técnica de la fabricación de modelos, que debía ocupar más tarde un lugar tan importante en su propia vida; y probablemente de allí le vino también la idea, que después iba a proponer y a transformar en realidad, de la creación de un Gabinete de Máquinas, al servicio de toda la nación.

Al mismo tiempo, Betancourt seguía las clases de dibujo en la Real Academia de San Fernando, en donde trabajó con el profesor Maella**. La verdad es que había aprendido a dibujar, e incluso a pintar, desde los años de Tenerife; y parece que, ayudado por sus evidentes disposiciones naturales, había conseguido desde entonces resultados más que halagüeños. Pero ahora se trataba de otra cosa. En Tenerife faltaban los verdaderos profesores de dibujo; y, por otra parte, para Betancourt el dibujo, al igual que las matemáticas, no eran un objeto en sí, sino un instrumento más, al servicio de sus aficiones para la mecánica.

Así y todo, empezó estos estudios así como se empieza en las academias, es decir, con el dibujo académico, de que pronto envió algunas muestras a su familia, en La Orotava. En el verano de 1781, dice, "presenté mis primeras y únicas pinturas, hasta ahora, en la Academia de San Fernando, donde estuvieron quince días expuestas al público, con varias obras de otros; y me aseguré mi maestro Maella que le costó trabajo persuadir a muchos que yo las había hecho***. Aunque no podamos asegurarlo, es posible que haya seguido también alguna clase de arquitectura, que explicaba entonces Miguel Fernández ****. Lo cierto es que, al ter-

* MARIANO SANTISTEBAN. *Breve historia de los gabinetes de Física y Química del Instituto de San Isidro de Madrid*, Madrid 1875, pág. 9-14.

** S. PADRON ACOSTA. *El ingeniero A. de Béthencourt*, pág. 20.

*** Carta de D. Agustín de Betancourt a su padre, de Madrid, el 16 de agosto de 1780.

**** Cf. JOSE CAVEDA. *Memorias para la historia de la Real Academia de San Fernando*, Madrid 1867, vol. I, pág. 288. Véase ahora el estudio

minar estos estudios, había conseguido ya aquella asombrosa habilidad de dibujo, que constituye para un mecánico un enorme triunfo, y que añade al talento innato la destreza y la facilidad que sólo se adquieren a base de mucho trabajo.

Rematados estos estudios con unos rudimentos de francés, el joven teniente había terminado ya el ciclo de enseñanzas que en Madrid se le podían dispensar. Para completarlo con aquellos conocimientos prácticos que son tan indispensables al ingeniero, el ministro conde de Floridablanca, probablemente a petición del interesado, lo envió a las minas de Almadén, para estudiar las instalaciones y el funcionamiento de las mismas. En cumplimiento de esta orden, salió de Aranjuez el 24 de julio de 1783, pasando por Toledo, y llegó a fines del mismo mes a Almadén, donde pasó todo el mes de julio siguiente examinando, escudriñando, tomando apuntes y dibujando máquinas, útiles típicos del trabajo de las minas, sitio y disposición de las instalaciones. Resultado de esta breve estancia fueron las tres memorias presentadas al ministro, y que más adelante se examinarán detenidamente.

Al corriente de todos los progresos de la ciencia y de la técnica, desde entonces Betancourt no se conformaba con aprenderlos por simple lectura, sino que hacía suyos los experimentos más importantes. Así es como, enterado de los inventos de navegación aérea, que estaban entonces muy de moda en Francia, fabricó él mismo un globo aerostático, que echó a volar en 29 de noviembre de 1783, en la casa de campo de Infante Don Gabriel. "Tenía, dice un historiador canario, siete pies de diámetro y era de tafetán barnizado". El experimento se hizo "a presencia del rey, príncipes, infantes, grandes, ministros y otras personas de la Corte, viéndolo con particular complacencia subir y desaparecer entre las nubes dentro de dos minutos, a cuyo tiempo le sacó el mismo rey el sombrero. Después se encontró a ocho leguas de distancia"*.

reciente y completísimo de D. PEDRO GARCIA ORMAECHEA Y CASANOVAS. *Betancourt y la Academia de Bellas Artes*, en "Revista de Obras Públicas", 1964, p. 95-109, 23-13, 937-45, 1109-18.

* LOPE ANTONIO DE LA GUERRA Y PEÑA. *Memorias*, vol. IV. Las Palmas 1959, pág. 159. En esta curiosidad científica se encontraba Béthencourt con otro canario ilustre, don José de Viera y Clavijo, quien también se interesaba por aquel entonces a la aerostación. Es curioso observar que Viera también hizo volar un globo, desde los jardines del marqués de Santa Cruz en Madrid, en 18 de diciembre de

había conseguido, sino también por su perfecto sincronismo con los demás experimentos del mismo tipo; hay que tener en cuenta, en efecto, que las experiencias de Montgolfier se habían desarrollado en el Campo de Marte de París el 17 de agosto de 1783, en Versalles el 19 de septiembre, y en París el 21 de noviembre; el vuelo de Charles y Robert, partiendo de los jardines de las Tullerías, es del 1 de diciembre, o sea, posterior en tres días al experimento madrileño.

El año siguiente, Betancourt fue enviado a París, para completar sus estudios con los de química y de geología, que no habría podido seguir en Madrid. Durante esta continuación de sus estudios, parece que recibió también algunos encargos de los ministros, que ejecutó satisfactoriamente; de modo que, al solicitar, dos años más tarde, que se le prolongase la misión en Francia, para dedicarse al estudio de la hidráulica y de la maquinaria en general, fue autorizado por Real Orden del 11 de febrero de 1786. El ministro español en París, conde de Aranda, recibió la orden de suministrarle una pensión de 1500 reales de vellón al mes; lo cual no impidió que, en su entusiasmo y probablemente lleno de confianza en un porvenir que se anunciaba rico de promesas, el joven ingeniero llegase a tener pronto una deuda que ascendía a 50.000 reales.

La estancia de Betancourt en París, durante estos primeros años en que tomaba contacto con el mundo científico francés, fue particularmente provechosa para él. Conoció a numerosos técnicos y hombres de ciencia de la capital francesa; y más que conocerlos, los frecuentó día tras día y pudo hacer apreciar, por medio de sus estudios y de sus trabajos, su sólida preparación y su brillante ingeniosidad.

Con unos cuantos de estos hombres de ciencia trabó relaciones de perfecta confianza y de amistad. Entre los que le conocieron de más cerca se debe nombrar a Perronnet, ilustre ingenie-

1783; a pesar de esta fecha, posterior en tres semanas al del experimento de Béthencourt, afirmaba más tarde, que éste era "el primer globo" que había volado en España. Es de creer que hay alguna confusión en las fechas, ya que no parece probable que los dos canarios hayan ignorado su común pasión. En nuestro artículo, *Don José de Viera y Clavijo y su globo aerostático*, en "Revista de Historia", XVI (1950), p. 82-84, vacilábamos en afirmar si el cuadro de Antonio Carnicero, número 641 del Museo del Prado, representaba el experimento de Viera y Clavijo; ignorábamos entonces la existencia del de Béthencourt, que es sin duda el que se representa en la pintura.

ro, director de la Escuela de Puentes y Calzadas de París, quien comunicó más tarde a Betancourt un gran número de modelos de sus construcciones, para el Gabinete de Máquinas. Asimismo debemos una mención especial a Prony, quien iba a ser más tarde Director de la misma Escuela. Prony, que tenía casi la misma edad que Betancourt (había nacido en 1755 y vivirá hasta 1839), fue uno de los mejores técnicos franceses de la época del Primer Imperio, particularmente apreciado por Napoleón, que le hizo barón. Entre sus trabajos destacan sus atrevidas construcciones de puentes, sus cálculos sobre el empuje de las bóvedas, y sus estudios sobre las máquinas de vapor y sobre la fuerza elástica del vapor de agua*. Bastará decir que los dos últimos temas eran asuntos que Prony sólo estudió en colaboración con Betancourt o movido por su ejemplo y por los resultados conseguidos por él, para hacer patente la intimidad de las relaciones de los dos hombres de ciencia y el interés científico de sus contactos.

Desde Madrid se le enviaban al mismo tiempo varias comisiones, que le transformaron insensiblemente en una especie de agregado científico de la Embajada española de París: que sepamos, es la primera persona que haya ejercido estas funciones, aunque no con calidad oficial para ello. Así, por ejemplo, en cierto momento que no logramos determinar, "pasó a Inglaterra, para ver si conseguía el telar con que los ingleses hacían las medias de punto cruzado. No obstante el secreto con que aquellos artistas lo ocultaban, logró ver uno, aunque por muy pocos minutos, lo que fue bastante no sólo para que lo comprendiera, sino también para hacerlo ejecutar en París con igual perfección, haciéndolo extensivo a Madrid, como se encuentra entre las Máquinas del gabinete de Su Majestad"**.

A menudo se le comisionó para efectuar en París varias compras de máquinas y de instrumentos de precisión; como, por ejemplo, los que sirvieron en la expedición del buque *Malaspina*, en 1789. Hizo un análisis de la seda, con el objeto de reconocer la composición de su barniz, y escribió sobre estas investigaciones una memoria, que se ha perdido, y en que proponía el mejor mé-

* Sobre Prony, cf. sobre todo FR. ARAGO. *Oeuvres*, vol. I, París 1865, pág. 584-92.

** *Noticias biográficas*, en "Revista peninsular", II (1857), pág. 345.

todo para blanquear la seda*. Propuso a la Corte el establecimiento de una fábrica de cajas de concha. La sugerencia agradó al gobierno, que le encargó la compra de la maquinaria y de los útiles necesarios, así como la contratación de cierto número de obreros especializados en este ramo. Llegó, en efecto, a encontrar a los técnicos que necesitaba; pero tuvo harta dificultad para sacarlos de Francia, ya que el gobierno francés se oponía a su salida; de modo que Betancourt tuvo que ir hasta Bayona, para rescatar a los técnicos detenidos por la autoridad francesa, y encaminarlos después a España**. No sabemos si esta fábrica, ideada y organizada por él, llegó a instalarse y a funcionar.

Por marzo de 1786 recibió la orden de pasar al canal de Aragón, que se construía por aquel entonces, para estudiar la instalación de una máquina que acababa de inventar para el desagüe de las presas de agua. Tampoco sabemos si esta máquina, cuya composición ignoramos, llegó a implantarse; e incluso nos falta la seguridad absoluta de que efectivamente emprendió el viaje que se le había ordenado.

En la suposición de que realmente fuese al canal de Aragón, es lógico pensar que pasó después a Madrid, desde donde faltaba desde más de dos años. Parece ser que con este motivo, al visitar al conde de Floridablanca, le propuso un nuevo proyecto, que iba a ser la obra de toda su vida: el de la formación de un Real Gabinete de Máquinas. Esta idea empezó a realizarse sobre las bases bastante modestas de un laboratorio de su especialidad, es decir, de hidráulica, hasta que, con el tiempo, se hizo extensivo a todos los tipos de máquinas y de construcciones técnicas. Su objeto era centralizar y tener a la disposición de los interesados los modelos de los últimos adelantos de la técnica, con el fin de ayudar al progreso de la industria nacional.

Sometida esta idea a la Corte, parece que fue recibida con agrado, ya que desde aquel año vemos que empezó a fabricar modelos con destino a las colecciones del Gabinete. La idea quizá le viene de sus contactos con el industrial Périer, cuyo nombre volveremos a encontrar más adelante, y que estaba formando por aquellos mismos años las colecciones de máquinas del duque de Orléans. Sea como fuese, a partir de su regreso a París, que

* *Ibidem*, pág. 345; cf. S. PADRON ACOSTA. *El ingeniero A. de Béthencourt*, pág. 35.

** *Noticias biográficas*, en "Revista peninsular", II (1857), pág. 345

probablemente se sitúa por el año de 1787, Betancourt dedicó la mayor parte de su tiempo y de su actividad a la búsqueda de máquinas, artefactos o construcciones dignas de figurar en su Gabinete.

Una vez seleccionada la pieza que le interesaba reproducir, Betancourt la agregaba a su colección, bien bajo la forma de planos que dibujaba él mismo, o de memoria manuscrita, que solicitaba de su autor, o, en fin, en la mayor parte de los casos, como modelo de proporciones reducidas. Estas mismas modalidades son las que presidían la formación de las colecciones de la Escuela de Puentes y Calzadas de París, que Betancourt, por su parte, proveía con las memorias y los planos de sus propios trabajos; de modo que, hasta cierto punto, se puede decir que ambas colecciones se iban formando paralelamente y en estrecha colaboración, recibiendo Betancourt para Madrid los trabajos de Péronnet y entregándole en cambio los planos y las memorias de sus propios inventos.

La confección de los modelos parece haberle costado bastante más trabajo que los planos y las memorias, y fueron desde entonces la misma razón de su prolongada estancia en París. Para su fabricación, disponía de obreros especializados, que trabajaban bajo su dirección y siguiendo sus instrucciones. "Actualmente", dice en una carta de 1789, "tengo a mi cargo una colección de instrumentos de física que me han encargado de la Corte. Sigo en mi casa haciendo ejecutar la colección de modelos de hidráulica, de que he hablado a Vm. en mis anteriores, en la cual tengo empleados cuatro ebanistas, siete cerrajeros y tres dibujantes, siendo preciso que yo examine dos o tres veces al día cuántas piececitas hace cada uno, y que haga por mis manos los planos de cada máquina, pues es cosa que no la puedo dar a hacer. De toda esta tarea continua lo que me consuela es que están todos muy contentos con lo que hago, y que tendré el gusto toda mi vida de haber formado el mejor gabinete de máquinas que habrá en Europa"*.

* Carta de D. Agustín de Betancourt a su padre, de París, el 6 de marzo de 1789. Su nombramiento de Director del Real Gabinete de Máquinas le llegó a París en diciembre de 1788, en cuya fecha él aun no había regresado de su viaje a Inglaterra; de modo que la real orden correspondiente debe ser de octubre o noviembre anterior.

Más tarde, por carta fechada en Madrid, el 24 de febrero de 1793, el duque de Alcudía le comunicaba oficialmente que "satisfecho el Rey

Según parece, entre sus colaboradores o auxiliares debe contarse Étienne Calla, conocido como inventor del torno universal; este técnico había sido alumno del célebre Vaucanson y había fundado en París, en 1788, una manufactura de máquinas para fábricas de hilar. Probablemente allí encargaba Betancourt las piezas de metal necesarias para sus máquinas, ya que el célebre Poncelet consideraba más tarde a Calla como un "alumno del sabio Betancourt"*.

Al transformar la búsqueda de máquinas ingeniosas en verdadera razón de su existencia, Betancourt se vió obligado a viajar por todas partes, siempre con el lápiz a mano, para tomar los apuntes o los dibujos de todo cuanto se le ofreciera. Así es como parece que visitó Bélgica, Holanda y una parte de Alemania. Así es como pasó en el año de 1788 a Inglaterra, con el único objeto de imponerse de los últimos adelantos de la máquina de vapor, para terminar el modelo cuya construcción había empezado ya en su casa de París; y vino de allí con la máquina de doble efecto, que fue la primera fabricada en el continente, y de que más adelante se tratará ampliamente. Durante este mismo viaje, no desperdió el tiempo que le quedaba libre, y dibujó cuidadosamente, entre otros planos que se conservaban en el Gabinete de Máquinas, las dos láminas que aún existen regaladas por él, en la Escuela de Puentes y Calzadas de París, representando una

de los buenos servicios de Vs. y queriendo remunerar su particular industria y actividad en la adquisición de los modelos, planos y memorias que ha recogido en diversas partes de Europa, para formar el Real Gabinete de Máquinas, establecido en Madrid bajo la dirección de Vs., no menos que su exacto desempeño en las comisiones del Real servicio que se le han encargado, ha venido en conceder a Vs. el aumento de 20.000 reales de vellón al año, sobre los 24.000 reales de sueldo que ya goza como Director del referido Gabinete".

El conde de Fernán Núñez, embajador en París, escribió una carta llena de elogios sobre las actividades de Betancourt, a raíz de la visita que hizo a su taller, en 23 de abril de 1788; cf. ALBERT MOUSSET. *Un témoin ignoré de la Révolution. Le comte de Fernán Núñez, ambassadeur d'Espagne à Paris*, París 1924, 340-42. Por su correspondencia sabemos que el gabinete que formaba el ingeniero tinerfeño costó 37.600 libras en 1790 y 36.066 en el año siguiente.

* PONCELET. *Exposition universelle de 1851*, París 1831. Sobre Etienne Calla (1760-1835), a quien volveremos a mencionar más adelante, cf. sobre todo EMILE EUDES. *Histoire documentée de la mécanique française*, París 1902, pág. 236 y 252, donde se indica con precisión que Calla había trabajado mucho con Betancourt "para el Conservatorio de Artes y Oficios".

máquina para triturar el sílex, destinada a las manufacturas de porcelana, y una instalación de plano inclinado entre dos canales, con el dispositivo para subir y bajar las embarcaciones a lo largo de esta pendiente*.

Durante este mismo tiempo, no le faltaban los encargos que periódicamente le pasaba el Gabinete de Madrid. Así, el conde de Aranda, quien ya había sustituido al conde de Floridablanca en el gobierno, le había mandado examinar en el Jardin des Plantes de París unos hornos que se habían instalado para extraer el betún del carbón de piedra. En cumplimiento de esta misión, envió a Madrid los planos completos de aquella instalación, con una memoria explicativa, que el Gobierno mandó a la Real Sociedad Económica de Asturias, por pertenecer ésta a la región que más interés debía tener normalmente en conocer aquel procedimiento. La Real Sociedad leyó con agrado aquella comunicación, y como prueba de su satisfacción nombró a Betancourt socio de mérito**.

Los años de 1790 a 1798 fueron años de intensa actividad. Por una parte, en París, donde pasaba la mejor parte de su tiempo, a pesar de los turbios acontecimientos de aquellos años y de los altibajos de las relaciones franco-españolas, Betancourt presentaba a la Academia de las Ciencias, desde 1790, sus dos memorias sobre la máquina de vapor y sobre la fuerza elástica del vapor, recibidas con aplauso de la ilustre sociedad y calurosamente recomendadas por los más prominentes de sus miembros***. Por otra parte, sin perder el contacto con la capital española, organizaba allí el Gabinete que formaba el núcleo de sus preocupaciones****, y

* Cf. la bibliografía final.

** *Memoria sobre el método de construir y usar los hornos para extraer el betún que tiene el carbón de piedra, quedando éste purificado al mismo tiempo.* Cf. M. MENENDEZ PELAYO. *La ciencia española*, Buenos Aires 1947, vol. III, pág. 373; S. PADRON ACOSTA. *El ingeniero A. de Béthencourt*, pág. 35. Nuestras investigaciones para averiguar el paradero actual de este manuscrito no han dado resultado. Se sabe, en efecto, que la biblioteca de la Real Sociedad Económica de Oviedo ha sido desorganizada modernamente, y sus fondos se hallan dispersos, sin que se pueda saber en cada caso dónde habrán ido a parar.

*** En relación con la estancia de D. Agustín de Betancourt en París, durante los primeros años de la Revolución Francesa y de sus relaciones con el círculo político-social que se reunía alrededor de Cabarrus, se pueden consultar LEANDRO FERNANDEZ. *Obras póstumas*, vol. II, pág. 107-8, y MIGUEL S. OLIVER. *Los españoles en la Revolución Francesa*, en "España moderna", CCLXXVIII (1912), pág. 130.

**** Hemos visto más arriba que su nombramiento es de fines de 1788. Sin embargo, D. Agustín de Betancourt no salió de París, para

que estaba ya terminado en 1794, si no antes. En 1794, en efecto, se publica el catálogo de estas colecciones*, que habían sido colocadas en el palacio del Retiro. Este gabinete, que desgraciadamente ha desaparecido sin dejar el menor rastro, durante la guerra de la Independencia**, respondía perfectamente a las ilusiones que se había hecho su autor. El catálogo, que sus biógrafos no han utilizado, da una idea suficiente de la importancia material y científica del material allí acumulado, y de la enorme cantidad de trabajo que representaba su reunión por un solo hombre y en un plazo de tiempo tan restringido.

Las colecciones del Real Gabinete de Máquinas se componían, en 1794, de 327 objetos, entre modelos y planos, y de una colección de 92 memorias manuscritas; y es de suponer que estas series debieron de recibir algún aumento durante los años siguientes. Se trata, sin duda, del mayor esfuerzo de este tipo en su época: sin haber hecho ningún recuento, se puede decir que las colecciones del Conservatoire des Arts et Métiers de París, en su parte anterior a 1800, no parecen, ni mucho menos, tan abundantes como las de Madrid.

Los modelos se hallaban repartidos por secciones, en los capítulos titulados Montes; Enmaderaciones; Carruajes; Máquinas para clavar y arrancar estacas; Máquinas para aserrar estacas debajo del agua; Máquinas para elevar el agua; Máquinas para sacar la arena de los ríos y puertos; Puentes y Cimbras; Incluso para canales, ríos y puertos de mar; Máquinas relativas a la conducción del gas; Puertos de mar; Máquinas relativas a las artes; e Instrumentos para dibujar y nivelar.

Para dar una idea del trabajo que supone la formación de esta colección, bastará indicar, como ejemplo, que las máquinas para levantar pesos habían sido reproducidas de máquinas originales, que estaban trabajando en las ciudades de Rouen, Ostende,

hacerse cargo del Gabinete de Máquinas, hasta el 28 de agosto de 1791. Antes de llegar a Madrid, pasó primero por Lyon, Barcelona y Valencia, en cuyos centros verificó varias visitas en directa relación con su principal cometido.

* JUAN LOPEZ DE PEÑALVER. *Catálogo del Real Gabinete de Máquinas*, Madrid 1794, in-8.º de XLVIII-149 pág. Contiene un Prefacio, pág. I-XII; un *Discurso sobre la construcción de máquinas en grande*, pág. XIII-XLVIII; y el catálogo de las colecciones.

** CARLOS ORDUÑA. *Memorias de la Escuela de Caminos*, Madrid 1925, pág. 16; S. PADRON ACOSTA. *El ingeniero A. de Béthencourt*, pág. 41. Este último autor considera equivocadamente, pág. 40, que el Gabi-

Lorient, París, Marsella, Moulins, Orleáns, Neuilly, Le Havre y en Inglaterra. Como se sabe que Betancourt iba a ver personalmente y dibujaba él mismo los planos de sus modelos, ello indica otros tantos viajes hechos por el ingeniero canario, con el sólo objeto de imponerse de las características de cada una de las máquinas que iba a reproducir. Si se piensa, por otra parte, que faltaban las publicaciones técnicas de que hoy se dispone, para señalar los progresos realizados en cada ramo de la industria y la colocación de las máquinas o instalaciones más perfeccionadas, su misma identificación supone un largo trabajo previo. Parece, pues, muy justificada, la conclusión del autor del catálogo, de que la creación del Real Gabinete de Máquinas se debe “a la liberalidad del Monarca, que proporcionó a sus pueblos estos auxilios, para su mayor prosperidad; al benéfico Ministerio, que protege las tareas útiles; y al infatigable celo de Don Agustín de Betancourt, que ha consagrado sus días a recoger estos preciosos instrumentos de la industria y del ingenio del hombre”.

Por otra parte, adoptando una actitud tan desinteresada como clarividente, Betancourt se hacía cargo de que la renovación técnica e industrial de España no podía ser obra personal de nadie, y que su más seguro instrumento era la formación de generaciones de técnicos y de ingenieros. En 1788, el conde de Florida Blanca había enviado ya a París dos jóvenes más, para que estudiaran hidráulica, y había encargado a Betancourt del cuidado de dirigirles en sus estudios, “para que aprovechen bien el tiempo”, según rezaba la orden que le había sido cursada con este motivo*.

nete de Máquinas existía ya en 1787, basado en una carta del conde de Fernán Núñez, que en realidad habla de una visita al taller de Agustín de Betancourt en París.

Una prueba de que el Gabinete tuvo interés práctico, se puede ver en la publicación, por el “Semanario de Agricultura y Artes”, VI (1799), pág. 356, de una serie de modelos de cepos para lobos, con un grabado explicativo, y con la nota aclaratoria que reproducimos: “Estas observaciones y el dibujo de la estampa las debemos a D. Agustín de Betancourt, quien con singular celo y deseos de los progresos de la agricultura e industria nacional, ha tenido la generosidad de ofrecernos las noticias, diseños y máquinas preciosas e inestimables que ha sabido sacar en los países más adelantados de Europa, para bien de su patria”.

* Carta de D. Agustín de Betancourt a sus padres, de París, a 10 de enero de 1789.

Entresacamos de la misma carta el párrafo siguiente, que ofrece una idea del aprecio de que gozaba Betancourt en los círculos científicos de París: “Voy a contar a Vm. una cosa que sé le ha de dar gusto.

Así transformado desde entonces en director de estudios de los jóvenes ingenieros, Betancourt llegó a imaginar una escuela para ellos sólo, concebida sobre el modelo de la Escuela francesa de Puentes y Calzadas, que había sido fundada en 1747, y con que él mismo mantenía tan estrechas relaciones.

Sin duda fue entonces cuando empezó a presentar al Gobierno de Madrid "varias memorias, y entre ellas algunas sobre los medios de fomentar el comercio interior, exponiendo los defectos que se cometían en la construcción de caminos y canales de España"*. Su crédito debía de ser muy grande en la Corte, ya que se le prestó oído una vez más. El nuevo ministro, don Manuel Godoy, que, a pesar de sus múltiples pecados, estaba bien intencionado en lo que se refiere a la enseñanza y a la protección de la cultura, adoptó los proyectos de Betancourt y obtuvo del rey Carlos IV la firma del decreto fundacional de la Escuela de Puentes y Caminos de Madrid, cuyo primer director fue el mismo don Agustín de Betancourt**.

La fecha de esta nueva fundación se ignora, por haberse perdido toda la parte antigua de sus archivos, y por no hallarse constancia del decreto de su creación, por razones que nos explicamos difícilmente. Incluso es posible que este decreto no haya sido firmado, como generalmente se viene afirmando, ya que la nueva Escuela tuvo que luchar durante largos años, para poder vivir, al ser combatida duramente por los directivos de los Reales Estudios de San Isidro, que se consideraban lesionados en sus pri-

Pocos días antes de salir para Londres, vino a hablarme uno de los inspectores de la Escuela de Puentes y Calzadas, de parte del Director general, primer ingeniero y maestros, para que les hiciese favor de ponerles el asunto o programa para el primer premio de este año. Yo acepté con mucho gusto la comisión, les puse uno sobre el modo de hacer los diques para construir las embarcaciones mercantes, y han quedado tan gustosos con él, que no le han mudado una letra".

* *Noticias biográficas*, en "Revista peninsular", II (1857), pág. 345.

** Cf. *Reseña histórica de la Escuela especial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, desde su creación hasta 1873*, Madrid 1873, folio de 45 pág.; EDUARDO ECHEGARAY. *El arte del ingeniero y el cultivo de las matemáticas en España*, en *La España del siglo XIX*, Madrid 1886, vol. II, pág. 197-98; CARLOS ORDUÑA. *Memorias de la Escuela de Caminos*, Madrid 1925, pág. 14-17; S. PADRON ACOSTA. *El ingeniero A. de Béthencourt*, pág. 41-4; PEDRO GARCIA ORMAECHEA Y CASANOVAS, *Betancourt en el calendario para 1808*, Madrid (1961), separata de "Revista de Obras Públicas", 1961, pág. 737-42, 826-31 y 904-9.

vilegios e intereses*. Aunque se considere en general que la Escuela de Ingenieros de Puentes y Caminos fue fundada hacia 1797, parece cierto que no empezó a funcionar hasta 1802, cuando abrió sus puertas a la primera serie de sus alumnos**. Es posible que su funcionamiento haya sido acordado tácitamente, sin decreto o privilegio especiales, por contemplación a los temores manifestados por los demás Reales Estudios; ya que en la *Guía de Forasteros*, anuario oficial del Reino, ni consta la existencia de una Escuela de Puentes y Caminos, que sin embargo sabemos que funcionaba, ni se da a Betancourt el título de director de la misma, entre sus demás títulos de que se hace mención.

* MARIANO SANTISTEBAN. *Breve historia de los gabinetes de Física y Química del Instituto de San Isidro*, Madrid 1875, pág. 23-4, refleja con suficiente fidelidad el punto de vista de los Reales Estudios, cuando escribe que "las ciencias naturales y su enseñanza, así como las cosmográficas y astronómicas, y las escuelas mecánicas de Artes y de Ingenieros civiles, de Lanz y Betancourt, pretendieron y consiguieron, bajo los auspicios, de don Manuel Godoy, constituir centros de enseñanza independientes, aislados unos de otros y formando establecimientos que, muchas veces amenazados de ruina arrollándose en ocasiones celos apasionados entre unos y otros, y por ello dando colorido de desorden y poca meditación al carácter histórico por que pasarán ciertos establecimientos científicos de Madrid, desde 1800 a 1808".

** *Reseña histórica de la Escuela*, pág. 4, donde se indica que, aunque fundada "a fines del siglo anterior", sólo "en noviembre de 1802 principiaron los estudios en la Escuela". Cf. MARIANO SANTISTEBAN, *Breve historia*, pág. 24, donde se menciona entre los primeros alumnos a Antonio Gutiérrez, quien "trató de aplicar sus estudios a la carrera del ingeniero, para lo cual, inmediatamente que se estableció la Escuela de Ingenieros de Caminos y Canales, hacia el año de 1802, bajo la dirección de don Agustín de Betancourt, entró en ella, y, aunque procedía de la de San Isidro, se hizo el discípulo más aventajado en mecánica de don José Lanz".

En el primer año hubo once aspirantes, de los cuales aprobaron siete y cursaron normalmente sólo cinco, pero con tal emulación, que permanecían en la Escuela ocho horas diarias, en lugar de las tres de asistencia obligatoria. "Todo ello", dice la *Reseña histórica de la Escuela*, pág. 4, "consta en el informe dado al Excmo Sr. D. Pedro Ceballos, por el mismo Betancourt, en 28 de abril de 1803". Se habían previsto dos años de cursos. En el primero se explicaban mecánica, hidráulica, geometría descriptiva, cálculo del empuje de la tierra y de las bóvedas, estereotomía y dibujo; en el segundo, materiales, construcción de máquinas, puentes, obras de canalización, diques, caminos, canales, con tres meses de práctica en el verano. La Escuela se suprimió durante los años de 1814 a 1820, al mismo tiempo que la Dirección de Ingenieros civiles.

Para la intervención de D. Manuel Gody en esta fundación, cf. J. PEREZ DE GUZMAN. *El protectorado del Príncipe de la Paz a las ciencias y a las letras*, en "España moderna", CIC (1905), pág. 142-3.

La escuela vivió pocos años, probablemente hasta 1807, fecha de la salida definitiva de Betancourt de España.

Durante su estancia en Madrid, de 1791 a 1797, parece que don Agustín de Betancourt había fundado de su propio caudal una fábrica de tela de algodón en la ciudad de Avila. Carecemos de noticias sobre esta empresa, como también sobre su liquidación, cuando la salida de su dueño de España. Sólo conocemos su existencia por una nota en que se indica que en aquella fábrica se empleaba, en 1801, una goma recientemente inventada por un técnico inglés, a base de yeso y de goma animal*.

Por aquel entonces se hablaba también de un destino para él en Indias, donde se le pensaba emplear en la construcción de carreteras. En efecto, el ministro francés Bourgoing, que le había conocido y parece haberlo apreciado altamente, habla en su descripción de España de "Agustín de Betancourt, uno de los mecánicos más hábiles de Europa, reconocido como tal por los sabios de Francia y de Inglaterra, quien, para decir la verdad, no es ni despreciado ni olvidado, pero que no tiene dónde ser empleado en España, donde todas las máquinas necesarias en las artes y los oficios son hasta ahora tan rudimentarias; de modo que se le envía a construir carreteras y caminos en la isla de Cuba**". Pero el mismo autor señalaba después que este proyecto había sido abandonado y que se le habían encontrado otros empleos. Quizá no sea fuera de lugar hacer resaltar aquí la atinada observación del diplomático francés: en ningún momento de su carrera, Betancourt no fué ignorado o mal quisto por la Corte, que, al contrario, lo favoreció y accedió a todo cuanto se le pedía por su parte. No es, por consiguiente, una incomprensión de los gobernantes, sino que las difíciles circunstancias históricas que entonces atravesaba España, tiene la culpa de haberse malogrado la mayor parte de la obra de Betancourt, tanto en el terreno de los adelantos técnicos como en el de la organización.

Uno de los nuevos empleos que se le dio fue, en 1797, el encargo de pasar a Londres, para mandar fabricar y traer de allí las máquinas de vapor con que se pensaba desaguar las minas de América, probablemente las de Potosí, que habían sido abandona-

* *Composición de un aderezo y goma para las fábricas de telas pintadas*, en "Semanario de Agricultura y Artes", IX (1801), pág. 296.

** JEAN-FRANCOIS DE BOURGOING. *Tableau de l'Espagne moderne*, tercera edición, París 1803, vol. III, pág. 321-22.

das en gran parte, por no disponerse allí de los medios necesarios para sacar el agua que invadía sus galerías. Llegó a Londres, pero, mientras esperaba la ejecución de sus encargos, le pareció posible dedicarse, como otras veces lo había hecho, a la observación de los últimos adelantos técnicos puestos en práctica por la industria inglesa. Probablemente algún técnico lo habrá sorprendido dibujando alguna máquina nueva o curiosa para su Gabinete; y como los ingleses no habían olvidado la memoria de 1790, que había revelado a todo el mundo científico los inventos de Watt, tan celosamente reservados, temieron que otra vez algún invento iba a escapárseles de las manos y a tomar el camino del extranjero. Betancourt fue detenido, se le hizo un escrupuloso examen de sus papeles, y él mismo fue conducido hasta Lisboa, donde lo desembarcaron. Al comunicar a la Corte lo ocurrido, recibió la orden, ya antes de salir de Lisboa, de trasladarse a París, para encargarse allí la maquinaria que antes se pensaba comprar en Londres*.

En París permaneció de 1797 a 1798, entreteniéndose principalmente en la defensa bastante ruidosa de su sistema de telegrafía óptica, de que más adelante se hará mérito. En 1798 volvió a España, donde se le encargó casi en seguida la construcción de la línea de telegrafía óptica de Madrid a Cádiz. Entonces fue cuando organizó el cuerpo de ingenieros de Puentes y Calzadas**, probablemente al mismo tiempo en que ponía las bases de la Escuela de la misma especialidad. Creada en 1799 la Inspección general de Puentes y Calzadas, cuyo primer inspector fue el conde de Guzmán, Betancourt le siguió en el mismo cargo, en el año siguiente de 1800***; y en el mismo año fue nombrado miembro del Consejo de Hacienda, pasando en 1803 a Intendente de Ejército y Director general de Correos****.

* "Journal des Voies de Communication", I (1826), pág. 40.

** *Ibidem*, pág. 40.

*** EDUARDO ECHEGARAY. *El arte del ingeniero*, en *La España del siglo XIX*, Madrid 1886, vol. II, pág. 197.

**** "Journal des Voies de Communication", I (1826), pág. 40. En esta última calidad, dice BOURGOINE. *Tableau de l'Espagne*, vol. III, pág. 322, hizo edificar o arreglar en un tiempo muy corto no menos de 141 puentes, en las dos carreteras que iban de Madrid a Barcelona, por Zaragoza y por Valencia, en vista de un viaje de los Reyes a Barcelona.

Añadiremos aquí que en 1799 D. Agustín de Betancourt fue objeto de una distinción del rey de España, que debió de ser bastante carac-

Sus actividades de 1800 a 1807 son menos conocidas. Según parece, las circunstancias políticas le impidieron desarrollar todos sus proyectos; y cuando éstos llegaron a realizarse, como en el caso ya mencionado de la Escuela de Fuentes y Caminos, fue sólo un éxito mediano y transitorio, que no representaba ninguna garantía para el porvenir. Esta imposibilidad de construir sobre terreno firme parece haber desanimado poco a poco a Betancourt, quien acabó con desterrarse voluntariamente. Es evidente, además, que la verdadera vida científica de nuestro ingeniero tuvo por principal escenario París; de modo que es natural que haya pensado ir a establecerse definitivamente allí*.

Durante el verano de 1807 pidió permiso a la Corte para abandonar España, y lo consiguió inmediatamente. En París trató de buscar una posición estable, desde el punto de vista material, con ofrecer al Gobierno francés, a cambio de una importante indem-

terizada, para llamar la atención de la prensa extranjera. En efecto, un informe de policía sobre los periódicos publicados en París el día 26 de enero de 1799, dice que "la conducta del Rey de España para con el sabio Betancourt, que está referida en los periódicos, se titula en el *Courrier du Corps législatif* como sigue: Rasgo de bondad del Rey de España" (A. AULARD, *Paris pendant la réaction thermidorienne et sous le Directoire*, vol. V, París 1902, pág. 341). Desgraciadamente, el diario que aquí se cita sólo se conserva en colecciones incompletas, en que falta el número de aquel día; y en los demás diarios de París que hemos podido consultar, no hemos hallado mención de este rasgo de bondad, que desconocemos.

* En carta escrita desde San Petersburgo a su hermano, en 15 de septiembre de 1814, explica don Agustín de este modo los motivos de su destierro voluntario: "Desde que observé la enemistad que reinaba en España entre el Príncipe de Asturias (Rey Fernando VII) y Godoy, supuse que debía haber una revolución en España, y que en tal caso era necesario, para no perecer con mi familia, buscar un asilo en un reino extranjero en que ponerla a salvo; y me pareció que la Rusia debía ser el más a propósito. Fui observando la tempestad, y luego que Napoleón pidió tropas a España y le dieron las que condujo el Marqués de La Romana, me pareció que ya era tiempo de salir de allí; y como en aquel tiempo se alejaba de la Corte todo individuo que gozaba de una cierta consideración, se me concedió licencia para viajar, al instante que la pedí. Dejé mi familia en París y vine aquí como dicen, a tantear el vado; y fui perfectamente recibido del Emperador, que me hizo por tercera mano proposiciones muy ventajosas, si quería entrar a servirle. Sin embargo, nada admití, y, tomando el pretexto de querer consultar con mi familia, volví a París. Allí supe a mi llegada la abdicación de la corona de Carlos IV y la venida a Bayona de Fernando VII. Luego que se formó la famosa junta en que despojaron a éste de la corona, no queriendo verme expuesto a servir al Rey intruso, tomé el partido de venirme aquí con mi familia, compuesta de mi mujer, tres hijos y un chico".

nización, una draga movida por una máquina de vapor, que debía servir para la limpieza del puerto de Venecia. Mientras se decidía en las oficinas del Imperio sobre la oportunidad de aquella proposición, salió para Rusia, en enero de 1808, para “tantear el vado” y buscar allí una mejor colocación. En San Petersburgo se entrevistó con el conde de Rumjantzoff, ministro del Emperador Alejandro I para el ramo del comercio y, por consiguiente, de la industria también. Le ofreció sus servicios, a cambio de un salario de 35.000 rublos por año. El ministro sólo pudo ofrecerle 20.000 rublos, cuya proposición no parece haberle convencido inmediatamente.*. Reservó, pues, su contestación definitiva, probablemente hasta ver qué resultado iban a tener sus gestiones con el gobierno francés; y para ello volvió a París, donde le esperaba su familia, en abril de 1808.

Al comprobar que habían fracasado sus proyectos de colaboración con el gobierno de Napoleón, Betancourt llevó a su familia y fue a establecer definitivamente su residencia en San Petersburgo. Fue admitido inmediatamente en el servicio del Zar,

* Cf. el informe diplomático francés, enviado desde San Petersburgo, en 2 de abril de 1808 (Gran Duque NICOLAS MIKHAILOWITCH. *Les relations diplomatiques de la Russie et de la France, 1808-1812*, vol. II, pág. 33-34): “On parle hautement dans la société du démembrement de l’Espagne. Cette opinion a surtout été accréditée par M. de Bétancourt, ingénieur-mécanicien espagnol, qui se rend en France et à qui j’ai donné un passeport sur la demande formelle de son ministre. Sa femme est à Paris. Je sais qu’il a parlé dans ce sens au comte de Romantzoff lui-même, dans une audience qu’il lui a donnée comme ministre du Commerce. Cet ingénieur voulait se fixer ici: il demandait 35.000 roubles par an, on n’a voulu lui en donner que 20.000: il est en conséquence parti. Il présentait le démembrement certain de sa patrie comme le motif lui faisant désirer un autre établissement”.

Al fin y al cabo, el sueldo que obtuvo Betancourt en Rusia fue de 25.000 rublos o sea, al cambio, unos 200.000 reales vellón: como director del Gabinete de Máquinas cobraba un sueldo de 24.000 reales y un sobresueldo de 20.000. Sin embargo, se debe tener en cuenta la rápida desvaloración de la moneda rusa, que en pocos años llegó a representar la mitad de su valor nominal.

Se debe tener en cuenta que por los mismos años su amigo y colaborador Bréguet había fundado en Rusia una sucursal de su casa. Béthencourt pudo haber intervenido en algún modo en estos negocios, o por lo menos haber pensado en ellos como en una seguridad para su estancia en Rusia, ya que lo vemos favorecer y ayudar al representante de Bréguet, un tal Moreau; cf. CL. BRÉGUET. *Abr. Bréguet et sa maison de Russie, documents inédits (1807-1811)*, en “Revue de l’Institut Napoléon”, 1955, núm. 55, pág. 81-88. Cf. una interpretación diferente en el artículo de A. RUMBU DE ARMAS. *El ingeniero tinerfeño Agustín de Béthencourt y el zar Alejandro de Rusia*, en “El Día”, 4 de abril 1959.

el 30 de noviembre de 1808 con el grado de general mayor, y en 30 de agosto de 1809 fue ascendido a teniente general*. Hubo de trabajar a las órdenes del príncipe Jorge de Oldemburg, cuñado del Zar, que había sido nombrado director general de Puentes y Calzadas del imperio ruso, por decreto imperial del 18 de abril de 1809**. Se le agregaron dos de los cuatro ingenieros franceses que en aquel tiempo habían pasado al servicio de Rusia; y por el año de 1810, organizó, con su colaboración, una Escuela de Puentes y Calzadas, la segunda que fundaba*** y que, con más suerte que la de Madrid, ha funcionado desde entonces sin ninguna interrupción.

Sus actividades en Rusia fueron tan desbordantes como lo habían sido hasta entonces. "La fábrica de armas de Tula fue reorganizada y provista de nuevas máquinas, entre otras de la máquina empleada para barreñar los cañones. Una fundición de cañones, proyectada por él en la ciudad de Kasan, fue edificada bajo su dirección, por el coronel de artillería Zujeff. La manufactura imperial de Alexandrowski recibió varias mejoras, tanto por medio de la introducción de diversas máquinas, como por el perfeccionamiento de las que ya poseía. El puerto de Kronstadt, que se enarenaba gradualmente y ocasionaba inquietud para el porvenir, fue provisto, gracias a sus cuidados y a su genio, con una draga inmensa, notable tanto por la precisión de sus movimientos, como por la intensidad de la fuerza que desarrollaba"****.

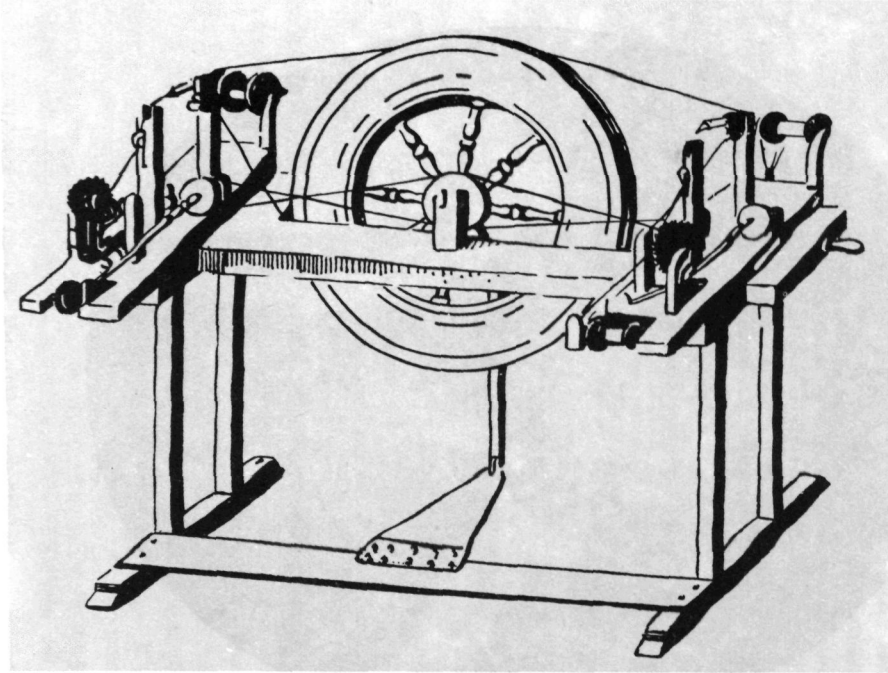
En 1818 se le confió la construcción del gran mercado de Nijni Novgorod, cuyos trabajos debían durar varios años. "Hacia el mismo tiempo se estableció, a base de su experiencia y de sus

* "Gazette nationale" de París, 16 de octubre de 1809, fol. 1145. Cf. A. RUIZ ALVAREZ. *En torno al ingeniero canario don Agustín de Béthencourt y Molina*, en "El Museo Canario" XXII-XXIII (1961-62), pág. 139-47.

** Gran Duque NICOLAS MIKHAILOWITCH. *Correspondance de l'Empereur Alexandre I-er avec sa soeur la Grande Duchesse Catherine*, San Petersburgo 1910, pág. XXII-XXV. El príncipe de Oldemburg vivía con su esposa en la ciudad de Twer; y las obligaciones de su servicio llevaron alguna vez a Betancourt a esta ciudad. En efecto, en su carta de San Petersburgo, en 31 de marzo de 1810, el Czar Alejandro I da las gracias a su hermana, por la carta que ésta le había remitido por Betancourt (*Ibidem*, pág. 32).

*** NICOLAS MIKHAILOWITCH. *Les relations diplomatiques de la Russie et de la France*, vol. V, pág., 136 (informe del embajador de Francia en San Petersburgo, del 19 de septiembre de 1810).

**** "Journal des Voies de Communication", I (1826), pág. 41.



2. Máquina para hilar seda (1778)



Gaspard-Clair-François Riche, baron de Prony

principios, la institución de los Ingenieros de las Vías de comunicación, de que fue nombrado inspector. Sus desvelos y sus conocimientos contribuyeron a la formación de más de cien ingenieros, la mayor parte de los cuales se halla actualmente en la cabeza de los grandes trabajos que se están ejecutando en varios puntos del imperio.

“El deseo de dar al mismo tiempo más elegancia y más solidez a los edificios públicos y particulares de la capital, aconsejó a Su Majestad el Emperador la creación de una Junta especial de construcciones: el general de Betancourt fue nombrado su presidente, y ejerció constantemente este cargo con el celo y la asiduidad que le distinguían.

“A base de sus planos y bajo su dirección inmediata se levantó el inmenso edificio destinado a la fabricación del papel moneda y de otros papeles de banco; una gran parte de las máquinas que se hallan en su interior y de los procedimientos observados en la manipulación, son igualmente su obra y resultado de sus invenciones”*.

En 1819, cuando aún no había terminado la construcción de Nijni Novgorod, fue nombrado Director general de Puentes y Calzadas, en un cargo que, como acabamos de verlo, antes había ejercido el propio cuñado del Czar. Parece que, al proponérsele por el Emperador este nuevo empleo, “suplicó durante mucho tiempo a Su Majestad se dignase buscar otra persona para este cargo, ya que preveía que las nuevas e imperiosas obligaciones con que iba a cargar, juntas con las que ya tenía, le impondrían grandes sacrificios, y no le permitirían más satisfacer su afición al estudio y a la composición. Sin embargo, durante los cuatro años en que ejerció este cargo eminente, todas las empresas realizadas bajo sus órdenes llevan la marca de sus talentos distinguidos, y proporcionan una prueba más de sus profundos conocimientos y de su incansable actividad”**. Además, dándole una nueva prueba de su confianza y de su aprecio, el Czar tuvo en cuenta que su nuevo Director General ignoraba la lengua rusa y admitió que toda la correspondencia oficial del ramo se hiciese en ruso y en francés***.

* *Ibidem*, pág. 42-43.

** *Ibidem*, pág. 44.

*** K. WALISZEWSKI. *Le règne d'Alexandre I*, París 1924, vol. II, pág. 474.

Terminada la feria de Nijni Novgorod, Betancourt pasó en seguida a Astrakan, y de allí a Crimea, en un viaje de inspección, no sin hacer primero un largo rodeo por Tiflis, en Caucasia, para responder a la invitación que le había sido cursada por el general Yermoloff, comandante jefe de las tropas del Cáucaso. Allí es donde lo encuentra el refugiado español Van Halen, a quien el Director general había dispensado ya varios favores en San Petersburgo, hasta el punto de verse Van Halen admitido al servicio del Czar, "para agradar al general Betancourt, a quien favorecía particularmente"*.

Con Van Halen hizo Betancourt una parte del viaje, en su coche; y así es, gracias a los recuerdos del prófugo, como lo vemos viajar por los interminables caminos de Rusia, con el cuaderno de dibujo a la mano, tomando planos y esbozando proyectos, meditando sobre trabajos públicos o simplemente útiles, cerrando los ojos al paso de un río para ver con la imaginación un hermoso puente o una nueva planta industrial, atravesando la campiña de Georgia, que le arranca una exclamación involuntaria y característica: "¡Qué hermosa Andalucía!"**.

Al fin de su vida, Betancourt "fue sobrecogido por una enfermedad aguda, consecuencia de sus largos y penosos trabajos. Más de un año luchó contra los dolores, y sucumbió el 14 de julio de 1824, en medio de una familia desesperada que lo adoraba, rodeado de amigos que lloraban su pérdida, llevándose el recuerdo de todos cuantos se habían formado una idea exacta de sus cualidades personales y de sus talentos distinguidos"***. Poco días antes, cuando su fin era ya inminente, el Emperador le escribió una carta autógrafa, para asegurarle de toda su simpatía y "al mismo tiempo que le dirigía las expresiones de bondad propias a sostenerle en medio de sus sufrimientos, lo tranquilizaba con respecto a la suerte futura de su esposa y de sus hijos"****.

Con motivo de su fallecimiento, el duque de Wurtemberg, que le había seguido en el cargo de Director general de Puentes y Calzadas, publicó la siguiente orden del día: "El cuerpo de las Vías

* JUAN VAN HALEN. *Mémoires. Seconde partie*, París 1827; pág. 66.

** *Ibidem*, pág. 341-42.

*** "Journal des Voies de Communication", I (1826), pág. 48.

**** *Ibidem*, pág. 48. Retirado en 28 de agosto de 1822, este retiro parece justificado por algunas irregularidades en la administración del servicio de Puertos y Calzadas. No resulta que se hayan formulado cargos personales en contra de Béthencourt, y lo cierto es que el Czar le conservó siempre su amistad y su confianza.

de comunicación ha perdido con el Sr. de Betancourt un general distinguido, tanto por sus vastos y profundos conocimientos, como por los raros méritos que lo hacían tan útil en los diferentes ramos de esta especialidad. Esta pérdida será sentida hondamente por todos los oficiales del cuerpo, y muy particularmente por los que se han formado bajo su dirección en la Escuela de Ingenieros”*.

Don Agustín de Betancourt y Molina fue miembro de honor de la Academia de Bellas Artes de San Fernando, a partir del 1 de febrero de 1784; miembro de honor de la Real Sociedad Económica Asturiana de Amigos del País de Oviedo, en fecha indeterminada, pero anterior a 1800; correspondiente del Instituto Nacional de Francia, clase de las Ciencias, en la sección de Mecánica, nombrado en la sesión del 5 de diciembre de 1812**; miembro correspondiente de la Academia de las Ciencias de Múnchen; caballero de la orden de Santiago, con pruebas en Madrid, por enero de 1792***; y caballero de la orden imperial rusa de San Alejandro Newski.

* “Moniteur Universel” de París, 18 de agosto de 1824. Sobre sus funerales, cf. el mismo periódico, del 23 de agosto.

** *Institut de France Index biographique des membres et correspondants de l'Académie des Sciences, de 1666 à 1939*, París 1939, pág. 40. Los demás datos de esta publicación están equivocados, ya que se indica como fecha de su fallecimiento el 26 de julio de 1842, y se pone su nacimiento en 1760 (en cuyo detalle se repite el error de J. C. POGGENDORFF, *Biographisch-literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exacten Wissenschaften*, vol. I, Leipzig 1863, vol. 178-9). Cf. también los artículos de ALLOUVILLE y WEISS, en MICHAUD, *Biographie universelle*, vol. IV, pág. 221-2; y de LEON SAGNET, en *La Grande Encyclopédie*, vol. V, pág. 521.

*** S. PADRON ACOSTA. *El ingeniero A. de Béthencourt*, pág. 21-3.

II

LAS MINAS

El primer trabajo original de D. Agustín de Betancourt es una serie de tres memorias manuscritas sobre las minas de Almadén, dirigidas, como antes quedó indicado, al ministro conde de Floridablanca. Aunque estas memorias permanezcan todavía inéditas, se conocen desde hace mucho tiempo, y han sido utilizadas, en primer lugar, en la obra ya clásica de Maffei y Rua Figueroa*, y posteriormente en la también clásica *Bio-bibliografía de escritores canarios*, de Agustín Millares Carlo**. Sin embargo, no se puede decir que su contenido sea conocido, ni que haya sido aprovechado por los biógrafos de Betancourt, ya que la obra de Millares Carlo es meramente descriptiva y se limita a indicar las exactas referencias bibliográficas de los tres manuscritos, mientras que, por su parte, la de Maffei y Rua no ha sido utilizada sino escasa e indirectamente por los historiadores canarios.

En realidad, no se trata de una obra verdaderamente científica. No se debe olvidar que, en ella, la pluma de Betancourt es aún la de un principiante, y que su viaje a Almadén obedecía más bien al deseo de aprender, que al de enseñar. La finalidad del autor es en primer lugar descriptiva; el joven ingeniero trata de imponerse de los métodos de trabajo aplicados en las minas y de la necesidad que los había inspirado; y sólo de modo accidental señala las deficiencias o propone mejoras. Así y todo, su relación, preci-

* EUGENIO MAFFEI Y RAMON RUA FIGUEROA. *Apuntes para una biblioteca española de libros relativos al conocimiento de las riquezas minerales*, Madrid 1871, pág. 80-84.

** AGUSTIN MILLARES CARLO. *Ensayo de una bio-bibliografía de escritores naturales de las Islas Canarias*, Madrid 1932, pág. 125-26.

sa en todas sus partes, curiosa y pintoresca a menudo, deja adivinar al mismo tiempo las vacilaciones del novato y la seguridad de tono de un técnico que conoce perfectamente su tema, y que sabe observar y juzgar cada detalle y cada posibilidad del objeto examinado. Además, las memorias en su totalidad son una prueba de su interés para el estudio y el trabajo científico, ya que, según parece; nada lo obligaba a escribirlas: su viaje a las minas no tenía ningún objeto determinado, más que el de su formación e instrucción personal, y no formaba lo que hoy llamaríamos una misión, con sus cargos y obligaciones, sino una especie de beca.

Por lo menos así resulta de su "*Primera memoria*"*, en que se dirige al conde de Floridablanca, para explicarle que había considerado como un deber, corresponder a la confianza y a la generosidad del gobierno, por medio de estas memorias, en que se trata del trabajo en las minas: "Mandóme V. E. pasar a las minas del Almadén, para que le instruyese de los varios trabajos y operaciones que hay en ellas; y creí de mi obligación aprovechar el tiempo que permaneciese allí, dedicándome a examinar algunos de los ramos más principales de aquellas minas y los métodos que en ellas se observan. Con este objeto, las frecuenté y recorrí varias veces. Examiné, y apunté lo que juzgué más preciso, y formé planos, perfiles y vistas de lo que me pareció más útil e instructivo".

Añade que al principio había pensado formar de todas estas observaciones un sólo cuerpo, o sea una obra seguida; pero abandonó este proyecto, al darse cuenta que de este modo habría atrasado demasiado esta presentación de los resultados de sus experiencias; y consideró preferible dividir su trabajo en tres memorias distintas, para poderlas entregar con mayor rapidez y así "manifestar a V. E. que he procurado no hacer un viaje inútil". Se defiende también de la posible sospecha, de que quiere erigirse en reformador y pretender que tiene soluciones para todo: "He hecho los reconocimientos sin espíritu reformador ni de proyectista, porque no tenía misión para lo primero, ni lo segundo es de mi genio; y si toco algunas cosas que me han parecido dignas de remedio, suplico a V. E. las reciba con su acostumbrada benigni-

* *Primera memoria, sobre las aguas existentes en las Reales Minas del Almadén, en el mes de julio de 1783, y sobre las máquinas y demás concerniente a su extracción.* Biblioteca Nacional de Madrid, Ms. 10427.

dad, como efecto de un celo que sólo aspira al mejor servicio del Rey, y hacerse digno de la protección de V. E.”

Entrando después en la materia de su primera memoria, que concierne las aguas de las minas y su extracción, indica rápidamente el interés de este problema, uno de los más importantes y de los más difíciles de resolver en la explotación de los yacimientos subterráneos. Después, para mayor claridad, reseña una serie de voces usuales en la minería, de que se servirá a continuación y las explica no sólo por medio de definiciones, sino también con dibujos, cuyo conjunto forma una curiosa ilustración del material minero a fines del siglo XVIII.

A continuación, la memoria se subdivide en párrafos o, según los llama él mismo, en artículos; el primero de estos párrafos trata *De los parajes de la mina del Almadén en que hay agua. Número de bombas y zacas con que se extrahe; cantidad que sacan, gente que se emplea y jornales que devengan.* Es un capítulo de interés más bien descriptivo, sumamente detallado, que pasa revista a todas las galerías de las minas, con indicación de las aguas que se encuentran en cada una, de las bombas empleadas en su extracción, del tiempo invertido en esta operación y, en resumidas cuentas, de los gastos ocasionados con este motivo.

El segundo artículo trata *De las bombas que hay en la mina y de su construcción;* en él se declara desde el principio el gran interés con que el joven ingeniero ha examinado las bombas y observado su funcionamiento, “así por la grande utilidad de estas máquinas para extraher el agua, como por la aplicación con que he procurado instruirme en este ramo”. Protesta una vez más que “mis observaciones de ningún modo se dirigen a hacer proyectos, ni tampoco a fiscalizar a nadie, siendo solamente una relación ingenua de lo que he visto y del concepto que he formado”. Pero, desde luego, este concepto no es nada bueno. La utilización y, antes que ella, la misma fabricación de las bombas le parecen verificarse en tales condiciones de impericia y de ignorancia, que sería difícil esperar mejores resultados, mientras dure este estado de cosas:

“En mi dictamen, quizá no hay ramo en las minas que se ignore más enteramente que el de las bombas, siendo así que de ellas depende en gran parte el adelantamiento de los trabajos y el ahorro de gran número de los jornales. Las bombas no se pueden construir con utilidad, sino por personas que conozcan las le-

yes de la mecánica y las de los fluidos, en la atracción, repulsión, etc., sin que de lo contrario pueda jamás ser suficiente una rutina o una práctica desnuda de principios; pues a cada instante se ofrecerán, como efectivamente se ofrecen, accidentes en las bombas, que estarían remediados con gran facilidad, si el que las hace o compone conociese en lo que consiste el defecto, cuando se nota; y por falta de estos conocimientos, o salen malas las bombas, o no se saben remediar los defectos, se causan gastos escusados, y hay en los trabajos pausas perjudiciales y costosas, todo en daño del Real Erario, sin contar lo que padecen y se maltratan los bomberos, cuando las bombas o las máquinas con que se mueven no están bien arregladas y combinadas.

“Pero ¿cómo sabrán evitar éstos y otros inconvenientes los constructores de bombas que hay en el Almadén, siendo unos hombres que, habiendo empezado por destajeros y ocupados en dar por mera práctica unos barrenos en la piedra, pasan a entibadores o carpinteros de grueso (que son los que hay para la enmaderación de las minas); de allí a compositores de bombas, y rematan por ser maestros de ellas, pasando al taller a barrenar palos, hacer morteros y émbolos, ignorando en qué consiste que suba el agua, la proporción que debe haber entre el diámetro del cilindro en que juega el émbolo y el del cañón que absorbe el agua, ni cuál es la mayor altura a que ésta puede subir por atracción? Por lo mismo, no me causó novedad lo que me respondió un maestro de bombas, y que fue que *las bombas eran unos duendes que sacaban agua cuando querían, y cuando no, no había diablos que las hiciesen ir adelante*”.

Resultado de todo ello es que hay en el torno de San Julián una bomba inútil y que nunca podrá funcionar, por haber sido colocada a demasiada altura, en relación con la superficie del agua que se debe extraer; en otro torno funcionan tres bombas, para una altura que sólo exigiría dos. En general, los maestros de bombas no se preocupan más de las mismas, después de fabricadas, y dejan a los entibadores el cuidado de su colocación: de donde resulta a menudo que su posición y su funcionamiento quedan defectuosos desde el primer momento. A todos estos defectos se añade el más grave de todos, el de una mala fabricación, en los mismos talleres de la mina, en donde los operarios carecen de preparación y de los útiles de precisión.

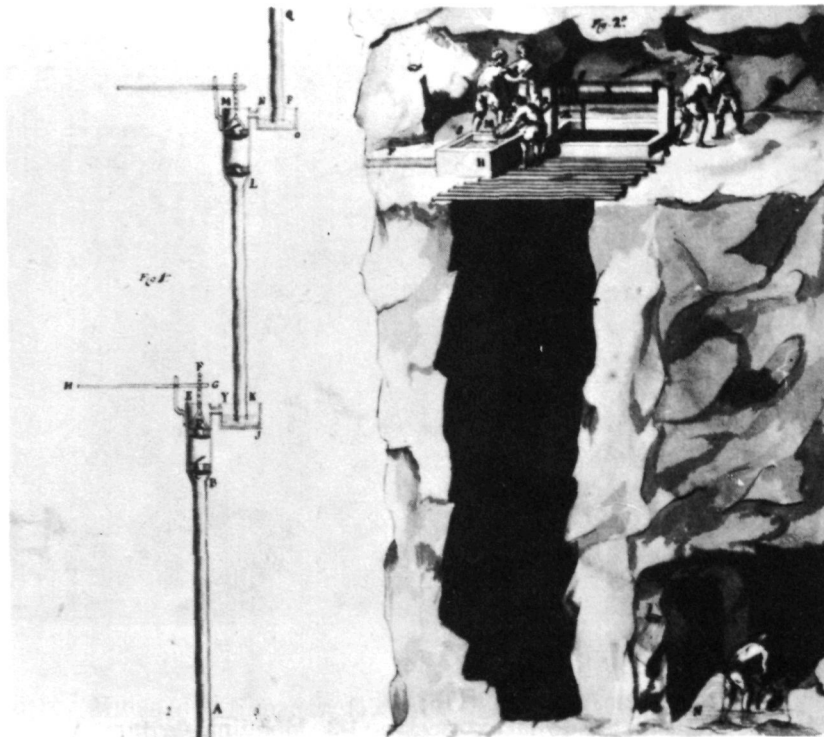
El tercer y último artículo trata *Del modo de extraer el agua de la mina con zacas*, cuyo procedimiento le parece al autor anti-económico, y sustituible en la mayor parte de los casos por el de las bombas de mano. Termina esta primera memoria por un cuadro sinóptico, titulado *Estado de las aguas de la Real Mina del Almadén*, con indicación de los parajes al interior de la mina, de las bombas o zacas que se utilizan para su extracción, de los jornaleros y de sus salarios, resumiendo los datos del primer artículo, a que ya nos hemos referido.

La *Segunda memoria* está dedicada al estudio de la maquinaria empleada en los trabajos de extracción del mineral*. Puntualizando al ministro a quien se dirige el objeto de sus observaciones, declara el autor que se propone examinar “los métodos empleados en aquellas minas, para conducir la piedra de metal hasta los tornos y subirla para ellos hasta los dos parajes por donde se extrahe, para llevarla a los hornos de fundición, como también la descripción de las máquinas que actualmente se usan para el mismo fin y para bajar las maderas, con expresión de sus ventajas y defectos”.

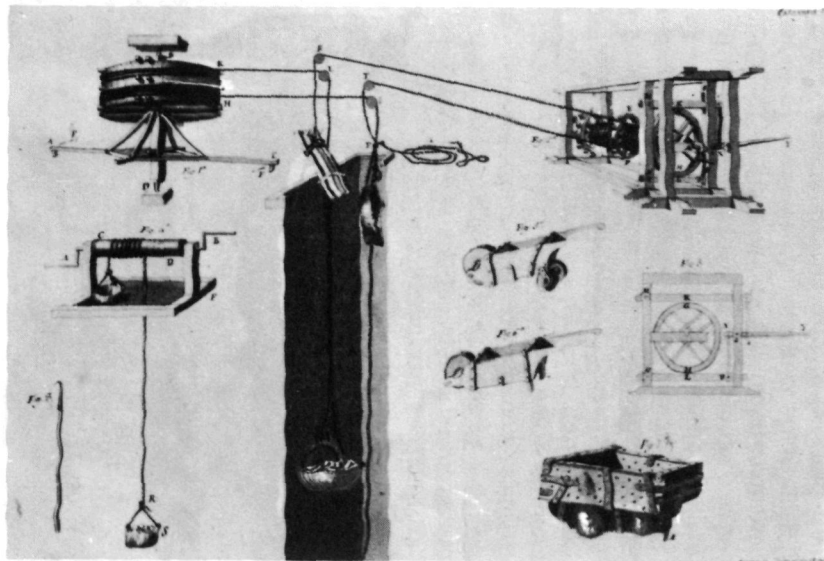
Empieza, como en la anterior memoria, con aclarar la significación especial de algunas voces empleadas por los técnicos de este ramo; y habla después, en un primer artículo o capítulo, *Del trecheo interior de la mina*, o sea, del acarreo de los minerales antes de su extracción a la superficie. Esta primera operación se hacía por aquel entonces con medios muy rudimentarios, que se describen en la memoria como sigue:

“Cuando se quiere conducir mineral de una parte a otra de la mina, se ponen tantos “trecheadores” cuantos se necesitan para ocupar la distancia que hay de donde está la piedra hasta el lugar a que se ha de llevar, poniéndose como de 15 a 20 pasos de distancia uno de otro. Si es china o zafra lo que trechea, un henchidor llena los quintales o esportones. El primer trecheador lleva un esportón al segundo, tomándolo por las dos asas y apoyándolo contra los muslos, al tiempo de caminar. El segundo lo lleva al tercero, y así prosiguen hasta el último, restituyéndose cada trecheador al lugar en que antes estaba, para tomar otro esportón. Finalmente se comprende, por el modo en que llevan la espuer-

* *Segunda memoria, sobre las máquinas que usan en las minas del Almadén, en que se expresan sus ventajas y defectos, y algunos medios de remediarlos.* Biblioteca Nacional de Madrid, Ms. 10428.

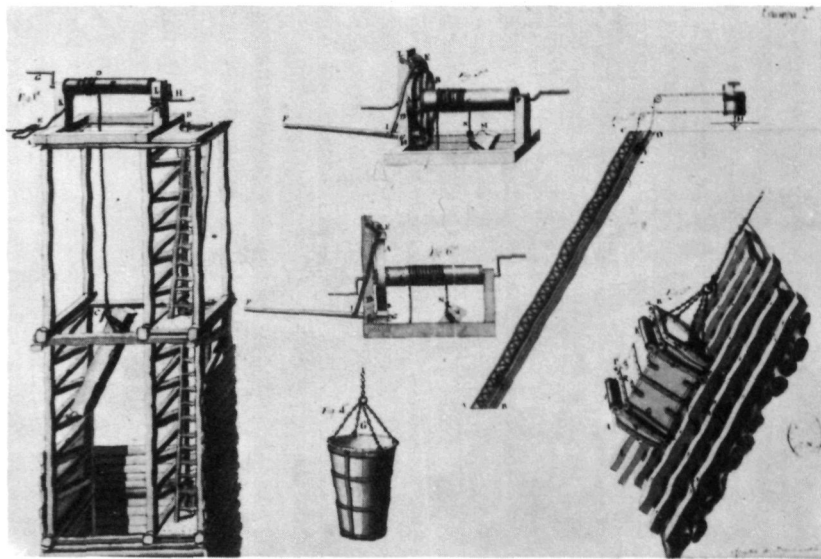


4. Minas del Almadén (1783):
1. Conjunto de tres bombas de extracción. 2. Ex-
tracción del agua con zacas



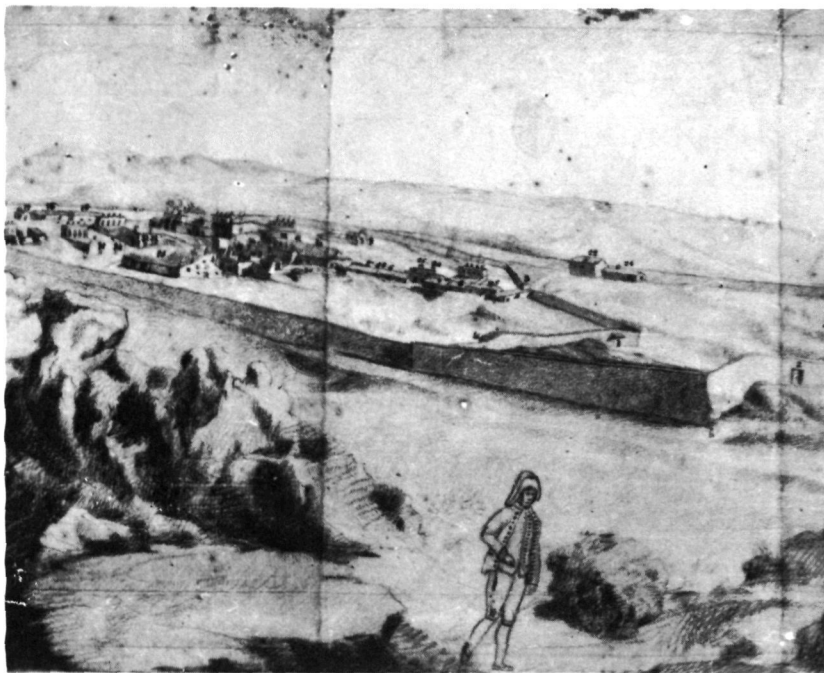
Minas del Almadén (1783):

Accesorios de la extracción. 1-3. Máquina de tambor. 4. Torno de doble cuerda. 5-6. Carros pequeños de transporte. 7. Carro blindado. 8. Engarabatador.



Minas del Almadén (1783):

1. Torno para bajar la madera.
2. Torno con plano inclinado.
3. Cuba con rodillos, para el plano inclinado.
4. Cuba.
- 5-6. Torno provisto con freno (perspectiva y corte vertical).



Minas del Almadén (1783):
Recinto de los hornos de fundición

ta, que el paso debe ser muy lento, porque el mismo peso arrimado a los muslos ha de retardar su movimiento; y también que la carga que pueden sustentar por largo tiempo los brazos ha de ser corta”.

Los inconvenientes de un procedimiento tan primitivo son evidentes. Sin embargo, Betancourt se ve obligado a aprobar su empleo en aquellos casos en que las dificultades del terreno impiden la aplicación de cualquier método diferente; pero para las galerías rectilíneas y mejor construídas y acondicionadas, propone el empleo de unos carros pequeños, “con los cuales se ahorraría mucho dinero al cabo del año, y habría más gente que ocupar en otros trabajos de la mina”.

El segundo artículo trata *Del modo con que se sube el mineral por tornos particulares*. El mineral trecheado desde su lugar de extracción, se sube después, en soleras, por medio de un torno movido a brazos. De allí se trechea otra vez, al pie de otro torno, que lo acerca más a la superficie y al lugar por donde el mineral sale de la mina. Precisamente, el tercer artículo habla *De la extracción del mineral fuera de la mina*.

Esta última extracción sólo se hace por dos pozos, llamados el torno de San Teodoro y el Socavón. El primero posee un torno puesto en movimiento por dos mulas. Aunque esta máquina no le parezca muy perfeccionada, el autor propone su extensión a otros pozos, ya que ahorra mucho trabajo y sustituye ventajosamente los brazos de los obreros. Pero al mismo tiempo, Betancourt indica ciertas mejoras posibles, entre ellas y quizá la más importante la sugerencia de doblar la cuerda que sube las soleras, con otra cuerda igual que baja mientras la otra sube, con el fin de hacer equilibrio al peso demasiado grande de la misma cuerda, y transformar así en trabajo útil la energía gastada inúltimente en subir su propio peso.

Con este motivo, añade el autor otra sugerencia, que bien podría ser, al fin y al cabo, su primera invención conocida: “Otro método hay (y sería muy conveniente por su sencillez, para cuando se construya de nuevo una máquina), en que, sin añadir nada a los cinteros, estaría siempre en equilibrio su peso, con grande ahorro de fuerzas, las cuales entonces trabajan solamente sobre el peso que levantan. Este método consiste en dos conos truncados, puestos uno sobre otro en un eje común, en los cuales se en vuelven los cinteros de tal modo, que la solera que está abajo con

todo el peso de la cuerda a que ha bajado asida, no hace mayor efecto en la palanca con que se mueve, que la solera y cuerda que empiezan a bajar, ni *vice versa*. Omito la explicación de esta máquina, porque sería difusa, y porque el principio en que se funda no es nuevo, ni tampoco su aplicación, que se advierte aún en los relojes de faldriquera; de suerte que cualquier mediano maquinista se hará cargo de ella”.

El artículo 4 trata *de la máquina de tambor que hay en la mina de Almadenejos*. La particularidad de esta instalación es que la carga, en lugar de subir verticalmente, va arrastrada por las cadenas, a lo largo de un plano inclinado, debido a la configuración especial de aquel pozo. Los inconvenientes de este procedimiento vienen de la circunstancia de engancharse y pararse a menudo la cuba que sube, debido a las desigualdades de los maderos que le sirven de cama; y en este caso es frecuente que llegue a romper las cadenas y a caerse, o bien que, con la tirantez, se rompa el tambor de la máquina.

“Todos estos defectos”, dice el autor, “pueden remediarse fácilmente, con un medio que me ocurrió en la mina y comuniqué al Director de ella, y también al gobernador de Almadén, el cual, hecho cargo de las ventajas que debían resultar y habiendo oído a los inteligentes, mandó se pudiese en práctica”. Consiste este nuevo invento de Betancourt, quizá el primero que se haya transformado en realidad práctica, en el empleo de unas cubas de forma prismática, provistos con rodillos: “de que se sigue”, dice, “que la cuba no puede engancharse en las desigualdades de los latones, porque los rodillos las superan sin ninguna dificultad; que tampoco puede encontrar, por la misma razón, obstáculo en el enmaderado con que están cubiertos los lados de los tornos, respecto de que todos los de la cuba tienen rodillos; que, no habiendo que vencer estas dificultades, ni teniendo que hacer particular esfuerzo las mulas, se deberán quitar las cadenas, pues bastarían los cinteros regulares; que, quitando el gran peso de la cadena, podrá y deberá subir más piedra en la cuba, trabajando el ganado aún menos de lo que trabaja en el día; que los tiros se harán con más brevedad y sin pausas ni intervalos; que podrán aplicarse a otras operaciones el entibador y dos peones que actualmente se ocupan en cada entrada en desenganchar la cuba y en reparar el piso; y que se ahorrarán 60 cubas que se regulan precisos en cada año y cuestan a doblón cada una”.

Sigue un quinto artículo, *De la extracción del mineral con carros en la mina de Almadén*. En él se hace la descripción de este pesado artefacto, que pesaba vacío el equivalente de unos 170 kilos y que, hecho de hierro y de madera, era tan difícil de empujar y de manejar, que sólo se podía exigir esta clase de trabajo, de los forzados.

El sexto capítulo, *De la máquina llamada prensa y modo de bajar la madera en la mina*, trata de los problemas e inconvenientes que acarrea el empleo del cabrestante por entonces en uso, para bajar a la mina la madera que debía servir para el enmaderamiento de las galerías. Su transporte no era nada fácil, debido a su peso, a la velocidad que iba en aumento a medida que bajaba la maroma, y al engancharse frecuentemente las vigas en las paredes de la mina, dando lugar a muchos accidentes. Para remediar estos inconvenientes, Betancourt proponía el empleo de otra invención suya. Esta consistía, como en la máquina anterior, en un torno con dos cigüeñas, al que se había añadido una palanca que servía de freno, para impedir que el desarrollo de la cuerda adquiriese demasiada velocidad. De este modo, dice el autor, se podrá utilizar la misma máquina para las dos operaciones, o sea la subida del mineral a la superficie y la bajada de la madera al fondo de la mina, que en la actualidad requieren el empleo de dos máquinas diferentes. Y añade:

“Habiendo hecho un modelo de esta máquina, llamé a los dos principales encargados de la entibación y les dije que me diesen su dictamen y pusiesen todas las objeciones que encontrasen, sin reparo alguno; y uno y otro convinieron en que sería utilísimo ponerla en los dos principales tornos por donde se baja la madera, pues se podría ahorrar mucha gente y trabajarían con más prontitud y seguridad, y sin tanta fatiga como les cuesta hoy”.

En fin, la *Tercera memoria* está dedicada a los trabajos de fundición del mineral y empieza, como en los casos anteriormente señalados, con un vocabulario explicativo de las palabras más usadas en este ramo de actividad*. La materia queda dividida en cinco artículos, de los cuales el primero trata *De los hornos, su invención y construcción*; en realidad, este párrafo es más bien una larga diatriba contra Guillermo Bowles, autor de una des-

* *Tercera memoria, sobre todas las operaciones que se hacen dentro del cerco en que están los hornos de fundición del Almadén*. Biblioteca Nacional de Madrid, Ms. 10429.

cripción muy inexacta de las minas. La crítica de Bowles toma pie de un detalle curioso de historia de las ciencias; y es que, según la opinión expresada por este autor, la invención de los hornos de fundición de los minerales se debe a Juan Alfonso de Bustamante; opinión que rebate y corrige Betancourt, al afirmar que su verdadero inventor fue “Lope Saavedra Barba, vecino de Grancavelica, quien dedicó este invento al Rey N. S., Don Felipe IV, en 14 de noviembre de 1633, por mano de D. Luis Jerónimo Fernández de Cabrera Bobadilla y Mendoza, cuarto conde de Chinchón, que a la sazón se hallaba de Virrey de Nueva España; y lo único que hizo Bustamante fue pasar a poner en ejecución dichos hornos, año de 1647”.

Se indica a continuación que, en el año de la visita del autor, funcionaban en Almadén 16 hornos, en edificios que contenían cada uno dos hornos. Se da después la descripción de los mismos, acompañándolos por sus planos, vistas y cortes; y se ofrece una idea sucinta de su funcionamiento y de sus inconvenientes, el más grave de ellos la pérdida del azogue por efectos de la evaporación. El artículo segundo versa sobre el *Modo de cargar los hornos, hacer la coadura y descargarlos*; y el siguiente, sobre el *Modo de sacar el azogue de los caños, llevarle al lavadero y conducirlo al almacén*, con una relación detallada del costo de cada hornada.

En el artículo IV se habla de ciertas *Observaciones que hice con el aire que contenían los hornos de fundición del Almadén*. El objeto de estas experiencias, o por lo menos el resultado a que llegó el observador, fue asegurarse de que al interior del horno se desarrollaban vapores o gases que no eran ni aire ni vapores de agua, y que él mismo clasificaba dentro de la categoría, tan poco conocida por aquel entonces, cuando apenas empezaba a ser puesta de moda, de los aires fijos. Con este nombre, el autor parece referirse a los vapores de mercurio, ya que la conclusión del estudio es que estos vapores “son tan perjudiciales a los infelices cargadores, que al cabo de dos o tres años enferman, tanto por el excesivo calor que sufren, como por las partículas que respiran; y raros son los que no empiezan a estar trémulos y a echar sangre por la boca; de suerte que sólo la codicia de ganar diez reales cada uno por cada horno que cargan y descargan en tres horas, pudiera hacerlos exponer a un trabajo tan peligroso para su salud”.

Para hacer frente a esta situación, el autor no ve más que un remedio posible, que es construir algunos hornos más, para dejar que cada horno siga destapado durante más tiempo, antes de descargarlos, evitándose de este modo el trabajar en medio de los vapores que despiden el horno en los primeros momentos, y que decrecen después hasta desaparecer completamente. La multiplicación de los hornos permitiría recuperar la pérdida de producción representada por este atraso en el ciclo de los trabajos: claro está que no se trata de una solución interesante desde el punto de vista económico; pero el autor no deja de aconsejarla, "siquiera por alivio de los infelices trabajadores".

El último capítulo describe el *Modo de empacar el azogue*, con el cálculo del costo de esta operación; con lo cual termina la última de las tres memorias, fechada en Madrid, a 15 de noviembre.

Si se tiene en cuenta la circunstancia de ser este trabajo, producto de la pluma de un aprendiz de ingeniero, que apenas tenía entonces 25 años y casi ninguna experiencia práctica de su profesión, no puede dejar de extrañar la precisión y la oportunidad de sus observaciones. Es opinión de los mejores conocedores en esta materia, que los tres manuscritos que acabamos de analizar no sólo constituyen "una interesante monografía de las minas de Almadén a fines del siglo XVIII", sino también que "todo es en aquellas páginas descrito con la precisión, el rigorismo y la lógica del hombre avanzado a la ciencia de los números"*.

Diremos más, ya que, más allá de las preocupaciones naturales en un ingeniero, cuya fuerte capacidad profesional se hace patente desde este primer ensayo, nos parece ver en estas manifestaciones un poco juveniles de su entusiasmo para la ciencia, algo que ya será difícil volver a encontrar en sus demás memorias técnicas de la edad madura: y es su propia personalidad, curiosa y escudriñadora, que no sólo apurará y aquilata los resultados de la experiencia, sino también pregunta, consulta, discute, hablando con los forzados para imponerse de las miserables condiciones de su trabajo, dibujando sin caprichos pero con mucho nervio todo cuanto se le presenta a la vista, pensando al mismo tiempo en el pasado y en el porvenir: en una palabra, un hombre que no olvida nada de todos los múltiples aspectos de la vida, que

* MAFFEI y RUA FIGUEROA. *Apuntes para una biblioteca*, pág. 83.

tiene un interés práctico para sus semejantes, bien fuese para mejorar su estilo de vida o para aumentar su productividad o, más simplemente, para satisfacer su propia curiosidad.

Por otra parte, este primer ensayo es ya fértil, desde el punto de vista del conocimiento de la personalidad y de la biografía intelectual de Betancourt. Desde estos primeros contactos con unas realidades con las que había de luchar en adelante, vemos fermentar y bullir en su imaginación, al lado de las observaciones críticas, las soluciones ingeniosas, las mejoras, las máquinas y los artefactos que deben vencer los obstáculos. Importa menos saber si estas mejoras llegaron o no a implantarse, y si las máquinas con que soñaba se convirtieron en realidad. Lo que importa es que se puede reconocer ya, en la personalidad del joven pensionado del Gobierno español, lo que será más tarde la característica más evidente del ingeniero: un espíritu inventivo y una fuerza analítica que se agarran a cualquier detalle de la realidad, que no temen afrontarse con ninguna dificultad, y que ven los defectos de un procedimiento, casi al mismo tiempo que el remedio que se les debe aplicar*.

* Según se ha podido ver de su propia relación, en la época de la visita de Betancourt, no había ninguna máquina de vapor en las minas del Almadén, a pesar de cuanto se viene afirmando alguna vez. La primera máquina de vapor utilizada en aquellas minas, había sido fabricada en los talleres de Watt y Boulton, en Birmingham, y fue comprada en 1797; según parece, sólo empezó a funcionar en el año de 1800 (cf. *XIV Congreso geológico español. Las minas del Almadén*, Madrid 1926, pág. 75). Es casi seguro que la compra de esta máquina se debe a una sugerencia, o por lo menos a una gestión de Betancourt; tanto más, que sabemos que en 1797, Betancourt se hallaba en Londres. Su interés para la adopción de la máquina de vapor al trabajo de las minas se deduce también de la presencia, en su gabinete de máquinas, de una "máquina de vapor dispuesta para mover dos órdenes de bombas, situadas en el pozo de una mina" (JUAN LOPEZ DE PEÑALVER. *Catálogo del Real Gabinete de Máquinas*, Madrid 1794, pág. 28); este modelo figuraba ya en el Gabinete, en una fecha anterior a la adquisición de la máquina de Almadén.

Por consiguiente, no parece justificado el aserto de MIGUEL RODRIGUEZ FERRER. *Cartas descriptivas de una expedición de estudio a las minas de Almadén*, en "Revista contemporánea", XXXV (1881), pág. 316-17, de que la máquina empleada para el desagüe de las minas de Almadén fue la segunda que montó Watt y la segunda que hubo en el mundo; ya que hemos visto que en 1783, cuando la visita de Betancourt a la mina, no había allí ninguna máquina de vapor y que, por otra parte, por aquellos mismos años, Watt había montado ya muchas de las suyas, que ni siquiera eran las primeras, ya que el uso de las máquinas de vapor en las minas remonta a los primeros años del siglo XVIII.

EL TELEGRAFO ELECTRICO

La contribución de Don Agustín de Betancourt en el terreno de las comunicaciones telegráficas ha sido mal estudiada hasta ahora, como todo cuanto se refiere a sus actividades científicas en general. Las pocas noticias que hemos podido reunir sobre este aspecto de sus trabajos e investigaciones, y que distan mucho de ser tan completas y tan exactas como se podría desear, bastan por lo menos para demostrar con claridad que el ingeniero canario fue en este campo un verdadero precursor.

Para decir la verdad desde el principio, parece ser que, en lo referente a la construcción de un telégrafo eléctrico, sus experiencias no condujeron a ningún resultado definitivo. Betancourt no había hecho más que vislumbrar las posibilidades teóricas de una fórmula cuya realidad práctica no era posible, en las condiciones de la técnica de su tiempo, y que sólo con la generación siguiente iba a convertirse en una realidad. No por ello deja de ser interesante, y de suma importancia histórica, el intento de nuestro biografiado, quien fue uno de los primeros en haber pensado e intentado la transmisión del pensamiento por medio de la electricidad.

No se trata de volver a escribir aquí la historia detallada de los comienzos de la telegrafía. Este tema ha sido ya objeto de un gran número de trabajos especiales, en donde se podrán buscar los detalles de historia general*. En estas obras, el papel histórico de Don Agustín de Betancourt no parece haber encontrado

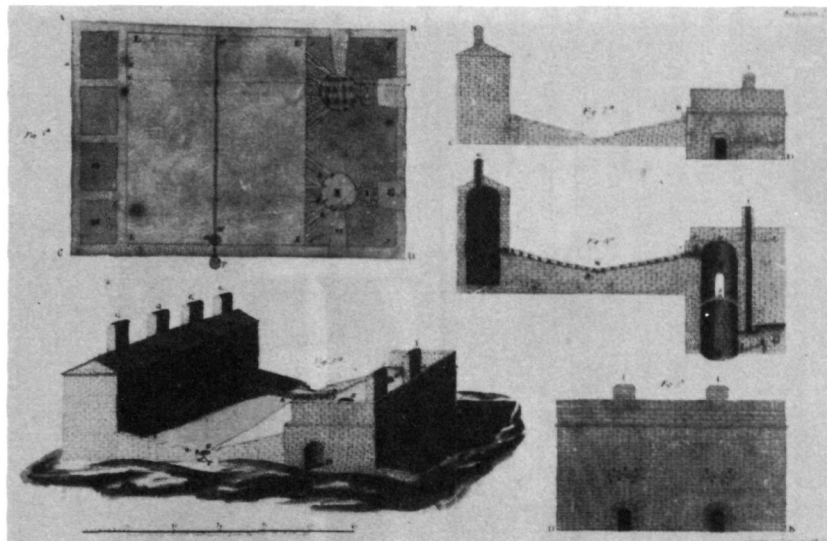
* Hemos podido consultar las obras siguientes: CHARLES BONTEMPS. *Les systèmes télégraphiques aériens, électriques, pneumatiques*, Paris 1876, 8.º, de 347 pág.; KARL EDUARD ZETSCHKE, *Geschichte der elektrischen*

siempre la comprensión y la apreciación debida*; aunque se pueda decir que, de una manera general, los historiadores mejor informados reconocen y mencionan con inequívoca claridad la importancia de los experimentos de este precursor. En los párrafos siguientes sólo apuntaremos, a modo de introducción, unos cuantos rasgos fundamentales de historia general, que parecen útiles para asegurar una mejor comprensión de la propia contribución de Betancourt, al mismo tiempo que preparar la apreciación de sus trabajos sobre la telegrafía óptica, que examinaremos en el capítulo siguiente. De este modo, pensamos que resultará más fácil colocar después los intentos de Betancourt, en medio de los demás trabajos de su época, alguno de los cuales fue sin duda el estímulo y el ejemplo que produjeron o por lo menos encauzaron su propia investigación.

El deseo, o, en su caso, la necesidad de establecer comunicaciones rápidas a grandes distancias es tan viejo como la historia de la humanidad. Es sabido que algunos pueblos de la antigüedad empleaban corrientemente un sistema más o menos desarrollado de comunicaciones por medio de señales luminosas o fuegos de atalayas, por cuyo procedimiento llegaban a pasar sus informes de un punto a otro, con la mayor rapidez. Este modo primitivo de comunicación, que en realidad no merece el nombre de telegrafía, se considera sin embargo como el precursor directo del telégrafo, ya que éste último se fundaba también, en una primera fase de su historia, que duró más de medio siglo, en un sis-

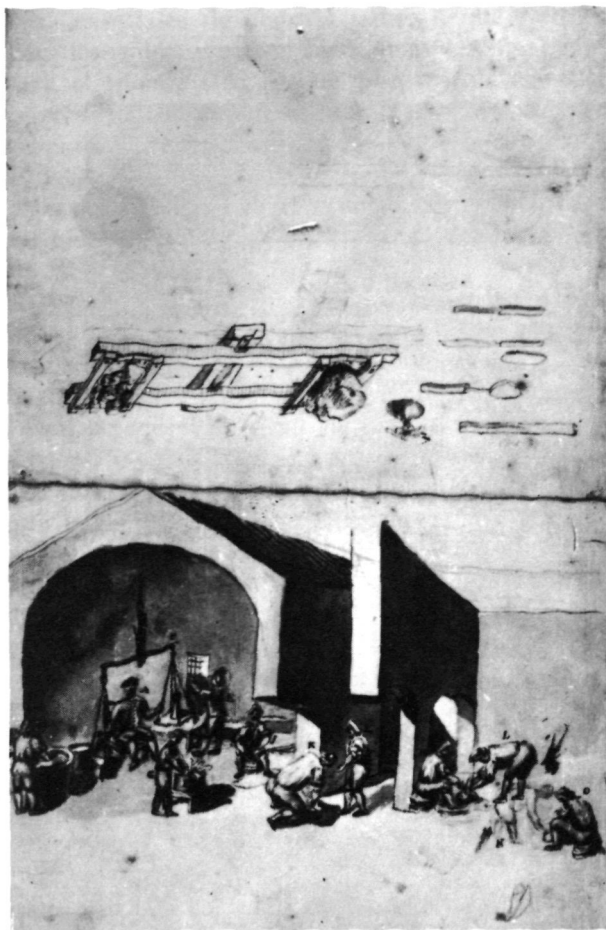
Telegraphie, Berlin 1877, 8.º de XVI-579 pág.; ANTONIO SUAREZ SAAVEDRA. *Tratado de telegrafía*, segunda edición, Barcelona 1880, 2 vol. 8.º; EUGENE MULLER. *Les voyages de la pensée. Petite histoire de la télégraphie*, París 1882, 16.º de 127 pág.; J. J. FAHLE. *A history of electric telegraphy, to the year 1837*, Londres 1884, 8.º de XX-542 pág.; ALEXIS BELLOC. *La télégraphie historique, depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours*, París 1888, 4.º de XI-343 pág.; LOUIS NAUD. *Histoire de la télégraphie en France, depuis ses origines jusqu'à nos jours*, París 1890, 8.º de 154 pág.; LUCIEN FOURNIER. *Télégraphes et téléphones*, París (1910), 4.º de 340 pág.; ROLLO APPELYARD. *Pioneers of electrical communication*, Londres 1930, 8.º de 347 pág.; AUGUSTE COYNAULT. *Le télégraphe à travers les âges*, Niort (1955), 16.º de 194 pág.; Para ampliar esta bibliografía, cf. PAUL FLEURY MOTTELAY. *Bibliographical history of electricism and magnetism*, Londres 1922; LOUIS CAHEN. *La télégraphie électrique en "Revue de l'Histoire des Sciences"*, I (1947-48), pág. 131-161.

* Los trabajos citados de Bontemps, Muller, Fournier, Appleyard, Belloc y Coynault (cf. la nota anterior), ignoran hasta el nombre de Betancourt.



Minas del Almadén (1783):

Hornos para la fundición del mineral. 1. Plano.
-2. Corte longitudinal. 3. Fachada. 4. Corte trans-
versal. 5. Perspectiva.



Minas del Almadén (1783):
Empaque del azogue.

tema de señales ópticas más o menos directamente desarrolladas a partir del primitivo procedimiento de los fuegos de atalaya.

Si admitimos que la prehistoria del telégrafo debe incluir todos los intentos de comunicación a distancia, que no supongan un desplazamiento de mensajeros o de correos, no es fácil encontrar otros procedimientos o sugerencias dignas de tomarse en consideración. Todos los demás medios generalmente reseñados por la historia, son intentos mágicos e ilusiones. Así, es cierto por ejemplo que un desconocido había propuesto a Galileo comunicarle un sistema seguro para correspondencia a grandes distancias, pero se había negado a experimentar su intento sobre una escala más modesta*; de donde se puede inferir que se debe tratar más bien de un intento de estafa: el desconocido habrá pensado probablemente, más bien que en un verdadero intento, en el modo de hacerse cómodamente con los capitales que necesitaba una empresa de tanta envergadura.

El escritor italiano Giovanni Battista della Porta, en su *Magia naturalis* publicada por primera vez en 1561, pensaba en otro procedimiento, que, un siglo más tarde, recomendaba calurosamente el P. Atanasio Kircher. Naturalmente, este procedimiento no ha sido puesto en práctica en ninguna parte, y no pasa de ser el producto fantástico de una imaginación calenturienta, a no ser que se le quiera considerar como la visión de un precursor inspirado. Explica el P. Kircher, en su *Ars magna lucis et umbrae*, que él conoce el secreto de comunicar a distancia, no sólo textos escritos, como en un verdadero telegrama, sino también imágenes reproducidas como en los modernos belinogramas, por medio de la reflexión de la imagen original sobre la superficie de la luna. Según esta teoría, el texto grabado sobre una placa de metal y expuesto a los rayos de la luna, viene a ser reflejado y proyectado por el satélite, que en este caso hace las veces de un espejo; y el P. Kircher pretendía saber qué inclinación era preciso dar a la imagen original, para que la proyección llegue precisamente al punto lejano en donde él quería transmitirla. Añade, además, que el procedimiento era ya conocido por el célebre Rogelio Bacon, que se servía a veces de este método, para dejarse ver por alguno de sus amigos lejanos. Es sabido que la ciencia moderna tiene la posibilidad de servirse de la luna como de una pantalla, para ciertas transmisiones verificadas por me-

* A. BELLOC. *La télégraphie historique*, pág. 56.

dio del radar, y que incluso se está planteando en la actualidad un sistema de satélites artificiales, permanentes, destinados a servir de espejo reflector de todo un conjunto de telecomunicaciones; pero es difícil establecer una relación entre estos proyectos del porvenir, y los sueños descabellados del P. Kircher.

A partir de los últimos años del siglo XVII, los experimentos y los proyectos referentes al telégrafo empiezan a multiplicarse. Todos estos intentos se pueden repartir en dos grandes clases, según el procedimiento de base que utilizan sus autores: telégrafo óptico, aéreo o visual por una parte, telégrafo eléctrico por otra parte.

El primero de estos procedimientos repite los métodos ya antes señalados, de lectura a distancia de ciertas señales visibles, transmitidas de un punto de observación a otro. El verdadero precursor de este modo de comunicación es el científico francés Amontons, miembro de la Academia de las Ciencias de París. Sus principales méritos consisten en haber ideado una serie de señales ópticas que permitían la transmisión de cualquier pensamiento, como en la actual telegrafía; y, por otra parte, el haber empleado por primera vez en la telegrafía óptica el antejo, cuyo uso, casi unánimemente adoptado desde entonces, permitía la reducción del número de puestos de observación y, por consiguiente, una mayor rapidez en la transmisión.

Amontons experimentó su sistema en 1690, en presencia del Delfín de Francia. Colocado sobre las alturas de Meudon, Amontons observaba a través de un antejo, al otro extremo de París, un molino de viento de Belleville, sobre cuyas alas se tendían sucesivamente grandes carteles representando las distintas letras del alfabeto. El observador leía a distancia la significación de cada cartel que subía por encima del molino, arrastrado por el movimiento de las alas; y la reunión de estas señales formó el texto del primer telegrama conocido. Según parece, el experimento tuvo el éxito esperado; pero no llamó mucho la atención de los contemporáneos y no dio ningún resultado práctico. El célebre Fénelon, quien parece haber asistido a la experiencia, como profesor que era entonces del Delfín, encontró que "esta invención es más bien curiosa que útil".*

* *Ibidem*, pág. 58; cf. FONTENELLE. *Eloges des savants*, en *Oeuvres*, París 1767, vol. V, pág. 120; y EDOUARD FOURNIER. *Fénelon et la télégraphie*, en "Revue des Provinces", VIII (1865), pág. 540-41.

Mucho más tarde, allá por los años de 1784-1788, el alemán Bergstrasser, profesor en la ciudad de Hanau, propuso toda una serie de medios ópticos para transmitir mensajes a distancia, tales como fuegos, banderas, palos, carteles, etc. Como decía más tarde Chappe, sólo faltaba que se sirviese de su propia persona como telégrafo. Esta idea no se le había ocurrido al profesor alemán; pero sí la tuvo el autor desconocido de un folleto titulado *Description d'un télégraphe très simple et à la portée de tout le monde* y publicado en París, en 1800, en donde precisamente se indicaba que las mejores señales y las más fáciles de conseguir eran las que se forman por una persona, ayudándose con los movimientos de sus brazos. Se sabe, además, que este medio de comunicación sigue siendo familiar a los marinos.

Pero el verdadero creador del telégrafo óptico fue el francés Claude Chappe, cuyo sistema de transmisión telegráfica fue adoptado por el gobierno revolucionario de Francia, en 1792, y aplicado a través de una red cada vez más extensa de puestos de señales, que sirvió normalmente las necesidades de la vida francesa, hasta mediados del siglo pasado. Para sus transmisiones, Chappe se servía de un poste vertical, colocado en lugar eminente, generalmente encima de una torre y perfectamente aislado, con el fin de perfilarse sobre el horizonte y de poder ser observado desde lejos en las mejores condiciones. En la parte más alta de este poste se hallaba colocada una vara de madera, formando con él una gran T; esta vara se movía alrededor de un eje, para formar con el poste vertical diferentes ángulos. Además, los dos extremos de la vara estaban provistos con sendas varitas más cortas e igualmente movibles alrededor de un eje. La combinación de los tres movimientos posibles formaba una serie de señales cuya interpretación había sido establecida de antemano; de modo que la transmisión del texto que se deseaba comunicar se hacía por medio de unos movimientos de los tres brazos del telégrafo aéreo, y de la lectura desde un punto de observación alejado, de las señales así transmitidas*.

De este modo, la antigua idea de la transmisión del pensamiento a distancia, por medio de señales ópticas, había llegado a

* Cf. ED. GERSPACH. *Histoire administrative de la télégraphie aérienne en France*, París 1860-61, 2. vol. 8.º (separata de "Annales télégraphiques", 1860-61); y C. FRACHEBOURG y W. SCHIESS. *Der Chappe-Telegraph und die Anfänge der Telegraphie* (Berna 1939), 4.º de 39 pág. (separata de "Technische Mitteilungen" de Berna, 1939).

ser una realidad, cuyas ventajas se hacían evidentes al uso. Mientras tanto, el telégrafo eléctrico apenas si esbozaba sus primeros pasos, que fueron, como suele ocurrir muy a menudo en tales casos, otros tantos fracasos.

La idea de utilizar la energía eléctrica para comunicar mensajes no parece, ni es probable que haya brotado espontáneamente en el espíritu de algún investigador aislado; sino que, al compás del progreso científico, de los adelantos de la técnica, nuevos caminos venían a ofrecerse a la investigación, conduciéndola insensiblemente hacia la idea de un empleo útil de la corriente eléctrica, que al principio no había sido más que un juguete científico y una curiosidad. El descubrimiento del principio de la conductibilidad eléctrica (1729), seguido por el de la botella de Leiden (1745), abrieron el paso a la idea de una posible transmisión a distancia de los efectos de la descarga eléctrica, por medio de algún conductor. Así es como el célebre abate Noullet hizo, en abril de 1746, su primer experimento de descarga eléctrica conducida a distancia. Para obtener este resultado, se había servido de una verdadera cadena humana, formada por 160 soldados de la guardia real, que se daban la mano, y que sintieron en el mismo momento el efecto de la chispa eléctrica. El mismo mes y año, Lemonnier repitió la experiencia, empleando como conductor un alambre de 2000 toesas, es decir, de casi cuatro kilómetros de largo*.

El experimento de Lemonnier fue repetido en Londres, el 14 de julio de 1747, por el Dr. Watson, bajo los auspicios de la Royal Society de la capital inglesa y con asistencia de varios miembros de aquella corporación. Un alambre había sido tendido a través del Támesis, a la altura del Westminster Bridge. Dos hombres tenían en sus manos los dos extremos del alambre, para verificar si los efectos de la chispa se hacían notar inmediatamente, al poner el alambre en contacto con una botella de Leiden**. Se sabe también que Franklin procedió el año siguiente, en Filadelfia, a la misma verificación.

Así asegurada la posibilidad de transmitir la corriente a distancia, por primera vez se indica la otra posibilidad, de momento

* FAHLE. *A history of electric telegraphy*, pág. 59-60.

** DR. WATSON. *An account of the experiments made by some gentlemen of the Royal Society*, Londres 1748; cf. PRIESTLEY. *History of the electricity*, pág. 95-112; FAHLE. *A history of electric telegraphy*, pág. 60-63.

meramente teórica, de utilizar la descarga eléctrica para transmitir mensajes inteligibles, en una carta anónima, que publicó la revista *Scots' Magazine* de Edimburgo, en su número del 17 de febrero de 1753*. El corresponsal anónimo sugería que, al emplearse 24 alambres en contacto con 24 bolas metálicas que correspondiesen a otras tantas letras del alfabeto, una aplicación metódica de la descarga eléctrica a través de las 24 bolas sucesivamente podía permitir la transmisión de cualquier mensaje. La misma idea consta después, aunque expresada de manera más o menos confusa, en las obras del jesuita José Bozulus (1767) y del médico ginebrino Louis Odier (1773), así como en una carta anónima publicada por el *Journal de Paris* en 30 de mayo de 1782, y en una carta de Le Sage, de Ginebra, fechada el 22 de junio del mismo año.

El primero que parece haber puesto en práctica estas sugerencias teóricas, y haberse servido efectivamente de la corriente eléctrica para transmisiones de pensamiento, fue el científico francés Lomond; y el primero que sacó estos experimentos del laboratorio, para buscarles una aplicación práctica sobre una gran escala, fue Don Agustín de Betancourt.

En efecto, los intentos de Lomond fueron simples trabajos de laboratorio. Este sabio había instalado en su casa de París, una correspondencia de una habitación a otra, por medio de ciertos valores convencionales atribuidos a diferentes descargas eléctricas comunicadas a distancia. Su experiencia difiere fundamentalmente de las sugerencias que le habían precedido, desde el anónimo escocés hasta Le Sage, por cuanto todos sus predecesores proponían el empleo de 24 alambres distintos, uno para cada una de las letras del alfabeto; mientras que Lomond se servía de un sólo conductor, variando la intensidad de la corriente, según una escala de valores establecida de antemano, para poder distinguir la significación de cada una de las chispas así obtenidas. Por otra parte, Le Sage decía haber obtenido la comunicación, al tocar el extremo del conductor con un tubo de vidrio previamente frotado, con lo cual se reducía considerablemente el alcance de su procedimiento, debido a la poca intensidad de la corriente así obtenida, mientras que Lomond se había servido de una botella de Leiden. Es verdad que la parte más importante del in-

* FAHIE, *A history of electric telegraphy*, pág. 68-77.

vento de Lomond, cual es su sistema para variar la intensidad de la corriente, con suficiente claridad para llegar a distinguir cada una de las 24 letras del alfabeto, nos es desconocida.

El dispositivo así instalado en su casa por Lomond funcionó satisfactoriamente durante meses, y quizás durante varios años. Se halla descrito en la relación de viaje del inglés Arthur Young, quien visitó París y se fue a ver a Lomond en su casa, por febrero de 1787. Es más que probable, es casi seguro que Betancourt debió de conocer a Lomond, y que de él le vino la primera sugerencia de experimentar sobre la utilización de la corriente eléctrica en las comunicaciones a distancia.

En efecto, se da el caso bastante curioso, que Betancourt estudió y experimentó, uno tras otro, ambos métodos empleados en las comunicaciones telegráficas de su tiempo. Sin embargo, por un capricho de las circunstancias, estos experimentos se han producido en un orden que, considerado a distancia y retrospectivamente, parece anormal. Betancourt empezó tratando de aplicar la electricidad a la telegrafía; pero desistió finalmente de este propósito, y se dedicó al perfeccionamiento del telégrafo óptico, que le pareció sin duda ofrecer mayores posibilidades de éxito, o mayores garantías de eficacia.

Por más que parezca rara, esta falta de perspicacia era más bien natural, en aquella época en que el estudio de la electricidad estaba aún en sus comienzos. Su aplicación práctica ofrecía entonces dificultades enormes y en cierto modo insuperables, debido a la fuerza escasa de la corriente estática, la sola conocida por aquel entonces; a la imposibilidad de aislar los conductores y de evitar así las pérdidas de energía que eran inevitables en grandes distancias; al empleo de los alambres múltiples, que postulaban los primeros inventores; o, después, a la dificultad de graduar la intensidad de la corriente, en el caso del empleo de un sólo conductor.

En estas condiciones, la aplicación de la electricidad al telégrafo podía dar algún resultado en los experimentos de laboratorio, cuando más; pero difícilmente hubiera podido conducir a la implantación de un verdadero sistema telegráfico. Prueba de ello es que el mismo Chappe, creador de la telegrafía óptica, había tratado, al principio de sus experimentos, de establecer sus transmisiones telegráficas sobre la base de la conductibilidad eléctrica: como Betancourt, había pasado al lado de la verdadera solución,

desde luego, no por falta de intuición, sino porque no podía disponer de los medios convenientes para valerse de ella*.

Sin embargo, en el caso de Betancourt, este orden inverso de sus experiencias telegráficas tuvo consecuencias bastantes graves. por lo menos desde el punto de vista de su propio historial. Chappe había tenido la satisfacción, al optar por el telégrafo aéreo, de conseguir un pleno éxito y de ver aceptadas sus soluciones que parecieron, durante muchos años, una adquisición definitiva e inmejorable de la técnica; mientras que Betancourt, que había llegado demasiado temprano para la solución del telégrafo eléctrico, llegaba al mismo tiempo demasiado tarde, para imponer su fórmula de telégrafo óptico.

Sea como fuese, parece cierto que Betancourt fue el primer técnico español, y uno de los primeros en el mundo, que puso en práctica los conocimientos teóricos recientemente adquiridos sobre las corrientes eléctricas, con el objeto de conseguir transmisiones del pensamiento a distancia. Como sus intentos no dieron el resultado apetecido, su mismo autor los abandonó, y no volvió más a mencionarlos en sus trabajos ulteriores; de modo que la historia de este episodio de su biografía científica aparece hoy día difícil de reconstituir. Incluso conviene decir que a algunos historiadores de la técnica les han parecido dudosos los datos que mencionaremos a continuación, quizá por efecto de ciertas confusiones que en su momento trataremos de dilucidar. Antes, diremos qué es lo que sabemos positivamente sobre este particular.

En 1837, el célebre sabio alemán Carl Friedrich Gauss mencionaba de paso, en una de sus publicaciones, que había sabido por el no menos célebre Humboldt, que Betancourt había instalado, muchos años antes, un alambre conductor desde Madrid a Aranjuez, con el objeto de transmitir señales telegráficas por medio de las descargas de una botella de Leiden. Dice Gauss que el resultado del experimento no llegó a su noticia; pero su éxito no la parecía ofrecer duda**.

Años después, en un artículo publicado en *Journal des Débats* del 1 de mayo de 1846, Arago pasaba revista a los diferentes ex-

* Cf. FAHIE. *A history of electric telegraphy*, pág. 93-95; FRACHEBOURG y SCHIESS. *Der Chappesche Telegraph*, pág. 3.

** CARL FRIEDRICH GAUSS. *Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins im Jahre 1837*. Göttingen 1838, pág. 14: "Nach einer mir von Humboldt mitgetheilten Notiz, hatte schon zehn Jahre

perimentos que formaban la prehistoria de la telegrafía eléctrica; y al describir el aparato inventado por Le Sage, decía lo que sigue: "Este telégrafo se componía de 24 hilos separados unos de otros y rodeados de una materia aisladora. Cada hilo correspondía a un electrómetro particular. Haciendo pasar, según se necesitaba, la descarga de una máquina eléctrica ordinaria a través de tal o cual de estos hilos, reproducía en la otra extremidad el movimiento representativo de tal o cual letra del alfabeto. Este sistema, si no me engaño, fue establecido en una escala limitada en las cercanías de Madrid, por Agustín de Betancourt"*.

En fin, al reproducir el texto que precede, el biógrafo español de Betancourt añadía, en 1857: "La aplicación o ensayo de que habla M. Arago fue hecha desde Madrid al Real Sitio de Aranjuez, con la reina María Luisa, establecida en Madrid; pero habiendo equivocado o traducido mal las palabras transmitidas, Carlos IV se disgustó, formó mala idea del invento y lo abandonó sin más averiguaciones"***.

He aquí las tres fuentes en que se fundan nuestros conocimientos sobre los experimentos eléctricos de Betancourt. Todos estos testimonios parecen merecer la confianza del investigador; de modo que se puede suponer que los hechos así mencionados son fidedignos, si no en todos sus detalles, por lo menos en su significación general; tanto más, que no hay ninguna contradicción visible entre los tres testigos.

En cuanto a la época que lógicamente se puede atribuir a estos expedimentos, y que sería muy importante establecer, por ra-

früher Betancourt eine Drahtkette von Aranjuez nach Madrid gezogen, vermittelt welcher die Entladung einer Leidner Flasche zu einer telegraphischen Signalisirung dienen sollte. Obgleich nähere Umstände über die Erfolg nicht bekennt zu sein scheinen, so ist doch an den Gelingen eines solches Versuch, wenn er zweckmässig ausgeführt wird, nicht zu zweifeln. Aber immer müsste wohl eine solches Methode auf die Signalisirung eines ja oder nein auf eine oder ein Paar im Voraus verabredete Fragen geschränkt bleiben". La comunicación de Humboldt a Gauss, a que se alude en esta cita, debe haber sido oral, ya que no la hemos hallado en su correspondencia. Cf. *Briefe zwischen A. von Humboldt und Gauss, herausgegeben von Dr. K. Brahms, Leipzig 1877.*

* Citado en *Noticias biográficas de D. Agustín de Betancourt*, en la "Revista peninsular", II (1857), pág. 354.

** *Ibidem*, pág. 354; cf. EUGENIO MAFFEI y RAMON RUA FIGUEROA. *Apuntes para una biblioteca española de libros relativos al conocimiento de las riquezas minerales*, Madrid 1871, pág. 82.

zonas obvias, hay cierta vacilación entre estos autores. Arago no indica ninguna fecha; pero de su mismo contexto parece desprenderse la sugerencia de una contemporaneidad con Le Sage, o sea, alrededor del año de 1774*. Esta idea no parece posible, no sólo por la poca edad y preparación técnica de Betancourt por aquella fecha, sino también porque no es de suponer que, al haber ideado por aquel entonces un sistema de comunicaciones tan nuevo y que necesitaba tan importantes preparativos y gastos, le hubiese sido posible hallar en la Corte el correspondiente apoyo.

Gauss hablaba, en frases anteriores al texto citado, de los comienzos conocidos de la telegrafía eléctrica, que él colocaba unos treinta años antes de la fecha en que escribía, o sea, allá por el año de 1807; y agregaba después que el intento de Betancourt era anterior en unos diez años a aquellos comienzos, con lo cual llegamos a la fecha de 1797. Pero también parece evidente que esta fecha no puede corresponder a la realidad, por una parte porque 1797 es la fecha de otro invento de Betancourt, referente a la telegrafía óptica, de modo que no es posible atribuir al mismo año dos intentos tan contradictorios, o sea, tan diferentes por su concepción como idénticos por su finalidad; por otra parte, porque cabè suponer que la intención de Gauss no era determinar fechas con precisión, ya que probablemente él mismo la ignoraba, y que sólo indica aquellos diez años de manera aproximada, con el objeto de subrayar la prioridad de las experiencias de Betancourt.

Para este mismo invento, la mayor parte de los investigadores mencionan la fecha de 1787**. La verdad es que no sabemos de dónde procede esta indicación; pero la fecha que así se propone, no parece tan equivocada como acabamos de decir que son las que

* También V. MEUNIER, en el artículo *Télégraphe* del *Dictionnaire des Arts et des Manufactures*, vol. II, París 1847, col. 3579, describe el sistema telegráfico de Le Sage, y añade: "Ce système fut établi en petit, aux environs de Madrid, par M. de Betancourt". Evidentemente, este autor no hace más que reproducir las indicaciones de Arago; de modo que no se trata de un testimonio más, sino de la misma fuente que ya hemos examinado.

** MOIGNE. *Télégraphie électrique*, París 1849, pág. 62; EDWARD RIGHTON. *The electric telegraph, its history and progress*, Londres 1852, pág. 38; MANUEL FERNANDEZ DE CASTRO. *La electricidad y los caminos de hierro*, Madrid 1857; E. MAFFEY y R. RUA FIGUEROA. *Apuntes*, pág. 82; ZETTSCHKE. *Geschichte des elektrischen Telegraphes*, pág. 32; NAUD. *Histoire de la télégraphie en France*, pág. 98-89; *Enciclopedia Espasa-*

preceden; tanto más, que en 1787 Betancourt se hallaba efectivamente en Madrid.

Nuestras investigaciones sobre este punto se reducen forzosamente a los pocos datos seguros que acabamos de recopilar. Por lo demás, sólo se puede intentar coordinar o dilucidar estos datos, por medio de construcciones hipotéticas. Así y todo, parece lícito suponer que los experimentos telegráficos de Betancourt no pueden relacionarse con las sugerencias de Le Sage, en 1774; tanto más, que estas ideas se hallaban incluidas en una correspondencia particular y prácticamente inasequible, desde el punto de vista de nuestro ingeniero.

Más probablemente, su interés para la telegrafía eléctrica se debe explicar por sus estudios en París, donde sabemos que vivió de 1784 a 1787 y de 1788 a 1791, con una interrupción en 1787-88. Durante su estancia en la capital francesa, es natural que haya tenido conocimiento de los experimentos de Lomond, y también que lo haya visitado en su casa, ya que su principal empeño consistía en estar al tanto de las máquinas y de las investigaciones más modernas, para copiarlas y enviar modelos a la Corte de Madrid. Como el invento de Lomond podía ser visto en París, en los primeros meses de 1787, es probable que Betancourt habrá intentado una implantación en mayor escala de este procedimiento, a raíz de su regreso a España.

Resulta difícil decir hasta qué punto merece crédito la relación anecdótica del biógrafo español, cuyo objeto es de explicar el fracaso de sus intentos. Cabe observar, sin embargo, que incluso si esta narración tiene algo de auténtico, los personajes difícilmente podrían ser los que se citan, ya que Carlos IV aún no reinaba en 1787. Lo más probable es que el resultado no fue ni un fracaso ni un éxito rotundo, ya que, con ser exacto el principio de la invención, las condiciones del desarrollo técnico de aquellos tiempos no permitían aún la instalación de una verdadera red telegráfica sobre distancias tan grandes como la de Madrid a Aranjuez.

Calpe, artículo *Telegrafía*. Añadiremos que G. DESDEVISES DU DESERT. *L'Espagne de l'Ancien Régime*, vol. III, París 1904, pág. 257; M. MENENDEZ Y PELAYO, *La ciencia española*, Buenos Aires 1947, vol. III, pág. 373; y S. PADRON ACOSTA. *El ingeniero A. de Béthencourt*, pág. 34, sólo mencionan los trabajos de Betancourt sobre el telegrafo eléctrico, sin indicar fecha alguna.

También parece posible aventurar otra hipótesis. Arago afirma que la instalación telegráfica de Betancourt se componía de 24 alambres, como en las sugerencias de Le Sage y del anónimo escocés; pero es que, en la idea que tenía Arago de la experiencia de Betancourt, se trataba de una continuación de los ensayos de Le Sage, quien efectivamente había previsto 24 conductores distintos. Si ello no es cierto, y si las experiencias de Betancourt no dependen de Le Sage, sino de Lomond, entonces es de suponer que el técnico español no instaló una red múltiple, sino un sólo conductor, como lo había usado Lomond; y esta circunstancia parece que explicaría mejor las confusiones y las malas interpretaciones de que habla la narración del anónimo.

Resulta lastimoso tener que comprobar cuán pocos rasgos han dejado en la historia estos intentos, que colocan la ciencia y la técnica española en tan eminente lugar. Así y todo, se puede afirmar que Betancourt tuvo el mérito de haber sido el primer técnico que sacó esta clase de experimentos fuera de los laboratorios, en donde sólo servía de juguete y de demostración. En su prurito de siempre, de hacer algo útil para sus semejantes, fue el primero en pensar transformar esta sencilla experiencia en un instrumento de comunicación, al servicio de todos; y este mérito, históricamente, no disminuye mucho por la circunstancia de no haberse obtenido un éxito que ni siquiera era de esperar.

Este mérito, sin embargo, no le ha sido reconocido de una manera general. En efecto, cierto número de estudios de especialidad indican que el introductor de la electricidad en la telegrafía española fue el catalán Francisco Salvá y Campillo*, figura por lo demás bastante bien conocida.

La fuente más importante de nuestros conocimientos sobre las experiencias del Doctor Salvá parece ser el testimonio de su amigo Balcells, profesor de la Escuela Industrial de Barcelona, quien vivió bastante para contar a Suárez Saavedra, historiador de la telegrafía, que Salvá hizo funcionar su máquina telegráfica sobre un circuito que previamente había establecido, desde la Academia de las Ciencias de Barcelona hasta la fortaleza de las Atarazanas, es decir sobre una distancia de un kilómetro aproximadamente.

* Cf. FELIX JANER. *Elogio histórico del Doctor Salvá*, Barcelona 1832; SUAREZ SAAVEDRA. *Tratado de telegrafía*, vol. I, pág. 122; FAHIE. *A history of electric telegraphy*, pág. 107-8.

La explicación de su invento formó la materia de una memoria que el mismo Doctor Salvá presentó a la Academia de las Ciencias de Barcelona, en su sesión del 16 de diciembre de 1795, y que Suárez Saavedra dice haber visto en su manuscrito original. Esta fecha y la realidad de estos experimentos se hallan confirmadas en una nota publicada por la *Gaceta de Madrid* del 29 de noviembre de 1796 y que, reproducida por *The Monthly Magazine**, ha sido recogida después por varios historiadores de la telegrafía eléctrica. Esta nota refiere en sustancia que, al enterarse de que el Doctor Salvá había presentado aquella memoria, referente a la aplicación de la electricidad a las comunicaciones, Don Manuel Godoy había querido conocer al científico catalán y lo había llamado a Madrid, donde lo había presentado él mismo al Rey. Salvá había repetido sus experimentos en presencia de la Corte, con todo el éxito que se hubiera podido desear. El Infante Don Antonio le había propuesto entonces la fabricación de una máquina telegráfica de mayores dimensiones, para poderla emplear sobre distancias mayores que las que hasta entonces se habían podido salvar. La nota de la *Gaceta* deja entender que la construcción de la nueva máquina era una cosa ya en marcha, y promete tener a los lectores al corriente de sus progresos.

La verdad es que la misma *Gaceta* no vuelve más a hablar de estos experimentos. Pero Balcells asegura que en 1798 “en efecto fue probado entre Madrid y Aranjuez el telégrafo de Salvá, ligeramente modificado”**, y que los restos de este mismo telégrafo de Salvá, destinados al principio al gabinete de Don Antonio, fueron regalados en 1824 al Colegio Farmacéutico de San Fernando, cuyo director adjunto era entonces el mismo Balcells.

Este testimonio, que sirve de base a todo cuanto se ha escrito en relación con el telégrafo de Salvá, es por lo menos tan confuso como lo que más arriba se ha aducido, en relación con la contribución de Betancourt al telégrafo eléctrico. Para analizar de más cerca estas indicaciones, conviene distinguir lo seguro de lo probable y de lo dudoso. Lo que parece seguro es que Salvá dirigió en efecto, a fines de 1795, una memoria a la Academia de las Ciencias de Barcelona, de cuyas resultas fue presentado a la Corte. No hay motivos suficientes para dudar que se le haya encargado un

* “The Monthly Magazine”, febrero de 1797, pág. 148.

** Citado por SUÁREZ SAAVEDRA. *Tratado de telegrafía*, vol. I, pág. 124.

experimento sobre mayor escala; pero ninguna fuente asegura de manera incontrovertible que este segundo experimento llegó a verificarse.

Varias razones nos asisten, para dudar de la existencia real de la máquina telegráfica de 1798, y de la instalación de un cable eléctrico de Madrid a Aranjuez*. En primer lugar, los biógrafos de Salvá no hablan de dos máquinas diferentes, fabricadas por el sabio catalán. La que le había servido para sus experimentos en la Academia de Barcelona, y después en presencia de la Corte, bien pudiera ser la misma que pasó después a las colecciones de Don Antonio, y fue regalada más tarde al Colegio Farmacéutico; y se sabe, por la nota publicada en la *Gaceta de Madrid*, que esta misma máquina era considerada como insuficiente para transmisiones a distancias mayores de las ya experimentadas, y que giraban alrededor de un kilómetro. Es verdad que se nos habla también de una máquina más importante, que debía costear el Infante; pero no hay ninguna prueba de que esta máquina llegó a construirse en efecto, ni de que, una vez construida, llegó a funcionar. En fin, es cierto que Balcells habla de un telégrafo instalado entre Madrid y Aranjuez; pero es evidente que sus noticias son confusas, que no se trata del mismo telégrafo de Salvá,

* Sobre este particular, las opiniones de los investigadores se pueden clasificar según tres puntos de vista diferentes. Según SUAREZ SAAVEDRA. *Tratado de telegrafía*, vol. I, pág. 188-94, hay que considerar dos series de experimentos eléctricos, que se sirvieron de un tendido de Madrid a Aranjuez, es decir el de Betancourt en 1787 y el de Salvá después de 1795. Según MOTTELEY. *Bibliographical history of electricity*, pág. 318, los ensayos de 1795 deben atribuirse a Betancourt. En fin, según FAHIE. *A history of electric telegraphy*, pág. 108, al contrario, no hubo intento de telegrafía eléctrica por parte de Betancourt, y los trabajos que le atribuye Gauss son resultado de una confusión con los de Salvá. Transcribimos a continuación el texto de Fahie, cuya opinión nos parece equivocada:

"According to Dr. Balcells, the friend of Salvá, a modification of his telegraph which required only one wire was actually constructed in 1798 between Madrid and Aranjuez, a distance of about 36 miles. At p. 14 of Gauss and Weber's *Resultate*, etc., for 1837, there is a note of Humboldt's, in which he refers to this line, but credits it to Betancourt, a French engineer. This is clearly a mistake, into which the great traveller might have been led by the probable fact that an engineer of that name was employed to superintend the work, — a supposition which is likely enough seeing the greatness of the undertaking". A pesar de sus afirmaciones, Fahie conoce mal su tema, ya que atribuye a Humboldt la nota escrita por Gauss; considera que Betancourt era francés; y no sabe nada de los trabajos de Betancourt sobre la telegrafía eléctrica.

sino de otro tipo "ligeramente modificado", lo que deja la puerta abierta para todas las suposiciones. Por nuestra parte, suponemos que se trata de una confusión, y que Balcells consideraba equivocadamente como telégrafo de Salvá, bien el que Betancourt había instalado sobre la misma distancia en 1787, o, si no, la red de telégrafo óptico implantada de Madrid a Aranjuez, en 1798, por el mismo Betancourt, y de que se volverá a tratar en el capítulo siguiente.

Por otra parte, hemos dicho ya más arriba que era demasiado pronto, para que la telegrafía eléctrica pudiese llegar a ser más que una simple curiosidad de laboratorio. Salvá, como todos los investigadores que habían hecho experiencias antes que él, no podía disponer sino de fuentes de energía estática demasiado débiles para vencer tan grandes distancias; y es sabido que la verdadera telegrafía eléctrica no ha sido posible sino después del descubrimiento de la pila eléctrica, por Volta, en 1800. Se sabe también que el sistema del Doctor Salvá se fundaba en el empleo de 22 alambres conductores para los mensajes de ida y 22 para la vuelta, o sea, 44 conductores aislados con papel y con pez, y 22 botellas de Leiden cargadas en cada extremo. Es evidente que este sistema no puede representar ninguna mejora sustancial, en comparación con los intentos de Betancourt, en 1787.

Todo ello hace que, en 1795 o en 1798, Salvá tropezaba forzosamente con las mismas dificultades que Betancourt no había podido vencer en 1787. Es probable, por consiguiente, que sus resultados fueron los mismos: éxitos de laboratorio, e imposibilidad de conseguir resultados apreciables en la aplicación práctica sobre grandes distancias. Sin embargo, la perspectiva del fracaso no es obstáculo para que se pueda admitir la realidad de un cable tendido de Madrid a Aranjuez, como acabamos de admitirlo para los primeros intentos de Betancourt.

Ello sólo es así en apariencia, ya que las condiciones habían variado mucho entre las dos fechas de referencia. Salvá llegaba, en efecto, después del fracaso del mismo Betancourt. Este último no podía ignorar los trabajos del sabio catalán; sino que, al contrario, su posición de Director del Gabinete de Máquinas, así como su interés ya conocido para los experimentos telegráficos, le imponían la obligación de interesarse rápidamente por las características y el valor del nuevo procedimiento.

Aun ignorando completamente cómo pasaron las cosas en realidad, es evidente que debió de producirse una de las dos cosas: o bien Betancourt se dio cuenta de que los trabajos de Salvá conducían más o menos a los mismos resultados que los suyos; o bien comprendió que el científico catalán había encontrado una mejor solución, que hacía de su invento una realidad o, por lo menos, una promesa provechosa y digna de ser apoyada y favorecida. En el primer caso, su calidad oficial le imponía el deber de llamar la atención sobre la inutilidad de los nuevos gastos que se necesitaban para emprender la experiencia sobre una gran escala y, por consiguiente, de impedir los trabajos costosos de un tendido inútil. En el segundo caso, el éxito de Salvá hubiera debido convencerle de que el porvenir pertenecía a la telegrafía eléctrica, así como él mismo lo había previsto en un principio. De ser así, Betancourt hubiese abandonado sus trabajos sobre la telegrafía óptica, que, al contrario, lo ocuparon tan exclusivamente por los mismos años que van de 1797 a 1799.

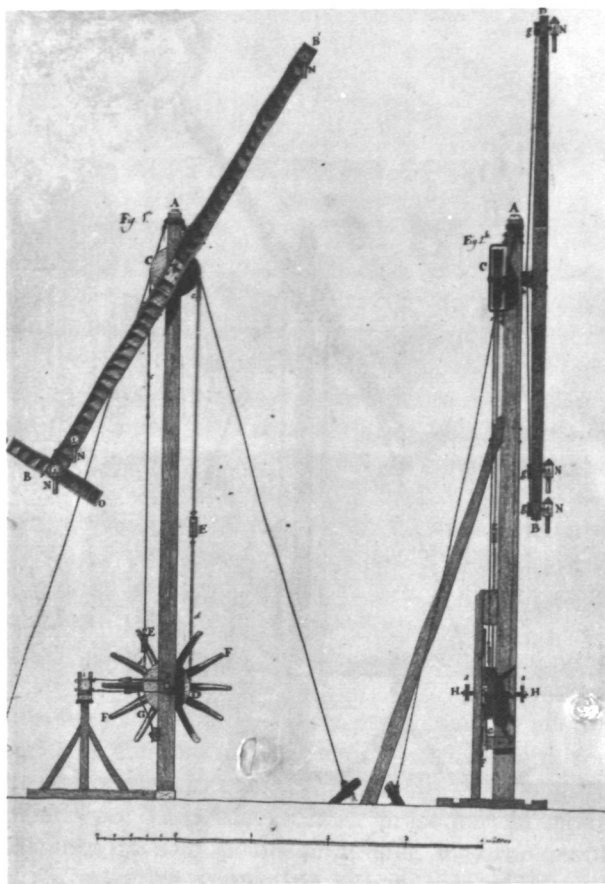
Por nuestra parte, no podemos convencernos de la realidad de un cable tendido por Salvá en 1798, de Madrid a Aranjuez, sino admitiendo al mismo tiempo que la referencia a un cable idéntico, instalado en 1787 por Betancourt, no es exacta. Es evidente, en efecto, que el intento de 1787 inutiliza al de 1798; o inversamente, el creer en la existencia del experimento de 1798 excluye la posibilidad de un fracaso en 1787. La lógica de los hechos, así como la autoridad de los testimonios de Humbolt y de Arago*, parecen sentar sólidamente la prioridad de las experiencias de Betancourt.

Resumiendo los hechos tan incompletamente conocidos, que hasta ahora hemos venido exponiendo, resulta que Don Agustín de Betancourt debió tener conocimiento, desde 1787, de los experimentos de Lomond, e intentar sin éxito su aplicación sobre una mayor escala. Pronto debió de abandonar, como irrealizable, la idea del telégrafo eléctrico, que por su parte recogió Salvá, en 1795; y es de suponer que los experimentos de éste último se li-

* No sabemos de dónde proceden estas noticias de los dos científicos, pero lo más probable es que proceden de fuentes muy allegadas a Betancourt. Tanto Humboldt como Arago habían frecuentado en París, al principio de su carrera, los mismos círculos científicos en que trabajaba Betancourt; y hasta es probable que lo hayan conocido personalmente.

mitaron a transmisiones sobre distancias bastante cortas, como en los dos casos conocidos, de Barcelona y de Madrid.

Sin querer restar méritos a Salvá, cuyos experimentos fueron de los primeros sin ser en ningún caso los primeros de todos, es evidente para nosotros que Agustín de Betancourt fue en esta materia un precursor. Sus intentos de transmisión eléctrica, precedidos cronológicamente por los proyectos más bien teóricos de Le Sage y por las experiencias de laboratorio de Lomond, son las primeras realizaciones de este tipo en España, al mismo tiempo que las primeras de todas cuantas trataron de aplicar a un objeto práctico, y a grandes distancias, el fluido eléctrico que sólo medio siglo más tarde llegaría a ser dominado y empleado para la finalidad que él había previsto.



El telégrafo óptico (1797):

1. Visto de frente. 2. Visto de perfil.

IV

EL TELEGRAFO OPTICO

Fracasado su proyecto de telégrafo eléctrico, Betancourt se dedicó, años más tarde, a la realización de un telégrafo óptico, que sin duda le habrá parecido, como a todos los técnicos de su tiempo, la verdadera fórmula del porvenir. Al publicar su nueva invención, en 1796, había ya cuatro años que el telégrafo óptico de Chappe funcionaba en Francia, donde había sido adoptado oficialmente por el gobierno, y donde las estaciones de la red telegráfica se iban multiplicando rápidamente: prueba evidente de que el sistema de Chappe había demostrado suficientemente su utilidad, y que había vencido todas las dificultades que normalmente se oponen a la aplicación práctica y generalizada de cualquier invención útil.

Betancourt no podía ya, por consiguiente, reivindicar el mérito de la prioridad. Su nueva máquina, aunque fundamentalmente diferente de la de Chappe, en cuanto al método adoptado, y sin duda superior a ésta en muchos aspectos, recordaba forzosamente, por muchas otras características, el procedimiento ya conocido y empleado por su predecesor. Al presentar su modelo de telégrafo, Bétancourt sólo podía pretender mejorar resultados ya conocidos. Su máquina transmitía mejor, más rápida y económicamente que la de Chappe; pero sus resultados eran esencialmente los mismos, y la ventaja del sistema de Chappe era de haberse convertido ya en una realidad, y de prestar servicio todos los días, mientras que el de Betancourt todavía era un simple proyecto. Todo ello explica las dificultades con que tuvo que luchar el inventor, cuya máquina, a pesar de sus evidentes ventajas, no

despertó el interés que sin duda hubiese despertado cinco años antes.

Al hablar de inventor, mejor sería decir inventores, ya que Betancourt se había asociado, esta vez, con un conocido relojero suizo residente en París, Bréguet, el mismo que había construido el mecanismo del invento de Chappe*.

Por falta de documentos, resulta difícil determinar cuál fue la aportación de cada uno de los dos colaboradores. Sin embargo, parece probable que Bréguet, conocido por su habilidad como constructor de instrumentos de precisión, habrá intervenido sobre todo en la determinación del mecanismo que ponía en movimiento la máquina telegráfica y transmitía este movimiento a sus distintos órganos, mientras que la concepción general de la misma es probablemente obra de Betancourt.

Sea como fuese, los dos inventores pusieron a punto su nuevo sistema teleográfico, que presentaron a Lázaro Carnot, conocido científico y miembro del Directorio francés, bajo la forma de una memoria manuscrita, acompañada por los planos de la máquina inventada por ellos**.

Esta máquina se componía de un mástil de unos treinta metros de alto (A), sostenido por dos cuerdas fijadas al suelo y por una pieza móvil de madera (BB), que los inventores llamaban flecha y que tenía unos seis metros y medio de envergadura. Esta flecha giraba alrededor de un eje, de tal modo que podía describir un círculo completo y, por consiguiente, formar cualquier ángulo con la vertical representada por el mástil. El movimiento circular de la flecha se obtenía por medio de una polea (C), cuyo centro coincidía con el eje de la flecha; esta polea

* Cf. ALFRED CHAPUIS y CLAUDE BRÉGUET. *A. Bréguet pendant la Révolution Française à Paris; en Angleterre et en Suisse*, Neuchâtel 1953, donde, sin embargo, no se hace mención de los trabajos telegráficos de Bréguet.

** *Mémoire sur un nouveau télégraphe et quelques idées sur la langue télégraphique*, manuscrito en la Biblioteca de la Ecole des Ponts et Chaussées de París, núm. 326 (núm. 3060 del catálogo impreso). Esta memoria, fechada en 5 frimario año VI, es la segunda versión de su proyecto, y posterior a las observaciones de Chappe de que se hablará más adelante. La primera versión de la memoria parece ser formada por una *Description du télégraphe inventé par les citoyens Bréguet et Bétancourt*, contenido en el manuscrito núm. 1806 (núm. 3061 del catálogo impreso) de la misma Biblioteca. Hemos seguido en general el texto de la memoria, por parecernos más completo, y por tratarse de una copia auténtica, firmada por sus dos autores.

estaba movida por una cadena sin fin (*CC*), sujeta a otra polea inferior (*D*), de iguales dimensiones, y mantenida en tensión constante por medio de una argolla con tornillo (*E*).

La polea inferior podía ser manejada desde el suelo, por medio de un torno (*F*), comunicándose su propio movimiento a la polea superior y, por consiguiente, a la flecha. En el movimiento en que una posición correcta había sido conseguida, intervenía un resorte indicador (*G*), fijado sobre el mástil y provisto con una punta, que se insertaba en una de las ranuras de la polea inferior, para engalgarla y estabilizar la señal. Para mayor seguridad de los movimientos, cada uno de las ranuras de la polea llevaba escrito el valor gráfico de su posición frenada.

El eje de la misma polea inferior llevaba al mismo tiempo dos salientes (*HH*) provistos con dos poleas de menores dimensiones (*AA*); éstas últimas se comunicaban por medio de cadenas sin fin con dos poleas de iguales dimensiones (*JJ*), en cuyo eje se hallaba fijado el ocular de un antejo, colocado sobre un tablón (*LL*). Entre los dos antejos así montados, se hallaba reservado un espacio (*M*), en que estaba sentado el observador, de tal modo que, al mismo tiempo que daba la vuelta al torno (*F*), podía mirar sucesivamente por los dos antejos (*JJ*).

En fin, para mayor seguridad de la observación, la flecha había sido provista en un extremo con una pieza fija en forma de T, de modo que el otro extremo, fácil de distinguir, podía ser reconocido como punta de la flecha, mientras que el extremo en forma de T (*OO*) servía de base. Para las transmisiones de noche, los inventores habían previsto el empleo de una lámpara de aceite (*N*) en la punta, y dos lámparas (*NN*) en la base, ambas móviles alrededor de un eje fijo, con el fin de mantener en cualquier momento su posición vertical.

La manera de emplear la nueva máquina telegráfica resulta con suficiente claridad de los mismos detalles de esta descripción. Su principio consiste en imprimir a la flecha determinadas posiciones, cuyos ángulos con el mástil corresponden a valores determinados de antemano, y cuya observación a distancia conduce a la lectura del mensaje así transmitido. El círculo ideal que describía la flecha en su movimiento, se consideraba dividido en cierto número de sectores (los inventores habían propuesto una división en 24 y otra en 36 sectores), que correspondían a otros tantos números o signos del alfabeto. En el caso de la división

de la circunferencia en 36 segmentos, la diferencia de uno a otro representa un ángulo de diez grados: las primeras 26 posiciones debían corresponder a las 26 letras del alfabeto, y las demás, a las nueve cifras.

He aquí cómo se debía proceder para transmitir mensajes por medio del nuevo instrumento telegráfico. El empleado del primer puesto la transmisión se sentaba en el sitio que estaba reservado, al pie del mástil, y daba la vuelta al torno, hasta que la punta del indicador se hallaba colocada encima de la ranura que llevaba la primera letra que él quería transmitir. En aquel momento, paraba la marcha de la máquina, que quedaba frenada automáticamente por el indicador. Debido al movimiento solidario de las dos poleas, la flecha se hallaba entonces parada en una posición que coincidía con la que de antemano se había designado, para significar la letra transmitida. En aquel momento, el observador miraba con el antejo el mástil del puesto siguiente, en donde el otro observador debía reproducir la misma señal.

Para este efecto, el ocular del antejo había sido provisto con un hilo meridiano. Como este mismo ocular se hallaba engastado en una polea, movida al mismo tiempo que el torno y la flecha, resulta que, al obtenerse una letra determinada, el hilo del ocular tomaba automáticamente la misma posición que la flecha. Por consiguiente, si el observador del puesto siguiente había interpretado bien la señal, su propia flecha debía coincidir con el hilo del ocular del puesto anterior. Cualquier variación en la observación indicaba que se trataba de un error; y entonces el primer empleado no modificaba la posición de su aparato, hasta asegurarse que el observador siguiente había corregido su error.

En el segundo y en los demás puestos de la red telegráfica, el observador se hallaba colocado entre dos antejos, el uno fijado sobre el puesto anterior, y el otro sobre el siguiente. Al observar que el puesto precedente había formado una señal, este observador la examinaba con el antejo, y daba la vuelta al torno, sin mirarlo, hasta que el hilo de su ocular coincidía con la posición de la flecha del puesto precedente. En aquel momento, automáticamente, el hilo del otro ocular, así como su misma flecha, se habían fijado ya en la misma posición. Entonces el observador miraba en el segundo antejo, para asegurarse que el puesto siguiente había leído correctamente su propia señal. Sólo en caso de duda, o si la lectura del telegrama era necesaria, el obser-

vador leía también, al tiempo de la transmisión, las letras que pasaban bajo el indicador junto con cada ranura de la polea, y cuya sucesión le indicaba el contenido del mensaje; de otro modo, los observadores de las estaciones intermedias bien podían transmitir los telegramas sin enterarse de su significado.

Cabe añadir que los inventores habían entrevisto incluso la posibilidad de un telescriptor automático. En efecto, su memoria indica que se puede concebir fácilmente un dispositivo que colocaría determinados punzones en lugar de los signos grabados en las ranuras; de modo que, al rodar la polea, los signos fijados por medio del indicador se imprimían solos en una faja de papel, en el mismo orden y a medida de su transmisión; pero, dicen los autores, “hemos preferido dejar la máquina sin más complicaciones”.

Después de haber explicado el funcionamiento de su máquina, los autores añaden un largo párrafo referente a lo que ellos llaman “lengua telegráfica”, y en que tratan de explicar su preferencia para un sistema de transmisión alfabética. Había, en efecto, cierta vacilación en lo referente al mejor sistema, ya que muchos, y Chappe con ellos, pensaban entonces que la verdadera transmisión telegráfica, para ser rápida, debía consistir en señales representando palabras enteras o ideas completas. Los dos inventores no están de acuerdo con esta concepción, evidentemente equivocada, ya que multiplica y complica la cantidad de signos necesarios; y defienden a continuación, quizá con demasiada insistencia, su propio sistema de transcripción alfabética, al que consideran no sólo más sencillo y más fácil de manejar, sino también más rápido que el otro.

Es de señalar que, al presentar su nuevo invento, los dos autores no ignoran ni se proponen hacer caso omiso de los trabajos de Chappe y de los éxitos ya conseguidos por él. Desde el principio de su memoria, afirman que las comunicaciones a distancia son un problema tan importante para la vida nacional, “que, después de haber encontrado algún medio nuevo que perfeccione esta técnica, sería una falta el no buscar el modo de darlas a conocer”; de lo cual se desprende que los inventores tenían la conciencia de que su medio era “nuevo”, pero que su resultado no era más que un perfeccionamiento de técnicas ya conocidas y aplicadas. Más adelante añaden, haciendo más directamente alusión al telégrafo de Chappe: “Estabámos lejos de pensar que los medios ya conocidos y empleados fuesen insuficientes para con-

seguir el resultado que se proponen... pero, al mismo tiempo, nos ha sido imposible dejar de notar que la complicación de esta máquina y la de los accesorios limita de tal modo su uso, que sería imposible en la actualidad, y difícil en cualquier tiempo, el generalizarla”.

Por consiguiente, se puede afirmar que Betancourt y Bréguet reconocían, como era normal que lo hiciesen, la prioridad y el mérito de Chappe; pero que no dejaban de pensar que habían inventado un sistema mejor que el suyo, por lo menos desde el punto de vista de los gastos que necesitaba su implantación. Naturalmente, la máquina de los dos amigos tiene cierto parecido con la de Chappe; pero es un parecido que tienen en común todos los telégrafos ópticos, fundados en la necesidad de izar encima de un mástil visible a largas distancias, una señal cuyas características varían con cada invento. Es posible también que los dos inventores hayan recogido del telégrafo de Chappe la idea de la transmisión del movimiento a la flecha, por medio de una polea inferior graduada, que sirve en cierto modo de esfera y que coincide, por lo menos en parte, con el *repetidor* de la máquina de Chappe. Pero, además de las grandes diferencias de base de ambos sistemas, se puede observar que el mismo repetidor que llamamos de Chappe puede ser que en realidad fuese obra de Bréguet, quien había puesto a punto el funcionamiento de la máquina de Chappe; y, en tal caso, Bréguet no copiaba a Chappe, sino que recobraba su propio bien.

De todos modos, en este caso, el parecido no se refiere más que a un simple detalle. En todo lo demás, el principio que está a la base del invento, las soluciones prácticas y el funcionamiento del nuevo telégrafo difieren fundamentalmente de la máquina de Chappe. Sus méritos consisten no sólo en una mayor rapidez de maniobra, y en los gastos reducidos que preveían los autores, sino también en la facilidad con que cualquier observador, casi sin necesidad de preparación previa, podía servir para transmitir o recibir mensajes; en la elegancia de las soluciones técnicas; y, sobre todo, en la automatización de la observación, debido a los medios mecánicos de lectura de la señal y de reproducción de la misma por el sólo hecho de su lectura.

La memoria de Betancourt y de Bréguet que contenía la descripción de su invento fue presentada al Directorio ejecutivo de la República, en 23 de brumario del año V de la República (13 de

noviembre de 1796), por el ciudadano Charles-Marie d'Eymar, diputado de la Asamblea Constituyente, quien parece haber sido amigo de los dos inventores. En su carta a los miembros del Directorio, Eymar recomendaba a Bréguet y a Betancourt, "conocidos entrambos por su talento y por sus obras mecánicas". Indicaba a continuación el gran interés de este invento, "cuyo examen ha sido hecho ya, con el mayor éxito, en presencia de varias personas instruidas, y particularmente en presencia del ciudadano Prony, miembro del Instituto Nacional". Subrayaba el interés económico del nuevo sistema, ya que, con él, una línea de cincuenta estaciones podría implantarse con un gasto de sólo 300.000 francos; y que, al no necesitarse una preparación previa del personal, se podrían emplear como observadores los inválidos de guerra, que de todos modos vivían a cargo del Estado. Y terminaba diciendo: "Agregaremos aquí que el ciudadano Bréguet conoce perfectamente la máquina instalada sobre el Louvre" (que era el puesto telegráfico de emisión de Chappe), "ya que él es quien ha proyectado su movimiento. El ciudadano Betancourt ha observado la instalación de los telégrafos ingleses. Sobre este particular, y sobre varios más, muy importantes, siempre en relación con Inglaterra, podría proporcionar informes de los más interesantes. Sería muy conveniente que pudiese tratar una entrevista con los jefes del Gobierno".

Esta carta, que iba acompañada por la memoria de Betancourt y Bréguet ya mencionada más arriba, lleva la siguiente resolución autógrafa: "Remitido al ciudadano Prony, director del Catastro, para comprobar experimentalmente la utilidad del telégrafo que se propone, y la economía que puede resultar en el establecimiento de líneas telegráficas. Los experimentos podrán hacerse en Meudon, de acuerdo con el ciudadano Conté. 26 de brumario del año V republicano. Carnot"*.

Llegada a manos de Prony la memoria de Betancourt y Bréguet, el director del Catastro dirigió un informe al Directorio, el día 4 de frimario (24 de noviembre de 1796), sobre los resultados del examen a que le había parecido oportuno someter el nuevo método de transmisión telegráfica. En conformidad con las instrucciones recibidas, una serie de experimentos había tenido lugar en la población de Meudon, el día 2 del mes, de acuerdo y

* École des Ponts et Chaussées, Ms. 1806.

en presencia de Conté, director del Instituto Aerostático de Meudon.

Prony describe en primer lugar el aparato que había servido para estos experimentos, y que era el que ya conocemos. Parece, sin embargo, que Betancourt había sugerido una sola modificación del proyecto primitivo: en lugar del hilo meridiano adaptado al ocular, una esfera micrométrica podía añadirse al antejo, con la indicación, grabada en su circunferencia, de la significación gráfica de cada uno de los ángulos de 10 grados. De este modo, la lectura del telegrama podía hacerse directamente sobre el ocular; pero al parecer, las ventajas de esta innovación no convencieron al comisionado del Directorio, y las cosas permanecieron en su estado primitivo.

De las 36 señales posibles, se habían reservado las cuatro señales que correspondían a los ángulos rectos (90°, 180°, 270° y 360°), para indicar el principio y el fin de la comunicación, el final de cada palabra y el final de cada frase; otras 22 posiciones señalaban las letras del alfabeto, y las diez restantes, las cifras.

El informe indica que el experimento tuvo que desarrollarse en malas condiciones. La instalación era precaria y ofrecía poca estabilidad, "los antejos temblaban, ya que razones de economía no habían permitido el empleo de soportes sólidos. A pesar de estos inconvenientes, la transmisión se ha verificado con mucha facilidad y rapidez. Se han dictado de cada lado varias frases, que han sido comprendidas perfectamente. Del resultado de los ensayos se puede calcular que será posible hacer cerca de cien señales en seis minutos, o sea una señal cada tres segundos y medio aproximadamente. No cabe duda que la comunicación sería aún más rápida, si se emplease una persona ejercitada, al mismo tiempo que máquinas colocadas con menos precipitación y con mayor solidez".

En fin, la conclusión con que cerraba el informe de Prony era sumamente favorable al invento presentado:

"Resulta de las experiencias de que acabo de dar cuenta:

"Primero, que el telégrafo propuesto por Bréguet y Betancourt ofrece un mecanismo extremadamente sencillo y fácil de construir.

"Segundo, que transmite las señales con rapidez, facilidad, y sin padecer equivocaciones.

“Tercero, que su manipulación no ha necesitado sino poca preparación, para poderse ejecutar con la perfección que se requiere, y que es muy posible emplear en ella los soldados inválidos, tal como lo sugiere la memoria.

“Cuarto, que se puede utilizar, no sólo para estaciones fijas, sino también como instrumento portátil, para uso de los ejércitos.

“Quinto, que su construcción es poco costosa, y que el gasto de 300.000 francos para cincuenta estaciones, propuesto en la memoria, será muy probablemente suficiente”.

No sabemos de qué modo, Chappe fue avisado de que su propio sistema y su privilegio corrían peligro. Es posible que, dada su posición de jefe de los servicios telegráficos que ya funcionaban, el gobierno republicano haya tenido a bien consultar con él; o bien que, informado de que la máquina de sus émulos había dado buenos resultados y podía constituir una amenaza para su propio sistema, creyó necesario intervenir espontáneamente en la discusión. Lo cierto es que Chappe es sin duda alguna el autor de una *Memoria sobre el proyecto de un nuevo telégrafo, presentada al Directorio*, aunque esta memoria no venga firmada.

Sus intenciones polémicas son evidentes. El autor de la memoria se propone defender el invento de Chappe frente a este intento de innovación, y convencer de que la máquina de Betancourt y de Bréguet no es más que una variante desacertada y sin valor práctico, de la anterior. Incluso teniendo en cuenta la evidencia y la urgencia de defender los intereses de Chappe, no deja de ser significativa la violencia con que el autor la toma con los dos inventores, y el tono desabrido de su discusión.

“El telégrafo cuya implantación se propone al Directorio”, dice esta memoria, “es el telégrafo del ciudadano Chappe, mutilado de tal manera, que resultaría imposible servirse de él para establecer una línea telegráfica sobre grandes distancias. Es fácil de comprobar, por medio de un simple examen de los dos telégrafos, que la única diferencia es la supresión de las dos aletas del telégrafo del Louvre, y que la esfera que indica el movimiento del nuevo telégrafo es una copia del repetidor colocado en la

* *Mémoire sur le projet d'un nouveau télégraphe présenté au Directoire*. Biblioteca de la École des Ponts et Chaussées de París, Ms. 1806. La atribución a Chappe se halla confirmada por la *Respuesta* de los dos inventores, de que se hará mención más adelante.

cabina telegráfica del Louvre. Se verá en esta memoria que el mismo micrómetro ha sido ensayado, hace mucho tiempo, y rechazado por el ciudadano Chappe, por resultar inútil y no producir otro efecto más que el de dificultar la observación”.

Ya se habrá visto que existía, en efecto, cierta analogía entre la polea graduada de Betancourt y Bréguet, y el repetidor de Chappe. En lo demás, las afirmaciones de este último son sumamente exageradas e indican por su parte un examen muy superficial de la nueva máquina o, en su caso, una determinada mala intención. Es difícil, en efecto, pretender de buena fe que la ausencia de aletas es la única diferencia entre los dos modelos, ya que el telégrafo de Chappe se fundaba en la lectura de las señales combinadas por el conjunto de los tres elementos movibles, mientras que en el nuevo sistema se trata simplemente de la lectura de ángulos. Por otra parte, la mención de un micrómetro se debe a una confusión, quizá voluntaria, ya que en el sistema de los dos inventores no se trataba de un micrómetro, sino de un hilo meridiano, y su misión no era ninguna estima o mediación, sino la de verificar la coincidencia de los ángulos*.

Siguen, en la memoria de Chappe, las observaciones encaminadas a probar que la nueva máquina no presenta ninguna ventaja técnica, en relación con la antigua. “Sería imposible”, escribe su autor, “servirse de ella para una correspondencia inesperada, y aún para transmitir frases convencionales a lo largo de una serie de estaciones”. La razón que se aduce para probarlo, es de las más sorprendentes: “Más cantidad de señales de base posee un telégrafo, más ventaja tendrá desde el punto de vista de la rapidez de las transmisiones, y más permitirá simplificar la lengua telegráfica. El de Chappe tiene 196 señales”, lo cual es cierto; pero no deja de extrañar esta idea bastante pueril, de que la velocidad de la transmisión pueda aumentar en relación directa con la multiplicación de las señales.

Además, añade el autor de la memoria, “las señales de base absolutamente necesarias para mantener una correspondencia sobre una línea compuesta por muchas estaciones, son primero,

* Cf. “Bulletin des Sciences”, núm. 16 (año VI de la República), pág. 125: “Il faut bien se garder de confondre ces fils avec le micromètre. Dans le télégraphe des citoyens Bréguet et Bétancourt, on ne mesure ni on n'estime aucun angle: on ne fait que s'assurer du parallélisme ou de la coïncidence de deux lignes”.

tantas señales diferentes, como estaciones; y segundo, 18 señales reglamentarias, sin las cuales sería imposible establecer algún orden en la transmisión de señales, aunque fuesen de las más sencillas. Para evitar las confusiones, estas señales no pueden servir más que para este uso. Los autores del nuevo telégrafo deben, pues, inventar para la línea de 50 máquinas que proponen, 68 señales de base"; de donde resulta que, al disponer tan sólo de 36 señales, les faltan 32 para poder siquiera tomar contacto de un puesto a otro. Por consiguiente, en opinión de Chappe, la máquina telegráfica de los dos nuevos inventores no puede transmitir ningún mensaje, por simple que fuese.

Lo descabellado de estas observaciones parece indicar cierta mala fe por parte de su autor. Lo cierto es que Chappe no era un verdadero técnico, y que su invento era un feliz hallazgo, insuficiente para transformarle a él mismo en un ingeniero; pero tampoco necesitaba mucha ciencia, para leer y comprender los principios expuestos en la memoria de Betancourt y Bréguet, y para darse cuenta que sus argumentos carecían en absoluto de valor, ya que la especie de aquellas numerosas señales de base, necesarias para tomar contacto de una estación a otra, tenía quizá cierta aplicación para con su propio sistema, pero ninguna para con el de Betancourt. Sin embargo, Chappe estaba tan seguro de hallarse en la posesión de la verdad, que no vacilaba en escribir que Bréguet y Betancourt "no tienen la menor idea del sistema teleográfico; su máquina y su elogio del telégrafo inglés son una prueba evidente".

Las observaciones de más peso que se oponen en su memoria al nuevo invento son la dificultad de distinguir los ángulos de 10°, cuando a distancia, algunas veces resulta difícil distinguir a los de 45°; y la falta de estabilidad de estas instalaciones tan delicadas. En fin, la memoria termina con esta frase, que da la medida entera de la pasión y de la displicencia de su autor: "Podríamos lamentar el que los ciudadanos Bréguet y Betancourt hubiesen empleado tan inútilmente un tiempo que sus talentos conocidos hacen tan precioso, si no nos diésemos cuenta que su máquina y su memoria no son más que el fruto de algunas reminiscencias, y que no deben haberles desviado sino poco tiempo de sus meditaciones acostumbradas".

Encima de esta manifestación biliosa del descontento de Chappe, el ministro puso otra vez: "Remitido al ciudadano Prony,

director del Catastro, para dar su aviso. 10 de nivóse del año V de la República. Carnot". Prony debió de comunicar a los dos colaboradores el contenido de las observaciones de Chappe, ya que Betancourt y Bréguet volvieron a escribir y a completar su propia memoria, con unos cuantos párrafos en que recogieron estas objeciones y las rebatieron como infundadas.

En lo referente a la dificultad de reconocer a distancia una diferencia de 10° , los autores admiten que, en efecto, "el movimiento ondulatorio del aire", sobre todo en los días de bochorno, dificulta la estima a distancia hasta en los ángulos de 45° ; y con mayor razón se podría creer lo mismo para unos ángulos de 10° . Sin embargo, añaden, en este caso no se trata de estima, sino de establecer la coincidencia o el paralelismo de la flecha observada con el hilo del anteojo observador; e incluso si se admite que la libración puede impedir alguna vez la exacta coincidencia, nunca dejará de permitir la observación, por lo menos de su paralelismo, que es suficiente para asegurar la fidelidad de la transmisión.

En segundo lugar se contesta a otra objeción de Chappe, quien suponía que el empleo de una simple flecha, menos visible a distancia que sus tres elementos movibles, necesitaría reducir la distancia entre los puestos de observación y, por consiguiente, multiplicar el número de las estaciones. Este riesgo no existe, dicen los dos autores; sino que, al contrario, los puestos podrán alejarse más que con el sistema de Chappe, donde las señales y su exacta lectura dependen de la visibilidad de las dos aletas movibles, largas de 1,25 metros; mientras que en el aparato de los dos inventores, no sólo el objetivo es una flecha de 6 metros y medio de largo, sino que para su observación se puede emplear un anteojo, e incluso una luneta astronómica, si fuese necesario.

En fin, los autores de la memoria aprovechan esta revisión de su propio trabajo, para indicar la solución del peor escollo de su invento, que Chappe no había sabido observar. En efecto, en el caso de observaciones oblicuas, es decir, cuando el anteojo del observador forma con el plano de la flecha observada un ángulo que no sea recto, interviene una deformación óptica, que modifica sensiblemente el valor de las señales observadas. Evidentemente, no habrá inconveniente de esta clase, mientras la transmisión se supone verificarse a lo largo de una línea recta ininte-

rrumpida; pero tales líneas no se dan en realidad, y no es siempre dable conseguirlas en la práctica. Se comprende fácilmente que, si la luneta forma con el plano de la flecha observada un ángulo agudo u obtuso, el resultado de la observación será un ángulo aparente, más o menos diferente del ángulo real y, por consiguiente, sujeto a interpretaciones equivocadas.

Los autores admiten que esta objeción, que posiblemente les venía de Prony, sería justificada; pero añaden en seguida que el defecto así señalado ha sido ya corregido, por medio del pequeño aparato conocido con el nombre de Hook, ingeniosamente adaptado a esta nueva necesidad, así como por una juiciosa colocación de las máquinas. En primer lugar, cada telégrafo debía colocarse de tal modo, que cada una de las dos estaciones vecinas, la que precede y la que sigue, lo viese bajo la misma inclinación: de este modo, la inclinación no era más que la mitad de lo que hubiera sido, considerada en un sólo punto. En segundo lugar, la circunferencia de la polea inferior no estaba dividida en segmentos rigurosamente iguales, sino calculados de tal modo, que la desigualdad de los ángulos de la flecha, así obtenidos, se compensaba con la oblicuidad de la observación. En fin, como era preciso transformar el movimiento irregular de la polea inferior en movimiento regular de las poleas que contenían los anteojos, Betancourt aplicó en este punto un dispositivo que reproduce, modificado convenientemente, el aparato de Hook, que es el que permite dar cualquier inclinación a los telescopios, y modernamente a las máquinas fotográficas*.

* El mismo dispositivo se halla descrito en el *Essai su la composition des machines* de nuestro autor, tercera edición, París 1840, pág. 105-6, cuyo texto traducimos para mayor claridad:

“Articulación quebrada, que sirva para cambiar el plano del movimiento circular. Se emplea en los instrumentos astronómicos, cuando el observador, sin cambiar sitio, necesita comunicar un movimiento circular a puntos apartados y que se hallan incluidos en planos diferentes.

“Los Sres. de Betancourt y Bréguet han hecho una aplicación muy ingeniosa de este movimiento en su telégrafo, en los puntos en que la línea telégráfica forma ángulos. Han demostrado, en una memoria presentada al Instituto Nacional, que si el movimiento de rotación de uno de los dos ejes es uniforme, el del otro será variable, y la relación de la velocidad del primero con la del segundo será igual a la que existe entre el valor real de los ángulos formados sobre la superficie de un círculo perpendicular al primer eje, por radios que dividen su circunferencia en un cierto número de partes iguales, y el valor aparente de los mismos ángulos, medidos por un observa-

Al mismo tiempo, Betancourt y Bréguet contestaron más ampliamente a la memoria de Chappe, con fecha del 20 de nivoso del año V, con una *Respuesta a las observaciones hechas por el ciudadano Chappe sobre el telégrafo propuesto al Directorio por los ciudadanos Bréguet y Betancourt**. Esta contestación, cuyo texto original nos ha sido conservado con la firma autógrafa de los dos asociados, no es sólo una refutación de las objeciones ya señaladas, sino también un examen de las ventajas de la nueva máquina, comparada con la anterior.

“Es cosa fácil”, dicen los dos autores, “demostrar que el ciudadano Chappe no ha comprendido nada de la máquina que hemos propuesto, y que se ha figurado que podía contestarnos partiendo siempre de falsos supuestos. El ciudadano Chappe hubiera podido evitar fácilmente los errores en que ha incurrido, si, antes de escribir su memoria, hubiese querido discutir con nosotros, como nosotros mismos hemos querido verlo, antes de presentar nuestro telégrafo al Directorio”.

Las ventajas que la nueva máquina les parece ofrecer son: el sistema alfabético, más cómodo que el empleo de señales múltiples; el hecho de que la nueva máquina transforma en efecto mecánico todo cuanto era esfuerzo de atención y de memoria en el telégrafo de Chappe; el hecho de que, para cada señal, basta con ejecutar un solo movimiento, mientras que Chape debía dar la vuelta a tres tornos diferentes para obtener una sola señal; y el que la observación de Chappe, que constaba también de tres operaciones diferentes (lectura, ejecución y verificación), viene a ser simultánea e inmediata con su máquina.

dor colocado a una gran distancia y en una dirección paralela a la del segundo eje. El conocimiento de esta propiedad es muy útil para calcular las diferencias de resistencia que se producen en este movimiento, sobre todo cuando viene aplicado sobre una gran escala, como ocurre en Holanda, donde está muy empleado, para cambiar la inclinación de los tornillos de Arquímedes que dan vueltas por medio de los molinos de viento”.

En su informe a la Academia de las Ciencias de París, de que se hará mérito más adelante, Delambre afirmaba que “este mecanismo no es nuevo, pero la aplicación que se acaba de hacer del mismo nos parece tan nueva como acertada”. El mismo dispositivo, atribuido a Betancourt, está analizado en BORGNI. *Composition des machines*, París 1818, pág. 369-70.

* *Réponse aux observations faites par le citoyen Chappe sur le télégraphe proposé au Directoire par les citoyens Bréguet et Bétancourt*. Biblioteca de la École des Ponts et Chaussées de París, Ms. 1806.

Añaden los dos autores que es falsa la pretensión de Chappe, de que el antiguo telégrafo óptico les haya servido de modelo; que su afirmación, de que la máquina antigua viene a costar menos que la nueva, se explica por haber comparado el precio de una máquina nueva para estación fija, con una antigua para estaciones ambulantes; que la idea de que la multiplicidad de los signos es una facilidad para la rapidez de las comunicaciones, es una pretensión ridícula; y que Chappe se equivoca al considerar el hilo meridiano como un micrómetro. Su conclusión es un ataque personal, paralelo al que terminaba la memoria de Chappe:

“El ciudadano Chappe ha tenido la idea de corresponder por señales: he aquí todo cuanto le pertenece en el telégrafo. Pero cuando se trató de construir la máquina, se quedó bastante empachado. Entonces llamó a varios técnicos, que no lograron lo que se necesitaba. Entonces fue cuando el ciudadano Chappe recurrió al ciudadano Bréguet. La máquina fue construida sobre los dibujos de éste último, tuvo éxito, y es la que se puede ver hoy día en el Louvre. El ciudadano Bréguet ha hallado el medio de llevar todo el juego de la máquina en el centro del eje, cuyo medio es absolutamente nuevo en mecánica, por más que el ciudadano Chappe, absolutamente ajeno a esta ciencia, asegura que es conocido desde hace siglos. El ciudadano Chappe ha variado mucho su modo de hablar. Debería recordar que la primera vez que el telégrafo del Louvre fue puesto en movimiento, había dicho al ciudadano Bréguet: —“Bueno, he aquí a su hijo”. La verdad de estos hechos puede ser certificada por un gran número de personas, y particularmente por los ciudadanos Buquet (conocido personal del ciudadano Letourneur, miembros del Directorio) y Saunier: éste último es el jefe de todo lo relacionado con el establecimiento de los telégrafos, y debe tener aun en su posesión los dibujos del ciudadano Bréguet”.

Pero es fácil comprender que al Directorio le interesaban poco estos ataques personales. Lo único que podía tener interés era averiguar si el nuevo invento era preferible al anterior; y para asegurarlo, el Directorio ordenó un nuevo examen comparativo de los dos sistemas en presencia, comisionando para ello una junta formada por los científicos Prony, Guyton de Morveau, Prieur, Fourcroy y Costaz. El resultado de este examen parece haber sido el segundo informe de Prony, que terminaba con las conclusiones siguientes:

“Primero, que la invención de Betancourt y Bréguet es totalmente diferente de la de los telégrafos construídos por el ciudadano Chappe, y que la misma diferencia existe también en su manipulación y en su sistema de notación.

“Segundo, que la máquina telegráfica de Betancourt y Bréguet, reúne, en su ejecución, la simplicidad con la economía, y que al aplicarla se podrán establecer líneas telegráficas con mayor rapidez de la que se había obtenido hasta entonces en las construcciones de este tipo.

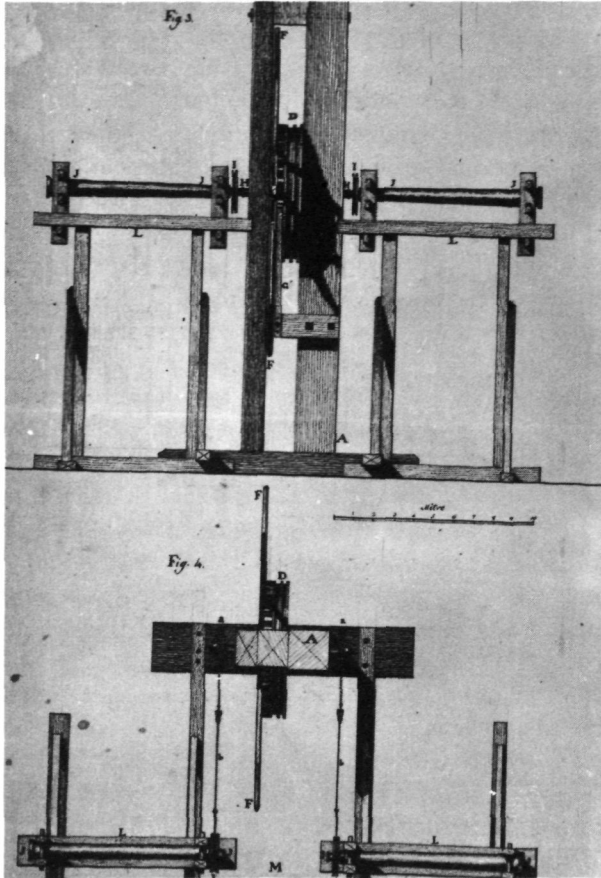
“Tercero, que la manipulación de este telégrafo es fácil y no exige, por parte de los que la hacen, más que una cantidad mínima de destreza, de inteligencia y de memoria...

“Cuarto, que el sistema de notación propio de los nuevos telégrafos tiene toda la fertilidad que se necesita para la lengua telegráfica. Esta lengua puede adquirir una extensión indefinida, por medio del empleo de una combinación de 30 o 40 signos primitivos; incluso es probable que la transmisión será más rápida con los nuevos telégrafos, que con los anteriores”. Prony concluía su segundo informe, afirmando que “el telégrafo propuesto por Betancourt y Bréguet, es un invento que añade posibilidades nuevas y útiles a la técnica telegráfica, y que merece ser recogido por el Gobierno”*.

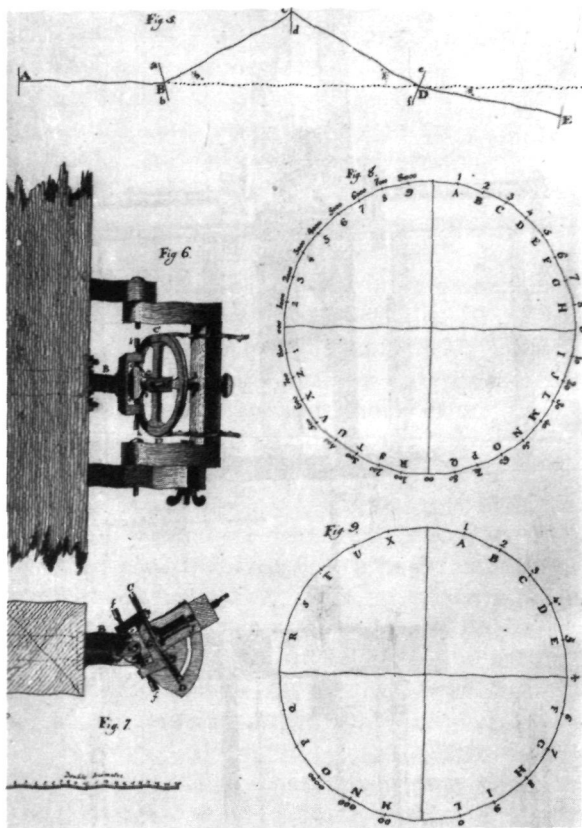
Sin embargo, a pesar de este nuevo éxito, tan rotundo como el primero, el gobierno de la República no se daba prisa para tomar una decisión. Casi un año pasó, sin novedad; y entonces Eymar, quien había presentado la memoria de los dos inventores al Directorio, publicó en el *Moniteur* del 16 de brumario del año VI (6 de noviembre de 1797), una carta dirigida al célebre Monge, conocido por sus excelentes relaciones con el general Bonaparte, para recomendarle este asunto**. Empezando con una breve reseña histórica de la cuestión, Eymar señalaba cómo Chappe, “hombre instruido y culto”, había resuscitado muy oportunamente la vieja idea de Amontons, de comunicarse a distancia por señales ópticas, por cuya idea “nunca le estaremos

* No hemos podido ver el segundo informe de Prony, cuyas conclusiones se citan aquí, a base del texto reproducido por Eymar, en su segunda carta mencionada más abajo.

** “Le Moniteur”, núm. 46, del 6 de noviembre de 1797. La carta lleva la fecha del 12 de brumario. Junto con la contestación de Chappe y la segunda carta de Eymar, ha sido republicada en *Lettres sur le télégraphe*, folleto que volveremos a mencionar en la nota 13.



El telégrafo óptico (1797):
3. Corte longitudinal. 4. Corte horizontal.



El telégrafo óptico (1797):

- 5. Angulos de observación.
- 6-7. Mecanismo corrector de los efectos de la observación oblicua.
- 8-9. Llaves del sistema de señales

bastante agradecidos”. Añadía que “el ciudadano Bréguet inventó y dio al ciudadano Chappe los medios ingeniosos y completamente nuevos en mecánica, que ponen en movimiento el telégrafo que se puede ver encima del Louvre”.

Era muy actual por aquel entonces el proyecto de la invasión de Inglaterra, que había sido decretado recientemente por el Directorio. Para llevarlo a cabo, se necesitaba una red telegráfica, difícil de implantar en tan breve tiempo, si se aplicaba el sistema de Chappe. Pero he aquí que “dos hombres, cuyo talento para la mecánica y genio inventivo son conocidos por todos cuantos se ocupan en Europa de las artes, los ciudadanos Bréguet y Betancourt, han ofrecido desde hace un año al antiguo miembro del Directorio, Carnot, un nuevo telégrafo, cuyo juego y combinaciones se fundan en nuevos principios.

“Los inconvenientes de la máquina actual desaparecen totalmente con ésta. Su empleo es tan simple como fácil; sus resultados son seguros, infalibles, y su infalibilidad se puede comprobar desde el primer ensayo. En dos meses, todas las estaciones podrían establecerse a lo largo de nuestras costas: los gastos serían infinitamente más reducidos que los que ocasionaría el telégrafo actual. Un inválido, un niño, pueden servir en seguida la nueva máquina”. Su interés ha sido examinado ya, con éxito, en los experimentos de Meudon, y dos informes del ciudadano Prony han llegado a las conclusiones más favorables. Por otra parte, “los hombres que la proponen están por encima de la sospecha de dejarse guiar en este asunto por la atracción de algún lucro. Han declarado los dos que no quieren tener ninguna participación en la fabricación de las máquinas: sólo darán cuantos consejos y cuidados sean necesarios para asegurar su éxito”. Le toca, pues, a Monge, ilustre miembro del Instituto y persona capaz de comprender la importancia de este invento, insistir acerca de Bonaparte, para obtener la adopción de un sistema tan ventajoso para la nación.

Esta segunda intervención de Eymar, que se proponía crear una corriente de interés en la opinión pública, no podía dejar de llamar la atención de Chappe, siempre atento a defender sus privilegios, o lo que él consideraba su derecho. Chappe salió al paso, publicando en el mismo periódico un artículo de contesta-

ción, cuatro días más tarde, el 2º de brumario*; y su segunda intervención es por lo menos tan agria y tan malhumorada como la primera:

“El español Betancourt”, dice, “cansado de hurtar los descubrimientos de otros, se ha asociado con el ciudadano Bréguet, para sacar algo de su fondo propio: y hélo aquí, anunciando en su periódico un nuevo telégrafo. Pero admirad la fuerza de la costumbre: este telégrafo es precisamente el del Louvre, estropeado despiadadamente, para hacerlo imposible de reconocer”. Esta nueva máquina, “muerta al nacer”, copia a la de Chappe, con la diferencia que allí donde éste utilizaba ángulos de 45º y de 90º, los dos inventores pretendían servirse de ángulos de 10º. Para poder observar correctamente tan pequeñas diferencias, “se ha buscado (admirad una vez más la fuerza de la costumbre) en un informe hecho por Lakanal sobre el telégrafo, insertado en *Le Répertoire publicain*, núm. 690, una clase de micrómetro que yo había aplicado a los anteojos de mis primeras experiencias, y que después había abandonado por demasiado molesto y de uso muy difícil”.

Las embestidas contra sus rivales son todavía más directas y más brutales que en la memoria antes mencionada: “Como esos hijos industriosos de Saboya, que piensan aumentar el número de sus clientes al gritar que embetunan con betún inglés, Bréguet y Betancourt, que, como ellos, han venido a Francia para ejercer su industria, han gritado que disponían de telégrafos a la inglesa. Han hecho un experimento en Meudon, en presencia del ciudadano Prony, quien asegura que ha visto el telégrafo describiendo ciertos ángulos, de cuya verdad no dudo”. Pero la comisión designada por el Directorio ha podido comprobar “que la nueva máquina era un hijo bastardo y abortado del telégrafo actual; que era imposible hacer un telégrafo menos costoso y más sencillo que el del Louvre; que Bréguet, al disminuir las dimensiones, obligaba a multiplicar las estaciones y aumentaba los gastos, etc.; que había pretendido ser el inventor de los medios que eran conocidos desde siempre”.

El tono arisco y a veces grosero de esta segunda intervención de Chappe indica claramente su despecho. Sus observaciones no son, en general, más que una simple repetición de las ob-

* “Le Moniteur”, núm. 50, del 10 de noviembre de 1797. La carta lleva la fecha del 15 brumario.

jecciones ya formuladas en su memoria anterior; y las que añade no parecen más justificadas que las primeras. El que llame a Betancourt hurtador de invenciones ajenas, es una simple grosería. Su única justificación quizá se pueda buscar en la obligación en que se hallaba Betancourt, de copiar o mandar copiar todas las máquinas nuevas de cierto interés, para enriquecer con ellas el Gabinete de Máquinas de que era director; y quizá pensaba Chappe también en la máquina de vapor, cuyo modelo había tomado nuestro ingeniero de la de Watt, en las circunstancias que más adelante se referirán. Pero ni en el primer caso ni en el segundo, se puede tachar de incorrecta la actitud de Betancourt, ya que éste nunca pensó en atribuirse méritos ajenos, y no dejó de señalar, en su tiempo, que su máquina de vapor no era más que la de Watt, diferentemente interpretada únicamente por no haber podido reproducirla fielmente.

La acusación de haber buscado los dos inventores la idea de un micrómetro en el informe de Lakanal sobre el propio telégrafo de Chappe, no puede tener ningún fundamento, ya que hemos visto que no se trataba de ningún micrómetro, y que el procedimiento del hilo meridiano no tiene nada que ver con las experiencias de Chappe. Que sepamos, nunca habían pretendido los dos colaboradores que su telégrafo era “a la inglesa”. Por una parte, la cosa no es cierta, ya que no hay nada en común entre la nueva máquina telegráfica y el sistema que por aquel entonces se empleaba en escala bastante reducida en Inglaterra; y, por otra parte, Chappe se contradice, al afirmar que la máquina de Betancourt es la misma que la suya, y a renglón seguido que está inspirada en el modelo inglés. En fin, no parece cierto que la junta nombrada por el Directorio haya comprobado que la máquina de los dos asociados era inservible, para los fines que se proponía: ello parece probar que, al escribir su contestación, Chappe ignoraba aun la existencia o el contenido del segundo informe de Prony.

Sólo dos días después, en el *Moniteur* del 22 de brumario, Eymar contestó a las acusaciones de Chappe *, en una carta directamente dirigida a éste. Empieza por lamentar el tono adoptado por Chappe. “Este tono no es el mío; y me gusta creer que sólo casualmente ha llegado a ser el suyo”. Lamenta también el jui-

* “Le Moniteur”, núm. 52, del 12 noviembre de 1797.

cio injusto que acaba de pronunciar contra las personas de Bréguet, cuya modestia alaba tanto más que “una de las mayores dificultades que he tenido que vencer, ha sido la de forzar su modestia”. Sigue una larga apología de Betancourt, el más maltratado de los dos asociados, y una reseña de sus méritos, desde el punto de vista de la ciencia y de la industria francesas*.

Eymar rebate después las objeciones de Chappe, y cita las conclusiones del segundo informe de Prony, que antes habíamos

* “Le citoyen Bétancourt a parcouru l'Europe en philanthrope éclairé, qui cherche à connaître les différents procédés des arts, pour les publier et les répandre. Il s'est constamment occupé, sans autre motif que celui d'être utile, à acquérir des connaissances sur l'industrie de tous les pays, pour la leur rendre commune autant qu'il est possible. Il n'a jamais cherché à s'attribuer aucune découverte qui eût été faite avant lui; mais il a inventé plusieurs machines, connues des différents artistes de la France, et dont il serait trop long de faire ici l'énumération. C'est alors seulement qu'il a dit que ces machines étaient de son invention.

“Pour ne parler que des obligations que nous lui avons en France et ne citer que les principales, je dirai qu'il y a apporté le premier et fait exécuter avec les citoyens Périer la pompe à feu à double effet, dont à la seule inspection il avait deviné le mécanisme, à Londres. Le dessin de cette machine, rendue plus parfaite qu'elle n'était sortie des mains de l'inventeur, fut présenté à l'Académie des Sciences. Les citoyens Monge et Borda furent les rapporteurs du mémoire du citoyen Bétancourt.

“Nous lui devons aussi la nouvelle presse hydraulique que l'on peut voir aux ateliers des citoyens Périer. Il l'avait apportée d'Angleterre.

“Le citoyen Bétancourt a remis de plus au citoyen Prony et à l'École des Ponts et Chaussées les dessins des différents moyens dont les Anglais se servent dans leurs canaux de navigation, pour monter et descendre les bateaux, sans employer le moyen des écluses: service très important, rendu gratuitement, comme tous les autres, à la République Française, et dont à la paix générale elle sentira mieux encore tout le prix. Le citoyen Bétancourt a nommé non seulement les inventeurs de ces machines, mais il a fait connaître les endroits où elles sont exécutées.

“Dans le XIII-e volume des Mémoires de la Société pour l'Encouragement des Arts et Manufactures de Londres, on peut voir encore la description d'une machine, qui sert à couper l'herbe des canaux et des rivières navigables: celle machine lui a valu le prix.

“Enfin, c'est encore à lui qu'on doit la découverte de la loi de la force expansive de la vapeur d'eau à différents degrés de chaleur: connaissance des plus importantes, qu'on ait acquises récemment sur ce qui concerne les machines à feu, ainsi que s'exprime l'Institut National dans son compte-rendu au Corps Législatif, le premier jour complémentaire de l'an IV, et comme on peut le voir dans le savant ouvrage qui a pour titre *Nouvelle architecture hydraulique*, par le citoyen Prony”.

mencionado. En cuanto a decidir a quién asistían la justicia y la verdad en esta polémica, dice, “es lo que se verá cuando todas las piezas y los dibujos referentes a esta invención puedan hacerse públicos, ya que tengo la intención de reunirlos en un pequeño opúsculo”.

El opúsculo así anunciado no llegó a publicarse, o, por lo menos, no salió tan completo como lo deseaba Eymar. Sin embargo, éste no cejó en su empeño de ayudar a sus dos amigos a sacar adelante su proyecto. Al mismo tiempo que imprimía en un folleto los textos de su polémica con Chappe*, Eymar presentaba a la Academia de las Ciencias, en su sesión del 5 de frimario del año VI (25 de noviembre de 1797), la memoria de los dos técnicos, nuevamente completada y puesta a punto**.

Esta memoria, cuyo original lleva la fecha del día anterior, 4 de frimario, quizá habrá sido recomendada a la Academia por el mismo Monge, a quien hemos visto que Eymar solicitaba en este sentido. Sea como fuese, la Academia de las Ciencias designó en seguida una comisión, integrada por Lagrange, Laplace, Borda, Prony, Coulomb, Charles y Delambre, todos miembros de la Academia y figuras de primera plana en la ciencia contemporánea, con el objeto de examinar el mérito eventual del nuevo invento que se le había presentado***.

Algunos días más tarde, el 11 de frimario, se leyó en la misma Academia un oficio del Ministerio del Interior, que pedía, en nombre del Directorio de la República, que se procediese a un examen comparativo del nuevo telégrafo y del antiguo, con el fin de determinar si el nuevo modelo presentaba ventajas reales y dignas de consideración****.

En cumplimiento de su comisión, los miembros antes mencionados pidieron que se les proporcionasen los elementos que

* *Lettres sur le télégraphe*, en-8.º de 31 pág. Este folleto, publicado sin nombre de autor, sin lugar y sin fecha, debió de imprimirse entre el 12 de noviembre de 1797, fecha de la publicación de la segunda carta de Eymar, que figura en ella, y el 20 de abril de 1798, cuando Eymar publicaba en el “Moniteur” su tercera carta, no incluida en el folleto.

** *Académie des Sciences. Procès-verbaux des séances*, vol. I, París 1910, pág. 306.

*** *Ibidem*, pág. 306. Delambre sólo fue agregado a la comisión algunos días más tarde, en 16 de frimario (*Ibidem*, pág. 309).

**** *Ibidem*, pág. 306 (11 de frimario).

constituían el telégrafo de Chappe*. Por su parte, Betancourt y Bréguet habían ya anunciado a la Academia que estaban dispuestos a construir a su costa dos estaciones completas de su propio telégrafo, para que se procediese a los experimentos que se considerasen necesarios**. En 11 de ventoso del año VI (1 de marzo de 1798), los dos inventores anunciaron que habían terminado esta construcción y que tenían las dos máquinas a disposición de los comisionados***. No así Chappe, a quien parece que no debían de interesarle mucho aquello de experimentos y de comparaciones; así que no brindó a los investigadores ninguna ayuda y ninguno de los elementos de que decían tener necesidad.

En ausencia del examen comparativo, que no pudo verificarse debido a la obstrucción de Chappe, los comisionados cumplieron por lo menos con aquella parte de su encargo que seguía siendo posible. La Academia de las Ciencias escuchó el informe de los comisionados, redactado por Delambre y fechado en 21 germinal del año VI****. El informe, tan amplio y tan detallado como se pudiera desear, empieza por una descripción completa de la instalación y de su funcionamiento, que juzga después de la manera siguiente:

* *Ibidem*, pág. 313 (16 de frimario).

** *Ibidem*, pág. 308 (16 de frimario).

*** *Ibidem*, pág. 353 (11 de ventoso).

**** *Ibidem*, pág. 373-75. También se halla publicado íntegramente en *Mémoires de l'Institut National des Sciences et Arts. Sciences et Arts. Sciences mathématiques et physiques*, vol. III, año IX de la República, pág. 22-33. Una reseña firmada L. C., *Nouveau télégraphe présenté par les citoyens Bréguet et Bérancourt*, en "Bulletin des Sciences, par la Société Philomathique" de París, núm. 16, año VI de la República, pág. 125-26.

Cabe añadir que el embajador de España, marqués del Campo, había visitado el telégrafo y escrito a Godoy en 21 de marzo de 1799 ("Correo erudito", IV (1946), pág. 221-22). Según su relación, el telégrafo "contiene cuantas calidades se pueden apetecer. Su sencillez es, se puede decir, más allá de cuanto pudiera imaginarse; su uso, de tal rapidez, que en 50 segundos podría verificarse desde Madrid a Cádiz la ejecución del mismo signo o movimiento; y, además, es de tan fácil comprensión que un soldado inválido u otro sujeto cualquiera que se colocase en los puestos intermedios lo desempeñaría desde el primer momento como el de la estación principal. Finalmente el costo de cada telégrafo en su respectivo puesto sería sumamente inferior, como de una 6.^a o 7.^a parte, a los que están corrientes. Hemos estado a verlos, el conde de Cabarrus y yo, y hemos quedado sumamente prendados, como ha sucedido a cuantos extranjeros y nacionales han ido a verlo".

“Esta operación es sumamente sencilla: por decirlo así, no requiere ningún aprendizaje. Un hombre de mediana inteligencia la comprenderá y la ejecutará en seguida; y un hombre de inteligencia más limitada podrá hacerla después de pocas lecciones: basta con que conozca las letras del alfabeto y las cifras, o que aprenda a distinguir los nuevos caracteres que se juzgaría oportuno emplear en su lugar...

“La nueva máquina nos parece, pues, poseer en el más alto grado el mérito de la facilidad de maniobra. Sin ningún estudio preparatorio, hemos hecho pasar despachos que nos han sido devueltos después con la mayor fidelidad, y hecho preguntas que han sido contestadas muy correctamente. No será inútil añadir que una de las frases que hemos transmitido era en latín, y que nos ha sido devuelta con la misma exactitud que las demás, por más que el correspondiente ignorase en absoluto esta lengua”.

El informe pasa después a discutir el problema de la visibilidad de ángulos tan pequeños como los de 10° , empleados en las señales del nuevo telégrafo. “La experiencia”, dice, “nos ha tranquilizado completamente en cuanto a este particular: en ningún momento hemos podido notar la menor vacilación. El ojo juzga con extraña precisión el exacto paralelismo, y el más mínimo movimiento hecho por el telégrafo, para pasar de una señal a otra, era notado; la desviación se hacía ya sensible, incluso cuando no tenía más de dos o tres grados, y hemos comprobado que se le distingue perfectamente, a pesar de la niebla; de modo que se puede observar y corresponder, desde que el aire viene a ser bastante transparente, como para dejar ver la flecha del telégrafo”.

El autor del informe indica después su preferencia para el sistema alfabético, aunque el nuevo telégrafo admita, si fuera necesario, la aplicación de otros sistemas diferentes. Observa que la duración de transmisión de los mensajes arroja un promedio de ocho segundos por señal; pero que en realidad, cuando las máquinas tengan su forma definitiva, se podría llegar a un promedio de seis segundos, que parece más que satisfactorio. En cuanto a la distancia que separa las estaciones, “nuestras experiencias se han hecho desde el telégrafo colocado encima del Observatorio nacional. El más alejado de los dos que observábamos estaba colocado sobre el Monte Valérien, o sea a más de 10.000 metros de distancia. Esta distancia se podrá aumentar sin inconve-

niente hasta 12.000 metros, y quizás más, por lo menos en los casos en que el telégrafo se perfila sobre el cielo”.

La comisión, sin duda interesada por la demostración, había pensado incluso en un medio de comprobar de vez en cuando la perfecta verticalidad del mástil, —detalle que no parece haber sido previsto primitivamente por los inventores: “La exactitud del nuevo telégrafo depende de esta condición, que los hilos de los anteojos permanezcan siempre paralelos a la flecha. A la larga, es posible que este paralelismo se altere, y será conveniente verificarlo cada vez que se empiece una correspondencia. El medio es muy sencillo: se dará la vuelta al torno, hasta que el indicador se pare en la posición vertical. En esta situación, se examinará si la flecha queda exactamente paralela al mástil que le sirve de soporte, y los hilos paralelos a los mástiles de las estaciones cercanas. En este caso, el instrumento está bien acondicionado”.

El informe pasa después a examinar el problema más grave de la transmisión, es decir, la observación oblicua, que formaba la objeción más seria de cuantas se habían opuesto al nuevo invento. “Se podría contestar desde luego”, escriben los comisionados, “que, para una inclinación de 24° , la diferencia entre el ángulo real y el ángulo aparente no es sino de 2° , cuando más, es decir, cuando el ángulo tiene 50° ; de modo que el paralelismo, con no ser exacto, por lo menos será siempre bastante aproximado, para que no se deba temer ningún error. Esta contestación podría parecer suficiente; pero los autores del nuevo telégrafo han hallado otra mucho más satisfactoria, y es de corregir este error, por más que pareciese insignificante. Su solución es simple e ingeniosa”, y es la doble corrección que más arriba queda señalada.

En fin, lamentando la imposibilidad en que se ha encontrado la comisión de comparar los resultados del nuevo telégrafo con el antiguo, el informe llega a su conclusión, que es completamente favorable al nuevo invento:

“Lo que podemos decir, es que el telégrafo de los ciudadanos Bréguet y Betancourt se distingue esencialmente de todas las demás máquinas de este tipo que conozcamos; que este telégrafo reúne en un grado que parece difícil rebasar e incluso alcanzar, todas las calidades que pueden asegurar la facilidad, la rapidez y la precisión en la correspondencia; la economía en el establecimiento y la reparación de las máquinas; en fin la multiplicidad de las señales junto con una sencillez tal, que no requiere ninguna

preparación especial por parte de las personas a quienes se confiara su cuidado...

“Por consiguiente, creemos que el nuevo telégrafo merece la atención del Gobierno, y que se verá con agrado, en la colección del Instituto, la memoria en que los ciudadanos Bréguet y Betancourt han explicado la construcción de su máquina y sus ideas acerca de la lengua telegráfica”.

La Academia de las Ciencias aprobó el informe y, haciendo suyas las conclusiones de los comisionados, acordó la publicación del informe, así como de la memoria*. El primero fue publicado, efectivamente; pero la segunda nunca llegó a ver la luz, por razones que ignoramos. Poco después, en el *Moniteur* del 1 floreal del año VI o sea el 20 de abril de 1798, Eymar publicaba una nueva carta, para comunicar a los lectores interesados los últimos resultados conseguidos en este asunto**, y que son la negativa de Chappe de colaborar en las experiencias, y el informe favorable de Delambre, que se halla ampliamente reproducido por Eymar.

De este modo, en cada fase de esta polémica y de los varios experimentos a que dio lugar, el telégrafo de Betancourt y Bréguet salió victorioso de las pruebas a que fue sometido; y todos los científicos, cuyos conocimientos técnicos y cuya buena fe no dejan lugar a dudas, se pronunciaron en su favor. Sin embargo, todas las gestiones, la buena voluntad de los amigos, las luchas y las intervenciones para con la oficialidad quedaron sin resultado. Después del informe favorable de la Academia, no se vuelve más a hablar del nuevo telégrafo, y el de Chappe sigue su carrera triunfadora y sin rival, que continuará durante casi medio siglo.

Es difícil explicar las causas de este fracaso. La más probable parece haber sido la enconada oposición de Chappe, quien estaba ya bien colocado para poder defender sus intereses, así como la fuerza de la inercia y de los intereses creados alrededor del tipo de telégrafo que ya estaba funcionando. Naturalmente, los partidarios de Chappe explicaban el rápido olvido del nuevo tipo de telégrafo, por sus pretendidas deficiencias. Así, por ejemplo,

* *Mémoires de l'Institut National. Sciences mathématiques et physiques*, vol. III, año IX, pág. 55; *Académie des Sciences. Procès-verbaux des séances*, vol. I, pág. 375.

** “Le Moniteur”, núm. 211, del 20 de abril de 1798.

Chappe el Joven, hermano del inventor, en un tratado de telegrafía publicado bastante más tarde, describía la máquina de Betancourt y de Bréguet muy inexactamente, ya que suponía, como su hermano, que el ocular de los anteojos debía de llevar una esfera graduada en su circunferencia; que la observación por medio del antejo tenía por objeto la medición del ángulo formado por la flecha con la vertical; que los experimentos se hicieron con dos máquinas situadas a sólo un kilómetro de distancia la una de la otra; y así en seguida, para terminar como sigue:

“Este juguete telegráfico fue tamborileado por un gran número de amigos hábiles e instruidos, que estaban en estrecha relación con sus autores; fue alabado en los periódicos, y varias compañías de sabios ofrecieron una prueba más de la connivencia que rige a menudo en la redacción de informes, publicados en su nombre por personas comisionadas. Pero un engaño no puede durar, cuando se trata de cosas positivas, que la experiencia debe juzgar día tras día. Los protectores se dieron cuenta muy pronto de su error, y los protegidos se vieron forzados a reconocer la evidencia; de modo que muy pronto se hizo un silencio completo alrededor del nuevo telégrafo”*.

¿Será justificado este desprecio de los Chappe? ¿Será posible que tantos juicios favorables como reseñamos hasta ahora, garantizados por firmas tan ilustres, se deban únicamente al interés o a la amistad? De ser así, la opinión de los Chappe debería ser general, ya que, como bien dice Chappe el Joven, “un engaño no puede durar, cuando se trata de cosas positivas”; y entonces no comprendemos cómo se explica el que un historiador de la telegrafía, como Naud, que escribe serenamente un siglo después de los hechos que referimos, puede pronunciar juicios tan diametralmente encontrados con los de Chappe como son los que citaremos a continuación:

“Se ve que el procedimiento era muy sencillo, bastante rápido, y ofrecía pocas posibilidades de equivocación o de trastorno de los órganos telegráficos. Sin embargo, este procedimiento no entró nunca en el terreno de la práctica; y entre los que han estudiado los diferentes sistemas de telegrafía ensayados en Francia, muchos parecen ignorar el invento de Betancourt. Por nuestra

* IGNACE-URBAIN-JEAN CHAPPE. *Histoire de la télégraphie*, París 1824, pág. 184-87.

parte, se nos hace difícil comprender el que este invento no haya destronado al de Chappe, como, más tarde, el telégrafo eléctrico sustituyó al telégrafo aéreo. Quizá esta negativa habrá sido dictada por el temor a una interrupción demasiado fácil de las comunicaciones, ya que la niebla, el humo, las ondulaciones atmosféricas pueden impedir más fácilmente la observación seguida de la flecha en relación con sus sectores, que la de los órganos del aparato de brazos. También puede ser que la preferencia de que se ha beneficiado el sistema de Chappe se deba a la poderosa inercia de la costumbre, pues su aparato había sido adoptado ya por el Gobierno, cinco años antes”*.

Por nuestra parte, creemos que sería un error buscar la explicación de esta negativa en algún inconveniente técnico de la nueva máquina. De haber existido, este inconveniente debería señalarse en los informes oficiales, o haber dado lugar a nuevos experimentos. Más probablemente, la decisión de rechazar el nuevo proyecto fue tomada por los círculos políticos o administrativos, sin tener en cuenta los informes favorables de los técnicos que los mismos círculos habían solicitado. Naturalmente, desconocemos las verdaderas razones de esta decisión negativa; pero la administración suele a menudo rechazar las soluciones más naturales o las mejores, por muchas clases de razones, en cuyo análisis sería inútil entrar aquí.

Sea como fuese, lo más cierto es que el telégrafo de Betancourt y Bréguet, aunque favorablemente acogido por los técnicos y los científicos, fue prácticamente rechazado por los poderes públicos, y rápidamente olvidado, por lo menos en Francia. Parece, sin embargo, que en otros países hubo de producir algún resultado. Así, desde el año de 1800, un inglés cuyo nombre ignoramos había propuesto un sistema telegráfico fundado en una flecha que corría describiendo una media circunferencia, dividida en 24 sectores**; y parece lógico pensar que esta idea no es más que una adaptación del sistema propuesto, tres años antes, en Francia.

Al mismo tiempo, y a pesar del absoluto silencio de las fuentes españolas, parece seguro que Betancourt, ya malogradas sus

* LOUIS NAUD. *Histoire de la télégraphie en France*, París 1890, pág. 51-52.

** OLINTHUS GREGORY. *A treatise of mechanics*, Londres 1807, vol. II, pág. 439-40.

pretensiones en Francia, trató de conseguir mejores resultados en su país. Los historiadores de la telegrafía española sólo saben que "al poco tiempo de establecidas las líneas ópticas en Francia, se trató por nuestro gobierno de instalarlas en España"; se sabe también que, de resultados de este esfuerzo, únicamente llegaron a funcionar, en fecha que aun queda por determinar, los telégrafos ópticos que comunicaban el Buen Retiro con San Ildefonso y Aranjuez, para servicio del Real Palacio*.

Sin embargo, el biógrafo ruso de Betancourt, quien pudo sin duda aprovechar algún dato desconocido en España, y procedente del mismo personaje biografiado, indica claramente que este ingeniero "en 1798 fue llamado de París, para establecer una línea telegráfica de Madrid a Cádiz"**. Esta indicación no contradice, sino que completa a la anterior; lo único que no resulta con suficiente claridad es si esta línea empezada en 1798 llegó a terminarse***. Lo más probable es que sí se terminó. Aunque falten los documentos que lo confirmen explícitamente, sabemos por lo menos que en el verano de 1808, al exigir de sus ministros la instalación cada vez más rápida de nuevas líneas telegráficas, el emperador Napoleón decía claramente, en una de sus órdenes, que prefería se le construyesen telégrafos como los de Cádiz.

La existencia de esta red se certifica, además, por una carta de Herman de Schubart, embajador de Dinamarca en Madrid, fechada en 5 de enero de 1800. Resulta de ella que por la misma fecha, es decir, a los pocos años después de verificados los experimentos de París, había una línea telegráfica "de Cádiz a Madrid,

* SUAREZ SAAVEDRA. *Tratado de telegrafía*, vol. I, pág. 141.

** "Journal des Voies de Communication", I (1826), pág. 40.

*** Es verdad que I. E. ANDRZEWSKI. *Encyklopedicheski Slovar*. vol. III, San Petersburgo 1891, pág. 633, indica las mismas circunstancias, en forma más afirmativa; pero es de suponer que este autor no conocía otra fuente más que la que citamos en la nota anterior. Cf. también JEAN-FRANCOIS BOURGOING. *Tableau de l'Espagne moderne*, París 1803, vol. III, pág. 321: "Il a été chargé de l'établissement des télégraphes, objet dont il s'était occupé avec le citoyen Bréguet, pendant son dernier séjour a Paris. Il en a commencé un, qui du Buen Retiro s'étend jusqu'à Aranjuez, et qui doit être continué jusqu'à Cadix. Cf. también las *Noticias biográficas de D. Agustín de Betancourt*, en "Revista peninsular", II (1857), pág. 345, en donde parece que se reproduce la biografía rusa: "Fue llamado a España, para establecer la línea telegráfica de Madrid a Cádiz". Esta indicación se repite en el artículo dedicado a Betancourt en POLCOV. *Russkij biograficheski slovar*, vol. II, Leningrado 1958, pág. 1-2.

otra de Bayona a Madrid, otras que van a los diferentes reales sitios, de modo que el gobierno, cuando está fuera de la capital, se entra al cabo de pocos momentos de lo que está pasando en la capital”.*

Sea que esta red haya llegado hasta la playa gaditana, o solamente hasta Aranjuez, el mismo problema se plantea, referente al tipo de telégrafo adaptado por Betancourt para estas instalaciones. Lo más cierto es que el ingeniero canario no iba a copiar el sistema de Chappe; tanto más que, de ser así, no se comprendería la distinción que más tarde establecía Napoleón, entre los telégrafos franceses y los de Cádiz, que prefería. Por otra parte, su calidad oficial, así como los informes favorables de las mayores autoridades científicas de aquel momento, hacen que no resulta difícil el admitir que la Corte de Madrid habrá permitido sin mayores dificultades la implantación en España del propio sistema de Betancourt. De modo que creemos que se puede afirmar, sin la menor sombra de duda, que el sistema telegráfico introducido en España en 1798, y que fue, por consiguiente, uno de los primeros de Europa, no era más que una aplicación práctica de la invención de Betancourt, publicada en París, en el año anterior.

Desgraciadamente, la red española vivió muy pocos años. Debido a las circunstancias de la guerra de la Independencia, las estaciones fueron abandonadas a los pocos años, y desaparecieron de tal modo, que ni siquiera quedó el recuerdo de su existencia. Al implantarse en 1831 la nueva red de telégrafos ópticos, sobre la base de otro sistema español, nadie se acordaba ya de la vieja máquina de Betancourt, que no le era en nada inferior; y así es como se ha podido afianzar la especie, hoy día muy general, de que la nueva red era la primera que se había conocido hasta entonces en España.

* “Revue hispanique”, IX (1902), p. 423.

V

LA MAQUINA DE VAPOR

La máquina de vapor era uno de los artefactos de la moderna industria que, según todas las probabilidades, Don Agustín de Betancourt no había podido examinar en España. Este invento estaba todavía en sus principios, cuando nuestro ingeniero empezaba su carrera, y se consideraba aun como un monopolio de sus inventores; de modo que, al habersele encargado la formación del Real Gabinete de Máquinas, es natural que haya pensado desde el principio en imponerse de aquella importante novedad técnica.

Probablemente para este destino estaba concebido aquel "modelo de bomba de fuego"* que sabemos que estaba fabricando en París, por el año de 1788; pero parece que este modelo no llegó nunca a terminarse en la forma en que había sido trazado, por efecto de circunstancias que luego analizaremos. Sin embargo, para comprender mejor el papel de Betancourt en la historia de la máquina de vapor, conviene indicar brevemente la evolución histórica de esta invención, para mejor situar después su propia intervención.

Sin entrar en todos los detalles que constituyen los primeros balbuceos y la prehistoria de esta técnica, que dio el primer gran impulso a la industria moderna, diremos que, en opinión de algunos historiadores, el dudoso iniciador de estas investigaciones fue Edward Somerset, marqués de Worcester. Desde el

* Carta de D. Agustín de Betancourt a su hermano, D. José de Betancourt y Castro, desde París, en 6 de marzo de 1789; copia en posesión de los descendientes de su familia, en La Orotava. Cf. más abajo, la nota de la pág. 99.

año de 1663, se pretende, en efecto, que este hidalgo había construido una máquina bastante sencilla, destinada a elevar el agua de un recipiente, por medio de la presión de los vapores producidos en otro recipiente, comunicado con el primero*.

Si dejamos de lado las hipótesis y las especies dudosas, lo cierto es que en 1699, Thomas Savery logró hacer funcionar por primera vez una máquina de vapor, construida por él, para sacar el agua de una mina. Animado por su primer éxito y al amparo de un privilegio real que había conseguido desde 1698, Savery siguió mejorando su invento, hasta su muerte, que ocurrió en 1716. Sus trabajos fueron continuados por numerosos técnicos, y principalmente por el francés Denis Papin, a quien se debe la invención de la transmisión neumática de la fuerza, o sea, el empleo de un émbolo o pistón que, atraído por el vacío o empujado por la presión de los gases o del vapor, transmite el movimiento así producido, por medio de un vástago. También se le debe la invención de la válvula de seguridad, cuya importancia práctica es innegable, ya que su uso ha permitido todos los experimentos ulteriores, sin riesgo de explosión.

Todos estos adelantos fueron agregados a los tipos de máquina de vapor ya conocidos, por el inglés Thomas Newcomen, autor de la primera máquina de vapor verdaderamente digna de este nombre. Ésta, sucesivamente mejorada y completada por el mismo Newcomen, así como por varios colaboradores, fue universalmente aceptada, y empezó a prestar servicio, desde la primera mitad del siglo XVIII, en la mayor parte de las minas de Inglaterra.

En el momento en que el célebre James Watt introducía sus geniales innovaciones, que iban a cambiar totalmente la evolución de la máquina de vapor, el funcionamiento de una máquina del tipo fabricado por Newcomen o por los industriales que le siguieron, era más o menos el siguiente: El vapor de agua penetraba en el cilindro por debajo del pistón, y lo empujaba

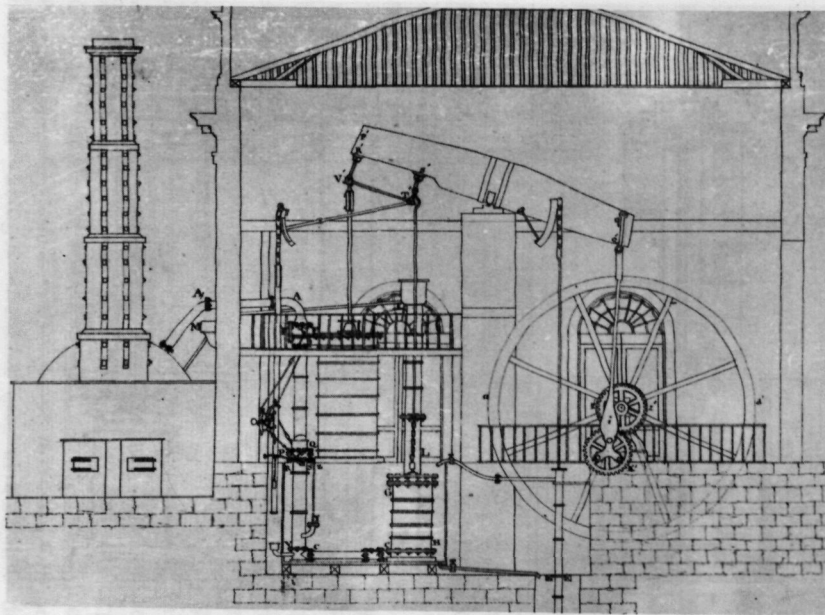
* Los historiadores no están de acuerdo con el exacto papel que se debe atribuir, en la historia de la técnica, al marqués de Worcester: lo menos que se puede decir es que este papel parece dudoso. Cf. sobre todo las observaciones de J. HIRSCH, sobre el texto de R. H. THURSTON. *Histoire de la machine à vapeur*, París 1880, vol. I, pág. XVIII-XXII. Sin embargo, hemos conservado su nombre en esta breve reseña histórica, porque también figura en la memoria de Bentacourt, que más abajo analizaremos.

hacia arriba. A continuación, se introducía en la misma parte inferior del cilindro una cantidad de agua fría, que condensaba el vapor, producía por este medio un vacío relativo y provocaba así la caída del pistón, que, por medio de su vástago y de una cadena que lo continuaba, arrastraba el balancín que transmitía el movimiento. El agua fría salía por la parte inferior del cilindro, y se entraba otra vez el vapor, que volvía a levantar el peso del pistón.

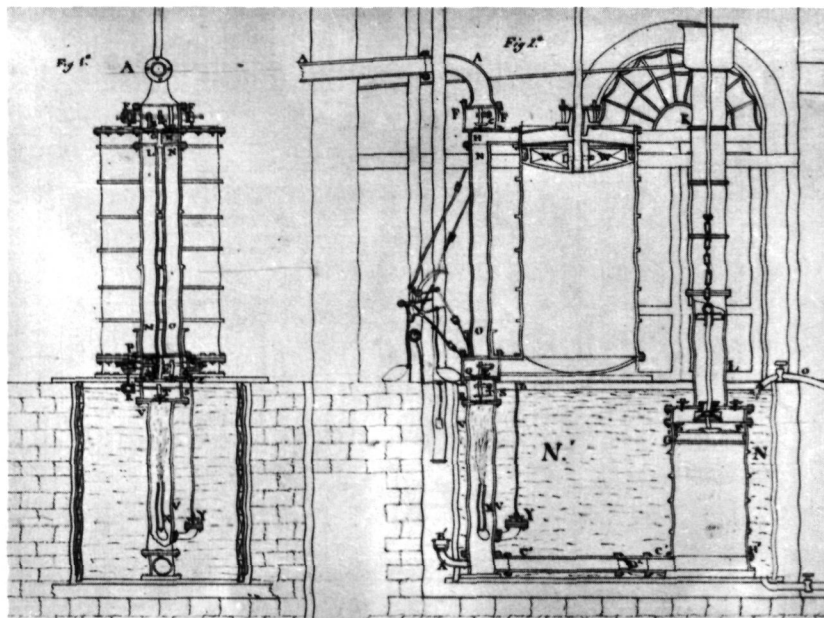
Este procedimiento es fundamentalmente el que se ha seguido aplicando en las máquinas de vapor. Pero es evidente que la necesidad de hacer entrar sucesivamente en el cilindro el vapor caliente y el agua fría, ocasionaba unos cambios de temperatura que sólo se podían recuperar a base de mucho gasto de combustible y, por consiguiente, de dinero, al mismo tiempo que por una forzosa lentitud de la máquina. Y en efecto, el mecanismo de Newcomen desperdiciaba el 75% de su gasto de energía, invirtiendo sólo el cuarto de la misma en trabajo útil, al mismo tiempo que sólo podía producir 15 o, como máximo, 20 movimientos del pistón por minuto.

Los inconvenientes de este primitivo tipo de máquina fueron corregidos por una larga serie de modificaciones y de invenciones, debidas al célebre James Watt. Sin querer entrar en el detalle de toda su intensa actividad, dedicada exclusivamente al perfeccionamiento de la máquina de vapor, bastará decir que tres son sus invenciones que parecen haber tenido mayor trascendencia en la historia de la técnica y del empleo del vapor de agua, como fuerza de propulsión.

La primera de estas invenciones, imaginada desde el año de 1765, pero puesta en práctica sobre todo a partir de 1774, consiste en un condensador separado del cilindro y comunicado con él: su principal interés reside en que, al resfriar y condensar el vapor de agua fuera del cilindro, permite a éste último conservar una temperatura más o menos constante, y al pistón el volver a levantarse acto seguido a la admisión de nuevo vapor, eliminando de este modo el tiempo de espera que antes se necesitaba, para volver a calentar el cilindro enfriado. La máquina de condensador separado tuvo inmediata aceptación y fue conocida pronto por toda Europa. Este modelo es probablemente el que Betancourt estaba reproduciendo en 1788, en proporciones reducidas, para las colecciones del Gabinete de Máquinas.



Máquina de vapor de doble efecto:
Vista general



Máquina de vapor de doble efecto:
1. Vista de frente. 2. Vista de perfil.

La segunda invención de Watt es la máquina de doble efecto o *compound*. En las anteriores, el vapor sólo invadía la parte inferior del cilindro, y el vacío producido por su condensación sólo podía ayudar la carrera descendiente del émbolo, empujado hacia abajo por su propio peso y por la presión atmosférica. Watt adaptó a la parte superior del cilindro un dispositivo similar al de la parte inferior, de modo que la admisión del vapor pudo hacerse sucesivamente por debajo del pistón y por encima de él. Este nuevo mecanismo añadía fuerza y rapidez a la máquina, al permitir el doble empuje del émbolo, de arriba para abajo y de abajo para arriba. Imaginado por su inventor quizá desde 1767, fue incluido entre sus demás invenciones en un privilegio real que le fue otorgado en 1782, y parece que empezó a funcionar corrientemente en 1784. Esta vez, contrariamente a la publicidad que se había dado al condensador separado, el nuevo procedimiento fue conservado secreto y aplicado exclusivamente en las máquinas fabricadas en los talleres de Watt y Bolton. Ninguna de estas máquinas llegó a exportarse, de modo que el segundo invento de Watt tardó bastante en conocerse en el continente; lo cierto es, según más adelante se verá, que era algo desconocido para los técnicos franceses en 1788.

El tercer invento de Watt es el dispositivo llamado paralelogramo. En la máquina antigua, la acción motora del pistón se ejercía sólo en su carrera descendiente, y se transmitía al balancín por medio de una cadena. Esta misma cadena no podía ser utilizada en la nueva máquina, en donde habría dejado de transmitir el movimiento durante la carrera ascendiente del vástago, ya que ésta no requería un arrastre, sino un empuje sobre el balancín. Para corresponder a esta nueva misión, la cadena fue sustituida, en la máquina *compound*, por una palanca que reunía el vástago con el extremo del balancín. Sin embargo, esta sustitución representaba una dificultad técnica, ya que el movimiento de la palanca forzosamente debía mantenerse sobre la vertical, como el del vástago, mientras que el extremo del balancín describía un movimiento circular, de modo que su acoplamiento no podía hacerse directamente. Watt subsanó este inconveniente, interponiendo entre el extremo del balancín y el de la palanca un paralelogramo, es decir, un conjunto de articulaciones cuyo efecto fue el de seguir transmitiendo el empuje al balancín, al mismo

tiempo que mantenía la carrera de la palanca a lo largo de una línea casi rigurosamente vertical*.

Como acabamos de decir, de todos estos perfeccionamientos sólo llegaron a conocerse en Europa los relacionados con la agregación de un condensador separado del cilindro. En esta misma fase de los conocimientos técnicos sobre la máquina de vapor, es cuando Agustín de Betancourt se dedicó al estudio de la misma. Después de estas explicaciones preliminares, conviene dejar la palabra al mismo Betancourt, quien explica con la mayor claridad las condiciones y las circunstancias de su trabajo, en su *Memoria sobre una máquina de vapor de doble efecto*** , aun inédita. Esta memoria empieza con una breve reseña histórica de los trabajos de Worcester, de Savery, de Papin, de Newcomen y de Watt, cuyas máquinas estaban ya funcionando en Francia, en los talleres de una gran empresa, propiedad del conocido industrial Périer***. Después, indica brevemente las ventajas y los inconvenientes de cada mejora introducida por los técnicos citados, hasta la del condensador separado; y añade:

“He aquí todo cuanto se sabía en Francia, hasta el año de 1788. Como por aquel momento había recibido de la Corte de España el encargo de formar una colección de modelos relativos

* Para todos estos antecedentes, cf., además de la obra mencionada de Thurston, PRONY. *Nouvelle architecture hydraulique*, París 1790-94, 4.º, 2 vol., R STUART. *Histoire descriptive de la machine à vapeur. Traduite de l'anglais*, París 1827; TH TREDGOLD. *Traité des machines à vapeur de leur application à la navigation, aux mines, aux manufactures. Traduit de l'anglais par F.-N. Mellet*, París 1828.

** *Mémoire sur une machine à vapeur à double effet*. Biblioteca de la École des Ponts et Chaussées, Ms. 1258 (núm. 243 del catálogo impreso).

*** Jacques-Constantin Périer (1742-1818), asociado con su hermano, Auguste-Charles Périer, tuvo una fábrica de maquinaria en París. En 1779, la compañía recientemente formada en la capital francesa, para distribuir en la ciudad el agua potable, le encargó la compra en Inglaterra de una máquina de vapor, que debía asegurar la elevación del agua al nivel conveniente. “El Sr. Périer compró de Bolton y Watt una máquina provista con todos los adelantos y, con la aprobación del gobierno inglés, la hizo transportar a París, donde fue establecida en Chaillot” (STUART. *Histoire descriptive de la machine à vapeur*, pág. 219-20). En el Gabinete de Máquinas de Madrid, los planos 182-85 representaban una “Máquina de vapor, según las hay en París, para dar agua a la ciudad” (J. LOPEZ DE PEÑALVER. *Catálogo del Real Gabinete de Máquinas*, pág. 28).

El duque de Orléans había encargado a Périer que le reuniese una galería de modelos de máquinas, que después vino a formar el

a la hidráulica, quise entrar en posesión de un modelo de máquina de vapor que reuniese todos los adelantos conseguidos hasta aquel día. Con este objeto, decidí pasar a Inglaterra, para adquirir allí todos los conocimientos necesarios para el perfeccionamiento de esta máquina. Se sabe que en este país es donde se ha hecho el mayor número de aplicaciones de la máquina de vapor, y donde se han tenido más oportunidades para reconocer sus defectos y, por consiguiente, las correcciones que se hacían necesarias.

“Apenas llegado a Londres*, me puse al habla con diferentes mecánicos y físicos. Todos ellos se limitaron en explicarme el efecto del vapor en las máquinas antiguas, y no me dijeron nada que fuese nuevo para Francia. Pero al saber que los señores Watt y Bolton habían hecho nuevos descubrimientos en relación con la máquina de vapor, de modo que habían llegado a producir los mismos efectos con una cantidad de combustibles mucho menor, tome la decisión de ir a Birmingham, para conocer a estos célebres artistas. Al llegar a su casa, me recibieron con la mayor cortesía y, para darme una prueba de su consideración, me enseñaron

núcleo del museo del Conservatoire des Arts et Métiers de París. Fue probablemente al formar estas colecciones, cuando Périer vino a tener contacto con Bétancourt; tanto más que ambos se servían, para la fabricación de sus modelos, de un hábil constructor de París, Étienne Calla, a quien ya hemos nombrado anteriormente (cf. JULES GAUDRY. *Notice sur Christophe-François Calla*, Paris 1884, pág. 6).

* Sus biógrafos españoles colocan este viaje en diciembre de 1788. En realidad había tenido lugar un mes antes, según se puede colegir de una carta que escribió Don Agustín de Betancourt a su madre, desde París, a 10 de enero de 1789: “El día 11 de noviembre salí de aquí para Londres, adonde estuve unos veinte días, durante los cuales ví una porción de máquinas que necesitaba y de las cuales he hecho los dibujos exactos, no habiendo visto muchas de ellas sino muy de paso. Ya he ejecutado algunas, y me han quedado lo mismo que los originales”. Y en carta a su hermano, con fecha del 6 de marzo de 1789, escribía: “Mi modelo de bomba de fuego ha experimentado terribles mutaciones con mi viaje a Londres. De las piezas que estaban hechas, apenas han servido la cuarta parte de ellas; y Mrs. Périer han visto los planos que he hecho, y han quedado tan contentos con ellos, que van a ejecutar una en grande, con todas las innovaciones que he practicado”.

Como en sus cartas familiares, Don Agustín menciona siempre el estado de sus intereses económicos, era natural que indicase aquí si la construcción de esta máquina le había producido algún interés. La ausencia de cualquier mención de esta clase, en las cartas que mencionamos, parece indicar que, al no considerarse autor de la nueva invención, Betancourt no exigió de los hermanos Périer ninguna compensación material.

sus fábricas de botones y de plata chapada; pero no me enseñaron ninguna de sus máquinas de vapor. Sólo me dijeron que las que estaban fabricando en aquellos momentos eran superiores a todas las demás, ya que su velocidad podía regularse a voluntad y que consumían mucho menos combustible que las que habían hecho anteriormente. Ni siquiera me dejaron entrever de qué modo habían conseguido tan grandes ventajas.

“De regreso a Londres, un amigo consiguió para mí una autorización para visitar los molinos que se estaban construyendo cerca del puente de Black Friar*. Este establecimiento debía componerse de tres máquinas de vapor, cada una de las cuales debía poner en marcha diez molinos. Una sola de estas máquinas estaba terminada, las dos otras debían terminarse dentro de poco.

“Lo que me llamó la atención en primer lugar, fue el ver que se había suprimido la cadena que antes estaba atada al balancín y que tenía suspendido el émbolo dentro del cilindro. Esta cadena había sido sustituida por un paralelogramo, que describiré un poco más adelante. Observé, además, que en lugar del conducto que en las máquinas de Watt y en las de Chaillet comunica el vapor de la parte superior a la inferior del cilindro, había dos tubos, cuyo uso no comprendí en seguida, y cuatro válvulas que se movían a cada oscilación del balancín. También me llamó la atención la pequeñez del cilindro, en comparación con el efecto maravilloso de la máquina.

“Todo ello me hizo sospechar que debía haber en aquella máquina algún doble efecto; es decir que, mientras el vapor hacía presión sobre la cara superior del émbolo, se hacía el vacío en su parte inferior; y recíprocamente, cuando el vapor empujaba el émbolo de abajo hacia arriba, se hacía el vacío en su parte superior. En cuanto a la bomba de aire, al condensador y al moderador de velocidad, no pude darme cuenta de ellos, ya que todas las piezas estaban tapadas.

* Se trata de las máquinas de vapor montadas por Watt y Bolton para el servicio de los molinos harineros de Aibion, entre 1784 y 1786, en cuya fecha empezaron a funcionar. En realidad, no llegaron a montarse más que dos máquinas de vapor, que funcionaron pocos años, y que toda la instalación quedó completamente destruida por un incendio, en el año de 1791. Cf. THURSTON, *Histoire de la machine à vapeur*, vol. I, pág. 124-26.

“Salí para Francia al día siguiente. Llegado otra vez a mi casa, me dediqué con mayor ahinco a este asunto y, recordando fielmente todos los detalles, traté de adivinar su utilidad. En vista de ello, formé varios planos y perfiles y logré componer una máquina de doble efecto. Desde aquel mismo instante, empecé a construir un modelo de la misma, que tuvo éxito más allá de mis propias esperanzas”.

He aquí, referido por el mismo Betancourt, la manera en que llegó a construir el primer modelo continental de una máquina de vapor de doble efecto. No parece que haya razón de dudar de la veracidad de esta relación, que se halla confirmada por la misma correspondencia familiar de don Agustín de Betancourt *, al mismo tiempo que por los autores ingleses que, en un afán tan comprensible como inútil de defender la memoria y la prioridad de James Watt, tratan de disminuir la importancia de los trabajos de Betancourt**.

* Cf. también PRONY. *Nouvelle architecture hydraulique*, vol. I, pág. 571-72: *Noticias biográficas de D. Agustín de Betancourt*, en “Revista peninsular”, II (1857), pág. 346; LORENZO LAPUYADE. *Una gloria olvidada. Las máquinas de vapor perfeccionadas por un canario*, en “Revista de Canarias”, I (1878-79), pág. 203; ELIAS ZEROLLO. *Historia de la máquina de vapor*. París 1889, pág. 12; ANDRES MURIEL. *Historia de Carlos IV (Memorial histórico español)*, vol. XXIX, I, Madrid 1893, pág. 239. S. PADRON ACOSTA. *El ingeniero A. de Béthencourt*, pág. 36-7, confunde los trabajos de Betancourt sobre la máquina de vapor con los del mismo autor sobre la fuerza elástica del vapor.

** Cf. “The Edinburgh Review”, XIII (1809), pág. 329: “The fact relative to M. Bettencourt’s invention, we believe to be as follows. When that gentleman was in England, some years ago, he had an opportunity of examining the engine at the Albion mills; and the principles of the engine was explained to him on the spot, either by Mr. Watt or Mr. Boulton. Considering how many men were occupied in the mill and dependent upon it, it was not to be expected that either of these gentlemen should request the proprietors to stop the machine, merely that a stranger might gratify his curiosity, by a minute inspection of the parts.

“Mr. Bettencourt, therefore, saw the machine only at work; but we do not believe that the concealment of any part of the structure was intended. In fact, there was nothing in the construction of the double engine, which should not have been evident, upon mere external inspection, to any one who understood Mr. Watt’s simple engine, which Mr. Bettencourt had a full opportunity of doing, by examining that made by them for Mess. Périer and erected at Chaillot in the year 1779, to supply the city of Paris with water. This, which was a single engine, has continued to work there ever since, and is minutely described by Mr. Prony. The inspection of the parallel motion in the engine at the Albion mills naturally suggested to Mr. Bettencourt the

Una vez construído su modelo, en que la deducción lógica y el espíritu de invención intervenían para completar los detalles mal observados en Londres, Betancourt presentó a la Academia de las Ciencias la memoria que antes extractamos. Al mismo tiempo, el modelo, construído en la escalas de una pulgada por cada pie, fue sometido a una serie de pruebas que parece que dieron satisfacción; de lo cual enterados “los señores Périer Hermanos, jueces excelentes en la materia, se han decidido a mandar construir una máquina de doble efecto, igual al modelo del señor Caballero de Betancourt”*.

Se sabe que los hermanos Périer, poderosos industriales del último cuarto del siglo XVIII, poseían ya una máquina de Watt, del modelo antiguo, instalada en Chaillot, en la proximidad de la ciudad de París, para ayudar a levantar y distribuir el agua de la capital. La nueva máquina de doble efecto, empezó a construirse en seguida, en los talleres de París, y fue colocada en la isla de los Cisnes, sobre el Sena, siendo dedicada a poner en marcha los molinos harineros de los Périer. Terminada a principios de 1790, parece que otra igual le siguió poco después.

A juicio de los técnicos, estas nuevas máquinas “son de una ejecución tan cuidadosa, que dudamos que alguien la haya rebasado, o incluso igualado. Además, dan todo el resultado que de ellas se podría esperar, y son una prueba incontrastable de la bondad del mecanismo perfeccionado que sustituye en ellas al de las máquinas de Chaillot”**. Y no sólo esto, sino que las máquinas fabricadas a base de los dibujos de Betancourt fueron las

notion of steam, by its elasticity, forcing the piston of the engine upon as well as down. To an intelligent engineer, the means of producing this effect could not be long of presenting themselves”.

La relación de este autor anónimo incluye varias equivocaciones, como la de considerar que Watt y Boulton acompañaron a Betancourt en su visita a los molinos de Albión; la de creer que los dos fabricantes ingleses no pusieron reparo en enseñar al ingeniero canario el funcionamiento de su propia máquina de vapor; y la de creer que todos los órganos de esta última estaban al descubierto. Sobre la visita de Betancourt a los molinos de Albión, cf. también STUART. *Histoire de la machine à vapeur*, pág. 236.

* PRONY. *Nouvelle architecture hydraulique*, vol. I, pág. 568.

** PRONY. *Nouvelle architecture hydraulique*, vol. II, pág. 35. Es verdad que FAREY, citado por STUART. *Histoire descriptive de la machine à vapeur*, pág. 220, piensa que las máquinas empleadas por Périer “fueron construídas sobre los planos de las primeras máquinas del Sr. Watt; pero, a consecuencia del descuido con que se han ejecutado varios pequeños detalles, no producen todos los efectos que se podían

primeras máquinas de vapor fabricadas en Francia*, y constituyen así el primer producto de una nueva industria, sobre cuyos progresos y prosperidad no hace falta insistir aquí. Puestos en marcha a principio de 1790, estas máquinas todavía estaban funcionando en 1817.

Veamos ahora la composición de la nueva máquina de vapor, reconstituída por Betancourt a base de las invenciones de Watt y con no pocas contribuciones personales:

A es un conducto que guía el vapor desde la caldera al cilindro.

B, *C*, *D* y *E* son cuatro válvulas que se abren y cierran alternativamente.

FF, caja metálica en que están encerradas las dos válvulas *B* y *C*.

GH, caja metálica, dividida en dos casillas: *G*, caja donde el vapor no puede pasar sino de arriba para abajo, y *H*, caja que comunica con el cilindro por su parte superior.

esperar". Pero se trata evidentemente de una equivocación. Las máquinas de Péricr fueron la de Chaillot, efectivamente construída en Inglaterra; y las de la isla de los Cisnes, fabricadas en Francia, pero sobre el modelo de las máquinas *compound*. Ambos tipos de máquina funcionaron perfectamente.

* Cf. ÉMILE EUDES. *Histoire documentaire de la mécanique française*, París 1902, pág. 80: "Ces machines sont de construction française, événement capital!" El mismo autor, pág. 80-83, ofrece una descripción detallada de la máquina fabricada por Péricr. Sobre los trabajos de Betancourt referentes a la máquinas de vapor, cf. OLINTHUS GREGORY. *A treatise of mechanics*, Londres 1807, vol. II, pág. 392-94; y FAREY, artículo *Steam engine*, en ABRAHAM REES. *The Cyclopaedia*, Londres 1820, vol. XXXIII.

Añadiremos que en el Real Gabinete de Máquinas figuraban en 1794 una "Máquina de vapor de doble efecto" (planos 186-89), "Otra máquina de vapor de doble efecto. Por estos planos se ejecutaron en París las dos máquinas de vapor para mover doce molinos" (planos 190-92), una "Rueda dentada según se hicieron en los nuevos molinos de París, movidos por la máquina de vapor" (modelo 116); y una *Memoria sobre una máquina de vapor de doble efecto* (Manuscrito 77), que debe ser la versión española de la memoria francesa que hemos venido extractando. La presencia de estos planos llama dos observaciones, la primera de ellas encaminada a señalar la ausencia, en las colecciones reales, del modelo fabricado por Betancourt en París. La segunda observación es que estos planos que llevan en el catálogo el nombre de Betancourt, como los demás proyectos o modelos de su invención; prueba suplementaria, si aun hiciera falta, de que el ingeniero canario no consideraba la máquina de doble efecto como una invención personal.

LM, tubo que comunica el vapor a la parte inferior del cilindro.

NO, tubo que comunica el vapor con el condensador.

PQ, caja metálica en que están encerradas las válvulas *D* y *E*. La mitad *P* de esta caja se comunica con el cilindro, y la mitad *Q* sólo admite los vapores que van de abajo para arriba.

RS, caja provista con una válvula *T*, que sirve para moderar la cantidad de vapores que se quiere admitir en el condensador *VV*.

X, tubo que introduce el agua fría en el condensador.

Y, válvula moderada por la llave *Z*, que regula la cantidad de agua fría que se quiere admitir.

A', tubo encorvado, colocado en la parte más baja del condensador.

B', válvula colocada en el extremo de *A'*, se abre al ponerse en marcha la máquina.

C'C', tubo que comunica el condensador *VV* con la bomba de aire *G'H'*.

D', válvula que se abre cuando el pistón *E'F'* sube, y se cierra cuando baja el pistón.

E'F', pistón, provisto con una válvula que deja pasar el aire despedido por el agua de inyección, el agua misma, y los vapores condensados.

K'L', bomba que eleva el agua de condensación y la hace pasar al depósito *M*, de donde la devuelve a la caldera.

N'N, recipiente lleno de agua, que contiene el condensador y la bomba de aire.

O', bomba accionada por el movimiento del balancín, sirve para cambiar el agua de *N'N'*.

El modo de funcionar de esta máquina se puede desprender de su misma descripción. Al calentarse el agua de la caldera, se abren las válvulas *B*, *C*, *D*, *T* y *B'*, y se cierra la válvula *Y*, para que el aire del cilindro, dilatado por el calor, pase por los conductos *H* y *D* y salga despedido por el tubo *A'*. A continuación, se cierra la válvula *B'*: entonces el vapor pasa por el tubo *C'C'*, abre la válvula *D'* y la del pistón *E'F'*, al interior de la bomba de aire, purgándola así del aire atmosférico. En este momento, el pistón *WW* del cilindro de vapor se halla en la parte alta del cilindro. Entonces se cierran las válvulas *B* y *E* y se abre la del conducto de inyección *YX*. El vapor entra por el tubo *A*, pasa por la válvula *C* y por el tubo *NO*, pero queda detenido por la

válvula *E*, que está cerrada. El vapor estancado se va acumulando, y su presión creciente acaba por abrirse un camino por *H*, pesando después sobre el pistón *WW* y empujándolo hacia abajo. Este movimiento del pistón expulsa el vapor de la parte inferior del cilindro, que sale por *D* y llega al condensador. Al llegar el pistón al fondo del cilindro, las válvulas *C* y *D* se cierran, y las de *B* y *E* se abren. El vapor pasa por *B* y por el tubo *LM*, y empuja el pistón desde abajo para arriba; en cuyo momento el vapor que se hallaba encima del pistón sale por *H*, pasa por el tubo *NO*, y las válvulas *E* y *T*, y llega al condensador.

La bomba de aire *G'H'*, movida por el balancín, aspira el aire que se despidе durante la condensación y cuya acumulación llegaría con el tiempo a equilibrar la presión del vapor. Por otra parte todos los vapores que van al condensador pasan por la válvula *T*; de modo que al cerrar esta válvula, los vapores se hacen equilibrio de ambos lados del pistón, y la máquina se para.

Evidentemente, los principios del funcionamiento de esta máquina son los mismos de la máquina de Watt. Sin embargo, Betancourt se vio precisado a improvisar soluciones nuevas para todos aquellos detalles técnicos que no había podido observar directamente. Para un ingeniero inteligente, —como decía el comentarista anónimo de la *Edinburgh Review*—, sin duda el problema no debía de ser muy árduo: sabiendo el resultado que necesitaba y la fuerza de que disponía, sólo se trataba de poner en orden el dispositivo más adecuado para obtener en las mejores condiciones el efecto que se requería. En algunos detalles, su solución se aproxima mucho a la de Watt, sea porque habrá entrevisto o adivinado el procedimiento del técnico inglés, o porque los mismos datos del problema lo conducían lógicamente y automáticamente hacia las mismas soluciones. Otras veces, su intervención se revela más personal y, por consiguiente, merece más interés: éste es el caso, sobre todo, del paralelogramo y de las válvulas.

El mecanismo del paralelogramo, según propia declaración de Betancourt, era visible en las máquinas que había podido observar en Londres; de modo que era natural que lo hubiese reproducido exactamente, incluso indicando brevemente la explicación de este dispositivo e ilustrándola con un gráfico de su movimiento*. Pero al mismo tiempo, Betancourt pensó en otro

* También se halla explicado en su *Essai sur la composition des machines*, donde le corresponde la ilustración *H 17*.

medio técnico para transformar el movimiento rectilíneo de la palanca en un movimiento circular correspondiente a la trayectoria del extremo del balancín. Ni es de extrañar el que lo haya buscado y encontrado, ya que sus conocimientos y su afición a los mecanismos destinados a transmitir o transformar los movimientos, no deja lugar a duda; prueba de ello es su mismo *Essai sur la composition des machines* que, como veremos, no es más que el examen detallado y exhaustivo de todos los procedimientos de esta clase. El que sugiere Betancourt en esta circunstancia, se halla largamente explicado en la obra de Prony*; sin embargo, resulta que su propio sistema no le pareció preferible al paralelogramo, ya que éste último fue conservado, al fin y al cabo, en su versión de la máquina de Watt.

En cuanto a las válvulas, es evidente que, con no haber podido examinar las de la máquina inglesa, tuvo que imaginar las combinaciones destinadas a surtir los mismos efectos. La solución adoptada por él, por más que pueda parecer complicada, no lo es más que la de Watt. Como ambos procedimientos han sido sus-

* PRONY. *Nouvelle architecture hydraulique*, vol. II, pág. 67; LANZ y BETANCOURT. *Essai sur la composition des machines*, ilustración I 17, donde se reproduce el texto de Prony, que es el siguiente:

“Dos piezas de madera ab y dO giran alrededor de los puntos o centros a y O . sus extremos b y d están sujetados el uno al otro por medio de la pieza de hierro $bc'd$, con articulaciones en b y en d . Los largos ab y dO , tomados de centro a centro de los goznes, son iguales; la suma de estas distancias $ab + dO$ es igual a la distancia del punto a al punto O , proyectada sobre el horizonte o medida horizontalmente; de modo que, cuando ab y dO son paralelas, la línea recta que pasa por d y b es vertical; y como el largo de la pieza bd , de centro a centro de los goznes, es igual a la diferencia de nivel de los puntos a y O , bd viene a ser vertical desde que ab y dO se hallan en posición horizontal.

“Por medio de este dispositivo, si los puntos b y d no describen arcos de círculo de muchos grados por encima y por debajo de las horizontales que pasan respectivamente por los puntos a y O , el centro c' de bd seguirá una línea recta sensiblemente vertical. En efecto, mientras b y d no se alejan mucho de la horizontal, los radios ab y dO siendo iguales, el punto b se alza o baja, en comparación con el punto a , de una manera sensiblemente idéntica al punto d que se alza o baja en comparación con el punto O ; de donde se infiere que los arcos descritos por los puntos b y d pueden considerarse iguales. Si se admite esta hipótesis, los puntos b y d deben hallarse siempre a la misma distancia de una vertical cuyos puntos O y a estarían igualmente distantes; así, pues, si c' está situado en medio de bd , debe hallarse continuamente en la vertical de que hablamos”.

Conviene añadir que Betancourt ideó otro sistema más de acoplamiento del vástago con el balancín, en su draga de 1808.

tituidos, desde hace mucho tiempo, por otros más perfeccionados, se trata, al establecer esta comparación, de un interés, o más bien de una curiosidad meramente histórica y retrospectiva: así y todo, es preciso hacerla, ya que otros especialistas la han establecido, antes que nosotros.

Al describir el sistema de doble inyección aplicado por el ingeniero canario a su modelo de máquina, Prony añadía que este dispositivo era íntegramente “invención del señor Caballero de Betancourt”*. Como queda dicho, era natural que fuese así, dadas las circunstancias de la fabricación de su modelo. Sin embargo, esta pretensión de introducir a Betancourt en el número de los inventores de la máquina de vapor, que hasta entonces había sido casi una exclusiva inglesa, escandalizó a los primeros historiadores ingleses de este artefacto; de modo que la afirmación de Prony fue rechazada con cierta petulancia o, en su caso, considerada con no menos ironía**.

Así, Stuart escribe que Betancourt “construyó un modelo que ofrecía en el exterior la apariencia de la máquina de Watt; pero las válvulas de admisión y la manera de poner en comunicación el cilindro con la caldera, eran de su invención. Estas partes son sumamente defectuosas... Su mérito, así como la fecha de su construcción, no deberían darle derecho a un lugar en la historia de las máquinas de vapor. Si hicimos mención de él, sin embargo, es porque el Sr. de Prony, había reivindicado para Betancourt el honor de ser considerado como el segundo inventor del mecanismo de la máquina de doble efecto”***. Y Tredgold: “Betancourt había propuesto una especie de válvula que daba vuelta alrededor de su eje, para una máquina de doble efecto; sin embargo, esta válvula no podría prestar un servicio continuado, y no consta que alguien se haya servido de ella”****. No hace falta repe-

* PRONY. *Nouvelle architecture hydraulique*, vol. I, pág. 572-4.

** Por incidencia, el despecho de los mismos autores se vuelve a veces contra Prony, cuyos trabajos, en opinión de TREDGOLD. *Traité des machines à vapeur*, vol. I, pág. 58, “ofrecen la prueba más evidente de que el mérito matemático sólo no basta para hacer progresar las ciencias mecánicas”.

*** STUART. *Histoire descriptive de la machine à vapeur*, pág. 236-37. Cabe añadir que su traductor francés consideró oportuno intervenir con una nota personal en defensa de Prony, quien nunca había dicho lo que se le atribuía, y de Betancourt, cuyas válvulas no le parecen tan malas como para merecer “el menosprecio en que las tiene el autor”.

**** TREDGOLD. *Traité des machines à vapeur*, vol. I, pág. 363.

tir que estas afirmaciones son otros resultados más de un patriotismo mal entendido y que, como ya se ha dicho, las válvulas y los demás órganos de la máquina de Betancourt funcionaron perfectamente, en su modelo así como en las instalaciones de la isla de los Cisnes.

En fin, conviene añadir aquí que, entre las demás partes de la máquina que se pueden considerar de su invención, figura también un regulador fundado en el principio del flotador provisto de un sifón, y destinado a moderar la velocidad de la máquina*.

Hemos dicho ya que, al mismo tiempo que construía la máquina encargada por Pérrier, a base de su modelo, Betancourt había presentado a la Academia de las Ciencias de París una memoria, de que sacamos todas las explicaciones técnicas referentes a la descripción y al funcionamiento de su invención. La Academia nombró una comisión, formada por los científicos Borda y Monge, para examinar el interés de esta contribución e informar la corporación. Los dos comisionados leyeron su informe el 10 de febrero de 1790: este documento es una prueba inequívoca del interés con que había sido acogida la intervención de Betancourt.

Después de haber indicado brevemente los antecedentes de la aplicación industrial del vapor, y el secreto en que mantenía Watt sus últimos perfeccionamientos, “por ser propiedad del autor durante toda la vigencia de su privilegio”, el informe indica como sigue el funcionamiento y las ventajas prácticas del modelo presentado por Betancourt:

“El vapor es conducido desde la caldera a las dos cavidades del cilindro, que se hallan encima y debajo del émbolo. Ambas cavidades comunican a su vez con el condensador, pero de tal manera, que, cuando la comunicación de la caldera con lo alto está abierta, la de abajo queda cerrada; mientras que, al contrario, al mismo tiempo, la comunicación de lo alto con el condensador está cerrada y la de abajo queda abierta; y al revés. Con esto, como es fácil verlo, se necesitan cuatro reguladores en lugar de dos, y dos tubos de conducción del vapor, que bajan al condensador, en lugar del tubo único que existía en las máquinas corrientes. De este modo, cuando el vapor hace presión

* PRONY. *Nouvelle architecture hydraulique*, vol. II, pág. 574; LANZ y BETANCOURT. *Essai sur la composition des machines*, París 1819, pág. 9.

sobre el émbolo, el vapor de abajo cede y se condensa; y cuando, a continuación, el vapor, debido al restablecimiento de la comunicación con la caldera, empieza a presionar abajo y a empujar el pistón, el que se halla encima pierde su fuerza y se dirige hacia el condensador.

“Se comprende, pues, que el vapor sigue saliendo constantemente de la caldera, y acciona permanentemente el émbolo, tanto para hacerlo subir como para obligarlo a bajar; que, por consiguiente, la caldera no necesita más, como en las máquinas actuales, una gran capacidad para recoger los vapores durante la ascensión del émbolo, ni una gran solidez para resistir a la presión del vapor, que ya no conserva.

“Pero a medida que el vapor sale constantemente de la caldera, entra por un movimiento continuo en el condensador; y esta nueva circunstancia requiere también algunas modificaciones en el dispositivo del condensador, en donde el agua para enfriar entra y sale de modo intermitente.

“El condensador de la máquina del Sr. Caballero de Betancourt es un tubo vertical, en que el agua para enfriar penetra en forma de chorro vertical continuo. El volumen del agua de inyección se regula por medio de una válvula cuya abertura se puede determinar a voluntad. Esta agua calentada ya por el contacto de los vapores, se saca del condensador junto con la que resulta de la condensación, por medio de una bomba adicional, movida por el balancín, y que se llama bomba de aire, porque también tiene por misión el extraer el aire atmosférico despedido por el agua de inyección y por el agua de la caldera.

“La continuidad de la circulación del vapor por el tubo del condensador permite atrasar su velocidad, por medio de una válvula, cuya abertura queda regulada por un mecanismo que se ha llamado *moderador*. Al cerrar más o menos esta válvula, se reduce a voluntad la velocidad del émbolo; e incluso se le puede parar completamente, al cerrar totalmente la válvula; ya que entonces el vapor que llena las dos cavidades del cilindro acciona de igual modo sobre las dos caras del émbolo, que permanece en equilibrio.

“En la máquina del Sr. de Betancourt, el émbolo debe accionar sobre el balancín, tanto durante su carrera ascensional como durante su caída; de modo que no puede más estar colgado al balancín por medio de una cadena flexible: se le fija por medio

de una palanca rígida y capaz de transmitirle el movimiento de ascensión. Pero como la articulación de esta palanca con el balancín debe moverse forzosamente a lo largo de una línea vertical, la palanca no podía fijarse directamente al balancín, cuyos puntos describen todos unos arcos de círculo alrededor del eje de rotación.

“El Sr. Watt ha suprimido esta dificultad, por medio de un paralelogramo de hierro fijado sobre el balancín y movable por medio de bisagras alrededor de las puntas de sus cuatro ángulos: si una palanca le obliga a dar la vuelta alrededor de un punto fijo, ocurre que según las dimensiones del paralelogramo, la punta de uno de sus ángulos se mueve a lo largo de una línea sensiblemente recta y vertical: la palanca del émbolo se halla fijada en la punta de este ángulo.

“El Sr. de Betancourt ofrece también la descripción del mecanismo con que los Sres. Watt y Bolton han sustituido la manivela corriente, para hacer continuo el movimiento oscilante del balancín. Este mecanismo, formado por una rueda dentada, fijada en el extremo de la vara oscilante, y encajando con otra rueda dentada, montada sobre el árbol del volante, se conocía ya por algunos de nosotros, con el nombre de Mouche. Tiene una ventaja sobre la manivela corriente, y es la de transmitir varias velocidades de rotación al árbol del volante, según la proporción de los diámetros de las dos ruedas dentadas, sin acelerar ni detener las oscilaciones del balancín.

“Creemos que la Academia debe aplaudir el celo y las luces del señor Caballero de Betancourt, quien proporciona a Francia la posesión de una invención, cuyo conocimiento no debía de llegarle sino más tarde; y que la memoria que presenta, digna de la aprobación de la Compañía, debe imprimirse en la colección de memorias de los sabios extranjeros”*.

A pesar de estas conclusiones, que fueron aprobadas por la Academia, no vemos que la memoria de Betancourt haya llegado a publicarse. Ello se debe quizás a la época turbia en que se produjo su comunicación. Las Academias sufrieron, en la tor-

* No nos consta que este informe haya sido publicado; citamos por la copia manuscrita que se conserva con la memoria de Betancourt, cf. nota 4. Una traducción española se ha publicado, en parte, en “Mercurio histórico y político”, marzo de 1790, pág. 188-95, cf. S. PADRON ACOSTA. *El ingeniero A. de Bethencourt*, pág. 38.

menta revolucionaria, un momento de paro de todas sus actividades, hasta que fueron reformadas e integradas en el nuevo Instituto Nacional o Instituto de Francia. Es posible que la memoria de Betancourt, que se había producido en un momento en que la Academia de las Ciencias proseguía normalmente todas sus actividades, no haya visto la luz en razón de estos acontecimientos. Es verdad que otra memoria suya, presentada a la misma Academia, sobre la fuerza elástica del vapor, llegó a publicarse en el mismo año de 1790; pero hay que tener en cuenta la circunstancia de haberse publicado en una colección científica diferente de las memorias académicas a que primitivamente iba destinada.

Sea como fuese, hemos reproducido textualmente la mayor parte del informe de Borda y de Monge, no sólo por tratarse de un trabajo inédito, sino también porque los juicios formulados por tan ilustres contemporáneos, perfectamente calificados para juzgar el interés de la nueva invención, da una idea más exacta de la aceptación que tuvo en los medios técnicos de París.

Queda por dilucidar un último detalle, que ha suscitado bastante discusiones en su tiempo, y que para nosotros tiene solamente un interés de curiosidad. Betancourt, muy apreciado por sus contemporáneos franceses, por su habilidad y su gran capacidad técnica y científica, no parece haber merecido un juicio tan halagüeño por parte de los científicos ingleses de aquella época. Allí donde la literatura técnica francesa no pone ningún reparo en reconocer los servicios hechos a la ciencia por el ingeniero canario, los autores ingleses silencian en general las mismas circunstancias, como si la acción de Betancourt no tuviera ningún interés, desde el punto de vista de la historia de la máquina de vapor.

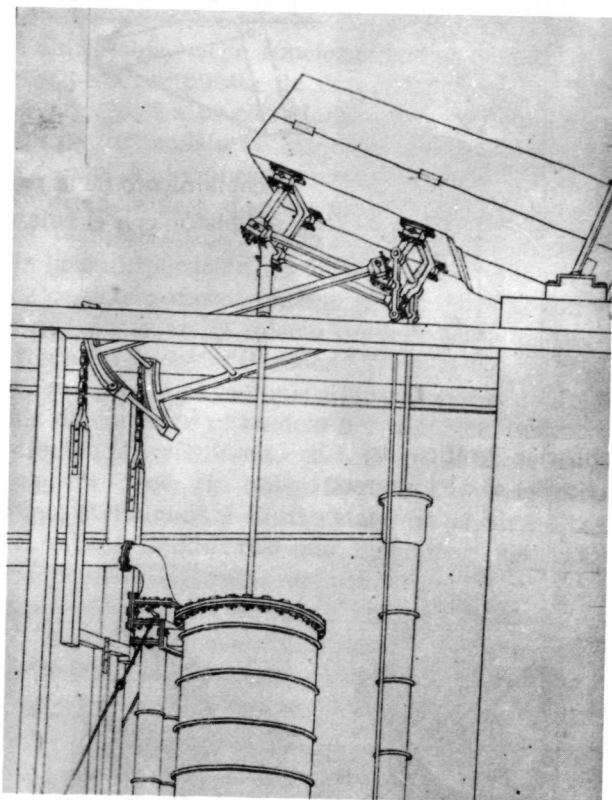
Mirada superficialmente, parece que esta actitud se podría justificar. En efecto, Betancourt reconoce él mismo que no hizo más que reconstituir una máquina de Watt que había podido examinar, aunque de manera muy superficial e incompleta; de modo que su papel sólo parece haber sido el de fabricante de una de las primeras máquinas de doble efecto. Pero ello no es exactamente así, ya que hemos visto que Betancourt tuvo que improvisar soluciones y completar por la imaginación y con su propio espíritu inventivo, aquellos órganos esenciales de la máquina, que no había podido examinar de cerca. No se trata, pues,

de un simple modelo que reproduce la obra de Watt, sino de una colaboración, por cierto involuntaria, y que no deja de ser un acierto, al mismo tiempo que un momento histórico importante.

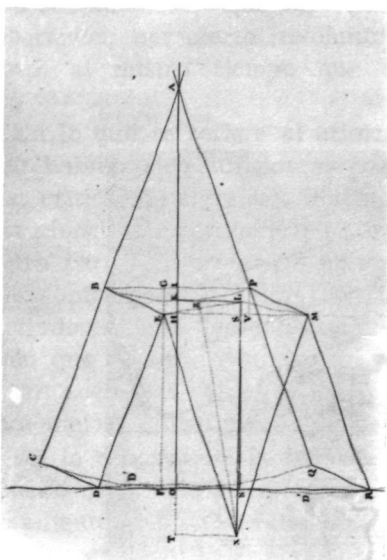
En lo que se refiere al acierto técnico, los detalles que preceden habrán sido suficientes para sentar esta verdad, a pesar de las críticas de algunos autores que, más bien que historiadores de la ciencia, se convierten en apologistas de James Watt. Por nuestra parte, sin tratar de minimizar la importancia primordial de la contribución de éste, nos inclinamos a pensar, con otros historiadores, que las innovaciones de Betancourt, incluso sabiendo que no se le ocurrieron espontáneamente, son por lo menos tan acertadas como las de Watt, cuando no constituyen una franca mejora de los procedimientos de éste.

En lo referente a la importancia del momento histórico, no se puede negar que la aportación de Betancourt ha ayudado poderosamente el progreso de esta industria, ya que ha implantado definitivamente en Francia este ramo de la producción, haciendo cesar definitivamente el monopolio inglés que impedía su expansión y su desarrollo. Precisamente aquí está el punto sensible, desde el punto de vista de los antiguos historiadores ingleses; y de aquí viene también toda su enemiga. Al popularizar en Francia el principio de la máquina de doble efecto, el ingeniero canario arrebató a los ingleses, y a Watt en particular, la posibilidad de conservar un monopolio que interesaba a la industria de todos los países y que, por consiguiente, representaba enormes intereses económicos y nacionales. Se comprende que los técnicos ingleses no tenían ninguna razón para apreciar la intervención de Betancourt en este asunto; e incluso se puede suponer que los perances que lo esperaban en Inglaterra, en 1797, o sea unos diez años después de su primer viaje, se explican por lo menos en parte por el escarmiento de su visita a los molinos de Albión.

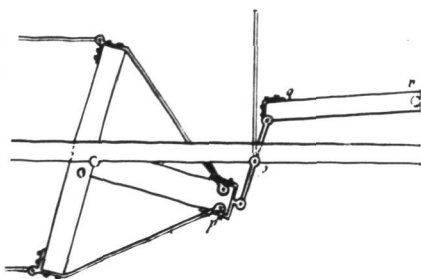
Por otra parte, cabe la pregunta, que varios historiadores ingleses no han dejado de plantear insidiosamente, si la conducta de Betancourt para con Watt, tal como se desprende del aprovechamiento de su invento, no puede tacharse de indiscreta y aun de abusiva. En efecto, Watt lo había recibido en su casa, perfectamente bien y con todas las atenciones; y Betancourt no dejaba de saber que la máquina de vapor, cuyo examen no le



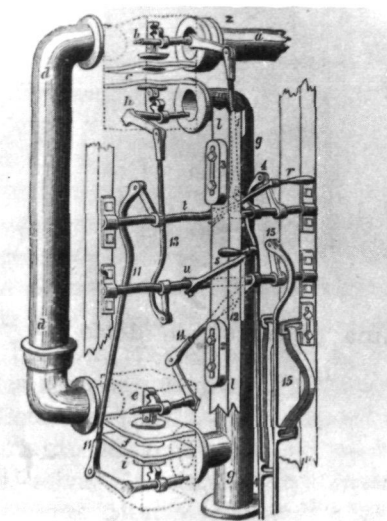
Paralelogramo de la máquina de vapor de doble efecto.



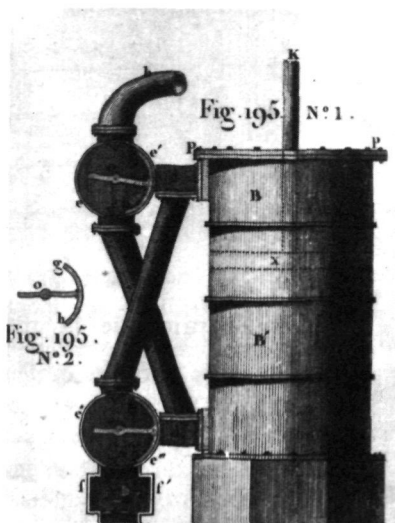
Representación gráfica del movimiento del paralelogramo.



Acoplamiento de la palanca del pistón con el balancín



Distribución del vapor en la máquina de Watt.



Distribución del vapor en la máquina de Betancourt

había permitido su huésped, formaba el objeto de un privilegio real, o sea, era la propiedad legalmente reconocida de Watt.

Se podría contestar a esto que el privilegio inglés no era extensivo a Francia. Pero, además de esto, no es absolutamente seguro que Watt haya sido el único técnico que hubiese pensado en una máquina de doble efecto. Es sabido, en efecto, que un tal Doctor Falk había hecho funcionar, en 1779, una máquina de doble efecto, pero compuesta de dos cilindros*; que Watt había tenido una larga polémica con Hornblower, primer concesionario antes que él de un modelo de máquina *compound*, que el mismo Watt consideraba y denunciaba como un robo que se le había hecho, circunstancia ésta que no parece tan segura como él lo afirma; que Watt no había sacado su propio privilegio real, sino forzado por la multiplicación de los “plagiaros y piratas”, o sea, de los modelos más o menos parecidos al suyo, que empezaban a circular, y que obtenían el mismo doble efecto; en fin, que, según afirmación de Prony, “el señor Périer el mayor nos ha asegurado que, aunque no haya construído máquinas de doble efecto, sino después de conocido el modelo del señor de Betancourt, desde mucho tiempo iba meditando en una máquina de este tipo”**. Todo ello significa que, sin haber llegado a ser un bien común, el invento que atribuimos a Watt estaba en el aire. Otra prueba de ello es la misma rapidez con que Betancourt adivinó el mecanismo y el efecto de las máquinas vistas cerca de Black Friars: de no haber tenido la conciencia de un posible doble efecto, es evidente que las innovaciones exteriores de aquellas máquinas no le hubiesen llamado tan poderosamente la atención.

En segundo lugar, el modelo presentado, y después fabricado por Betancourt no es un plagio. Cuando Mozart escribía en su sombrero la partitura de una composición mantenida en secreto, no hacía más que aprovechar su rara virtuosidad para copiar un texto musical ajeno. Pero cuando Betancourt, al inspeccionar superficialmente y sobre la marcha una máquina desconocida y con los órganos más delicados tapados, la reconstituye mentalmente, sustituyendo lo no visto por órganos combinados por él mismo, lo que consigue es indudablemente una máquina nueva, tan suya en comparación con la de Watt, como

* Cf. THURSTON. *Histoire de la machine à vapeur*, vol. I, pág. 115.

** PRONY. *Nouvelle architecture hydraulique*, vol. II, pág. 81.

puede serlo, por ejemplo, la de Smeaton en comparación con la de Newcomen que le había servido de modelo. Es evidente que en un caso de esta naturaleza, en donde el mismo autor del modelo reconoce de antemano que no aspira a la originalidad y que no reclama ningún derecho a la prioridad, su mérito debe juzgarse por los resultados obtenidos, y en la medida en que estos resultados alcanzan o mejoran a los producidos por la máquina original.

En fin, no se debe olvidar que el monopolio de Watt, justa compensación de sus méritos y de sus penas, pareció exorbitante a muchos ingleses, y con mayor razón a los extranjeros. Desde 1797, Bramah había protestado contra estos privilegios, que paralizaban el progreso de la técnica, ya que nadie podía seguir los caminos que tenía bloqueados el privilegio de Watt. Y más tarde, Tredgold reconocía igualmente que “la prosperidad de las minas y de las manufacturas de Gran Bretaña había sufrido cruelmente, debido a los efectos nocivos de los privilegios exclusivos que habían sido concedidos a Boulton y a Watt”*. Desde el punto de vista del conjunto de la economía nacional, estas quejas parecen perfectamente justificadas. Por consiguiente, si los mismos compatriotas de Watt juzgaban excesivas sus pretensiones de no dejar tocar a nadie los detalles técnicos que él había sido el primero en idear, pero que no parece haberse dado mucha prisa en explotar**, es natural que un extranjero no haya tenido escrúpulos exagerados sobre este detalle.

En realidad, la queja más amarga de los historiadores de la máquina de vapor, parte de la impresión que la importancia que en Francia se había concedido al modelo fabricado por Betancourt, sobre todo en la obra clásica de Prony, dejaba algo postergado el papel histórico de James Watt y del genio inglés. Esta queja no parece justificada, y se funda en un texto mal interpretado, en que Prony sólo decía que Betancourt, al reproducir una máquina que no había podido examinar en todas sus partes, imitó fielmente lo que había podido observar y fue “el verdadero inventor” de los órganos que no había visto.

* TREGOLD. *Traité des machines à vapeur*, pág. 70.

** Parece que Watt, como queda dicho, había imaginado desde 1767 su sistema de doble inyección; pero sólo la aplicó en escala industrial en 1786, en los molinos de Black Friar, cf. THURSTON. *Histoire de la machine à vapeur*, vol. I, pág. 114 y 124.

Este modo de expresarse no parece ninguna injusticia hecha a la memoria del James Watt. Sin embargo, los historiadores ingleses no tardaron en refutar con evidente despecho una pretensión que, con no existir, no merecía tanto enojo*. Incluso parece, si son ciertas estas indicaciones, que el mismo Watt tenía conocimiento de la "injusticia" que le había sido hecha por Prony, en su obra; "que habían hablado los dos de este asunto, y que Prony le había ofrecido explicaciones que le disculpaban"***. Pero añade que "al señor Watt no le gustaba que se le hablase de aquella circunstancia", no sabemos si por ser recuerdos molestos, o porque nada había que decir. En cuanto a las disculpas que le habrá ofrecido Prony, para una acusación sin fundamento, tampoco sabemos en qué habrán consistido. Sólo sabemos que en el año de 1826, al referirse a aquella molestia de los técnicos e historiadores ingleses, Prony contestaba simplemente con reproducir su texto de 1790, con que documentaba que no se le podía considerar sospechoso de haber querido minimizar la importancia de los trabajos de Watt***.

La verdad es que, en este asunto, no había acusados ni acusadores. Betancourt no es un enemigo ni un rival de James Watt, sino uno de sus numerosos continuadores, y probablemente el primero de todos. En esta calidad, que no se le puede negar, la historia de la máquina de vapor es injusta, si olvida su nombre; tanto más, que el ejemplo de la justicia había sido indicado ya por los mismos contemporáneos de los dos científicos, y más precisamente por la corporación académica que había sido la primera en escuchar la lectura de la memoria de Betancourt.

En efecto, el nombramiento de James Watt y de Agustín de Betancourt, como corresponsales de la Academia de las Ciencias

* Cf. O. GREGORY. *A treatise on mechanics*, vol. II, pág. 392-94, y su reseña, ya citada, en "The Edinburgh Review"; en esta última se dice que, si no se insiste más sobre este tema, es por saber que Prony había prometido corregir él mismo su error.

** Playfair, citado por STUART. *Histoire descriptive de la machine à vapeur*, pág. 221.

*** PRONY. *Rapport sur la nouvelle et l'ancienne machine à vapeur établie à Paris au Gros-Caillou*, París 1826; citado por EM. EUDES. *Histoire documentaire de la mécanique française*, pág. 82-3. Cf. también PERIER. *Sur les machines à vapeur*, París 1810 (separata del "Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, IX (1810), pág. 163-69), pág. 11: "Je ne suis donc point l'inventeur des machines à vapeur; mais je suis le créateur de cette branche d'industrie en France: elle n'existait pas avant moi".

de París, verificado en una misma sesión, el 2 de marzo de 1807, no puede ser el resultado de una simple coincidencia*. Si acaso lo es, es una coincidencia feliz y casi simbólica, que indica que ambos nombres deben hermanarse en la conciencia de la posteridad, junto con los de tantos otros técnicos que han contribuído, en la medida de sus capacidades y de sus conocimientos, al desarrollo de una de las fuerzas más útiles y menos nocivas de cuantos han contribuído hasta ahora al progreso de la humanidad.

* *Institut de France. Académie des Sciences. Procès-verbaux des séances de l'Académie*, vol. III, París 1913, pág. 504.

VI

LA FUERZA ELÁSTICA DEL VAPOR

Los trabajos de Betancourt referentes a la máquina de vapor, que hemos examinado en el capítulo anterior, eran trabajos de interés meramente práctico. Con ellos, nuestro autor sólo se proponía aprovechar para fines utilitarios, invenciones en que él no había tenido intervención; o, si la tuvo, no fue más que para suplir los defectos de su información y, por decirlo así, porque se veía obligado a inventar.

Pero, al mismo tiempo, su interés para la máquina de vapor fue el punto de partida de nuevos estudios. Como en todos los que dio a conocer Betancourt, se trata, una vez más, de una curiosidad científica que no olvida que detrás de los principios existen las finalidades prácticas. Como en sus demás trabajos, Betancourt se sirve de la teoría, sin olvidar que las leyes generales que se pueden sacar de la experiencia y de la deducción, tendrán inmediata aplicación a la mecánica. Así y todo, los trabajos y los experimentos a que le condujeron sus estudios de la máquina de vapor, son los más escuetamente científicos y los más generales por su alcance, entre los que tendremos la oportunidad de examinar.

Estos trabajos se refieren a la fuerza elástica del vapor: problema que interesa al autor por su aplicación a la máquina de vapor, y que se halla expuesto en una memoria, la primera publicada por Betancourt*. "Hasta ahora", escribe desde el prin-

* *Mémoire sur la force expansive de la vapeur de l'eau, lu à l'Académie Royale des Sciences, par M. de Bétancourt*. París (1790). Una copia manuscrita, que bien podría ser de la mano del mismo autor, se halla en la Biblioteca de la École des Ponts et Chaussées de París, Ms. 184 (núm. 2436 del catálogo impreso). En el Gabinete de Máquinas de Madrid había una copia del texto español del mismo opúsculo. *Memoria sobre la fuerza expansiva del vapor del agua*. (Ms. 92; cf. J. LÓPEZ

cipio de este opúsculo, “hemos ignorado la ley natural de la progresión de la fuerza expansiva del vapor, en proporción con los diferentes grados de calor que se le comunican; sin embargo, la teoría de la máquina de vapor está fundada en el conocimiento de esta ley”. Y, después de haber señalado el interés práctico de la solución de este problema, añade: “Todas estas consideraciones me han decidido a emprender varios experimentos, para tratar de descubrir una ley que pudiese servir de base en los cálculos de las máquinas de vapor; en efecto, cuando se establecen estos mismos cálculos sobre los datos actualmente admitidos, sus resultados son tan diferentes de la realidad experimental, que esta diferencia no se puede explicar por medio de ninguna hipótesis”.

Es cierto, en efecto, que hasta entonces los fabricantes de máquinas de vapor se servían de fórmulas convencionales y sin fundamento científico, para establecer las dimensiones de sus máquinas de vapor, de su cilindro y de su caldera, en proporción con el trabajo que se les iba a exigir y con el gasto de energía que suponía aquel trabajo. Ignorando las leyes físicas que establecen la proporción entre la temperatura y la presión de los gases, y del vapor de agua en particular, los primeros constructores fabricaban las máquinas, a base de fórmulas empíricas, y comprobaban después su potencialidad. Es verdad que Newcomen había indicado, por primera vez, una regla de cálculo, que sus contemporáneos consideraban como “muy exacta”; pero esta exactitud deja mucho que desear. La regla consistía en calcular el cuadrado del diámetro del cilindro, expresado en pulgadas, y eliminar la última cifra del resultado, para conseguir de este modo el número de los quintales que podía elevar la máquina. Sin embargo, había que deducir del último resultado aproximadamente una cuarta, o incluso la tercera parte, que se perdía por efecto de los roces o de otras causas externas*. Más prudentemente, Smeaton procedía al revés, y calculaba las dimensiones de algunas de las máquinas de Newcomen, al mismo tiempo que su potencialidad práctica, para tratar de establecer, a base de estos datos, unas proporciones fijas que sirviesen de norma.

PEÑALVER. *Catálogo del Real Gabinete de Máquinas*, pág. 136-44). La descripción de este manuscrito, en el catálogo impreso en 1794, es curiosa por estar acompañada por una larga polémica con Monge, sobre algunos detalles del experimento.

* Cf. THORNTON. *Histoire de la machine à vapeur*, vol. I. pág. 70.

En fin, James Watt había tratado de reconocer la fuerza desarrollada por sus máquinas, por medio de un indicador de presión, en comunicación con el cilindro; pero no parece haber llegado a establecer ninguna relación positiva entre el aumento de la temperatura y el de la presión.

Parece, sin embargo, que Betancourt tenía ya un predecesor en el camino que había emprendido con sus experiencias. Un tal Ziegler había publicado, desde el año de 1769, una obrita en que precisamente estudiaba el conocido "digestor" de Denis Papin, y el aumento de presión de los vapores encerrados en él, en relación con las distintas temperaturas a que estaba sometido*. Pero por una parte, Betancourt declara no haber tenido conocimiento de la obra de Ziegler, que sólo le vino a manos cuando él mismo había terminado ya sus experiencias**; y por otra parte, la finalidad perseguida por este autor no era, como en el caso de Betancourt, buscar la ley que rige las proporciones entre presión y temperatura, sino tan sólo observar que esta proporción existe. De este modo, sigue siendo justificado el admitir, como se ha hecho, que Betancourt es "el primero que se haya propuesto comparar las fuerzas elásticas del vapor de agua con las temperaturas"***.

Para llegar a este resultado, Betancourt se sirvió de un aparato especialmente fabricado, cuya descripción sigue:

A, caldero de cobre, herméticamente cerrado por un tapadero metálico XZ y colocado sobre el trébol K, encima del brasero P. El caldero presenta los cuatro orificios siguientes:

B, tubo cerrado herméticamente, por el que se introduce el agua en el caldero.

Y, orificio provisto con una llave comunica por medio de un tubo y de la campana de cristal W, con la bomba neumática T, que sirve para hacer el vacío en el caldero.

C, orificio que deja pasar la columna de un termómetro que indica la temperatura del agua en el caldero.

* J. H. ZIEGLER. *Specimen physico-chemicum de digestore Papini, eius structura, effectu et usu; primitias experimentorum novorum circa fluidorum a calore rarefactionem et vaporum elasticitatem exhibens*, Basilea 1769.

** BETANCOURT. *Mémoire sur la force expansive de la vapeur*, pág. 3; cf PRONY, en "Journal de l'École Polytechnique", vol. II (año IV de la República), pág. 41.

*** HACHETTE. *Traité des machines*, París 1828, pág. 249.

D, orificio que comunica por medio del tubo *F* con el manómetro *MM*, que indica la presión del agua en el caldero.

En cuanto a la marcha seguida para llevar a cabo las observaciones propuestas, se empezaba con poner en comunicación, por medio de la llave *Y*, el caldero con la máquina neumática, que hacía el vacío, antes de encender los carbones del brasero. Esta circunstancia de la evaporación en el vacío, que elimina, por consiguiente, cualquier influencia de la presión atmosférica y de sus variaciones, "distingue esencialmente las experiencias de Betancourt de las que Ziegler había verificado con anterioridad, y las hace aplicables a la teoría de la máquina de vapor, en donde el vapor acciona en un espacio sin aire", según observación de Prony*. Después de obtenido el vacío, se empezaba a calentar el caldero; y al observador sólo le quedaba seguir atentamente e ir notando, de grado en grado, las temperaturas alcanzadas, a medida que las veía aparecer en la columna del termómetro, y al mismo tiempo las presiones que les correspondían en la graduación del manómetro.

Para lograr una mayor precisión de sus datos, Betancourt repitió hasta cuatro veces su experimento, variando cada vez las condiciones: la primera vez, el caldero estaba absolutamente lleno con agua; la segunda vez, sólo quedaban ocupadas las tres cuartas parte de su capacidad; la tercera, una mitad; y la cuarta vez, el cuarto de la capacidad total. Los cuatro resultados comparados forman el cuadro general de sus observaciones.

Éstas últimas no eran nada fáciles, dadas las circunstancias en que trabajaba Betancourt, y la casi imposibilidad de conseguir las condiciones materiales necesarias, para una observación segura y libre de cualquier interferencia de factores ajenos. El mismo Betancourt conocía perfectamente las dificultades con que iba a tropezar; y es significativa la objetividad con que las señala, así como el cuidado que puso en subsanar los inconvenientes que se podían prever y evitar.

Así, empieza con decir que al principio, y para evitar que el vapor se escape por debajo de la tapa metálica, la había soldado al caldero con estaño; pero observó que, así y todo, seguía habiendo fuga de vapores, de modo que acabó por emplear la soldadura con cobre.

* PRONY, en "Journal de l'École Polytechnique", II (año IV), pág. 42.

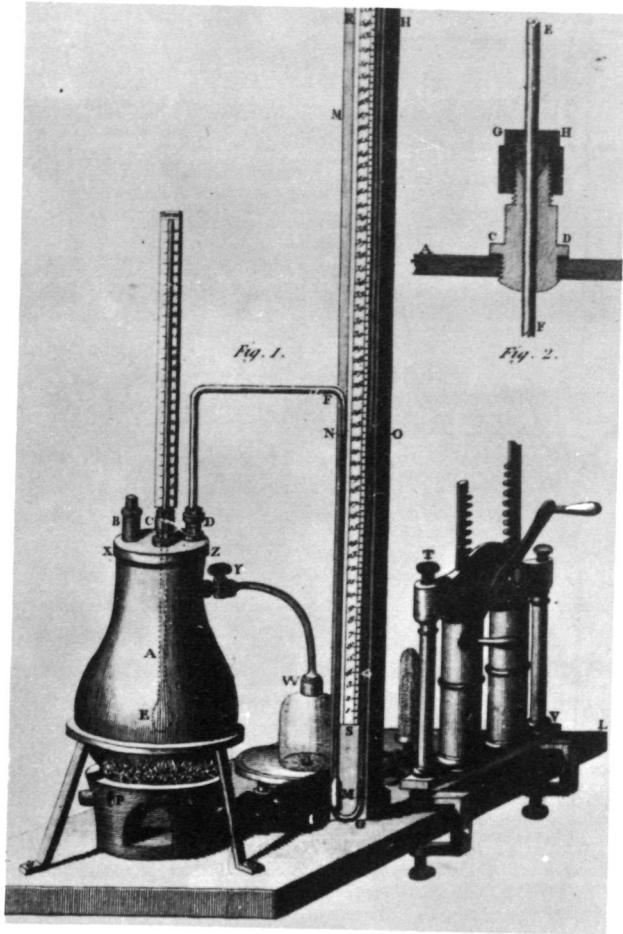


Fig. 1.

Fig. 2.

Experiencia sobre la fuerza elástica del vapor

The Machine for clearing Navigable Rivers from Weeds
invented by the Chevalier de Belancourt. Volina.

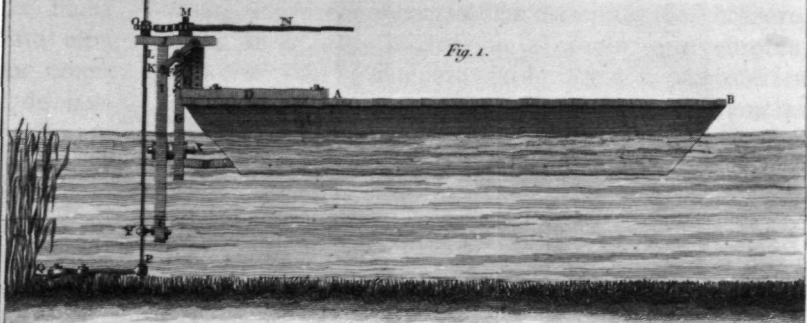


Fig. 1.

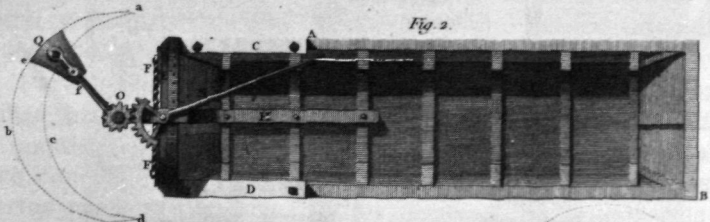
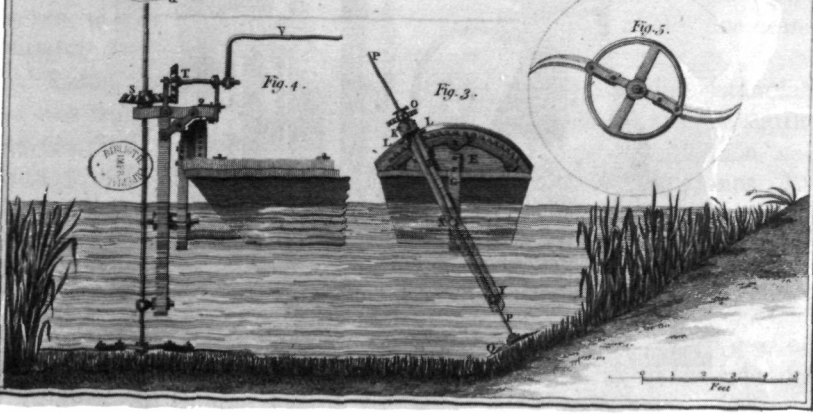
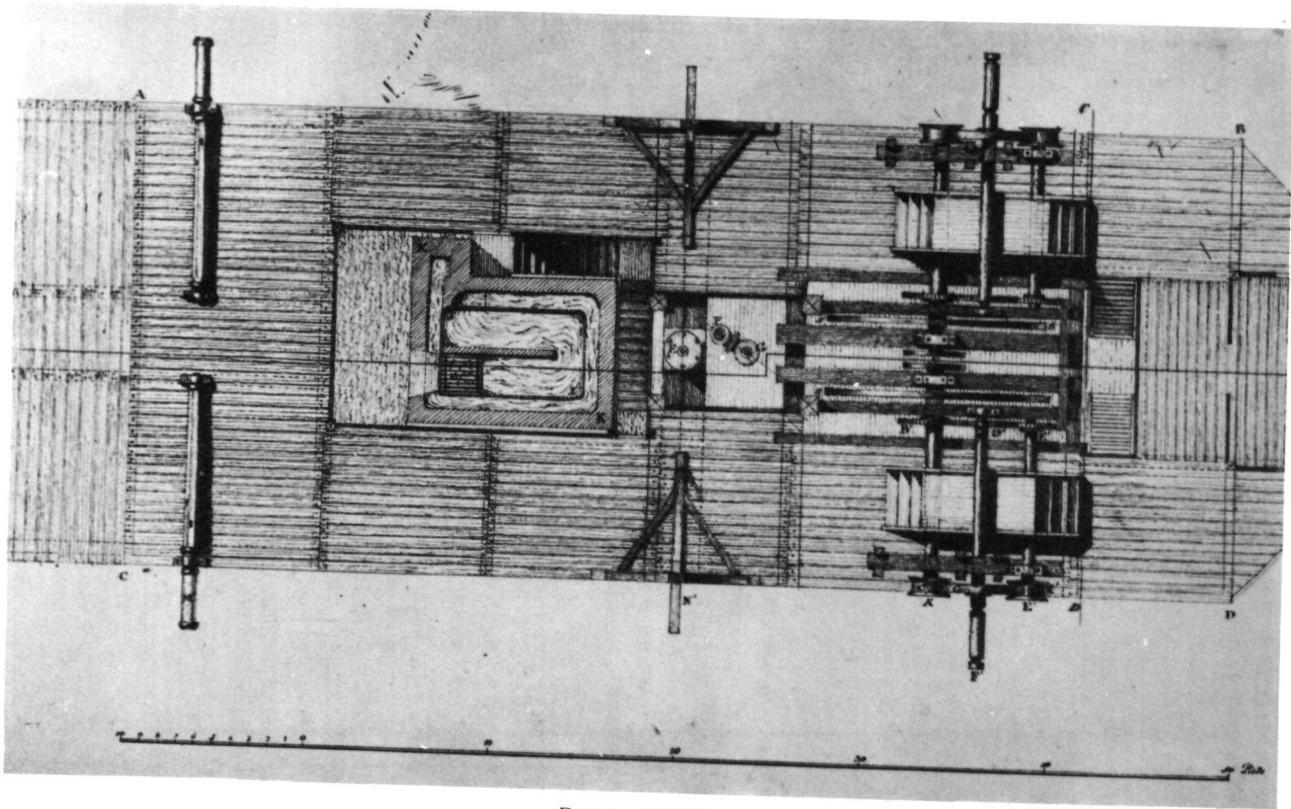


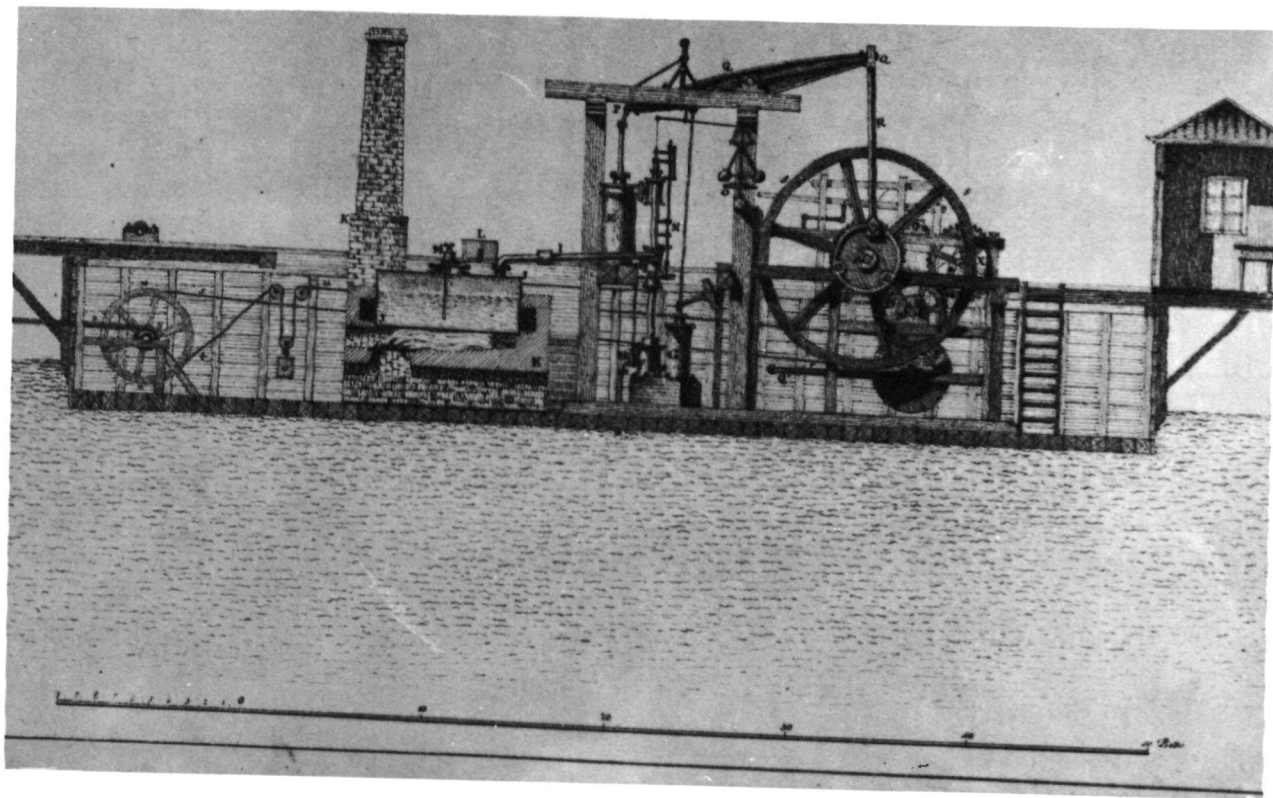
Fig. 2.



Máquina de cortar hierbas (1796).



Draga (1808):
I. Plano



Draga (1808):
Corte longitudinal.

Por otra parte, había dejado abierta y en contacto con el aire la segunda columna del sifón lleno con mercurio, que le servía de manómetro. Al proceder así, —que era entonces el modo usual de emplear el manómetro—, acabó por darse cuenta que el mercurio de aquella columna estaba sometido a las variaciones de la presión atmosférica, que, por pequeñas que fuesen, introducían un factor imprevisto en el desarrollo de sus mediciones. Para subsanar este inconveniente, tapó el extremo superior de la segunda columna, después de haber equilibrado el peso del aire ausente, por medio de la adición de otra columna de mercurio de la misma altura.

Pero el detalle técnico que le había dado más trabajo, fue el de obtener una absoluta estanquidad de los orificios de que estaba provisto el caldero. Dada la imperfección de los medios técnicos de que entonces se disponía, junto con las presiones a que estaba sometido el vapor al interior del caldero, había siempre fuga de gases, por más que hubiese tratado de impedirla, entre el metal de la caldera y el vidrio de los tubos que salían de ella. Al fin y al cabo, para impedir estas fugas, empleó un dispositivo de su invención, que es el que está representado en el grabado, al lado de su aparato:

AB es la pared metálica del caldero, provista con un orificio en que entra un tornillo de cobre *CD*, fuertemente atornillado con una llave y forrado con estopa en su parte inferior. Por este tornillo pasa el tubo de vidrio *FE*. El mismo tornillo *CD* está vaciado en su parte superior, para recibir una cantidad de estopa *II*, que se aprieta por medio de la pieza atornillada *GH*. De este modo, se reducen al mínimo los riesgos de fuga, ya que las piezas atornilladas ofrecen bastante resistencia a la presión del vapor que busca salida.

Las múltiples precauciones con que se había rodeado Betancourt en sus experiencias, indican la seriedad de su trabajo, que parece bastante más concienzudo de los que entonces se acostumbraban en aquella clase de investigaciones. Los mismos contemporáneos apreciaron la escrupulosidad y la precisión de aquellas “hermosas y útiles experiencias”*, cuyo interés para la física general no necesita ser subrayado.

* PRONY. *Nouvelle architecture hydraulique*, vol. I, pág. 557. Cf. TREGOLD. *Traité des machines à vapeur*, vol. I, pág. 57: “Están hechas con mayor cuidado que las que, en aquellos tiempos, salían al público;

Después de obtenidos los resultados experimentales, que formó en un cuadro analítico y extractó después en forma de gráfico, Betancourt se propuso deducir de aquellas observaciones y de sus resultados, la ley general de la proporción entre presión y temperatura. Para llegar a una fórmula que incluyese todos los datos que había obtenido por sus experiencias, se sirvió del nuevo método de interpolación, que le había sido comunicado por Prony, "quien había considerado mis experiencias con el mayor interés", dice el autor.

El cálculo matemático arrojó resultados sensiblemente parecidos a los de la experiencia, con pequeñas diferencias que el autor explicaba pertinentemente por aquellos factores exteriores que no le había sido posible eliminar del todo: roce del mercurio con el vidrio de los tubos; diferencias, de resultas de una fabricación imperfecta, en el diámetro de los tubos, aproximaciones prácticamente insensibles en la graduación de su termómetro; en fin, falta de rapidez o de exactitud en una observación bastante penosa por el exceso de atención que exigía del observador.

Antes de terminar, el autor añade: "Podría hacer numerosas consideraciones sobre la utilidad que la química y la física podrían sacar del conocimiento exacto de la fuerza expansiva de todos los fluidos. Podría comparar mis experiencias con las del señor Lavoisier, que estudian la influencia del peso del atmósfera sobre la evaporación. Podría explicar un gran número de fenómenos de física, cuya causa es la fuerza de expansión del vapor de agua caliente; etc. Pero todas estas consideraciones me conducirían demasiado lejos"*. De donde se puede ver, una vez más, que Betancourt era más bien enemigo de la pura especulación gratuita y que, ingeniero antes que todo, la ciencia sólo contaba desde su punto de vista como poderoso instrumento de trabajo, al servicio de la técnica, que formaba el único objeto de su preocupación y de sus ambiciones.

En la misma memoria, Betancourt completaba sus observaciones sobre la fuerza elástica del vapor de agua, con un estudio idéntico dedicado a los vapores de alcohol. Prescindiendo de los detalles, lo que se debe retener de sus conclusiones más gene-

pero aun no tenían la precisión necesaria para desarrollar las leyes de la fuerza del vapor".

* BETANCOURT. *Mémoire sur la force expansive*, pág. 37.

rales, son los principios básicos que, según él, se desprenden de esta investigación, y que enumera así:

El vapor tiene la misma temperatura que el agua de que resulta.

La presión del aire y la presión del vapor influyen del mismo modo en la temperatura del agua.

En fin, la proporción entre la presión y la temperatura es constante, sea cual fuese la capacidad del recipiente en donde se hace la vaporización*.

El examen de la memoria presentada por Betancourt había sido recomendado por la Academia de la Ciencias a una comisión integrada por los académicos Borda, Brisson y Monge**. Los tres comisionados presentaron su informe en la sesión del 4 de septiembre de 1790. En él se determinan como sigue los problemas que se propone solucionar la experiencia de Betancourt: "Nos faltaba sobre este tema importante, una serie de experiencias exactas y directas, por cuyo dominio, dándose el grado de temperatura del agua en ebullición, se pudiese conocer la fuerza expansiva del vapor que se forma, y recíprocamente. Nos faltaba asimismo una ley analítica que expresara la proporción que existe entre la temperatura del agua hirviendo y la presión que equilibra la fuerza del vapor. He aquí los objetos que el señor de Betancourt se ha propuesto en sus investigaciones". Y, después de resumir con bastantes detalles las experiencias que acabamos de indicar, concluye el informe diciendo que "las experiencias que describimos están hechas en muy buenas condiciones, y son útiles; la memoria nos parece digna de la aprobación de la Academia"***.

Hemos visto ya que Prony, cuyo nombre aparece a menudo mezclado con el de Betancourt, ya como amigo, como animador,

* HACHETTE. *Histoire des machines à vapeur*, París 1830, pág. 94.

** Borda y Monge habían figurado ya, algunos meses antes, en la comisión encargada de examinar la memoria de Betancourt sobre la máquina de vapor. En cuanto al tercer comisionado, se trata de Mathurin-Jacques Brisson, autor, entre otras obras, de un *Dictionnaire raisonné de physique* (1781) y de un tratado sobre la *Pesanteur spécifique des corps* (1787). Lo señalamos, porque en la obra de S. PADRON ACOSTA. *El ingeniero A. de Béthencourt*, pág. 37, se le confunde con Bernabé Brisson.

*** El informe está publicado junto con la memoria de Betancourt. Otros resúmenes de los trabajos de Betancourt sobre este particular se pueden consultar en PRONY. *Nouvelle architecture hydraulique*,

favorecedor y a veces consejero de éste último, en la mayor parte de los trabajos que había ejecutado en Francia, había observado con interés esta última experiencia del ingeniero canario. A él se le debe el método de interpolación, de que Betancourt se había servido para calcular la fórmula general que expresara los resultados de sus observaciones. Este método, como es sabido, tiene por objeto el hallar una ecuación entre dos o más variables, tal que, al determinar el valor de una de estas variables, se determinan al mismo tiempo y se pueden calcular los valores de las demás.

Pero el interés de Prony para con estos experimentos no acaba aquí. Más tarde, en 1796, le vemos publicar un estudio en que, volviendo sobre el mismo tema, declaraba: "En el año de 1790, he tenido la oportunidad de seguir unas experiencias, muy detalladas y muy bien ejecutadas, sobre la fuerza de expansión del vapor de agua, y me obligué a buscar la fórmula que las representaba. La regularidad de la serie de valores dados me había hecho imaginar que la tarea iba a ser más fácil de lo que resultó en realidad. Sin embargo, después de algún trabajo, hallé una especie de función que no sólo expresaba perfectamente las relaciones entre la temperatura y la presión del vapor de agua, pero que me pareció convenir en general a todos los fenómenos que dependen de fluidos elásticos. Las he aplicado a unas experiencias, hechas con mucho cuidado por Lieur, sobre la dilatabilidad del aire, y de los diferentes gases: este ensayo me confirma en mi opinión, y me he determinado a publicar mis resultados". De modo que el trabajo matemático y puramente teórico de Prony se fundaba en las experiencias de Betancourt, y, según se puede deducir, a falta de documentos más precisos, en una verdadera colaboración entre los dos científicos.

Conviene añadir que, a pesar de las numerosas precauciones que le hemos visto tomar, en vista de garantizar los resul-

vol. I, pág. 557-62; BORGNIÉ. *Traité complet de mécanique. Composition des machines*, París 1818, pág. 80-81; OLINTHUS GREGORY. *A treatise of mechanics*, Londres 1807, vol. II, pág. 57-63 (donde Betancourt está designado como "an ingenious Spanish philosopher"); EM. EUDE. *Histoire documentaire de la mécanique française*, París 1902, pág. 7-9.

* PRONY. *Essai expérimental et analytique sur les lois de la dilatabilité des fluides élastiques et sur celles de la force expansive de la vapeur d'eau et de la vapeur de l'alcool à différentes températures*, en "Journal de l'École Polytechnique", vol. II (año IV de la República), pág. 24-76.

tados de sus experiencias, es evidente que las mediocres condiciones técnicas en que trabajaba Betancourt hacían imposible la obtención de resultados definitivos, desde este primer ensayo. Sus cifras sólo eran precisas y asombrosamente cercanas a la realidad, si se tienen en cuenta los medios de que disponía. Con el progreso de la física y de los métodos de medición de las diferentes fuerzas en presencia, empezó a hacerse evidente que los resultados de Betancourt sólo constituían una aproximación; y nuevos investigadores se aplicaron a estudiar el mismo problema.

Parece, según algunas fuentes, que el primero que observó, después de Betancourt, la relación de las temperaturas con las presiones fue el sabio John Robison (1739-1805); pero ignoramos las condiciones en que trabajó y los resultados que consiguió. Sólo sabemos de ellos por la referencia de un autor que dice, al indicar el método seguido en esta experiencia, que “el mismo método ha sido empleado por Betancourt, cuyos resultados se parecen muchísimo a los de Robison”*. Al ignorar la fecha de los experimentos de éste último, y al recordar que se trata, más bien que de un investigador, de un vulgarizador**, cabe preguntarse si las experiencias de Robison no son las mismas de Betancourt, recogidas en sus escritos por el sabio inglés.

Un auténtico continuador de Betancourt, en cambio, fue el inglés Dalton, de Manchester, quien emprendió el mismo trabajo en 1802, y estableció una escala de valores bastante más exacta que la de su predecesor. Una serie de experiencias patrocinadas por la Academia de las Ciencias de París, fue llevada a cabo por los años de 1825 a 1829, por una comisión cuyos principales miembros eran el célebre Arago y Dulong***; y que se dedicó sobre todo al estudio de las presiones alcanzadas por el vapor de agua, bajo temperaturas que rebasaban el 100°. En fin, un cuadro exacto de la fuerza elástica del vapor, para las temperaturas comprendidas entre 0° y 150°, fue establecido en 1845 por Re-

* TREDGOLD. *Traité des machines à vapeur*, vol. I, pág. 110-2.

** La obra de Robison se titula *System of mechanical philosophy*, obra póstuma, publicada por David Brewster. Cf. el juicio que de esta obra hace Prony, autor del artículo dedicado a Robison, en la *Biographie universelle*, vol. XXXVI, pág. 193: “La lecture de ces traités, qui n'exige pas de connaissances mathématiques profondes, est à la fois agréable et instructive”.

*** Cf. FRANCOIS ARAGO. *Forces élastiques de l'air et de la vapeur*, en *Oeuvres complètes*, vol. XI, Paris 1859, pág. 13-53.

gnault. El aparato de que se sirvió éste último, conservado actualmente en las colecciones del Conservatoire des Arts et Métiers de París, se parece bastante con el que, medio siglo antes que él, había empleado Betancourt, y que, sin duda, se inspiraba a su vez en el aparato con que el célebre abate Nollet había estudiado los efectos de la compresión de los gases*.

* Quizá no sea fuera de lugar recordar que este trabajo de Betancourt fue del real agrado y que, al informar a la Corte de su publicación y de la aceptación que había tenido en la Academia de las Ciencias, se le hizo presente la satisfacción que esta noticia había producido al Rey, y se le ofreció remunerar sus esfuerzos, por oficio de la primera Secretaria de Estado, del 10 de febrero de 1791. Cf. *Noticias biográficas de D. Agustín de Betancourt*, en "Revista peninsular", II (1857), pág. 346.

VII

LAS DRAGAS

En 1795, la Sociedad para el Fomento de las Artes, Manufacturas y Comercio de Londres, al publicar su acostumbrado programa de concursos para los premios que iba a distribuir el año siguiente, había incluido entre los temas propuestos a los concursantes, el modelo de una máquina para cortar las hierbas y limpiar el fondo de los canales y los ríos navegables.

Don Agustín de Betancourt se presentó a este concurso, con un proyecto de máquina de su invención, que obtuvo el premio de cuarenta guineas, ofrecido por la Sociedad. Su proyecto y la memoria que lo acompañaba fueron publicados en el anuario de la Sociedad*. Algo más tarde, el autor publicaba el grabado que representaba su invento, en una lámina de gran formato que

* *Description of the plate of the machine for cutting weeds in navigable canals and rivers*, en "Transactions of the Society instituted at London for the Encouragement of Arts, Manufactures and Commerce", XIV (1796), pág. 315-23. La descripción propiamente dicha está precedida por la siguiente carta de presentación del autor:

"Sir, I have the honour to transmit to You, to be laid before the Society for the Encouragement of Arts, Manufactures and Commerce, a model with drawing and explanation of a machine for clearing navigable rivers and canals from weeds. Should my idea fortunately meet approbation, I shall deem myself amply recompensed in receiving the distinguished mark of honour proposed by the Society for the successfull invention of the above object. I have the honour to be most respectfully, Sir, Your most obedient servant,

De Betancourt Molina,

Director of the Royal Cabinet of Machines of His Catholic Majesty. Hans Place, Shane-Street, Chelsea.

January 31, 1796".

aparece impresa en España y que dedicó a don Manuel Godoy, Príncipe de la Paz*.

La idea directriz del proyecto que presentaba a la Sociedad inglesa está explicada en la introducción de la memoria que lo acompaña. El autor precisa que no se propone recomendar una máquina que arranque las plantas, sino una que corte los tallos a determinada altura, por las razones que se explican así**:

“Para limpiar los canales navegables y los ríos de las hierbas que crecen normalmente en sus fondos y bancos, dos operaciones son necesarias: la primera, cortar o arrancar la planta con sus raíces; y la segunda, sacarla del agua, si la corriente no es bastante fuerte para arrastrarla.

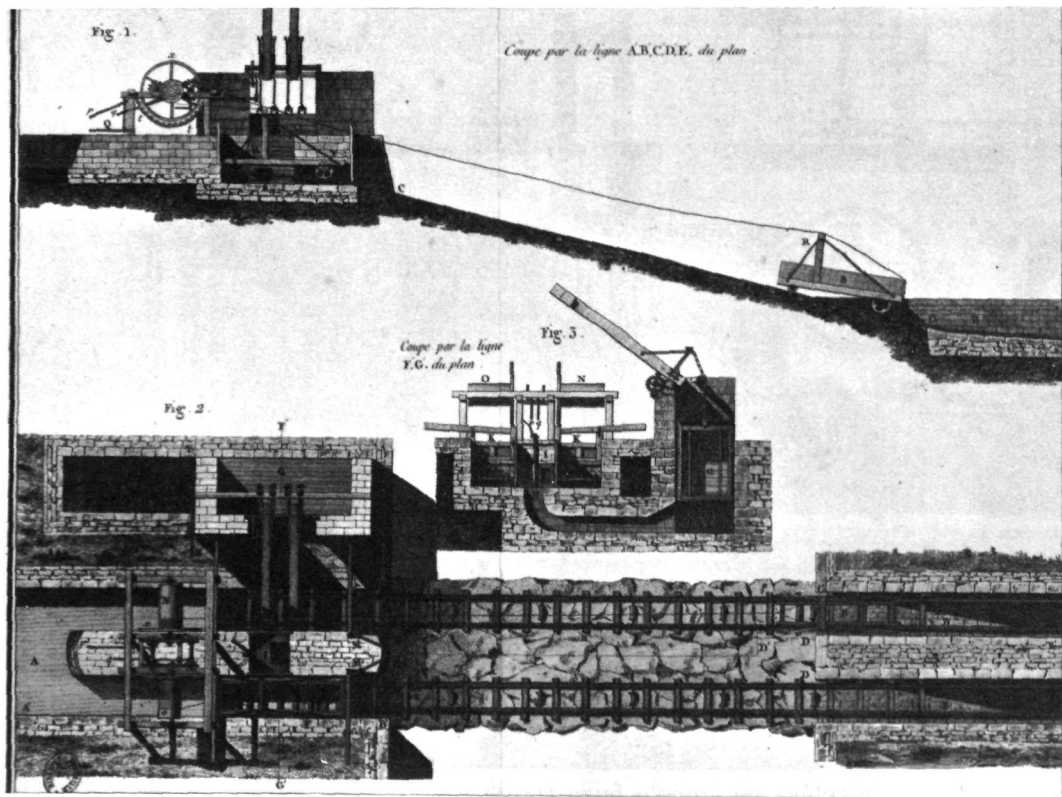
“Evidentemente, la segunda operación es la menos importante; sólo la primera parece necesitar una máquina, tal como la que se ha propuesto al público por la Sociedad para el Fomento de las Artes, Manufacturas y Comercio.

“Una máquina calculada para arrancar las hierbas de sus raíces exige naturalmente una gran variedad de movimientos, así como piezas diferentes, adaptadas a las diferentes especies de plantas; con lo cual se haría la máquina demasiado complicada, para la inteligencia de la clase de individuos, para cuyo uso está destinada. Por otra parte, allí donde las raíces penetran a profundidades considerables, se requeriría no sólo una gran fuerza, sino también un gasto de tiempo que haría la operación demasiado lenta y costosa.

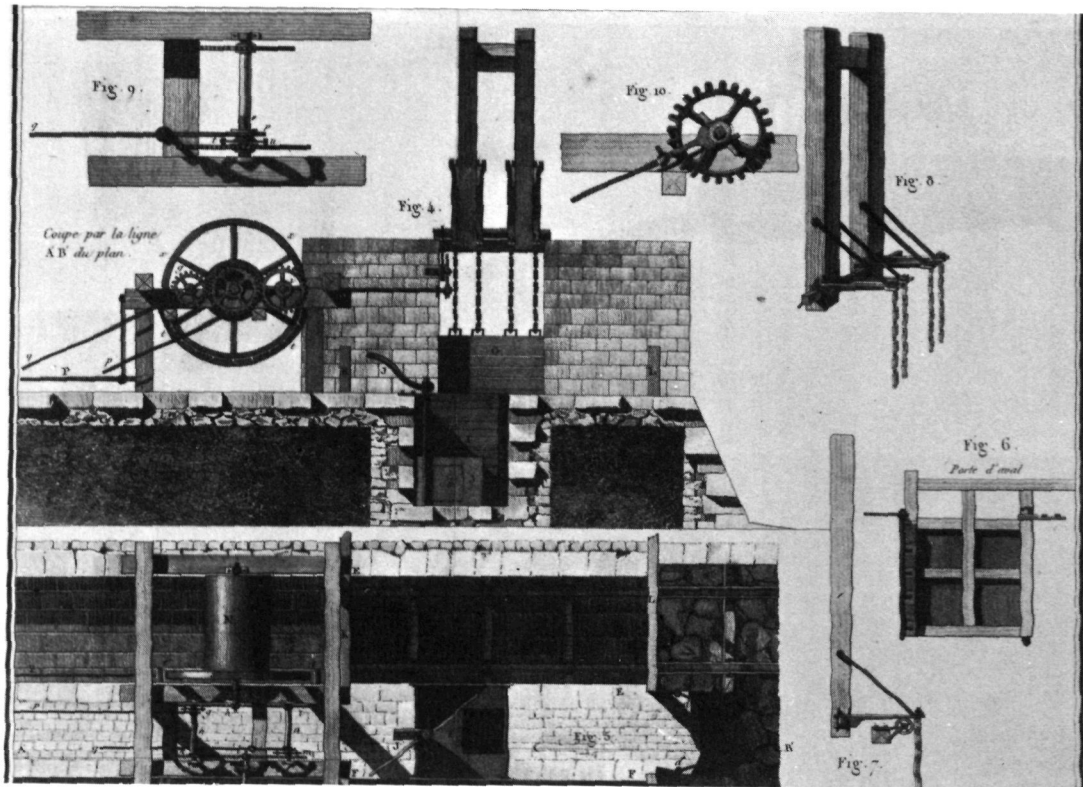
“Otro inconveniente, aun mayor, de una operación de esta clase sería la destrucción de la mezcla formada por las raíces con la tierra, particularmente en los bancos, en donde sirve para protegerlos contra los efectos destructores de la corriente. La pérdida de esta protección ocasionaría una gradual acumulación de tierra sobre el fondo de los ríos y de los canales, con lo cual su navegación sería más difícil o impracticable. Así, pues, la máqui-

* Esta lámina es bastante rara en la actualidad. Un ejemplar de ella, antes conservado en las colecciones de Villa Benítez, actualmente posesión del Excmo. Cabildo Insular de Tenerife, ha sido reproducido en la obra de S. PADRON ACOSTA. *El ingeniero A. de Béthencourt*, pág. 21. Se compone esencialmente de los mismos elementos que la lámina publicada en Londres.

** *Description d'une machine à couper les roseaux et les autres plantes aquatiques qui obstruent beaucoup de canaux et de rivières navigables*, en “Annales des Arts et des Manufactures”, V (año IX de la República), pág. 215-24.



Exclusa de émbolo buzo (1808):
Aplicación al plano inclinado.



Exclusa de émbolo buzo (1808):

4-5. Esclusa superior, con los molinetes. 6. Puerta de abajo, con arbotante. 7-8. Contrapeso. 9. Par de ruedas dentadas desiguales. 10. Rueda dentada.

contrapeso por una sola persona, o por dos a lo más; y precisamente en este detalle estriba la originalidad de la invención. En segundo lugar, su proyecto viene completado por una aplicación de este nuevo modelo de esclusa al empleo de los planos inclinados.

He aquí la descripción de la esclusa de Betancourt, que sus contemporáneos llamaron esclusa de émbolo buzo.

A, nivel de presa inferior.

B, nivel de presa superior. Se supone que el canal tiene por lo menos cuatro pies de agua, o sea unos 130 cm. de profundidad, y que las barcas penetran en el agua hasta una profundidad de 32 pulgadas, o sea 0,866 m.

CD, cuerpo de la esclusa, formando un rectángulo de 2,166 m. de ancho y 6,876 m. de largo.

E, puerta de arriba, ajustada en su parte inferior a la pieza de madera *F*.

F, madero que forma el batiente inferior de la puerta, y cuyos dos extremos están engastados en las paredes de la esclusa.

G, puerta de abajo, que, en lugar de girar sobre un eje, rueda sobre dos poleas *aa*, para colocarse en la abertura *hh*, que está provista en la pared para recibirlo, dejando así el paso libre a las embarcaciones.

H, torno que pone en movimiento la puerta *G*, por medio de un piñón fijado en el extremo de la varilla *Cc*, que engrana en la cremallera *bb*. Para hacer el movimiento más fácil, esta cremallera está colocada en la mitad inferior de la puerta *G*.

II, conducto que comunica la esclusa con el depósito.

JJ, émbolo buzo, cuyo movimiento vertical obliga el agua a pasar del depósito a la esclusa, e inversamente. Tiene en su fondo un orificio a manera de válvula, que se puede abrir o cerrar por medio de una varilla vertical. Teniendo en cuenta las dimensiones citadas más arriba para la esclusa, el émbolo buzo debe tener 15 pies (4,473 m) de largo, 11 pies (3,573 m) de ancho y 16 pies y tres pulgadas (5,279 m) de alto, para una caída de ocho pies (2,600 m).

K, recipiente del émbolo buzo, tiene seis pulgadas (0,162 m) de más que éste, tanto en su largo como en su ancho, de modo que el émbolo está sumergido por todos sus lados en tres pulgadas de agua. Su profundidad es de unas 18 a 20 pulgadas (0,487 a 0,541 m) de más que la altura del émbolo buzo, para que

los eventuales depósitos del fondo no impidan el movimiento descendiente del émbolo.

LL, barra de hierro que forma el eje del contrapeso.

M, contrapeso del émbolo buzo, formado por dos piezas de madera, entre las cuales se colocarán varias piezas de hierro colado.

NN, brazo que soporta las cadenas que deben mantener el émbolo buzo. Su largo depende del arco de círculo que deberá describir el contrapeso *M*, durante la ascensión completa del émbolo. En el modelo presentado por Betancourt, este arco es de un cuarto de circunferencia. Cuando el émbolo buzo se encuentre en su posición más baja, el contrapeso se hallará en la vertical; y cuando el émbolo ha terminado de subir, el contrapeso está en posición horizontal. Los brazos *NN* están fijados en sus extremos por tirantes de hierro que los reúnen con las piezas *dd* del contrapeso.

OO, cadenas fijadas en su parte superior a los brazos *NN*; en su extremo superior llevan unos tornillos muy fuertes, que entran en las asas de hierro *PP*.

PP, asas fuertemente agarradas al émbolo buzo. Por medio de los tornillos *OO* y de estas asas, se puede graduar la tensión de las cadenas, para que cada una de ellas soporte el mismo peso durante su movimiento.

Q, parte de rueda dentada, fijada en el eje *L* del contrapeso. Debe comprender más de un cuarto de circunferencia, para que no salga del engranaje durante el movimiento del contrapeso.

R, rueda dentada, provista con un piñón que engrana en la porción de rueda *Q*.

S, piñón fijado a un árbol, para poner en movimiento la rueda *R*, por medio de la manivela *T*.

T, manivela.

VV, muros de piedra maciza, para soportar el contrapeso y el madero *ff* con sus poleas *gg*.

Con el fin de evitar los comentarios inútiles y las repeticiones, pensamos que será preferible explicar el funcionamiento del dispositivo así descrito, con las mismas palabras de los científicos comisionados por la Academia de las Ciencias, para examinar la nueva invención:

"De acuerdo con estas disposiciones, si suponemos que un barco entra por el nivel de presa superior en la esclusa, quedando

abierta la puerta de abajo, el agua se hallará en una misma altura en el nivel de presa inferior, en la esclusa y en el pozo. Entonces, si se cierra la puerta de abajo y se obliga al émbolo buzo a sumergirse en parte en el agua del pozo, esta agua se elevará tanto en el pozo como en la esclusa, hasta ocupar, por encima de su nivel anterior, un volumen igual al del agua desplazada. Si queda poco espacio entre la pared del émbolo buzo y la del pozo, la casi totalidad del agua elevada pasará a la esclusa; y si el pozo y el émbolo buzo tienen las dimensiones apropiadas, la sumersión del émbolo podrá hacer que el agua de la esclusa se eleve a la misma altura del nivel de presa superior, en que el barco entrará por la puerta de arriba. Si se introduce entonces en la esclusa un barco que quiera bajar, la sumersión del émbolo buzo hará bajar el agua en esta esclusa hasta su primer nivel; de modo que, al abrirse la puerta de abajo, el barco que descien- de pasará al nivel de presa inferior. Al repetirse esta maniobra, se podrán hacer subir y bajar todas las embarcaciones que se quiera.

“Sobre esta primera exposición haremos las observaciones siguientes: 1.º en caso que a un barco que sube le sigue otro que baja, o inversamente, como en el ejemplo que acabamos de citar, cada sumersión o elevación del émbolo buzo facilitaría el paso de una embarcación; pero si varios barcos se presentan, viajando todos en una misma dirección, cada pasaje de la esclusa necesitaría dos operaciones. 2.º, en el primer caso, el nivel de presa superior no necesitaría hacer ningún gasto de agua, ya que el volumen de agua igual al volumen desplazado por el barco, que le sería quitado al pasar un barco aguas arriba, le sería devuelto al paso del barco aguas abajo. En el segundo caso, el nivel de presa superior ganaría o perdería tantos volúmenes de agua, cuantos barcos habría en una misma dirección, aguas arriba o aguas abajo.

“He aquí un procedimiento simple y directo, para hacer subir y bajar los barcos por una esclusa; pero su aplicación tendría grandes inconvenientes, y hasta podría ser impracticable, si no se encontrase un medio para efectuar la sumersión y la emersión del émbolo buzo, sin grandes gastos de energía, o por lo menos empleando tan sólo la fuerza de que puede disponer un hombre, sin cansarse: el descubrimiento de este medio forma el mérito principal de la invención del señor de Betancourt.

“La idea de mantener el émbolo buzo permanentemente en equilibrio, por medio de un contrapeso, se presentaba naturalmente al espíritu; pero era preciso simplificar su uso hasta reducirlo a una práctica segura y fácil. El señor de Betancourt ha buscado primero, por medio del análisis matemático y de la hidroestática, el cálculo de la curva sobre que debía moverse en centro de gravedad del contrapeso, para hacer equilibrio a un émbolo buzo de cualquier forma, en todas las posiciones, en un fluido definido o indefinido; ha obtenido la ecuación diferencial de esta curva, cuyas indeterminadas son separadas y que, por consiguiente, sea cual fuese la hipótesis sobre la forma del émbolo, se puede integrar exactamente o reducir a las cuadraturas.

“Al pasar, después, a los casos en que el émbolo buzo es un paralelepípedo, o en general un prisma cuyas aristas son perpendiculares sobre su base, ha conseguido este resultado extremadamente feliz, de que en este caso la curva descrita por el centro de gravedad del contrapeso debe ser un círculo; y el equilibrio se producirá en cualquier posición si, al cumplirse esta condición, se consigue que las diferentes elevaciones del émbolo buzo a partir de su posición inicial, se hallen en una proporción constante con las cuerdas de arco descritas por el centro de gravedad del contrapeso, después de haberse establecido previamente el equilibrio, en la posición inicial o en otra posición cualquiera.

“Para aplicar este resultado a la construcción de su esclusa, el señor de Betancourt hace que el peso de su émbolo buzo sea igual al peso del agua que desplaza en su posición de máxima sumersión. En esta posición inicial, el émbolo buzo se suspende a la extremidad del brazo horizontal de una palanca en forma de ángulo recto; el otro brazo, vertical, de la misma palanca, lleva un peso móvil que puede deslizarse a lo largo del brazo y fijarse cuando se halla en una posición que se quiera escoger. Esta palanca en ángulo recto gira alrededor de un eje horizontal, colocado en el punto de reunión de sus dos brazos. Una polea tangente a la cadena vertical que sostiene el émbolo buzo, se halla fijada sólidamente al interior y cerca del vértice del ángulo formado por la cadena y el brazo horizontal de la palanca, de modo que, al elevar el brazo horizontal, la cadena de suspensión del émbolo buzo corre sobre la garganta de la polea y conserva siempre su posición vertical por debajo de ella.

“Una vez tomadas estas disposiciones, se comprende que el equilibrio se consigue en la posición inicial, entre el peso del brazo horizontal de la palanca, que es muy reducido en comparación con el peso del brazo vertical, y que puede anularse por un contrapeso determinado. Bastará, pues, con colocar el sistema en otra posición cualquiera y fijar el peso móvil que puede deslizarse a lo largo de uno de los brazos de la palanca, a una distancia del eje de la palanca, escogida de tal manera, que el sistema permanezca también en equilibrio en esta segunda posición. Una vez terminada esta sencillísima preparación, las condiciones que acabamos de indicar quedarán satisfechas, y el equilibrio tendrá lugar en cualquier posición.

“Sobre la base de estos principios, el Sr. de Betancourt ha compuesto el proyecto de esclusa cuyos detalles acompañan su memoria; y el modelo en relieve presentado a la Academia expresa de la manera más satisfactoria el acuerdo entre los resultados del cálculo y los de la experiencia”*.

La segunda parte de la memoria de Betancourt está dedicada al estudio de su nueva esclusa de émbolo buzo, y de su utilización en los planos inclinados. En la navegación interior, se llamaban así las pendientes que separaban dos trozos de un mismo canal, en caso de fuerte desnivelación que impedía la construcción de una esclusa corriente. En este caso, el nivel de presa superior terminaba con una esclusa, en que el barco se aislaba y se colocaba encima de una especie de carro sobre raíles, que recorría con su pesada carga la pendiente, hasta penetrar en la esclusa que franqueaba la entrada del nivel de presa inferior. En el sentido contrario, el mismo carro cargaba los barcos que iban aguas arriba, y los subía por la misma pendiente, hasta dejarlos en la esclusa del nivel de presa superior.

En el proyecto de Betancourt, la esclusa de émbolo buzo sigue siendo útil en caso de tales interrupciones del trayecto normal de la navegación interior, porque ayudaba a cargar y descargar más fácilmente la embarcación del carro que recorría el plano inclinado. Pero al mismo tiempo, y como de paso, el autor de esta invención indica también algunas mejoras del dispositivo del plano inclinado.

* Informe académico, publicado al principio de la memoria mencionada en la nota anterior.

Este procedimiento, en efecto, no era muy común en Francia, ya que sólo se había aplicado hasta entonces en Inglaterra, donde había sido estudiado a fondo por el conocido Robert Fulton. Sólo en 1808, es decir, un año después de presentado el proyecto de Betancourt y seis años después de concebido, como ya lo veremos, encontramos en Francia trabajos sobre el plano inclinado*. En cuanto a Betancourt, es cierto que la idea de los planos inclinados le viene de Inglaterra, no sólo porque lo hemos visto ocuparse en dibujar los detalles de una de estas instalaciones inglesas**, sino también porque él mismo menciona los trabajos anteriores de Fulton; y, en la memoria de que sacaremos su descripción, indica que su plano inclinado está concebido “según el procedimiento inglés de Reynolds”.

En su proyecto, el plano inclinado se compone de los elementos siguientes:

A, nivel de presa superior.

B, nivel de presa inferior.

CC y DD, plano inclinado, provisto con dos parejas de raíles. La inclinación debe tener un máximo de 25.º y un mínimo de 10.º; el autor aconseja que se busque una inclinación de 14.º, que es la que reúne las mejores condiciones técnicas.

EF, dos cuerpos de esclusa, colocadas la una al lado de la otra, para recibir, la una la embarcación que baja, y la otra a la que sube. El fondo de la esclusa es horizontal, pero encima de este fondo están colocados los raíles, que forman un plano inclinado a continuación del exterior, y de menor inclinación que éste.

G, émbolo buzo.

H, conducto que hace pasar el agua del pozo del émbolo buzo a a la cámara I.

I, cámara triangular, de donde el agua del pozo del émbolo se reparte entre las dos esclusas.

J, puerta que se ajusta a los dos lados de la cámara I, para cerrar, como se quiera, la comunicación b o c, según que el agua debe pasar a una u otra esclusa.

* Cf. “Archives des Découvertes”, I (1808), pág. 119-20.

** *Dessin de la machine pour faire monter et descendre les bateaux d'un canal inférieur à un supérieur et réciproquement, sur deux plans inclinés*. Biblioteca de la Ecole des Ponts et Chaussées, Ms. 1558 (núm. 2322 del catálogo impreso).

K, puerta de abajo.

L, puerta de arriba.

MM, arbotantes que protegen las puertas contra la presión del agua. Para dejar las puertas enteramente libres, basta con dar vuelta a las palancas *d*.

NO, molinetes de los cables que arrastran las plataformas corredizas. Los ejes de los molinetes no están en una misma línea; su movimiento se comunica por medio de las ruedas dentadas *g*, *h*, *i*, *k*, *l* y *m*, de tal modo que se puedan obtener rotaciones independientes y velocidades variables.

PQ, palancas para acercar los frenos *tt*, *uu* a las ruedas *xx* fijadas en los molinetes, para moderar la velocidad de las plataformas.

RR, carros o plataformas corredizas, de maderos reforzados con tirantes de hierro. Sus ruedas son desiguales, y su diámetro está calculado de tal modo, que, al entrar en la esclusa, esta desigualdad de las ruedas junto con el plano ligeramente inclinado de los raíles, coloca la superficie superior de la plataforma en su plano horizontal. Sus cables se arrollan alrededor de los molinetes *NO*, el uno por encima y el otro por debajo, de modo que el uno se arrolla mientras que el otro se desenvuelve.

SS, embarcaciones de forma prismática, como las que se usan en Inglaterra.

T, depósito al lado del pozo del émbolo buzo. Los dos depósitos se comunican por medio de un conducto con válvula, que se puede manipular por el encargado de la esclusa, por medio de un pedal.

El mejor rendimiento de este dispositivo se da, como en el caso anterior, al encontrarse una embarcación que va aguas arriba con otra que se dirige aguas abajo. Al coincidir en el paso del plano inclinado, las dos embarcaciones se ayudan recíprocamente y se sirven de contrapeso; y éste es el caso que el autor ha descrito más detenidamente. Pero es preferible volver a explicar sus proyectos, con las mismas palabras de los comisionados académicos:

“Antes de decir cómo la embarcación que baja pone en movimiento los dos molinetes a un tiempo, es preciso hablar de la condición que el autor se ha propuesto rellenar al establecer la correspondencia de los movimientos de las dos embarcaciones.

“Cuando éstas se hallan, la una en lo alto y la otra en la base del plano inclinado, ambas deben recorrer, para ir a sus destinos respectivos, una porción común de camino, que es á lo largo del plano inclinado. Pero si, al llegar la embarcación de abajo a lo alto del plano inclinado, una parte de la embarcación procedente de arriba está ya a punto de sumergirse en la esclusa de abajo, entonces, por el mismo hecho de su inmersión, no le queda más que la fuerza necesaria, para hacer que la embarcación que sube entre en su propia esclusa, donde se encuentra la prolongación de su plano inclinado, aunque la inclinación de este plano sea menos importante dentro de la esclusa, que fuera de ella. Así, pues, es preciso que, al llegar la embarcación que sube a su esclusa superior, a la que baja le queda todavía cierto espacio para recorrer, antes de llegar al agua; es decir que, mientras que la embarcación que baja recorre todo el plano inclinado, la que sube debe recorrer no sólo la distancia igual a este plano inclinado, sino también el espacio que debe franquear para colocarse en la esclusa, y que es más o menos igual a su propio largo.

“El Sr. de Betancourt ha rellenado esta condición, por el arreglo y las proporciones de los engranajes, como se podrá ver.

“Los extremos de los molinetes que están de frente llevan ruedas dentadas fijadas en sus cilindros y perpendiculares sobre sus ejes. Cada una de estas ruedas dentadas en los dos extremos de su diámetro horizontal engrana con otras dos ruedas dentadas; estas últimas cuatro ruedas dentadas forman dos pares que se hacen frente, con un solo eje para cada dos ruedas: una de cada dos ruedas forma cuerpo con el eje común, mientras la otra gira alrededor de este eje, por medio de un roce suave.

“La proporción entre el número de dientes de las dos ruedas del mismo par es la misma que entré el largo del plano inclinado y este mismo largo, aumentado con el largo de la embarcación.

“Las ruedas de los pares que giran rozando suavemente sobre sus ejes, están colocadas a los extremos de la diagonal del paralelogramo, cuyos dos lados están formados por los ejes de los dos pares. Cada una de estas ruedas puede, si se quiere, fijarse separadamente en el eje que le pertenece, por medio de una cuña; entonces las dos ruedas del mismo eje quedan sujetadas y deben girar juntas.

“Una vez comprendidos estos detalles, imaginemos una embarcación en lo alto, y otra en lo bajo del plano inclinado, cada

una de ellas sujetada a su molinete. Si el encargado de la esclusa ha fijado ya, como debe hacerlo, por medio de su cuña, la rueda que gira rozando de aquel par de ruedas, que hace que la velocidad de la embarcación que sube sea mayor que la de la embarcación que baja, la segunda embarcación, que suponemos más pesada que la primera, no sólo la obligará a subir, sino que la colocará en su esclusa antes que ella misma llegue a la esclusa inferior. Cuando el exceso de peso de la embarcación que baja es tal, que la velocidad de todo el sistema viene a ser demasiado grande, se modera esta velocidad por el medio conocido de un freno que presiona y roza la circunferencia de una rueda.

“Queda por explicar el funcionamiento del émbolo buzo, y un dispositivo secundario aplicado al caso del plano inclinado.

“El émbolo buzo tiene por objeto el conducir la embarcación que procede del nivel de presa superior, encima de la plataforma introducida de antemano en la esclusa, y el colocarlo encima de esta plataforma. El primer resultado se consigue por medio de la inmersión del émbolo buzo, y el segundo por su emersión. Sin embargo, como conviene conservar al émbolo su forma prismática, las condiciones del equilibrio están modificadas por el volumen y la forma de la plataforma colocada en la esclusa. El señor de Betancourt restablece este equilibrio con prever una cavidad interior de tal forma y dimensión, que las variaciones de la altura del agua quedan siempre en proporción con la parte del émbolo sumergida o emergida, teniendo en cuenta no sólo la plataforma, sino también la embarcación que se supone vacía y colocada sobre la plataforma.

“Además, ha cavado al lado de la esclusa un depósito que comunica por un lado con el nivel de presa superior, y por otro lado con el pozo del émbolo buzo. Esta última comunicación puede cerrarse o abrirse por el encargado de la esclusa, por medio de un pedal, durante la manipulación del émbolo buzo.

“Una vez establecidas estas precauciones, si una embarcación cargada procedente del nivel de presa superior entra en la esclusa llena, se elevará el émbolo buzo, para hacer recaer la embarcación sobre la plataforma. Pero a partir del momento en que la embarcación descansa sobre la plataforma, ya que su calado depende de su carga y que las disposiciones de equilibrio sólo tienen en cuenta el calado de la embarcación vacía, la pro-

porción de la bajada del agua propende a ser más fuerte que la del volumen sumergido, y el émbolo buzo resistirá a su ascensión. El encargado de la esclusa quitará en el acto toda resistencia, con abrir la válvula de comunicación entre el depósito lateral de que hablamos, y el pozo del émbolo: el agua que deberá introducir en el pozo, para acabar de elevar el émbolo buzo sin esfuerzo, será igual al peso de la embarcación cargada”.

Como la mayor parte de sus inventos, la esclusa de Betancourt tiene también su historia. Parece ser que hacía años desde que su autor iba pensando en un proyecto de esta clase; y es cierto que desde el año de 1802 había hecho o mandado hacer un modelo reducido de su nueva esclusa, que había regalado a la Escuela de Puentes y Calzadas de París*. Posteriormente, aprendió que los ingleses habían construido una esclusa más o menos fundada en el mismo principio del émbolo buzo, en la localidad de Hudleston, y que su inventor había obtenido una patente fechada en 30 de diciembre de 1800. Esta fecha, como justamente le hacen observar los comisionados de la Academia de las Ciencias, indica claramente la prioridad del invento inglés, que Betancourt desconocía en 1802; y lo más probable es que sólo al conocerlo se decidió a publicar su propio proyecto, presentándolo a la Academia de las Ciencias de París**.

La Academia confió el examen del proyecto a una comisión formada por Monge, Bossut y Prony, quienes leyeron su informe en la sesión del 21 de septiembre de 1807; y es el documento de que hemos venido extractando la mayor parte de las indicaciones que preceden. Fallaban los comisionados, en lo referente a la prioridad del invento, que sin duda alguna el proyecto inglés era anterior al de Betancourt; pero añadieron que éste último había indicado, con independencia del invento inglés, soluciones diferentes y mejores. Las conclusiones eran sumamente favorables. El proyecto de Betancourt parecía a los comisionados que

* Esta circunstancia se halla mencionada en el informe académico. Según parece, el modelo se conserva aun, pero no hemos podido examinarlo, ya que todos los que formaban la colección de la Ecole des Ponts et Chaussées de París, han pasado recientemente a formar un Museo de Obras Públicas, que en la actualidad carece de local.

** Es posible que lo haya aprendido por una nota sobre una *Ecluse à flotteur et sas mobile de MM. Rowland et Pickering, établie sur le canal d'Allismere, dans le Derbyshire. Moyen employé pour éviter la perte d'eau lorsque le bateau passe du canal dans la cuisse*, publicada en “Annales des Arts”, vol. XXII, pág. 317.

era “un ejemplo interesante de la aplicación de los principios de pura teoría a los objetos de utilidad práctica; y tenemos la seguridad de que las consecuencias que saca de algunos principios incontestables de mecánica, para establecer su construcción, son de la más rigurosa exactitud”.

En cuanto a la segunda parte de su memoria, “la aplicación de la esclusa de émbolo buzo a los planos inclinados supone, por su misma naturaleza, más complicaciones que las aplicaciones que el mismo señor de Betancourt hacía a las esclusas corrientes. También la manipulación es menos fácil, y requiere la presencia de un encargado más inteligente y mejor adiestrado que los encargados de las esclusas corrientes; pero estos inconvenientes son comunes a todas las construcciones de planos inclinados. Esta parte del trabajo del señor de Betancourt está, como la otra, llena de invención y de detalles ingeniosos, y sobre todo nos parece reducir al mínimo el gasto de agua”.

El informe parece ser obra de Prony, quien había presentado a la Academia, en su sesión del 17 de agosto de 1807, la memoria de Betancourt**. El mismo Prony publicó casi en seguida un artículo sobre la importancia del nuevo invento***, y logró dar una publicidad bastante importante a la obra de su amigo****.

Pero por aquel entonces, éste último ya había abandonado París, y había salido definitivamente para San Petersburgo. A pesar del éxito teórico de su invento, y de la acogida particularmente calurosa que se le había hecho, este invento suyo parece

* Informe publicado junto con la memoria de Betancourt. Ha sido reproducido en “Gazette nationale ou le Moniteur universel”, de 9 de octubre de 1807, pág. 1090-92; y en *Académie des Sciences. Procès-verbaux des séances*, vol. III, París 1913, pág. 581-85. Lo esencial ha sido reproducido en un artículo del “Magazin encyclopédique”, I (1808), pág. 173-74.

** *Académie des Sciences. Procès-verbaux des séances*, vol. III, pág. 563.

*** PRONY. *Sur une nouvelle écluse*, en “Bulletin de la Société Philomathique de Paris”, I (1807), pág. 38-43; reproducido bajo el título *Sur une nouvelle écluse inventée par M. de Bétancourt*, en “Bulletin de la Société pour l’Encouragement de l’Industrie nationale”, VII (1808), pág. 5-12. El mismo Prony ha completado y corregido su artículo, enriquecido con nuevos cálculos, en *Sur la nouvelle écluse de M. de Bétancourt*, en “Journal de l’Ecole Polytechnique”, XV (1808), pág. 146-61.

**** *Nouvelle écluse inventée par M. de Bétancourt*, en “Archives des Découvertes”, I (1808), pág. 118-19; cf. M. de BÉTANCOURT, en “Bulletin de la Société d’Encouragement”, VII (1808), pág. 163.

haber sido uno de los que no llegaron nunca a realizarse. Por lo menos, no conocemos ninguna esclusa que se haya inspirado deliberadamente en el proyecto y en el modelo presentados por Betancourt, a no ser que él mismo los haya utilizado en alguno de los numerosos trabajos de navegación interior que llevó a cabo en Rusia, y cuyo detalle ignoramos.

Sin embargo, ello no quiere decir que su trabajo había sido inútil. Sus sugerencias fueron recogidas y transformadas por otros investigadores, en época más reciente. En 1830, Claude Burdin volvía sobre el dispositivo imaginado por Betancourt, y proponía una nueva esclusa, en que el pozo del émbolo buzo se transformaba en una verdadera cámara de pistón, cerrada al contacto con el aire*. Y en 1845, Girard combinaba la esclusa de Betancourt con la de Burdin, en un nuevo dispositivo, presentado a la Academia de las Ciencias de París en 7 de febrero de 1842, y galardonada con el premio Monthyon, después del informe favorable del célebre Poncelet**. El nombre de Betancourt está presente en estos nuevos intentos, y, más que su nombre, el primer impulso que indica a los técnicos de la generación siguiente el camino que deben seguir.

* CLAUDE BURDIN. *Nouveau système d'écluses évitant toute perte de forces vives*, París 1830.

** PONCELET. *Rapport et mémoire sur le nouveau système d'écluse à flotteur de M. D. Girard (Institut de France. Académie Royale des Sciences)*, París 1845. Contiene una referencia bastante detallada al sistema de Betancourt, considerado como punto de partida de la invención de Girard. Cf. también CHARLES LABOULAYE. *Dictionnaire des arts et manufactures*, vol. I, París 1845, col. 1300-3.

IX

OTROS TRABAJOS

En las páginas que siguen, nos proponemos reseñar una serie de trabajos de don Agustín de Betancourt, de menor alcance que los que hasta ahora hemos venido señalando. Desgraciadamente, no conocemos sino una parte que parece bastante reducida, de su inmensa producción técnica. Las invenciones que aquí mencionaremos, no han sido objeto de ninguna publicación especial; de modo que han quedado más o menos ignoradas, y lo seguirán siendo, en algunos casos, por la escasez de los datos que a ellas se refieren. Quedan probablemente bastante más, de las que no sabemos nada. Así, por ejemplo, cuando el biógrafo ruso de Betancourt indica que gran parte de la maquinaria empleada en el palacio de la Moneda, en San Petersburgo, había sido ideada o perfeccionada por Betancourt; ya que no tenemos ninguna clase de datos sobre estos trabajos del autor.

Muchos de estos inventos no son en realidad más que una feliz adaptación de procedimientos antiguos o naturales, a máquinas en que hasta entonces no se habían aplicado. Así en el caso de la máquina de hilar seda, de 1778, que se puede considerar como un simple intento de perfeccionar procedimientos ya conocidos, y de que se ha hablado más arriba. Hay también otras máquinas o dispositivos en que se hace patente la misma facilidad de Betancourt, de intuir rápidamente las soluciones más sencillas y más adecuadas.

Éste es el caso, entre otros, del *Medio para que de un aquaducto no salga más agua que la necesaria para mantener lleno un pilón*, propuesto por Betancourt en 1801*, y cuyas circunstancias

* "Semanario de Agricultura y Artes", IX (1801), pág. 395.

nos han sido referidas con cierto detalle: “Para la fundición que estableció en el jardín del Retiro, don Agustín de Betancourt necesitaba agua a mano; pero había mucha dificultad en abrirle una fuente, porque escasea el agua, singularmente en verano. Entonces propuso que se abriese un caño en el acueducto más próximo, para que diese agua a su laboratorio, con la condición de que no gastaría más que la precisa, y la misma que emplearía si la hubiesen de traer a cántaros de la fuente”. El dispositivo que adoptó para obtener este resultado, fue el del flotador fijado al extremo de un caño, de tal modo, que hace oficio de llave y cierra el conducto, cuando el agua del pilón lleno lo ha elevado a determinada altura. Es el mismo principio, bien conocido hoy día, de la bola de cobre que regula el débito del surtidor, en los retretes de agua; pero no nos consta que su aplicación haya sido corriente en casos tales como el que debía solucionar Betancourt.

De igual modo, y hacia la misma época, Betancourt proponía al público español un *Medio de evitar en algunas partes el mal olor de los pozos y desagüaderos**. Se trata, una vez más, de una necesidad y de una experiencia personal. Señala el autor de esta nota que “D. Agustín de Betancourt observó en la cocina de su habitación muy mal olor, que salía por el conducto del fregadero, de un desagüadero grande que pasaba por debajo de la cocina”; y como el exigir de los criados que lo tuviesen siempre tapado era demasiado pedir, pensó en algún medio mecánico y, por consiguiente, más seguro, para conseguir el mismo resultado. Para ello, adaptó en la parte inferior del desagüe de su fregadero un conducto en forma de codo, cuyo ángulo conservaba siempre una cantidad de agua, suficiente para obturar el conducto e impedir la subida de los malos olores. Este principio se halla hoy día tan popularizado como el anterior, ya que se trata del sifón inevitable en todos los conductos interiores; y sería interesante averiguar quién fue el primero que pensó en una aplicación tan práctica de este principio de física bien conocido, ya que, por nuestra parte, no hemos podido establecerlo.

* *Ibidem*, pág. 395-96. Se trata de una novedad, pero no de una invención de Betancourt, ya que el sifón como medio de quitar el mal olor de un conducto era ya conocido y figura, por ejemplo, en el retrete de válvula de Comings, que es de 1775; cf. L. WRIGHT, *Pulcro y decente*, Barcelona (1962), pág. 141.

Sin abandonar el capítulo de los conductos de agua, y de las canalizaciones, Betancourt es inventor de una original válvula de flotador, cuyo uso se halla explicado del modo siguiente:

“Cuando los conductos presentan sinuosidades en su plano vertical, el aire que se halla en su interior al momento en que se llenan con agua, se concentra en las partes más elevadas de estas sinuosidades. Si el volumen del aire es bastante considerable, puede ocurrir que llegue a ocupar, en aquel punto, toda la capacidad del conducto y que presente, a lo menos por algún tiempo, un obstáculo a la corriente del agua. Es evidente que, para suprimir el obstáculo, hace falta evacuar el aire contenido en el conducto. El medio más sencillo consiste en fijar encima del codo formado por el conducto, un tubo vertical que se levanta hasta la altura del depósito. Este tubo se llena con agua hasta cierta altura; pero en virtud de su ligereza específica, el aire que llega a la base de este tubo, se eleva a través del agua en él contenido, y se escapa por su extremo superior, que queda abierto.

“Este medio, aunque simple, presenta sin embargo algunos inconvenientes, cuando el depósito de la presa de agua se halla en una altura muy grande, en comparación con el codo del conducto que queremos evacuar. Se suprime este inconveniente, con sustituir este tubo vertical y abierto en lo alto, por otro mucho más corto, provisto de una llave por cuyo medio se puede mantener el tubo cerrado o abierto. Pero como el agua arrastra en sus movimientos un poco de aire, que hace falta evacuar de vez en cuando, esta operación exige cierta vigilancia, cuya interrupción acarrea inconvenientes.

“Para poder abandonar esta vigilancia, se cierra la parte superior del tubo *A* con un disco horizontal, en medio del cual se abre un orificio *b*, que dejará pasar el aire de la tubería. El grifo será sustituido por el flotador *cc* contenido en el tubo, y que llevará al extremo de un vástago vertical un obturador *d*, capaz de cerrar el orificio. Cuando el agua se halla a suficiente altura en el tubo, empujará el flotador de abajo hacia arriba y el orificio quedará cerrado. Por el contrario, cuando cierto volumen de aire viene a ocupar la parte superior de este tubo, su fuerza elástica hará equilibrio a la presión del agua en el conducto, hasta que, al aumentar cada vez más el volumen del aire, hará bajar el agua del tubo, y con ella el flotador. Entonces el obturador se desprende del orificio y el aire bajo presión se escapa, hasta que

el agua vuelve a subir en el espacio que antes ocupaba, coloca otra vez el obturador en su sitio, y cierra el conducto. El flotador es un globo de latón vacío. Esta válvula de flotador se debe al señor de Betancourt”*.

El 4 de pluvioso del año V de la República Francesa, Betancourt junto con Périer, cuyo nombre ya conocemos, había obtenido del gobierno francés un privilegio para una prensa hidráulica, puesta en acción por medio de una bomba de agua que presionaba con una palanca sobre la superficie de la prensa**. En realidad, no se trataba de ninguna invención personal, sino de la prensa hidráulica cuyo principio había sido expuesto ya por el célebre Pascal, en su *Traité de l'équilibre des liqueurs*, en 1664. Había sido construida por primera vez en Inglaterra, por Bramah, cuyo privilegio era de 1796, y que parece haberse inspirado en un artefacto de Montgolfier***. Betancourt debió de ver aquella máquina en Inglaterra, sin duda durante su viaje de 1797, cuando sabemos que había sido detenido, y después expulsado por los ingleses. En efecto, su propia máquina es de 1798; y como no pudo ver la máquina inglesa antes de 1796, que es la fecha de su fabricación, resulta que esta máquina fue una de las que llamaron su atención en 1797, y que posiblemente estaba dibujando, cuando fue observado y detenido.

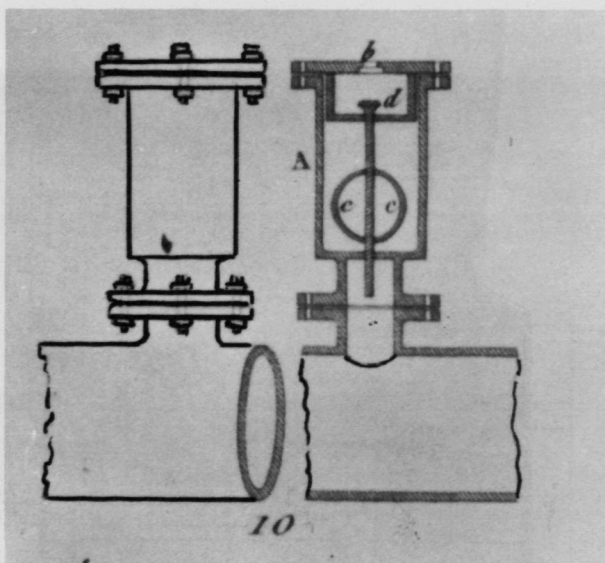
Si ello es así, resulta entonces que Betancourt no hizo más, como en el caso de la máquina de vapor, que observar la marcha de la máquina inglesa, y reconstituirla después de memoria, ya que no cabe imaginar que haya podido llevarse consigo los planos, en las condiciones en que sabemos que salió de Inglaterra. Al llegar a París, o después en Madrid, debe de haber mandado hacer un modelo para su Gabinete de Máquinas; e incluso parece que publicó una memoria descriptiva del mismo artefacto, “en el primer cuaderno de la Descripción de las máquinas del Gabinete

* J. A. BORGNIÉ. *Traité complet de mécanique appliquée aux arts. Des machines hydrauliques*, París 1819, pág. 140-41.

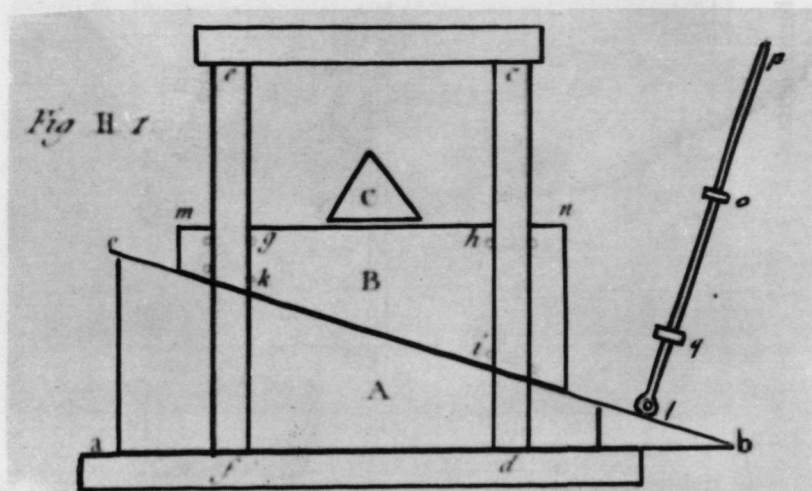
** *Description d'une presse hydraulique construite dans les ateliers de M. Périer à Chaillot*, en “Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale”, XII (1812), pág. 27-31.

*** La máquina de Bramah está descrita y grabada en “Annales des Arts et Manufactures”, vol. VI, pág. 100. Cf. CH CABANES, *Joseph de Montgolfier et le bélier hydraulique* en “Transactions of the Newcomen Society”, XVII (1937), pág. 85-90.

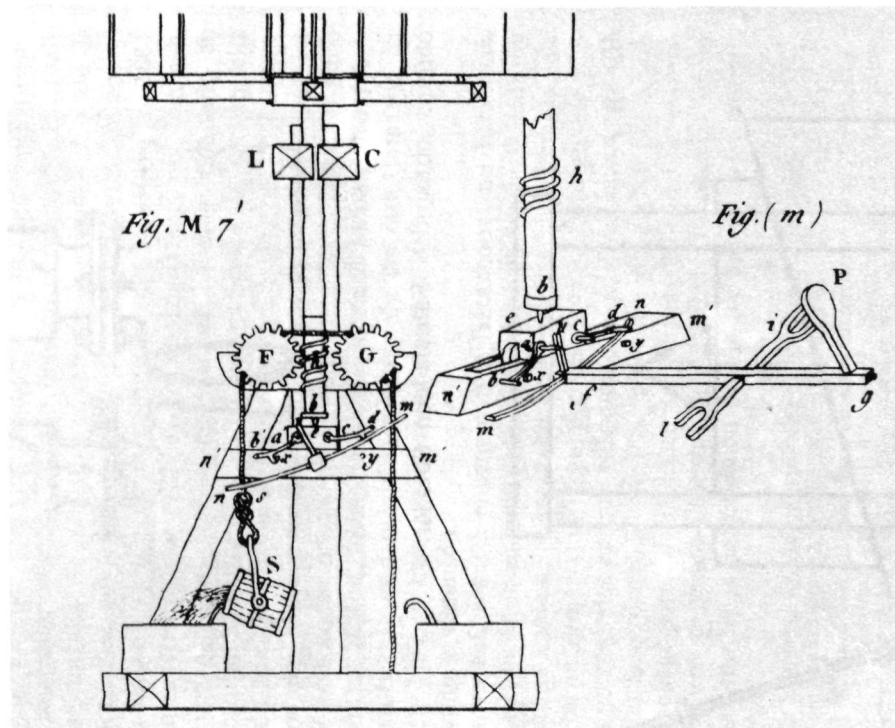
Sobre esta prensa hidráulica, cf. también EM. EUDE. *Histoire documentaire de la mécanique française*, pág. 303-4.



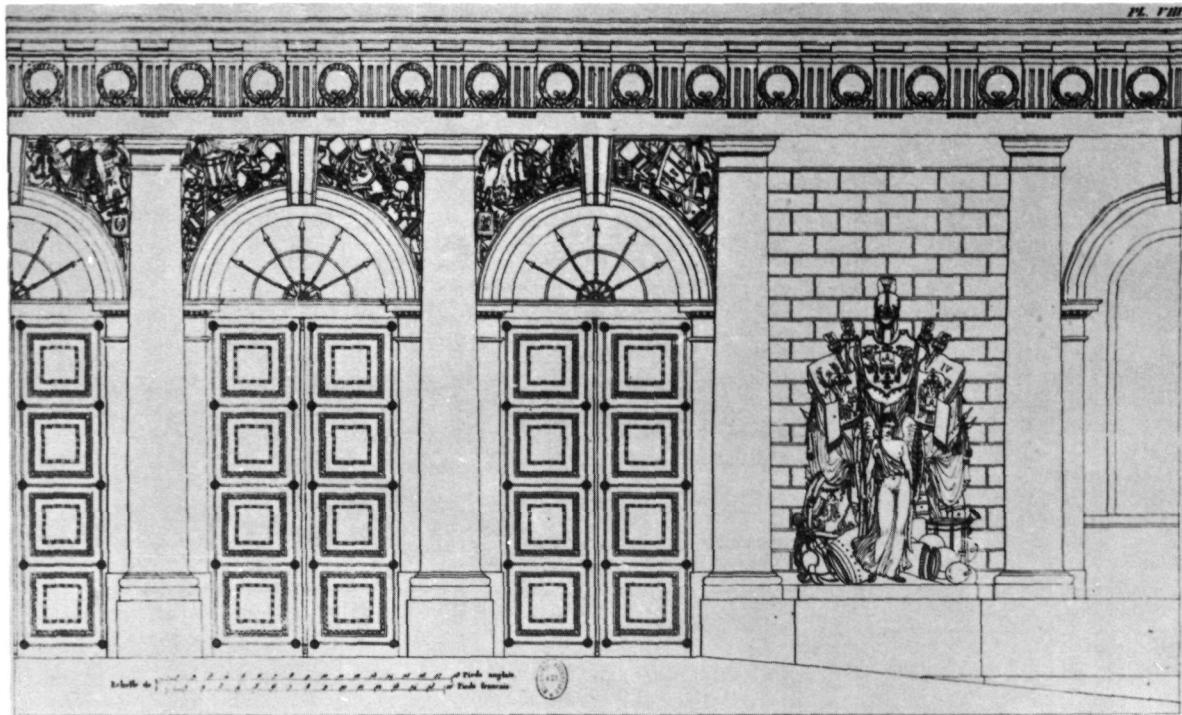
Válvula con flotador.



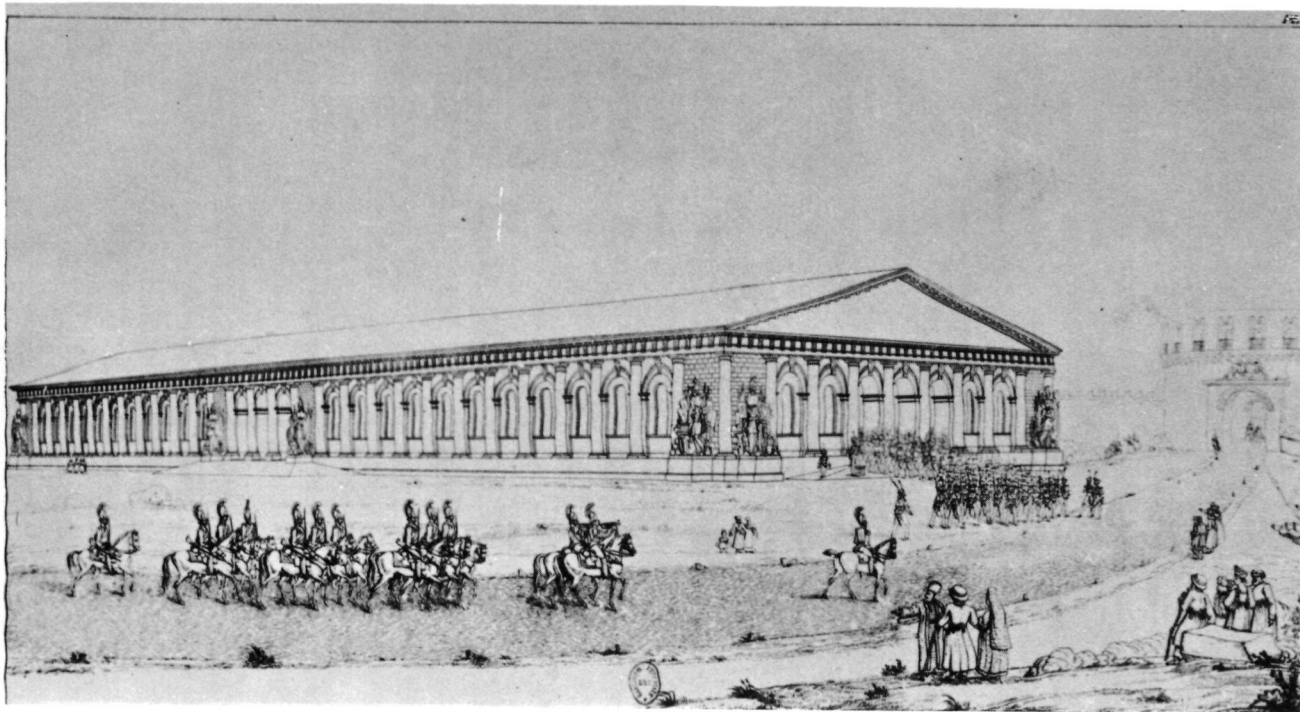
Máquina de doble cuna.



Máquina para subir el agua.



Sala de ejercicios de Moscú (1817):
Detalle de la fachada.



Sala de ejercicios de Moscú (1817):
Vista perspectiva.

Real de Madrid (1798), en lengua española**”. Después, en París, sacó aquella patente en unión de Périer, con quien fabricó también una prensa de este tipo, que después prestó servicios en los talleres de Chaillot.

En el catálogo del mencionado Gabinete de Máquinas figuran, entre los planos y modelos mandados reproducir por Betancourt o ejecutados por él mismo, unos cuantos inventos que le pertenecen, y cuyas referencias exactas desconocemos, ya que las indicaciones del catálogo impreso son excesivamente sucintas. A falta de noticias más completas, lo único que podemos hacer es mencionar las máquinas a que nos referimos, con las mismas palabras del catálogo y en su mismo orden. Naturalmente, no repetiremos aquí las indicaciones referentes a aquellas máquinas que han sido ya objeto de una atención especial. Se verá, además, de las menciones que siguen, que Betancourt parece haberse dedicado preferentemente al estudio de determinadas máquinas, y que algunas de las que aquí se insertan probablemente no son más que variantes o esbozos de las ya publicadas.

El modelo 63 del Gabinete de Máquinas representaba “una sierra puesta en la proa de una barca”, de modo que pudiese cortar estacas debajo del agua**, probablemente por medio de algún dispositivo más o menos parecido al de la draga premiada en Londres.

El modelo 147 era el de una “bomba cuadrada formada de tablas, con émbolo cilíndrico”***, concebida para elevar el agua, sin que sepamos qué justificación o interés tendría la forma tan peculiar de la bomba.

El modelo 153 era el de una “máquina movida por el viento, cuyas aspas son verticales, para sacar agua por medio de dos cubos que suben y bajan alternativamente”****. Se debe entender que no se trata de un simple pozo eoliano, en que la energía

* “Bulletin de la Société d'Encouragement”, XII, 1812), pág. 28. Este primer cuaderno de la descripción de las máquinas del Gabinete de Máquinas, publicado en español en 1798, pertenece a una publicación que no hemos podido ver, y que parecen ignorar todos los bibliógrafos españoles.

** J. LOPEZ PEÑALVER. *Catálogo del Real Gabinete de Máquinas*, pág. 19. Como todas las máquinas cuya descripción sigue, lleva en el catálogo la aclaración: “por D. Agustín de Betancourt”.

*** *Ibidem*, pág. 20.

**** *Ibidem*, pág. 21.

proporcionada por el viento servía exclusivamente para subir el agua a la altura del suelo. En efecto, esta máquina está comprendida entre las bombas, de modo que es de suponer que las aspas del molino no sólo subían y bajaban los cubos, sino que probablemente movían también una bomba aspiradora. Esta presencia de una bomba es el único detalle que parece diferenciar esta máquina de la que más adelante se examinará, y que sólo se funda en el movimiento alterno de dos cubos.

El modelo 157 era el de una “máquina para desaguar las lagunas, movida por el viento”*. Se hallaba incluida igualmente entre las bombas del Museo, y venía acompañada por los planos explicativos 147 y 148. Era probablemente la misma máquina que Betancourt había propuesto ya en 1786, para el desagüe de algunas presas del canal de Aragón.

El plano 149 representaba una “noria movida por el viento”**.

Los planos 193 y 194 proponían una “máquina de vapor dispuesta para moverse dos órdenes de bombas situadas en el pozo de una mina”***, o sea, que probablemente sugerían un modo nuevo de acoplar la bomba de aspiración a la de repulsión, y de hacerlas depender de una misma fuerza, bien para ahorrar gastos de energía o para obtener mejores efectos.

El modelo 240 era la reproducción de “una máquina para cortar los cueros por su grueso”****; y se explicaba en el catálogo que no se traba de un verdadero invento personal, sino de que esta máquina sólo había sido “perfeccionada” por Betancourt.

El modelo 243 era el de una “máquina para picar los cueros para las cardas”*****.

El modelo 242 era una “máquina para cortar y doblar las puntas de las cardas”*****, más sencilla que la que se exponía a su lado, y que era simple reproducción de las que entonces se usaban en las fábricas de Rouen.

En fin, el modelo 251 representaba un “telar para hacer varias piezas de cinta de rasoliso y tafetán, con un mismo movimiento”*****, cuya máquina, una vez más, había sido simplemente

* *Ibidem*, pág. 22 y 27.

** *Ibidem*, pág. 25.

*** *Ibidem*, pág. 28.

**** *Ibidem*, pág. 46.

***** *Ibidem*, pág. 46.

***** *Ibidem*, pág. 46.

***** *Ibidem*, pág. 47.

“perfeccionada” por Betancourt. Se trata de una de las más antiguas aficiones del ingeniero canario, ya que hemos visto, en su biografía, que desde su infancia había demostrado gran interés para la fabricación de los tejidos, y del rasoliso en particular.

En la obra publicada en colaboración con Lanz, *Essai sur la composition des machines*, se hallan descritas algunas máquinas más, de las constituídas por Betancourt, además de las que han sido ya aludidas en las páginas anteriores. Quedan por presentar dos de estas máquinas, una de ellas referente al modo de levantar un peso por medio de un plano inclinado o de una cuna, y la otra para subir y bajar alternativamente cubos de agua.

He aquí la descripción de la primera de estas máquinas:

“Supongamos una cuña A , que puede deslizarse en el sentido de su largo, entre cuatro columnas c , d , e y f , mientras que otra cuña B queda mantenida por clavijas o mejor, para reducir los roces, por los rodillos g , k , h e i , fijados en la cuña y tocando a las columnas. Es evidente que, al empujar la cuña A de f hacia d , la línea nm de la caña B se eleva sin perder su paralelismo.

“La aplicación de este movimiento se puede ver en algunos artefactos, y sobre todo en las pedales del pianoforte que llevan sordina; sin embargo, creemos que es susceptible de aplicaciones aun más generales. El señor de Betancourt hizo con gran éxito una aplicación del mismo en Inglaterra, para levantar el rodillo inferior de un gran laminador. Está asimismo convencido de que por este medio se puede dividir una línea recta en tantas partes, como se quiera, con la misma precisión con que se divide el círculo por medio de la plataforma”.

“Supongamos que la fuerza se aplica siempre en la dirección fd de la base ab de la cuña A , e imaginemos una regla lp , perpendicular al plano inclinado cb . El extremo l de esta regla está provisto con una polea de contacto; ésta se apoya sobre el plano inclinado, y la regla se desliza entre los dos almillas o y q . Es evidente que, siendo arbitraria la inclinación del plano, se puede transformar un movimiento continuo en otro movimiento rectilíneo y continuo, que formará con el primero un ángulo dado: la velocidad del primer movimiento será a la del segundo como el radio al sinus cba . Si el ángulo cba viene a ser cero, la regla lp queda inmóvil: es lo que debe ocurrir, cuando se quiere transformar el movimiento rectilíneo en otro movimiento rectilíneo, pero en una dirección perpendicular a la primera. Este resultado

se podrá obtener por medio de una segunda cuña *B*, como ya se ha dicho; y si se añade otra tercera cuña *C*, que forma un solo cuerpo con la segunda, se podrá cambiar la dirección del movimiento, como también la proporción de las velocidades”*.

La segunda máquina parece ser una simple variante del modelo expuesto en el Gabinete de Máquinas, antes mencionado, y que servía igualmente para elevar cubos de agua; tanto más, que, aunque no se diga nada de ello en la descripción que reproducimos a continuación, parece que en el grabado correspondiente se pueden reconocer las “aspas verticales” de que hablaba el catálogo del Real Gabinete, y que sirven para aprovechar la fuerza del viento y transformarla en trabajo útil.

He aquí la descripción de la máquina: “*ab* es un árbol que gira alrededor de su eje, por efecto de una fuerza cualquiera aplicada en *a*; su punto *b* descansa sobre una pieza de madera *c*, provista de dos rodillos que entran en una ranura del travesaño *n'm'*. Por medio de esta disposición, el árbol *ab* puede acercarse fácilmente y sucesivamente de las ruedas dentadas *F* y *G*, que engranan con el tornillo sin fin *h*, situado sobre el mismo árbol.

“*C* y *L* son dos travesaños que sirven para mantener el árbol, sin estorbar el pequeño movimiento de balanceo que se le debe comunicar por medio de la pieza móvil *e*, que soporta su quicio. Esta misma pieza lleva dos trinquetes *a'b'* y *cd*, que giran alrededor de sus ejes *a'* y *c*; estos ejes, así como las dos clavijas *b'* y *d*, que se hallan en sus extremos, se prolongan de manera que tocan al plano de la pieza metálica *umn* (como se ve en la figura separada *m*). Esta pieza tiene un eje *gf*, portador de dos brazos *l* e *i*, que terminan en horquillas, para dejar pasar las cuerdas que llevan los cubos: cerca del extremo *g* se halla un vástago que lleva un peso *P*. En el travesaño *n'm'* se pueden observar dos armellas *x* y *y*, cuyo saliente es igual al grosor de los dos trinquetes *a'b'* y *cd*. Dos cubos están atados a los extremos de una cuerda que pasa por los rodillos de las dos ruedas dentadas *F* y *G*, dando una vuelta alrededor de cada uno de ellos. He aquí el funcionamiento de esta máquina.

* LANZ y BETANCOURT. *Essai sur la composition des machines*, París 1819, pág. 6-7. Es de notar que el dispositivo que comprende la regla *lp* faltaba en la edición de 1808 y en el grabado correspondiente, y ha sido añadido en 1819.

“En la posición representada por el grabado, el brazo u , después de empujar la armella a' a izquierda, engrana el tornillo sin fin h con la rueda dentada F' ; y el trinquete $a'b'$, cayendo por su propio peso, se engrana con la armella x y sujeta el árbol a la rueda dentada. Cuando el nudo s , que se halla cerca de los cubos S , entra en la horquilla l , la pieza unm debe girar sobre su eje y el brazo n , tocando la clavija b , desengancha el trinquete antes de tomar una posición horizontal. Pero desde que pasa de esta posición, el contrapeso P cae del otro lado, el brazo u empuja la armella c y hace pasar a derecha el árbol que se engrana con la rueda G , mientras que el trinquete cd , por su propio peso, se ajusta con la almilla y . Los dos cilindros giran en dirección contraria, y el cubo S baja mientras que el otro sube, y así sucesivamente. Los bordes de los cubos están provistos con una pieza de hierro, que les obliga a tomar la posición conveniente para vaciarse. Esta máquina ha sido inventada por el señor de Betancourt”*

Entre los trabajos menos conocidos de Betancourt no sabemos si se debe incluir una serie de cálculos y de observaciones hechas en Madrid, por septiembre de 1800, para determinar la longitud del péndulo simple que oscila los segundos en esta capital. Estos cálculos habían sido encargados por el gobierno español a Gabriel Ciscar y Ciscar, célebre matemático, que en 1796 había tomado parte en los trabajos de los miembros del Instituto de París, encaminados a determinar las medidas métricas. Una memoria manuscrita recientemente descubierta**, fechada en Madrid a 16 de noviembre de 1800 y firmada por Ciscar, empieza con mencionar las *Observaciones hechas en el Retiro, para determinar el movimiento del péndulo de Robin, perteneciente a don Agustín Betancourt*. Pero este título no se refiere más que a una

* LANZ y BETANCOURT. *Essai sur la composition des machines*, París 1819, pág. 105-6.

** Manuscrito sin título, de 17 pág. folio, cuyo fotocopia nos ha sido amablemente comunicada por el apreciado investigador canario, don Manuel Hernández Suárez. El verdadero título del manuscrito parece que debería ser el que consta en la página 4, o sea, *Exposición de los principios sobre que se ha establecido el cálculo de los péndulos*.

En el año de 1801, Christian Hergen, comisionado por el Rey para medir la latitud de Madrid, utilizó para sus cálculos el círculo de Borda, que le dio prestado don Agustín de Betancourt, y que era “uno de los mejores de esta especie que jamás he visto” (“Anales de Ciencias naturales”, III (1801), pág. 80-81).

de las series de observaciones que integran el trabajo de Ciscar; y, por otra parte, no se habla en él sino de un péndulo, probablemente fabricado por el físico francés Édouard Robin, y que era propiedad de Betancourt, quien lo habrá prestado para estas observaciones. No resulta de ello que Betancourt haya intervenido personal y efectivamente en los trabajos de Ciscar; de modo que sólo de paso indicamos esta posible, y probablemente modesta y limitadísima colaboración.



Antes de terminar estas consideraciones sueltas, conviene añadir unas cuantas indicaciones referentes a la obra de que extractamos la descripción de las últimas máquinas, y que es sin duda el libro más conocido de Betancourt.

Al formar el programa de la Escuela Politécnica de París, tal como iba a ser adoptado y aplicado a partir de 1794, el célebre Monge, autor del proyecto de programa, había incluido entre las futuras enseñanzas un curso titulado *Elementos de las máquinas*. En la idea que de la mecánica se formaba Monge, estos elementos eran los distintos medios técnicos, que permiten variar la dirección del movimiento mecánico y transformarlo en movimiento útil*. Esta nueva enseñanza debía, en principio, confiarse al mismo Monge; pero al partir éste con Bonaparte, para la expedición de Egipto, en 1798, la cátedra de Elementos de Máquinas le cupo a Hachette, quien la había de ocupar durante largos años.

Hachette modificó en parte las concepciones de su predecesor, en el sentido de que, mientras Monge sólo veía en la máquina las fórmulas técnicas que permitían transformar y aprovechar el movimiento o el impulso de una fuente de energía, Hachette distinguió en la misma máquina dos partes diferentes, un motor y unas piezas móviles, y las trató separadamente; es decir, que separó el estudio de la fuente de energía y de su aprovechamiento, del estudio de los dispositivos que permitían la transformación del movimiento.

En 1808, Hachette publicó un breve programa de su curso, para el uso de sus alumnos. Al mismo tiempo, trató de sistema-

* Sobre estas ideas de Monge, cf. R. TATON. *L'oeuvre scientifique de Monge*, París 1951, pág. 316-17.

tizar sus ideas sobre las transformaciones del movimiento por medio de las máquinas entonces conocidas, formando de todas ellas un cuadro esquemático, que después se proponía explicar por medio de un tratado. En este momento, "supo que los Sres. Lanz y Betancourt habían formado, a base de un plano idéntico, un cuadro parecido al suyo. El Consejo de Instrucción, sobre informe de los Sres. Monge y Hachette, ha propuesto al señor Director mandar imprimir a expensas de la Escuela los resultados del trabajo de los Sres. Lanz y Betancourt, encargados de misión del gobierno español; y esta obra, que sus autores han cedido a la Escuela Politécnica, es la que se publica actualmente, con el título de *Essai sur la composition des machines*"*.

En efecto, la obra de Lanz y de Betancourt se publicó al mismo tiempo y a continuación del programa de Hachette. Adoptada y costeada la publicación por la Escuela Politécnica, su texto fue revisado por el mismo Hachette, probablemente para hacer coincidir el orden expositivo de los autores españoles con sus propias ideas expresadas en el cuadro sinóptico, que parece haber sido conservado en gran parte. Los grabados explicativos fueron dibujados en los talleres de la Escuela**.

Escrito sin duda en francés, el libro de Lanz y Betancourt bien podría ser una refundición de sus cursos en la Escuela de Ingenieros de Madrid. Es cierto que Hachette intervino en la redacción, pero sólo después de terminada la obra y, como hemos dicho, probablemente más bien para ordenar que para modificar. Es evidente, en efecto, que Hachette apreciaba más que cualquier otro detalle del libro, el cuadro sinóptico de los movimientos mecánicos, que consideraba como suyo, y que reproduciría textualmente en la obra publicada más tarde, sobre el mismo tema***.

Por consiguiente, Hachette no era un colaborador, sino un revisor. En cuanto al grado de colaboración entre los dos autores

* HACHETTE. *Programme du Cours élémentaire des machines*, París 1808, pág. VIII.

** *École Impériale Polytechnique. Programme du cours élémentaire des machines, par M. Machette. Essai sur la composition des machines, par MM. Lanz et Bétancourt*. París 1808. Hubo una nueva edición en París, en 1819, y una tercera en 1840, así como una traducción inglesa, que no hemos visto.

***. HACHETTE. *Traité élémentaire des machines*, París 1811, La misma idea se halla expresada en su *Histoire des machines à vapeur*, París 1830, pág. 2.

españoles, parece bastante difícil de establecer. El nombre y la persona de Betancourt aparecen a menudo en el texto o entre las líneas del texto; en todo caso, bastante más que la persona de Lanz. Hemos citado, en otro lugar más conveniente, todas las máquinas de Betancourt que se hallan descritas en el *Essai*. En otros pasajes del libro, sólo se adivina su presencia: cuando habla, por ejemplo, de la máquina que “uno de nosotros ha visto en Inglaterra”* o de “nuestro amigo el Sr. Bréguet”**.

De todos modos, parece evidente que la obra es de ambos autores, aunque en proporciones difícil de distinguir. Sin embargo, Hachette hablaba, más tarde, de “la obra que el Sr. Lanz y yo hemos publicado en 1808”***, haciendo caso omiso del nombre de Betancourt, por una preterición que difícilmente se podría interpretar como un olvido. Esta circunstancia, junta con la mención bastante frecuente del nombre de Betancourt en la obra, mientras que el de Lanz no se cita en ningún momento, parece indicar que la intervención de Betancourt en la redacción fue menos directa que la de Lanz. Betancourt era director de la Escuela de Ingenieros, donde Lanz era profesor; tenía sin duda, en aquella época, más experiencia y más categoría científica que su colaborador. Se puede suponer que su intervención en la obra se habrá limitado a las indicaciones generales, a la organización de la materia que entrambos se proponían tratar. De una manera general, Betancourt habrá sugerido, proporcionado ideas o ejemplos, y Lanz habrá escrito solo: así se explica el que el nombre se mencione tan a menudo, en circunstancias que pueden interpretarse como muestras de deferencia por parte de su colaborador, y también el que Hachette deje de hacer mención del nombre de uno de los autores****.

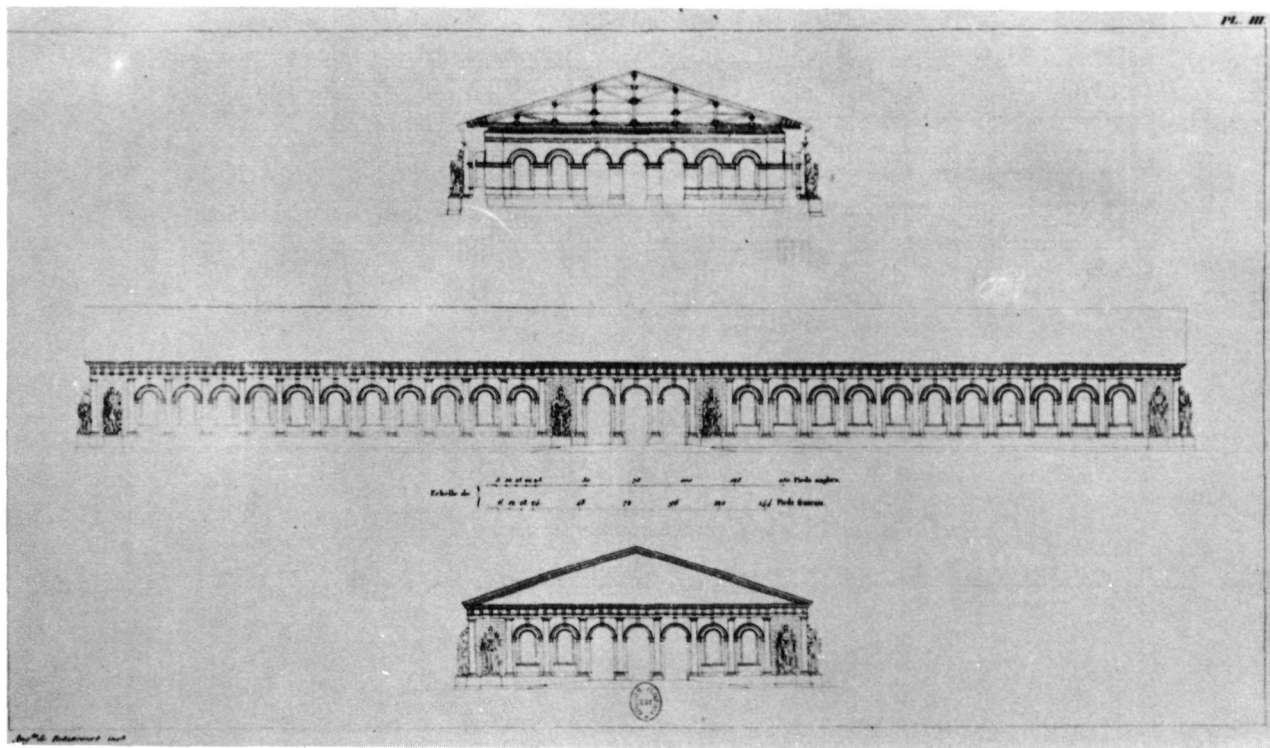
En cuanto a la idea directora de la obra, parece ser la de Monge más bien que la de Hachette. Los dos autores no distinguen, como lo habría Hachette en 1811, entre el movimiento geométrico y su modificación por medio de la máquina, sino que

* LANZ y BETANCOURT. *Essai sur la composition des machines*, París 1819, pág. 34.

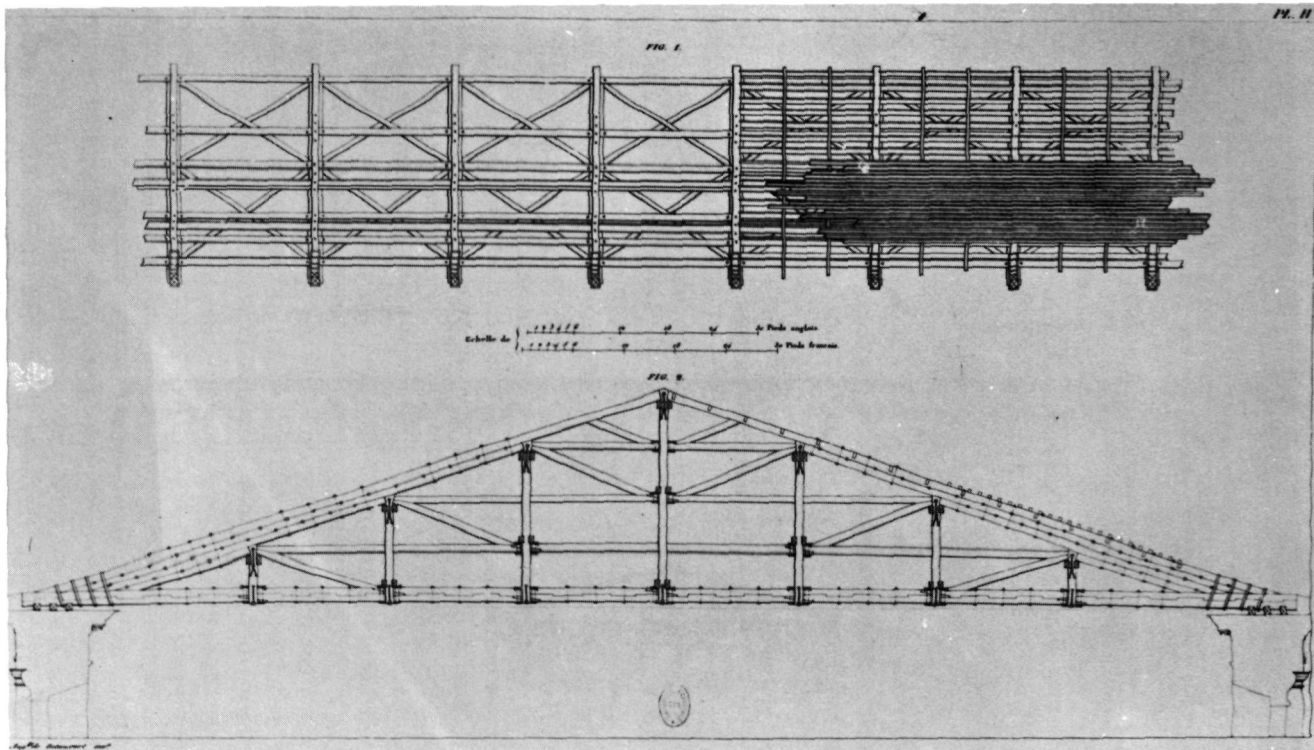
** *Ibidem*, pág. 88.

*** HACHETTE. *Traité élémentaire des machines*, París 1811, pág. 9. Reproducido textualmente en su *Histoire des machines à vapeur*, pág. 2.

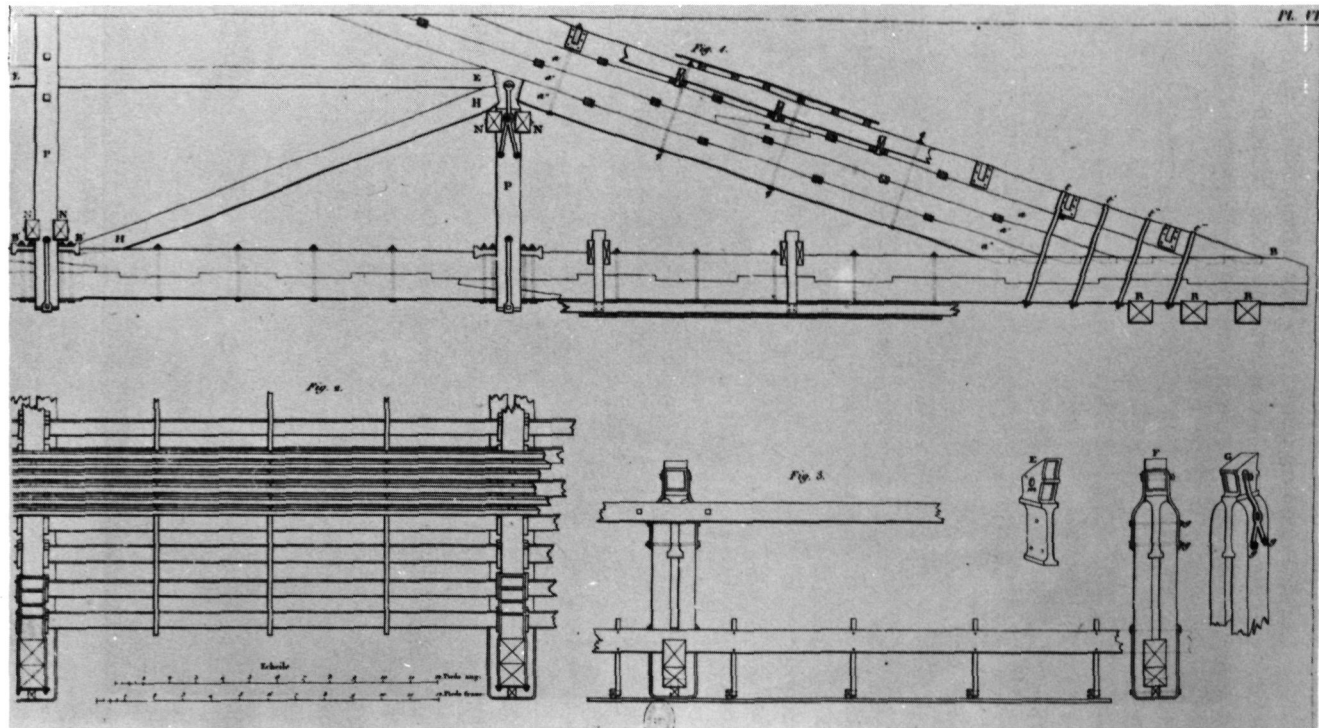
**** La edición de 1819 parece haber sido revisada exclusivamente por Lanz, sin intervención de Betancourt. Las modificaciones son numerosas, pero no siempre esenciales.



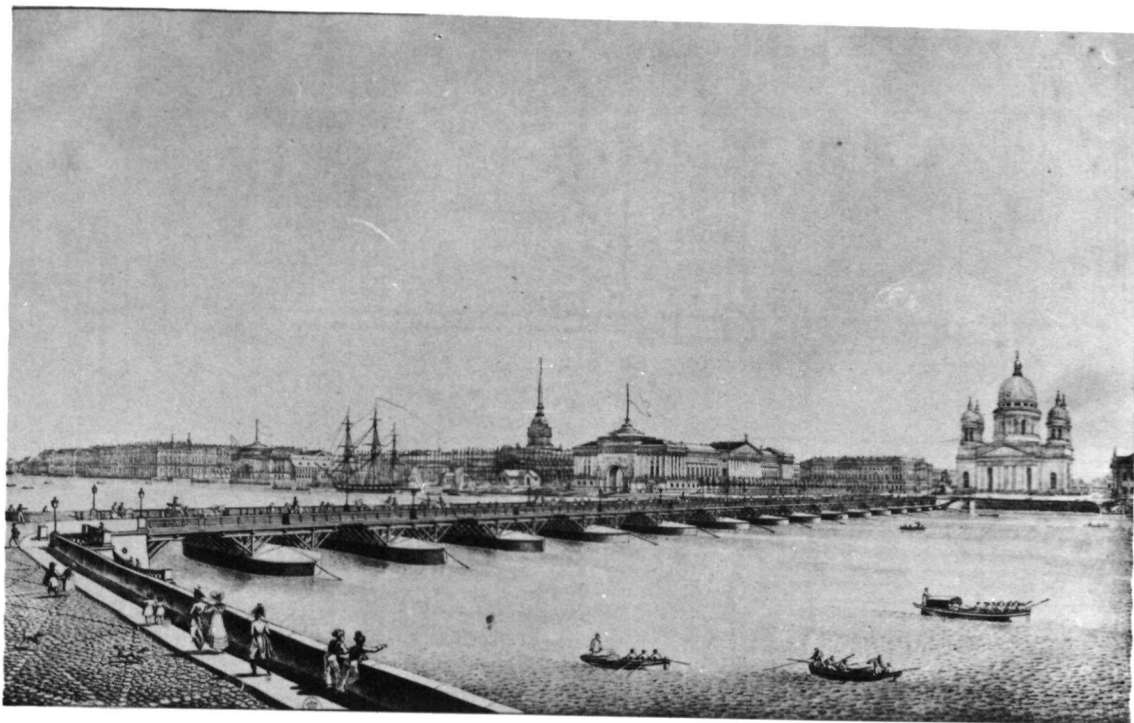
Sala de ejercicios de Moscú (1817):
Alzado.



Sala de ejercicios de Moscú (1817):
Alzado de la armazón de la techumbre.



Sala de ejercicios de Moscú (1817):
Detalle de la armazón.



Puente sobre la Neva, en San Petesburgo:
Perspectiva.

sólo consideran “los movimientos que se emplean en las artes”, o sea, el movimiento útil y el modo de conseguirlo.

Al dividir estos movimientos en rectilíneos y circulares o, por otra parte, en continuos y alternativos, los autores hallan 21 combinaciones posibles entre el tipo de movimiento proporcionado por la fuerza motriz de que se dispone, y el tipo de movimiento útil que de él se puede obtener. Todas estas posibilidades se hallan expuestas de manera esquemática en una gran lámina en que los movimientos se clasifican sistemáticamente, y se representan por un ejemplo de máquina. En realidad, el texto de la obra no es más que el comentario descriptivo y explicativo de esta exposición esquemática.

El libro fue muy bien acogido, y las dos ediciones siguientes, así como su traducción al inglés, son prueba de su éxito. Una reseña publicada por Francoeur, como presentación al público de la reimpresión de 1819, refleja esta impresión favorable: “Por lo que se refiere al tema de la obra, es difícil hallar otro que pueda interesar más la técnica. En cuanto a la concepción y a la ejecución, bastará decir que el *Ensayo sobre la composición de las máquinas* está destinado a la enseñanza de la Escuela Politécnica, que ha publicado a sus expensas la primera edición”*.

El autor de la reseña ha comprendido muy bien la intención de los autores, y aprueba su procedimiento: “Las máquinas toman la una a la otra partes que sería inútil describir cada vez que se presentan. Parece más procedente para con el espíritu que necesita una guía, más conveniente con las necesidades de la investigación, hallar estos mecanismos diversos disecados, por decirlo así, y considerados en cada uno de sus elementos. Un solo tomo de 200 páginas puede, con ayuda de algunas láminas, ofrecer el cuadro y el uso de todos los descubrimientos. En él no se halla casi ninguna máquina entera; pero se podrán ver todas las partes que las forman, todas las maneras de combinarlas entre ellas, todos los resultados que de ellas se pueden esperar. Tal es el plano ingenioso que se han propuesto los Sres. Lanz y Betancourt**.

Claro está que esta “disección”, para emplear la palabra de Francoeur, transforma la máquina en algo abstracto y el movi-

* FRANCOEUR. *Essai sur la composition des machines*, en “Revue encyclopédique”, III (1819), pág. 229-39.

** *Ibidem*, pág. 233.

miento en pura teoría; de modo que el mismo crítico llega a deplorar cierta sequedad en la exposición, así como la ausencia de referencias a máquinas enteras y prácticas, que hablen más directamente a la imaginación. Pero estos defectos son naturales, si se considera el objeto que se proponen los autores, y que es precisamente el de esquematizar los conocimientos y de obrar con categorías más bien que con objetos; de modo que las últimas objeciones de Francoeur, sobre parecer insuficientemente fundadas, vienen a contradecir la aprobación que antes había dado al método seguido por los dos autores.

Evidentemente, desde el punto de vista de la técnica de nuestros días, se trata de una obra envejecida, y que sólo interesa retrospectivamente. Una obra así concebida sólo puede tener interés, mientras las fuerzas motrices son las naturales, tales como la mano del hombre, el caballo, el agua, el viento. Sólo en este caso es vital el problema de la transformación de la dirección del movimiento. Pero no se debe olvidar que la obra de Betancourt y Lanz fue libro de texto para muchas generaciones de ingenieros, y que su falta de interés actual es achaque común de todos los libros científicos, que suelen envejecer mucho más rápidamente que el que aquí nos interesa.

Así y todo, si tratamos de determinar las cualidades que han contribuido a mantener durante más de medio siglo el éxito y la actualidad del *Essai*, diremos que sus principales méritos parecen ser: su sentido práctico, ya que la teoría es simplemente un accesorio, mientras que el interés va sobre todo a la descripción y al plano; la concienzuda citación de las fuentes, que se señalan a partir del siglo XVI hasta los últimos trabajos de especialidad; la capacidad de sistematización, que introduce un orden evidente dentro de la enorme variedad de máquinas y de posibilidades técnicas que abarca; y, en un plano más general, un espíritu científico que inspira a sus autores una absoluta confianza en la ciencia y en sus posibilidades, que les empuja por ejemplo, al citar un procedimiento de La Condamine, quien trazaba mecánicamente los perfiles y aconsejaba después corregirlos con la mano, a añadir esta nota reveladora de sus métodos: "Se debe tener muy en cuenta que no hay que seguir el consejo del autor".

X

CONSTRUCCIONES

Durante los últimos 16 años de su vida, que corresponden a su estancia en Rusia, don Agustín de Betancourt parece haber desarrollado una actividad por lo menos tan intensa como en los años anteriores. Sin embargo, parece ser, a juzgar por los elementos incompletos de que hemos podido disponer, que en este período final de su existencia, sus actividades tomaron un rumbo bastante diferente, y que el ingeniero canario se dedicó principalmente a las tareas de construcción y de organización. El trabajo de creación, en el sentido de invención o de combinación inédita de efectos más o menos conocidos, que hasta ahora hemos venido examinando, ocupa durante este mismo período un lugar secundario, bien porque Betancourt no disponía más del tiempo necesario para dedicarse a trabajos personales, o porque nuestros conocimientos insuficientes sobre sus últimas actividades nos ofrecen una imagen poco exacta de la realidad.

Conviene añadir que estas mismas actividades de construcción y de organización no era nuevas para Betancourt. Ya en España había tenido que solucionar problemas parecidos, cuando no idénticos, en su calidad de inspector general de Caminos y de director general de Correos. La diferencia entre la obra realizada en España y la que iba a realizar en Rusia no es de calidad, sino de cantidad o, mejor dicho, de proporciones. Por una parte, los problemas de organización técnica de la inmensa tierra virgen representada por el imperio de los Czares eran bastante más considerables que los que había solucionado Betancourt en España; y, por otra parte, los créditos de que allí disponía fueron incomparablemente mayores, y, por consiguiente, las posibilidades de proceder a realizaciones técnicas de mayor envergadura.

Muchas de estas realizaciones sólo nos son conocidas por su nombre. Para otras, el mismo autor se ha preocupado de señalar-nos sus características. Otros, en fin, son bastante conocidos, para que de diferentes fuentes se puedan colegir unos cuantos datos de interés. Ello explica la desigualdad de los informes que sobre la obra constructora de Betancourt se pueden reunir, y que no tienen ninguna proporción con la importancia técnica o material de las mismas construcciones.

No haremos, pues, más que recordar los edificios construídos por Betancourt, bajo sus órdenes o según sus planos, y sobre cuyos detalles técnicos no poseemos más elementos. Entre ellos se deben colocar:

una fundición de cañones en la ciudad de Kazan, cuyos talleres fueron proyectados por Betancourt y construídos, bajo sus órdenes, por el coronel de artillería Zujeff;

el edificio de la Moneda, en San Petersburgo, cuya maquinaria también fue construída o introducida por él;

el edificio de la Moneda de Varsovia, construído con arreglo a sus planos, por su colaborador español, el coronel Bauzá;

el acueducto de Taitz, que conducía el agua corriente a la célebre residencia de verano de los czares, en Tsarskoje-Selo.

Uno de sus trabajos más conocidos, en el terreno de la construcción, es el picadero de Moscú, fábrica doblemente interesante, por sus atrevidas proporciones y por la rapidez de su construcción. Este última se explica por las mismas condiciones que lo habían producido. Al empezarse la reconstrucción de la ciudad de Moscú, después del incendio de 1812, cuando la invasión de Napoleón, el emperador Alejandro I había decidido trasladar su corte a esta ciudad y residir en ella un año entero, para activar con su presencia los trabajos de reconstrucción. Pero Moscú no había previsto la presencia de tropas tan numerosas, como las que arrastraba normalmente la presencia del Czar. Para los ejercicios de estas tropas se hizo sensible en seguida la urgente necesidad de un picadero, ya que el clima de aquellas regiones no permite los ejercicios al aire libre durante el invierno.

Así es como en el verano de 1817, al establecer su residencia en Moscú, el Czar "mandó formar varios proyectos para construir un salón de ejercicios en esta antigua capital", dice Betancourt, "y me dio la orden de examinarlos. El mayor de estos edificios no rebasaba, en los proyectos, un largo de 114 a 120 pies;

sin embargo, en mi opinión, les faltaba mucho para que la armazón de madera ofreciese una seguridad completa en lo referente a la solidez; y habiéndolo declarado así a Su Majestad, me mandó ocuparme yo mismo de este asunto, lo más rápidamente posible”*.

El proyecto, sometido por su autor al Emperador por junio de 1817, fue inmediatamente aprobado y puesto en ejecución, con tanta celeridad, que el picadero pudo inaugurarse por el mismo Emperador, el 2 de diciembre del mismo año. Se trata, pues, de un edificio de proporciones bastante importantes, fabricado en cinco meses, día más o menos, y en medio de dificultades técnicas y materiales, de que su mismo autor nos ha dejado una constancia bastante circunstanciada. En efecto, según juicio de los técnicos, “la techumbre de la fábrica, capaz de ofrecer a cualquier ingeniero dificultades casi insuperables, no presentó ninguna para el genio de su inventor, que, sometiendo sus ensayos al cálculo y a la experiencia, hizo del hierro y de la madera una combinación perfecta, que un sistema tan sólido como sencillo salió naturalmente de su compás”**.

Conocido en España con el nombre de picadero, que parece impropio, este edificio es en realidad un salón para los ejercicios y las formaciones de soldados de infantería. Se trata de una necesidad propia sobre todo de los países nórdicos: según las indicaciones de Betancourt, sería de origen alemán.

El principal problema de su construcción estriba en sus dimensiones, que deben ser naturalmente muy importantes, para permitir las evoluciones conjuntas de un gran número de soldados, al interior de un espacio completamente libre, sin columnas o paredes intermedias para apoyo del techo. Esta misma condición básica dificultaba mucho la construcción, ya que en aquella época no se podía pensar, para cubrir la fábrica, más que en un techo de madera, difícil de construir en buenas condiciones encima de paredes tan separadas. El más importante de los que has-

* A. DE BETANCOURT. *Description de la salle d'exercice de Moscou* San Petersburgo 1819. Según E. LECOMTE DE LAVEAU. *Guide du voyageur à Moscou*, Moscú 1828, pág. 179-80, la construcción del edificio había sido encargada al general mayor Charbonnier; sólo la armazón de la techumbre, que quizá no supo llevar a cabo el primer constructor, fue pedida después a Betancourt.

** “Journal des Voies de Communication”, I (1826), p. 44.

ta entonces se habían construido, el de San Petersburgo llamado Salón del palacio de San Miguel (Michailowskii Manezhi), tenía 119 pies de ancho y 552 pies de largo, o sea, 36,30 m. sobre 168,36 m.

Las proporciones determinadas por Betancourt para el salón de ejercicios de Moscú, fueron de 150 pies, o sea 45,75 m. de ancho, y 540 pies, o sea 164,70 m. de largo. Por consiguiente, a pesar de la rapidez con que se le exigía entregar el trabajo terminado, el ingeniero español se atrevió a buscar proporciones sensiblemente más difíciles de realizar técnicamente, en razón de su mayor anchura, que las que se habían obtenido en el mayor salón de aquel tiempo, y que se consideraba ya como un alarde de técnica y de atrevimiento.

Para comprobar la resistencia de la armazón que había previsto para la techumbre, mandó fabricar en firme y en las mismas condiciones que en la fábrica definitiva, un par de cuchillos, largos de 160 pies. Se componía cada uno de ellos de dos hileras de vigas labradas a escuadra y puestas una encima de la otra, hasta formar un grosor de 11 pulgadas y una altura de 22, y de dos pares o alfardas, que formaban con las vigas ángulos de 21°48' y descansaban por sus extremos sobre un pie derecho de 32 pies de alto, o sea, igual a una quinta parte del largo de las vigas. Una vez ensambladas estas piezas y cubiertas con un tinglado parecido al que debía formar el tejado definitivo, mandó cargarlo con ladrillos, hasta al peso de unos 1250 kgr. para cada uno de los cuchillos, es decir, bastante más del peso total representado por el tejado y la nieve que se le podía acumular encima durante el invierno. El experimento dio buenos resultados e indicó que los cálculos del constructor habían sido exactos.

La novedad arquitectónica de esta fábrica, que parece explicar en gran parte su resistencia, es el empleo de cabezas de hierro colado en los extremos de cada pie derecho o pendolón. Esta innovación tenía por objeto el impedir la fricción directa de la madera en las vigas apuntaladas, ya que el efecto de presión de la madera sobre otras piezas del mismo material, según observación de Betancourt, acaba con alterar la forma del maderaje y producir efectos de hundimiento o desplome. Dice el autor que este modo de eliminar el riesgo representado por la compresibilidad de la madera, se le había ocurrido por primera vez en la construcción del puente de Kamennoi Ostrow y que, desde la

construcción de aquel puente con arreglo a este nuevo principio, en 1811, "no se ha podido observar el menor hundimiento".

El edificio así construido, sobre fundaciones que llegaban a 4 m. de profundidad, tenía paredes altas de 12,80 m., de ladrillos y de madera; su espesor era de 14 pies en la parte baja, y de 8 en la parte alta. La fábrica había sido dirigida sobre el terreno por el general mayor Carbonnier.

A pesar del gran éxito principal y de la inmediata utilización que se hizo del salón de ejercicios, su fábrica no dejaba de presentar ciertas imperfecciones, que el constructor se hace un deber de señalar escrupulosamente. Si el resultado no es tan perfecto como se hubiera podido desear, indica Betancourt, ello se debe a la circunstancia de haberse reducido la longitud del pie derecho, de la quinta parte de la anchura del salón a su sexta parte, por razones de elegancia del conjunto; con cuya modificación se había aumentado considerablemente el empuje lateral de la techumbre. Además, de resultas de la rapidez con que se había debido trabajar, no había sido posible conseguir que todos los tirantes tuviesen el mismo largo, lo que repercutía sobre la uniformidad de la construcción; en lugar de los 36 cuchillos propuestos por Betancourt, sólo se habían fabricado 32, aumentándose el espacio entre cada par de cuchillos hasta 18 pies, con evidente menoscabo de la solidez del edificio; los maderos habían sido acarreados a flote sobre el río hasta el lugar de trabajo, y estaban aún mojados en el momento de la construcción, lo que había ocasionado posteriormente cierta contracción del maderamen; y, en fin, debido a la misma rapidez de los trabajos, no había sido posible vigilar convenientemente la ejecución de cada detalle.

Debido a todas estas circunstancias, se pudo observar el 3 de julio de 1819 que un cuchillo se había desplomado, rompiéndose uno de sus tirantes y causando al mismo tiempo un movimiento de hundimiento en los dos cuchillos vecinos. Al examinar las causas del accidente, se comprobó que el tirante se había roto en un punto debilitado por la presencia de un nudo; y la reparación de los desperfectos sufridos pudo hacerse en seguida y sin dificultad.

"Siendo así", añade Betancourt, "que la ejecución de la obra no ha podido ser suficientemente cuidada y que quedan aun piezas de madera bastante defectuosas, he rogado a Su Majestad que me permita renovar la techumbre, con todo el tiempo y las precauciones que exige una construcción de este tipo". Pero estos in-

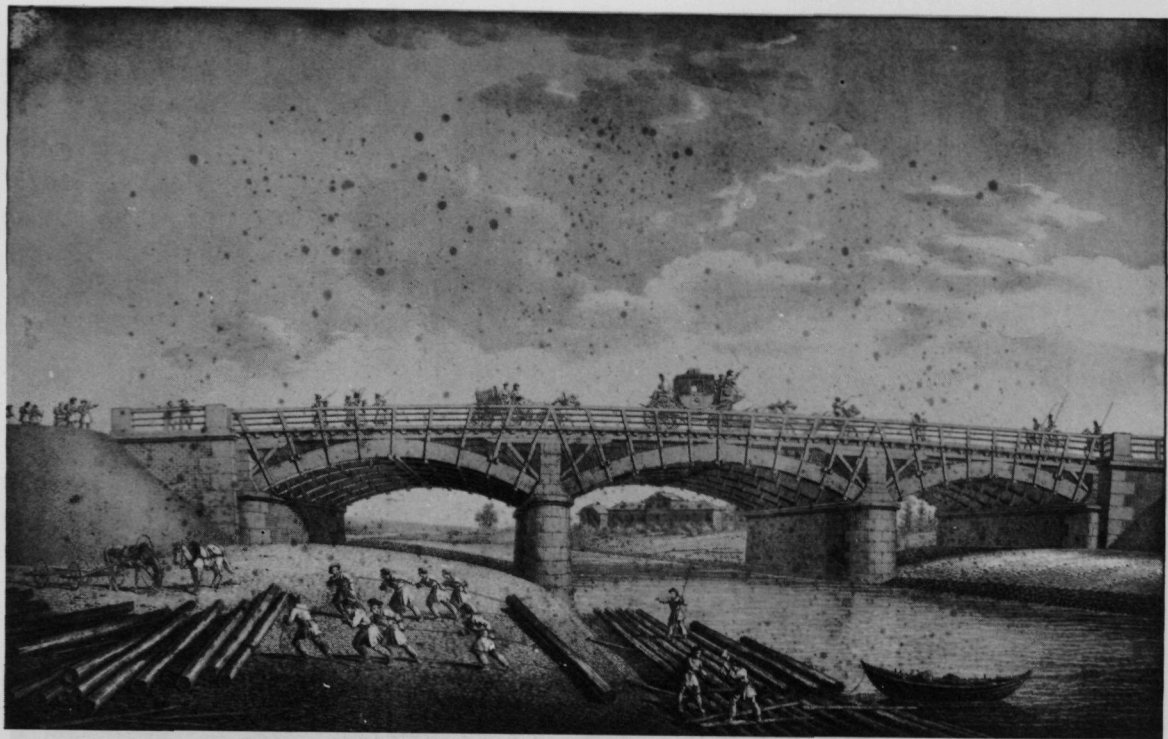
convenientes sólo tienen un interés secundario y relativo. El resultado definitivo es que, en los pocos meses de que había dispuesto, Betancourt había podido cumplir con creces un cometido particularmente arduo, haciendo entrega de una construcción mejor de cuanto se podía esperar en aquellas condiciones y terminando en tan breve plazo “un edificio de un atrevimiento sin igual”*, gracias a la precisión y a la seguridad de sus cálculos.

Casi inmediatamente después, el Emperador encargó a Betancourt los proyectos y la ejecución de la célebre feria de Nijni Novgorod, una de las obras de arquitectura más importantes de Rusia y, teniendo en cuenta su fecha, una de las más modernas en lo referente a las soluciones técnicas adoptadas.

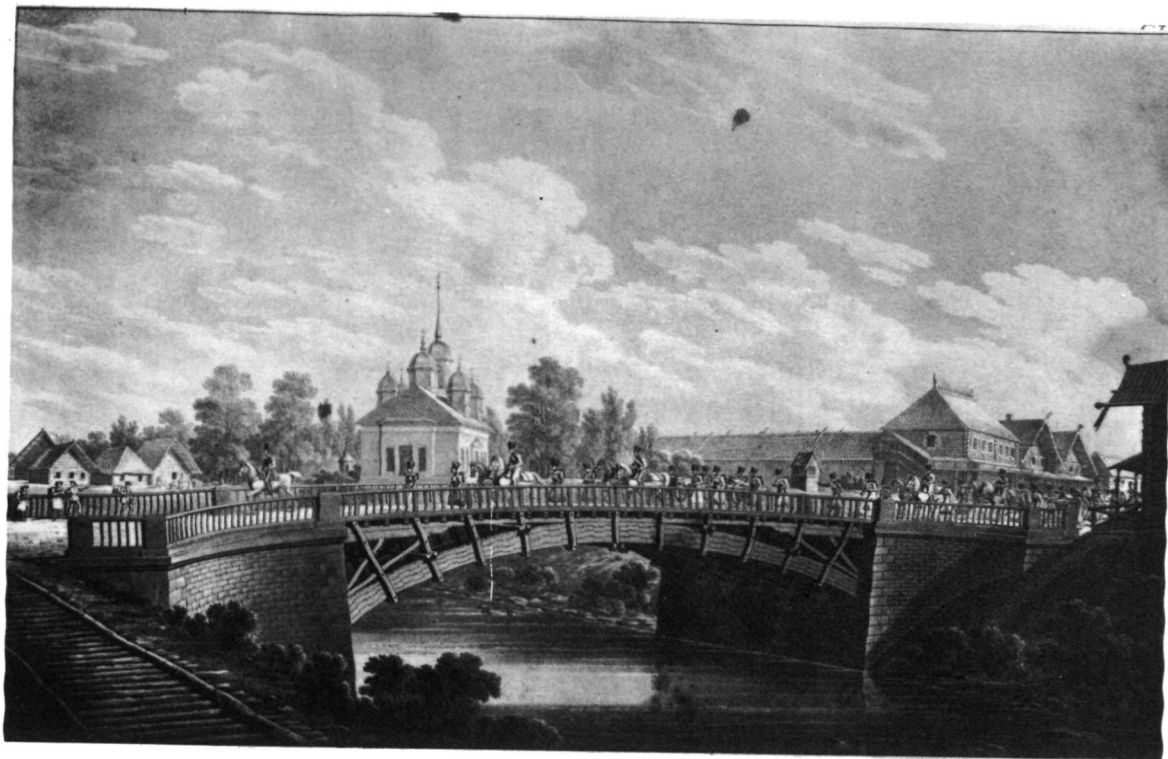
Se sabe que, destruídas por un incendio las instalaciones de la feria de Makarief, la más importante de toda Rusia, el gobierno ruso juzgó preferible no volver a construirla en el mismo lugar, sino buscarle sitio más conveniente y más fácilmente accesible, en la misma confluencia de los grandes ríos Volga y Oka. El principal problema era el saneamiento de los terrenos que se pensaba dedicar a la feria, ya que se trataba de tierras pantanosas e inundables. Desde antes de la construcción del salón de ejercicios de Moscú, Betancourt “había recibido la orden de examinar las ventajas que podría haber al transportar a Nijni Novgorod la feria de Makarief, que se hallaba colocada sobre un terreno impropio, minado continuamente por las embestidas periódicas de las aguas del Volga. Pero, para responder a las intenciones del Soberano, hacía falta vencer grandes dificultades, aprovecharse de todos los recursos de la técnica, formar una instalación a la vez saludable y cómoda, en donde los comerciantes, los compradores y los curiosos que acuden de Europa y de Asia pudiesen hallar todo cuanto contentara sus intereses y sus necesidades; todas las condiciones del problema han sido cumplidas.

“En la confluencia del Volga y del Oka, sobre un terreno que el arte ha elevado suficientemente para preservarlo de las inun-

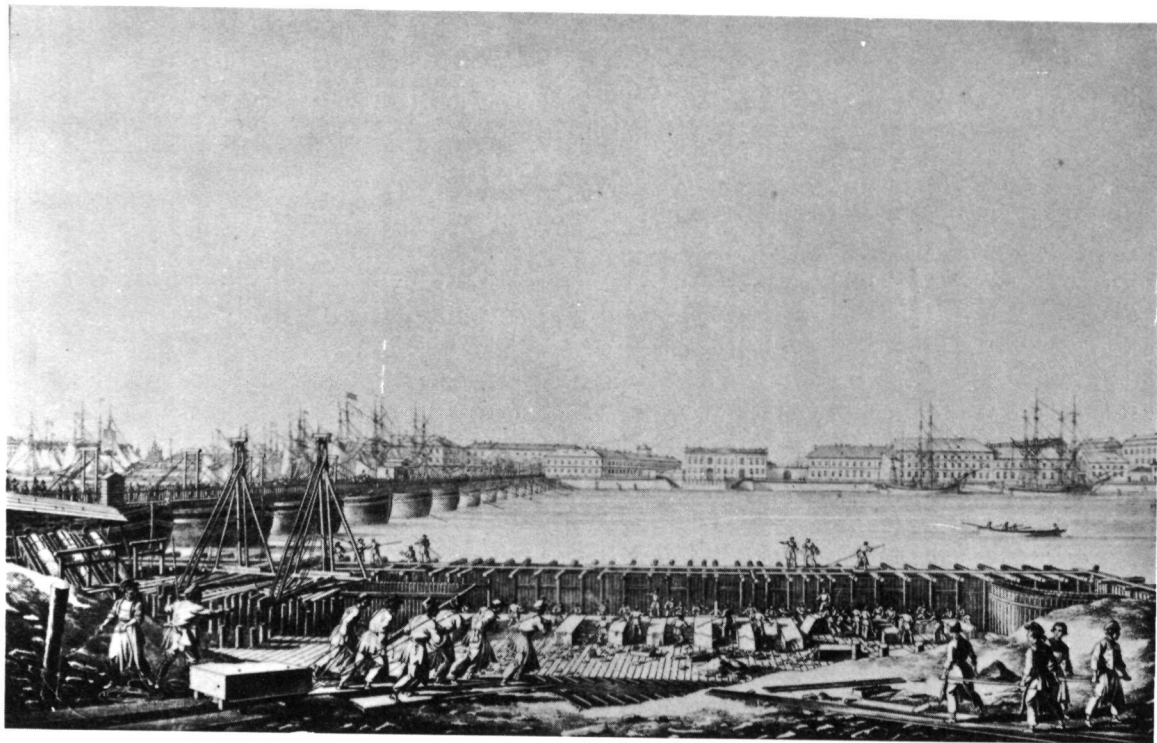
* *Ibidem*, pág. 44. Para el mismo E. LECOMTE DE LAVEAU. *Guide du voyageur à Moscou*, Moscú 1824, pág., 180, el picadero es “una de las obras más acabadas y más atrevidas que haya en Europa”. R. LYELL. *The character of the Russians*, Londres 1823, pág. 335-37, lo considera como “un sólido monumento” para la gloria de su autor. “Al entrar, dice, se busca instintivamente un apoyo; y como no se le encuentra, se experimenta una sensación más bien desagradable”, como si el techo iba a venirse abajo.



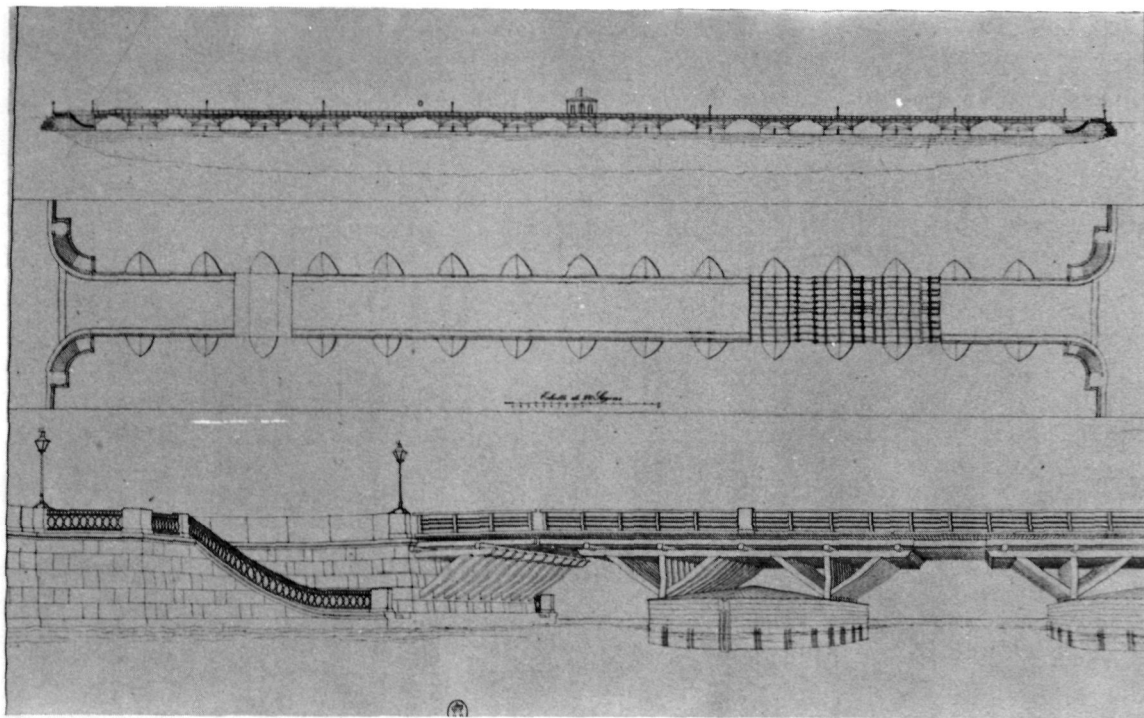
Puente de Lubani



Puente de Babina.



Puente sobre el Neva, en San Petersburgo:
Fábrica de los estribos.



Puente sobre el Neva, en San Petersburgo:
Plano y alzado.

daciones que ocurren durante la primavera, se levanta hoy una ciudad nueva, construída con regularidad, comprendiendo largas hileras de tiendas, grandes edificios para las reuniones, fondas apropiadas, bancos de la Corona, bolsa, tribunales, templos para los diferentes cultos practicados en Rusia... hospitales, depósitos para la policía, conductos de agua para mantener el frescor y la limpieza; en fin, en general todo cuanto es necesario para el uso de la sociedad, para el mantenimiento del orden y la seguridad de las personas y de sus propiedades.

“Cuando el plano de tan vasto proyecto fue presentado al Emperador, para su aprobación, Su Majestad dio una prueba de su confianza particular y de su clarividencia, al conceder al general de Betancourt el poder llevar a cabo, en la construcción, aquellas modificaciones que el lugar y las circunstancias imprevisibles aconsejasen. Se puede afirmar que esta sabia decisión, llena de benevolencia, ha sido uno de los factores del éxito de la empresa”*.

Los planos de la feria habían sido elaborados por Betancourt, asistido por tres ingenieros españoles que él mismo había hecho admitir al servicio del Czar: José Espejo, su yerno, Bauzá, cuyo nombre hemos encontrado antes, y Viada. Aprobados estos planos por el Emperador, se trasladó a Nijni Novgorod, en épocas que no podemos determinar con seguridad, pero probablemente en 1817**. Allí se fueron a vivir, durante la duración de los trabajos, su hija y su yerno, y en la misma ciudad pasó él mismo largas temporadas; allí lo vino a visitar el aventurero Van Halen, en julio de 1818, cuando la mitad de la construcción estaba ya terminada, faltando dos galerías de las cuatro que habían sido previstas***. De allí también le vemos partir, el 15 de agosto de 1820, para dirigirse a Astrakan, en viaje de inspección****. Lo más probable es que, en

* *Ibidem*, pág. 45-46.

** En “Moniteur universel” del 12 de agosto de 1818, un despacho de San Petersburgo señala que el general de Betancourt había llegado a Nijni Novgorod el 13 de junio de 1818 “avec la plan approuvé par l’Empereur, pour refaire la foire de Makarief”. Esta indicación contradice a la que sigue, ya que, al llegar en 1818 para empezar los trabajos, no habría podido efectuarlos a medias un mes más tarde. Probablemente aquella llegada a Nijni Novgorod en junio de 1818 era uno de sus muchos viajes a aquellas ciudades, sin ser el primero de todos.

*** J. VAN HALEN. *Mémoires*, pág. 72-75.

**** *Ibidem*, pág. 341-42.

este último momento, las obras aun no habían terminado, ya que ciertas fuentes indican que los trabajos habían durado cinco años*, y otras, que la feria fue terminada solamente en 1824**.

El mismo Betancourt habla de la fábrica de Nijni Novgorod, en una carta dirigida a su hermana, escrita en 10 de junio de 1820: "Esta feria será una de las cosas más curiosas que habrá en Europa, como tú podrías juzgar, si yo tuviese tiempo de hacerte la descripción. Por ahora te diré que se halla en el confluente de los dos famosos ríos Volga y Oca; que los edificios son para contener tres mil tiendas espaciosas, delante de las cuales hay una galería sostenida por tres mil y doscientas columnas de hierro fundido. Además, hay otros varios edificios para la habitación del gobernador, para la bolsa, café, salas de las asambleas generales, tres iglesias, etc., etc. Yo había pedido para estas obras 24 millones de reales, que se me han dado; pero me faltará para concluir las cinco o seis millones más, y creo que el año próximo estará todo acabado".

La feria ocupa, como queda dicho, la lengua de tierra formada por la confluencia de los dos ríos. Los trabajos de desecación y consolidación del terreno habían sido particularmente difíciles, y habían consumido la mayor parte de las cantidades afectadas a las obras. Antes situado al exterior y en la inmediata proximidad del casco urbano de Nijni Novgorod, el recinto, conocido con el nombre que significa en ruso "feria", o sea Jarmarka, se divide en feria interior y feria exterior.

La feria interior está formada por un inmenso mercado, con tiendas construídas en piedra y sobre uno o dos pisos, formando calles que se cruzan en ángulos rectos, todo rodeado por un canal en forma de U. Hay en total 12 galerías o calles longitudinales, que llevan por nombre una letra del alfabeto, y seis transversales, que llevan un número de orden; una gran calle o avenida longitudinal, en medio de las ya mencionadas, desemboca frente al palacio del Gobierno y a la catedral. Una torre de agua hacía subir el agua del río Oka, por medio de una máquina de vapor cons-

* P. SEMENOV. *Geografitchesko-statisticheskii slovar Rossiiskoi Imperii*, vol. II, San Petersburgo 1867, pág. 450-51.

** CARL BAEDERER. *Russie*, Leipzig 1893, pág. 323. Cf., sobre la feria de Nijni Novgorod. *Beschreibung Nishni Novgorods mit seinem berühmten Jahrmärkte, nebst der Ansicht der Stadt und dem Plan des Jahrmärkts*, Dorpat 1839; EUCHEL. *Der Jahrmärkt in Nishni Novgorod*, Moscú 1856.

trufada por Betancourt; esta agua sirve para las faenas de limpieza y en caso de incendio.

El conjunto de la feria interior ofrece un total de cinco mil tiendas, la mayor parte de ellas precedidas por una galería que corre a lo largo de las calles, y que se apoya, como queda dicho, en unas 3.200 columnas de hierro. El alquiler de las tiendas durante el período de actividad del mercado representaba, hacia 1880, un ingreso de unos 300.000 rublos al año. A esto se añadían las posibilidades suplementarias de la feria exterior, superficie irregular cubierta con tiendas, fuera del recinto antes citado, para satisfacer la demanda que las tiendas del interior no bastaban para cubrir.

Las ferias de Nijni Novgorod, antes reputadas entre las primeras del mundo en lo referente al volumen de sus negocios, y quizá las primeras en cuanto al pintoresco y a la variedad de su contenido, representaba un enorme movimiento de masas y de capitales, calculándose, hacia 1880, en unos 200 millones de rublos el total de sus transacciones anuales*. Sin insistir en la grandiosidad de su aspecto en los momentos de su mayor afluencia, que no es lo que aquí nos interesa, bastará decir que la construcción de por sí, obra de Agustín de Betancourt exclusivamente, formaba un conjunto imponente por la importancia de su mole y por su perfecta ordenación; de modo que un viajero tan perspicaz y tan prudente como el célebre marqués de Custine, podía decir, al contemplar esta obra maestra de la técnica de su tiempo: "Tanta grandeza y tanta solidez recuerdan a Roma"***.

Al mismo tiempo que se llevaban a cabo los trabajos de la feria, el general de Betancourt conducía en la misma ciudad de Nijni Novgorod trabajos de urbanismo y de embellecimiento de la población; pero no podemos, desgraciadamente, indicar de modo más preciso en qué consistieron***.

Otro de los trabajos de construcción más importantes de Betancourt es el puente de barcas de San Isaac, en la ciudad de San Petersburgo. Se sabe que en el interior de la misma ciudad, el río

* BAEDERER. *Russie*, pág. 324. Sobre el movimiento comercial de la feria, cf. AUGUSTE DE HARTHAUSEN. *Etudes sur la situation intérieure de la Russie*, Hanovre 1847, vol. I, pág. 289-99.

** Marqués de CUSTINE. *La Russie en 1839*, París 1843, vol. III, pág. 220-38.

*** "Journal des Voies de Communication", I (1826), pág. 46.

Neva se divide en varios ramales, de los cuales los más importantes son el Gran Neva (Malaja Newa), el Pequeño Neva (Bolshaja Newa) y el Nevka. El puente de San Isaac atraviesa el Gran Neva, para comunicar el muelle de los Ingleses con la isla Vasiliewskaja. Su construcción fue confiada a Betancourt, probablemente en 1820*. Se componía de dos poderosos estribos de piedras y del puente de madera, que descansaba sobre quince barcazas, con un puente levadizo, para permitir el paso de las embarcaciones que seguían la corriente del río.

La principal dificultad que se presentaba en este caso, para el constructor, era la condición esencial de la corriente del Neva, cuyo caudal varía mucho entre el verano y el invierno. Al subir en invierno y durante la primavera el nivel de las aguas, también suben al mismo tiempo las barcas, y ejercen sobre el tablado del puente una presión de abajo para arriba, que presenta un verdadero peligro para la solidez de la fábrica. Por esta misma razón, no se había podido establecer, hasta entonces, ningún puente de barcas sobre el río, siendo considerado el de San Isaac como una experiencia destinada a probar si tales construcciones eran posibles sobre un río como el Neva.

Para evitar el riesgo de la presión ejercitada por las crecidas del río, Betancourt adoptó el sistema de acoplar elásticamente los tirantes, por medio de cuerdas fuertes y bien apretadas, que dejaban cierto juego al conjunto y permitían al entablado el seguir el movimiento vertical de las barcas, sin perjudicar la solidez de la construcción. Este puente, de innegable vistosidad y de hermosa concepción arquitectónica, es un nuevo éxito de los cálculos del ingeniero español. Sin embargo, presenta el defecto de todos los puentes de barcas, y con el tiempo tuvo que ser sacrificado, para responder mejor a las exigencias, cada día mayo-

* Es lo que resulta de la publicación del album. *Plans, profils, vues perspectives et détails du pont de bateaux de Saint-Isaac, exécuté sur la Grande Néva, à Saint-Petersbourg, en 1820, d'après les projets de Son Excellence M. le lieutenant-général Augustin de Béthancourt, directeur général des Voies de communication*, San Petersburgo, sin fecha. Es de notar que en la carta escrita a su hermano, desde San Petersburgo, a 15 de septiembre de 1814, Betancourt decía: "He construido varios puentes de madera; y te envío el plano que yo he dibujado a la pluma del último, que acabo de ejecutar en esta ciudad". Como por la fecha este puente no puede ser confundido con el de San Isaac, resulta que Betancourt había construido por lo menos otro puente más, en la misma ciudad de San Petersburgo.

res, de la gran ciudad. Fue suprimido en 1851, y se le sustituyó por el actual puente Nicolás, construido en hierro y granito por el ingeniero general Kerbeds*.

Betancourt fue el autor de los planos de otros numerosos puentes rusos. Los de Ijora, de Peterhof y de Tula sólo los conocemos por sus nombres**. Sabemos por sus propias indicaciones que el de Kamennoi Ostrow fue construido por él en 1811, y que allí fue donde aplicó por primera vez su idea, que también hallamos aprovechada en el salón de ejercicios de Moscú, de separar los pies derechos y los puntales de los demás maderos con que vienen en contacto, por medio de revestimientos metálicos, para impedir la presión directa sobre la madera y los efectos de la compresibilidad de la misma. Por su mismo testimonio sabemos que el puente de Kamennoi Ostrow se componía de siete ojos, siendo el mayor el de en medio, con una luz de 84 pies, o sea 25,62 metros***.

El biógrafo ruso de Betancourt aclara, además, que todos estos puentes “certifican las ventajas de su sistema. Los pilotajes horadados y ligeros que empleó en lugar de los pilares macizos, en uso hasta entonces, demuestran que, al presentar menos obstáculos al golpe de la corriente y del hielo, le oponen una resistencia más eficaz”****. Y añade que esta primera experiencia sirvió de prueba de que se podía pensar en instalar un puente permanente sobre el Neva; de modo que se debe inferir que el puente de San Isaac le había sido encargado, gracias al éxito obtenido por los nuevos procedimientos aplicados en la construcción de Kamennoi Ostrow.

En el álbum en que Betancourt ha recogido los varios aspectos y las indicaciones técnicas más importantes referentes al puente de San Isaac, figuran también otros puentes, de menor importancia, construidos por él: el puente de Babina, sobre el río Rauna, a 160 verstas de San Petersburgo, puente de madera de un solo ojo; otro puente de tres ojos, y de madera, sobre pilares de piedra, en Lubani, con los trabajos de canalización del río Tigoda, a

* BAEDEKER. *Russie*, pág. 105.

** “Journal des Voies de Communication”, I (1826), pág. 41.

*** BETANCOURT. *Description de la salle d'exercice de Moscou*, San Petersburgo 1819.

**** “Journal des Voies de Communication”, I (1826), pág. 41-42.

unas 85 verstas de la capital; otro puente de madera en Tchudina, sobre el río Kerest, a 114 verstas; y el último en Holopje Polesti, a 123 verstas (se sabe que una versta equivale a 1.067 metros). Todos estos puentes están en la carretera que conduce de San Petersburgo a Moscú; de modo que es de suponer que la construcción, o mejor dicho los trabajos de refección de esta carretera también fueron ejecutados bajo la dirección de Betancourt; tanto más, que una vista perspectiva de esta misma carretera figura también en el álbum que acabamos de mencionar.

En fin, parece que Betancourt debía hacerse cargo también de la reconstrucción de la célebre catedral de San Isaac, en la ciudad de San Petersburgo. En efecto, su biógrafo ruso afirma que "el Emperador había manifestado el deseo de dar una forma más pura y un revestimiento más homogéneo a la iglesia de San Isaac, empezado bajo el reinado de la emperatriz Catalina y terminado en tiempos del Emperador Pablo I. El general de Betancourt sometió a Su Majestad Imperial varios planos, entre los que se escogió uno, y el trabajo empezó. El general había comprendido desde el principio que la concepción de conjunto de un monumento de esta clase no podía ser el resultado de una inspiración de golpe: apoyándose en su experiencia y guiado por su genio, se sentía capacitado para introducir, con el correr del tiempo, las modificaciones que aconsejaran los lugares y las leyes de la mecánica. Pero la Providencia, que había señalado ya el término de su vida, no le dio tiempo para proseguir esta inmensa empresa"*.

En realidad, la iglesia de San Isaac había sido mandada construir por Pedro el Grande, en 1710; pero aquel primer edificio era de madera, y había quedado enteramente consumido por el voraz incendio de 1735. Se había empezado a reconstruir en mármol, por orden de Catalina II, y Pablo I la había terminado, no sin cierta precipitación. La primera piedra de la nueva construcción fue colocada por el czar Alejandro I, el 26 de junio de 1819; según se puede deducir de esta fecha y de lo que precede, los planos que se observaron al principio de esta reedificación fueron los de Betancourt. Sin embargo, por fallecimiento de éste, mucho antes de que la fábrica de la catedral llegase a tomar un giro definitivo, los trabajos fueron confiados al arquitecto francés Ricard de

* *Ibidem*, pág. 47.

Montferrand*, quien terminó el templo en 1858, después de haberse gastado en su construcción unos 23 millones de rublos.

Es de suponer que Ricard habrá aprovechado las obras verificadas ya en conformidad con los criterios de Betancourt. Pero incluso así, la parte de éste en la construcción, tal como resultó definitivamente, debe ser mínima. No es ninguna pérdida, para la reputación de constructor de Betancourt: la catedral de San Isaac es un edificio en que se ha buscado hacer alarde de riqueza y de profusión de materiales nobles, pero en donde el carácter artístico es particularmente débil y prácticamente sin interés**. Las obras que antes hemos venido enumerando, menos llamativas sin duda, bastan ampliamente para sentar el mérito de creador de Betancourt en los distintos géneros de construcciones en que le cupo intervenir, y en donde aportó, como en todas partes, soluciones nuevas e ingeniosas, en evidente progreso sobre las concepciones corrientes en su tiempo.

* BAEDEKER. *Russie*, pág. 102; cf. la larga descripción de la catedral, en THEOPHILE GAUTIER. *Voyage en Russie*, París 1912, pág. 190-241.

** Cf. RICHARD S. BOURKE. *St Petersburg and Moscow, a visit*, Londres 1846, vol. I, pág. 97: "The Russian churches are far inferior in size and beauty to similar buildings in the rest of Europa, and the church of St Isaak, although a magnificent but as yet an unfurnished structure, is not what we should suppose the metropolitan cathedral of the Greek religion ought to be".

CONCLUSION

Si se trata de resumir lo que hasta aquí hemos venido exponiendo, y de formar un juicio de conjunto sobre las actividades de Don Agustín de Betancourt, hay que aclarar desde el principio que estas actividades no son meramente científicas. Si se considera la ciencia como una suma de conocimientos razonados y ordenados según un método o con arreglo a un principio, nada más ajeno que la ciencia pura, para un investigador como Betancourt. El mismo se ha tomado la molestia de aclarar sus concepciones sobre este particular, al declarar en uno de sus escritos: "Cuando las ciencias no tienen más objeto que el de lucir el genio del que las cultiva, y cuando no tienen aplicación para la vida práctica, se puede decir que su utilidad es muy limitada"*.

Los afanes de Betancourt van siempre más lejos que esta "utilidad limitada"; aunque, para decir la verdad, resulta difícil, en un caso como este, decidir si ello significa ir más lejos, o que darse más cerca de la realidad. El hecho es que para Betancourt la ciencia pura no es más que un instrumento, y que el conocimiento está siempre al servicio del progreso. Idea digna, por cierto, del siglo en que vivió y que se había agarrado firmemente a la religión del progreso; digna también de un hombre tal como él era, y perfectamente consonante con su preparación y con sus méritos.

Ello no quiere decir, ni mucho menos, que Betancourt desprecia la ciencia. Al contrario, esta última será siempre un instrumento no sólo útil, sino imprescindible, para obtener los resultados que la técnica anhela. Betancourt desprecia la invención

* A. DE BETANCOURT. *Mémoire sur la force expansive de la vapeur d'eau*, pág. 1.

casual, el acierto producido sin la intervención del cálculo y sin la garantía de los números o de los principios de aplicación universal. La ciencia no es más que un instrumento, sin el cual la técnica no puede vivir: "Si las artes no se guían por otras reglas más que una práctica y una rutina ciegas, cada caso particular requiere nuevos tanteos, que obligan a gastos y a pérdidas de tiempo inútiles, sin proporcionar resultados susceptibles de aclarar los principios y de hacer posibles otros ensayos"*. Esta idea de la perfecta y necesaria unión de la ciencia con la técnica, es bastante nueva, aunque no enteramente original; felizmente, vino a coincidir con las propias condiciones de Betancourt, y con lo que, de este modo, pudo hacer él mismo para lograr esta unión.

Así, pues, el primer mérito de Betancourt, o por lo menos la primera característica de sus actividades, es su intención marcadamente práctica, su desprecio para la especulación gratuita, su ansia de conseguir, a base de la teoría y del cálculo, resultados y aplicaciones utilitarias, y de servir con la ciencia el progreso y el bienestar de la humanidad. Su segunda característica parece ser la reunión en su persona de todas aquellas dotes, que pueden allanar el camino al inventor, y facilitarle el éxito. En primer lugar, es cierto que poseía una gran capacidad de imaginación, pero de aquella imaginación muy particular de los inventores, que, en lugar de asociar ideas, asocian efectos mecánicos e intenciones, y construyen a base de cálculos mentales, un poco al revés, partiendo de lo que quieren conseguir, para llegar al modo de lograrlo. Esta imaginación de un tipo particular es evidente en la fertilidad de sus actividades inventoras, en la multiplicidad de las soluciones en que piensa a veces para el mismo problema, en la ingeniosidad y la elegancia de sus procedimientos, que alguna vez sorprenden agradablemente, si no por su absoluta novedad, por lo menos por su aplicación inesperada y perfectamente estudiada en cada uno de sus detalles.

Pero esta ingeniosidad natural y esta espontaneidad son, como acabamos de ver, dotes en que Betancourt no parece fiarse mucho. El empirismo, para él, no tiene nada que ver con la técnica, que depende exclusivamente de los cálculos y de los principios. Es, por consiguiente, otro mérito más de Betancourt, el

* *Ibidem*, pág. 1.

haber empezado con adquirir una sólida preparación científica, sin duda bastante más fuerte de la que necesitaba en realidad, para solucionar la mayor parte de los problemas con que tuvo que enfrentarse. Así es como lo vemos algunas veces, y más particularmente en el caso de la esclusa, proceder por ambos métodos a la vez, experimentar su invento y calcularlo al mismo tiempo. En todos sus inventos, la ciencia se asocia inseparablemente con la invención, bien para generalizar sus conclusiones y transformar en principios los resultados del tanteo a ciegas, o para servirse de los números con el fin de hallar por su medio la fórmula exacta del equilibrio de fuerzas que después va a traducir en efectos mecánicos y en órganos de máquina.

Para llegar a este último resultado, Betancourt poseía también un don que no es menos preciso para un ingeniero y para un inventor, y que es un dibujo ágil y firme, preciso en todos sus detalles, intérprete fiel y rápido de sus pensamientos; de modo que, a base de sus planos y dibujos, cualquier oficial de mediana preparación puede transformar en realidad la máquina que él sólo ha visto en la imaginación. Y también poseía otra cualidad, que es su laboriosidad, y lo que hoy llamaríamos su conciencia profesional, su incansable actividad, guiada por una curiosidad igualmente incansable y por una facultad que se hace cada vez más rara, el puro placer de trabajar.

El amor al trabajo considerado como juego y como creación, es quizá la explicación más acertada de sus éxitos como técnico y como constructor. Como en la época lejana de su infancia, en que sus juegos eran actividades técnicas apenas disimuladas por su gratuidad, Betancourt conserva toda su vida su afición para el taller y para el trabajo mecánico hecho con sus propias manos. Después de haber imaginado, el inventor dibuja y traza los planos de su invento; y, no contento con esta representación esquemática de su pensamiento, no vacila en pasar al taller, donde funde, amuelda, corta, ensambla él mismo. Como dice su biógrafo, "las ciencias no habían sido solas en ocupar su espíritu: todos los oficios mecánicos le eran familiares. Habiendo seguido al mismo tiempo el camino de la práctica y el de la teoría, poseía, en el ejercicio de las profesiones, una habilidad que a menudo le hacía vencer a los más diestros operarios. Podía colaborar indiferentemente con el relojero más ingenioso y con el más simple herrero; con el cin-

celador de más talento y con el más rústico carpintero. Maniobrando todos los útiles con igual deteridad, inventaba a los que le hacían falta, para dar cuerpo a sus concepciones, y aumentaba así, cada día, el terreno de la tecnología.

“Con cualquier persona que venía para consultarle profundizaba el trabajo técnico hasta sus últimos detalles, ayudaba con sus propias manos, expresaba sus ideas por medio de explicaciones y de dibujos que no dejaban nada que desear. Cualquier persona que le solicitaba, recibía de él explicaciones precisas que le permitían prever el resultado de su empresa, y decidir así, tranquilamente, si había que proseguirla o abandonarla”*.

Desgraciadamente, la época en que hubo de vivir no era de las más apropiadas, para permitir toda la cosecha que se podía esperar de tan evidentes inclinaciones y de una tan sólida preparación. La situación interna de España cortó brutalmente una espléndida actividad creadora. Su posición de extranjero no le permitió hallar en Francia un campo de actividad tan despejado como parece habérselo deseado, y que lo hubiese mantenido en medio de sus ocupaciones de siempre, así como de sus amigos y de sus colaboradores. En Rusia, en fin, donde tuvo que buscar refugio, su incansable actividad dio eminentes resultados, pero quizá al lado de lo que él mismo hubiese preferido hacer.

Pero la actividad de un hombre no se juzga por sus fracasos. Un juicio de esta clase sería tanto más injusto en este caso, cuanto que vemos que, si los resultados obtenidos por Betancourt no fueron siempre a medida de sus méritos y de sus posibilidades, la culpa no ha sido suya, sino de las circunstancias que no dependían de él.

Así y todo, dentro de estas mismas dificultades, su carrera de ingeniero y de inventor fue un continuado triunfo. Había llegado a Madrid como modesto estudiante, que nunca había abandonado, hasta entonces, su rincón canario; y en pocos años llegó a ganar la confianza de su rey y de los ministros, a conseguir créditos prácticamente ilimitados para los grandes trabajos que dirigió en más de un ramo de las obras públicas, a ofrecer a su país el primer museo técnico del mundo y una de las primeras y quizás la mejor red telegráfica de aquellos tiempos. En Francia, hubo de codearse con los más ilustres representantes de la

* “Journal des Voies de Communication”, I (1826), p. 46-47.

ciencia de su época, tratándolos como a iguales, cambiando ideas y colaborando con ellos, e hizo admitir con aplauso, por la más ilustre corporación científica del mundo, alguno de sus mejores descubrimientos.

Evidentemente, su nombre ha sido tratado con notoria injusticia por la historia de las ciencias, ya que no figura en ninguno de los acostumbrados manuales de esta disciplina. Pero es que se trata de una disciplina nueva, que no ha colocado aún a cada uno en el lugar que le corresponde; y se trata también de una época ingrata, como la que él mismo vivió, y que no ha conservado, por lo menos en España, casi ninguna de sus obras.

Sin embargo, Betancourt dejaba detrás de sí una doble herencia. Por su parte, tanto en España como en Rusia, una generación de ingenieros formados por él, en escuelas concebidas por él y según planes y normas de enseñanza ideados por él, son los continuadores conscientes o inconscientes de sus obras y de sus ideas, y forman la base de todo cuanto se ha adelantado desde entonces, en ambos países, en los numerosos campos de la técnica en que el mismo Betancourt había intervenido. Por otro lado, sus inventos, sus experimentos y sus estudios han suscitado, a través del mundo civilizado, un interés suficiente, para no situar sus actividades sobre una vía muerta de la ciencia y de la técnica.

Sus trabajos han sido continuados, imitados, mejorados, completados, que es lo mejor que puede ocurrir con un trabajo científico. Todos ellos se inscriben de este modo en esta evolución de la ciencia o, por emplear una palabra más de su gusto y de su tiempo, en este progreso de los conocimientos humanos, en que el nombre de Betancourt es un eslabón necesario.

Es cierto, en efecto, que sin este nombre la historia de la técnica europea alrededor de 1800 no sería completa. La mejor prueba de ello es que, en 1900, al formarse en París un Museo centenario de la Mecánica francesa, Agustín de Betancourt fue el único extranjero admitido en el Museo, "por extensión", es decir, en consideración a la circunstancia que había trabajado mucho en Francia. Pero esta misma circunstancia se da en muchos otros técnicos extranjeros, ninguno de los cuales obtuvo entrada en aquel museo. En realidad, aquella "extensión" se hacía necesaria, por-

* EM. EUDE. *Histoire documentaire de la mécanique française*, pág. 314.

que al faltar el nombre de los trabajos de Don Agustín de Betancourt, hijo de Canarias adoptado por la ciencia internacional, hubieran debido faltar los primeros eslabones, por lo menos desde el punto de vista francés, de especialidades tan importantes como la máquina de vapor, el estudio científico de la elasticidad del vapor, el telégrafo o la esclusa, que deben tanto a su intervención.

BIBLIOGRAFIA

DE LAS OBRAS DE AGUSTIN DE BETANCOURT

1.º *Obras Impresas*

~~1.º~~ Ejercicios de matemáticas que han de tener en los Estudios Reales de esta Corte D. Agustín de Betancourt y Molina, teniente del regimiento de La Orotava en la isla de Tenerife, y D. Carlos Viola y Benavente, Día 4 de julio, a las 4 de la tarde. Presidiéndoles D. Vicente Durán y Sacristán, catedrático de Matemáticas en los mismos Reales Estudios. Madrid, Joaquín Ibarra 1179. 4.º, 16 pág.

~~2.º~~ Ejercicio de matemáticas que ha de tener en los Estudios Reales de esta Corte. D. Agustín de Betancourt y Molina, teniente del Regimiento de La Orotava, en la isla de Tenerife. Día 9 de julio, a las 10 de la mañana, presidiéndole D. Antonio Rosell Viciano, catedrático de Matemáticas en los mismos Reales Estudios. Madrid, Joaquín Ibarra 1780. 4.º, 42 pág.

~~3.º~~ Mémoire sur la force expansive de la vapeur de l'eau. Lu à l'Academie Royale des Sciences, par M. de Bétancourt. Paris, Laurent (1790). 4.º, IX-38 pág., con 3 cuadros sinópticos y 2 grabados.

4.º Description of the plate of the machine for cutting weeds in navigable canals and rivers.—En "Transactions of the Society instituted at London for the Encouragement of Arts, Manufactures and Commerce", XIV (1796), pág. 316-23, con una lámina.

5.º Description d'une machine à couper les roseaux et les autres plantes aquatiques qui obstruent beaucoup de canaux et de rivières navigables.—En "Annales des Arts et des Manufactures", V (1800-1), pág. 215-24, con una lámina (es traducción del número anterior).

6.º Al Excmo. Señor Príncipe de la Paz, protector de las Artes, dedica esta máquina para cortar las yervas de los ríos y canales navegables, premiada por la Sociedad de Artes, Manufacturas y Comercio de Londres, su inventor. Agustín de Betancourt. Lámina en folio mayor, sin fecha, pero alrededor de 1800.

~~7.º~~ École Impériale Polytechnique. Programme du cours élémentaire des machines, pour l'an 1808, par M. Hachette. Essai sur la composition des machines, par MM. Lanz et Bétancourt. Paris, Imprimerie Impériale 1808. 4.º, XVI-120 pág. y una lámina.

~~8.º~~ Essai sur la composition des machines. Par MM. Lanz et Bétancourt. Seconde édition, revue, corrigée et considérablement augmentée. Paris, Bachelier 1819. 4.º, VI-184 pág. y 13 láminas (es reedición del número anterior).

~~9.º~~ Essai sur la composition des machines. Par MM. Lanz et Bétancourt. Troisième édition, revue, corrigée et augmentée. Paris, Bachelier 1840. 4.º, IV-208 pág. y 12 láminas.

~~10.º~~ Mémoire sur un nouveau système de navigation intérieure, présenté à l'Institut National de France, par M. de Bétancourt, chevalier de l'ordre de St-Iago, inspecteur général des canaux et grandes routes des royaumes d'Espagne. (Sin lugar ni fecha). 4.º, 46 pág. y 4 láminas (es separata de: PIERRE-CARLES LÉPAGE, Deuxième recueil de divers mémoires extraits de la Bibliothèque des Ponts et Chaussées, à l'usage des élèves-ingénieurs. Paris 1808).

~~11.º~~ Description de la salle d'exercice de Moscou. Par Mr. de Bétancourt, lieutenant-général au service de S. M. Impériale, directeur général des Voies de Communication, chevalier de l'ordre de St. Alexandre, de Santiago d'Espagne, Membre correspondant

de l'Académie Royale des Sciences de Paris, etc., etc. St. Pétersbourg 1819. Fol. mayor, 12 pág. y 9 láminas.

~~11.º~~ Plans, profils, vues perspectives et détails du pont de bateaux de Saint-Isaac, exécuté sur la Grande Néva à St. Pétersbourg, en 1820, d'après les projets de Son Excellence Mr. le lieutenant-général Agustín de Bétancourt, directeur-général des Voies de Communications, publiés par G. de Traitteur, colonel du corps des Ingénieurs des Voies de Comuunications, chevalier de plusieurs ordres. San Petersburgo, Alexandre Pluchart (1820). Folio mayor, 8 láminas (contiene además 10 láminas añadidas, de formato algo menor, representando vistas de la carretera de San Petersburgo a Moscú).

2.º Obras manuscritas

~~13.º~~ Primera memoria sobre las aguas existentes en las Reales Minas del Almadén, en el mes de julio de 1783, y sobre las máquinas y demás concerniente a su extracción. Fol., 15 ff. y 2 láminas.

Ms. autógrafo. Madrid, Biblioteca Nacional, Ms. 10427.

~~14.º~~ Segunda memoria, sobre las máquinas que usan en las minas del Almadén, en que se expresan sus ventajas y defectos, y algunos medios de remediarlos. Fol., 17 ff. y 3 láminas.

Ms. autógrafo, Madrid, Biblioteca Nacional, Ms. 10428.

~~15.º~~ Tercera memoria, sobre las operaciones que se hacen dentro del cerco en que están los hornos de fundición del Almadén. Fol., 33 ff. y 3 láminas.

Ms. autógrafo. Madrid, Biblioteca Nacional, Ms. 10429.

16.º Dessin de la machine pour faire monter et descendre les bateaux d'un canal inférieur à un supérieur et réciproquement, sur deux plans inclinés, exécutée en Angleterre, dans le comté de Shropshire, sur le bord de la rivière de Severn, près du pont de fer à Coalsbrookdale, à 4 lieues environ à l'Ouest de Shefnal. Levé et dessiné sur les lieux par M. de Bétancourt, ingé-

nieur espagnol. Fol., 2 ff. y una lámina de gran formato (alrededor de 50 x 100 cm).

Autógrafo. París, Biblioteca de la École des Ponts et Chaussées, Mr. 1558.

17.º Plan d'un moulin à broyer la silex, applicable aux manufactures de fayance et projeté pour être exécuté sur la rivière Severn, à Coalsbrokdale, entre les emplacements où se trouvent l'écluse à plan incliné et le pont de fer. Par Bettancour. Fol., 2 ff. y un a lámina de gran formato (alrededor de 60x80 cm).

Autógrafo. París, Biblioteca de la École des Ponts et Chaussées, Ms. 108.

18.º Mémoire sur une machine a vapeur à double effet. Fol., 11-3 ff. y 6 láminas.

Ms. autógrafo. París, Biblioteca de la École des Ponts et Chaussées, Ms. 1258.

19.º Mémoire sur un nouveau télégraphe et quelques idées sur la langue télégraphique. Fol., 26 pág. y 3 láminas.

Ms. autógrafo (en colaboración con Bréguet). París, Biblioteca de la École des Ponts et Chaussées, Ms. 826.

20.º Réponse aux observations faites par le citoyen Chappe sur le télégraphe proposé au Directoires par les C. Bréguet et Bétancourt, Fol., 8 pág.

Copia, con firmas autógrafas de ambos autores. París, Biblioteca de la École des Ponts et Chaussées, Ms. 1806.

21.º Explication d'une machine à curer les ports de mer. Fol., 4-15 ff. y 8 láminas.

Autógrafo. París, Biblioteca de la École des Ponts et Chaussées, Ms. 704.

INDICE DE ILUSTRACIONES

1. Agustín de Betancourt 9
("Zhurnal poutey soobstchenija", 1926).
2. Máquina para hilar seda (1778) 32
(S. PADRON ACOSTA. *El ingeniero Agustín de Béthencourt*, La Laguna 1958, pág. 21).
3. Gaspard-Clair-François Riche, baron de Prony 33
(Oleo en la Escuela de Puentes y Calzadas de París).
4. Minas del Almadén (1783):
1. Conjunto de tres bombas de extracción. 2. Ex- 40
tracción del agua con zacas
(Dibujo y aguada por Agustín de Béthencourt. Biblio-
teca Nacional de Madrid, Mss. 10427-10429).
5. Minas del Almadén (1783):
Accesorios de la extracción. 1-3. Máquina de tam-
bor. 4. Torno de doble cuerda. 5-6. Carros pequeños
de transporte. 7. Carro blindado. 8. Engarabatador. 40
(Ibidem).
6. Minas del Almadén (1783):
1. Torno para bajar la madera. 2. Torno con plano
inclinado. 3. Cuba con rodillos, para el plano in-
clinado. 4. Cuba. 5-6. Torno provisto con freno (pers-
pectiva y corte vertical). 40
(Ibidem).
7. Minas del Almadén (1783):
Recinto de los hornos de fundición 41
(Ibidem).
8. Minas del Almadén (1783):
Hornos para la fundición del mineral. 1. Plano.
-2. Corte longitudinal. 3. Fachada. 4. Corte trans-
versal. 5. Perspectiva. 48
(Ibidem).

9.	Minas del Almadén (1783): Empaque del azogue. (Ibidem).	41
10.	El telégrafo óptico de Betancourt y Bréguet (1797): 1. Visto de frente. 2. Visto de perfil. (Dibujos de Agustín de Betancourt, Escuela de Puentes y Calzadas de París).	64
11.	El telégrafo óptico (1797): (Grabado del dibujo anterior. EYMAR. <i>Lettres sur un nouveau télégraphe</i> , París 1797).	65
12.	El telégrafo óptico (1797): 3. Corte longitudinal. 4. Corte horizontal. (Dibujo de Agustín de Betancourt).	80
13.	El telégrafo óptico (1797): 5. Angulos de observación. 6-7. Mecanismo corrector de los efectos de la observación oblicua. 8-9. Llaves del sistema de señales (Dibujo de Agustín de Betancourt).	81
14.	Máquina de vapor de doble efecto: Vista general (Dibujo de Agustín de Betancourt. Biblioteca de la Escuela de Puentes y Calzadas de París).	96
15.	Máquina de vapor de doble efecto: 1. Vista de frente. 2. Vista de perfil. (Ibidem).	97
16.	Paralelogramo de la máquina de vapor de doble efecto. (Ibidem).	112
17.	Representación gráfica del movimiento del parale- logramo. (Ibidem).	113
18.	Acoplamiento de la palanca del pistón con el balancín (LANZ y BETANCOURT. <i>Essai sur la composition des machines</i> , París 1808).	113
19.	Distribución del vapor en la máquina de Watt. (PRONY. <i>Nouvelle architecture Hydraulique</i> , París 1790).	113
20.	Distribución del vapor en la máquina de Betancourt (BETANCOURT. <i>Mémoire sur la force expansive de la vapeur d'eau</i> , París 1790).	113
21.	Experiencia sobre la fuerza elástica del vapor (1790). ("Transactions of the Society for the Encouragement of Arts", 1796).	120
22.	Máquina de cortar hierbas (1796). (Dibujo de Agustín de Betancourt, Biblioteca de la Escuela de Puentes y Calzadas de París).	120

23.	Draga (1808): I. Plano de conjunto (Ibidem).	120
24.	Draga (1808): II. Corte longitudinal. (Ibidem).	121
25.	Draga (1808): III. Máquina de dragar, corte longitudinal. (Ibidem).	128
26.	Draga (1808): IV. Máquina de dragar, corte transversal. (Ibidem).	129
27.	Draga (1808): V. Organos de la máquina de vapor. 1-2. Articulación de la palanca con el balancín. 3. Surtidor, fondo. 4. Surtidor, corte vertical. (Ibidem).	136
28.	Draga (1808): VI. Mecanismo de la transmisión. (Ibidem).	136
29.	Draga (1808): VII. Mecanismo de la extracción: 1-2. Cucharas. 3-4. Soporte inferior de las cadenas. 5. Cucharas, de perfil. (Ibidem).	136
30.	Mecanismo de transmisión en la draga de San Petersburgo. (LANZ y BETANCOURT. <i>Essai sur la composition des machines</i> , París 1808).	137
31.	Esclusa de émbolo buzo (1808). (BETANCOURT. <i>Mémoire sur un nouveau système de navigation intérieure</i> , París 1808).	144
32.	Esclusa de émbolo buzo (1808): 1. Plano. 2. Corte vertical. -3. Vista hacia la compuerta de arriba. -4. Vista hacia la compuerta de abajo. (Ibidem).	144
33.	Esclusa de émbolo buzo (1808): 4-5. Esclusa superior, con los molinetes. 6. Puerta de abajo, con arbotante. 7-8. Contrapeso. 9. Par de ruedas dentadas desiguales. 10. Rueda dentada. (Ibidem).	144
34.	Exclusa de émbolo buzo (1808): Aplicación al plano inclinado. (Ibidem).	145

35.	Válvula con flotador. (BORGNIÉ. <i>Traité de mécanique</i> , París 1819, pág. 140).	160
36.	Máquina de doble cuna. (LANZ y BETANCOURT. <i>Essai sur la composition des machines</i> , París 1808).	160
37.	Máquina para subir el agua. (Ibidem).	160
38.	Sala de ejercicios de Moscú (1817). (LYELL. <i>The charecter of the Russians</i> , Londres 1823, p. 335).	160
39.	Sala de ejercicios de Moscú (1817): Vista perspectiva. (BETANCOURT. <i>Description de la salle d'exercices de de Moscou</i> , San Petersburgo 1819).	160
40.	Sala de ejercicios de Moscú (1817): Detalle de la fachada. (Ibidem).	160
41.	Sala de ejercicios de Moscú (1817): Vista interior. (Ibidem).	161
42.	Sala de ejercicios de Moscú (1817): Alzado. (Ibidem).	168
43.	Sala de ejercicios de Moscú (1817): Alzado de la armazón de la techumbre. (Ibidem).	168
44.	Sala de ejercicios de Moscú (1817): Detalle de la armazón. (Ibidem).	168
45.	Puente sobre la Neva, en San Petesburgo: Perspectiva. (Ibidem).	169
46.	Puente sobre el Neva, en San Petersburgo: Fábrica de los estribos. (Ibidem).	176
47.	Puente sobre el Neva, en San Petersburgo: Plano y alzado. (Ibidem).	176
48.	Puente de Lubani (Ibidem).	176
49.	Puente de Babina. (Ibidem).	177

S U M A R I O

I	Vida y Trabajos	9
II	Las Minas	36
III	El Telégrafo eléctrico	47
IV	El Telégrafo óptico	65
V	La Máquina de vapor	94
VI	La fuerza elástica del vapor	117
VII	Las dragas	127
VIII	La esclusa	144
IX	Otros trabajos	157
X	Construcciones	171
	Conclusión	185
	Bibliografía	191
	Indice de ilustraciones	195

Precio: 100 Ptas.