

José Fernández González
Abelardo Cabrera González
José Antonio Curbelo Cruz

AGUSTÍN DE BETANCOURT
EN LA HISTORIA DE LA CIENCIA

AGUSTÍN DE BETANCOURT EN LA HISTORIA DE LA CIENCIA
© José Fernández González, Abelardo Cabrera González, José Antonio Curbelo Cruz

Edita: IES Agustín de Bethencourt

Subvencionado por:
Dirección General de Formación Profesional y Educación de Aultos
de la Consejería de Educación del Gobierno de Canarias

Puerto de la Cruz
marzo de 2006

Maquetación y Portada; ymanera.com
Imprime: Litografía Trujillo
Depósito Legal: TF-301-2006
ISBN: #####

José Fernández González
Abelardo Cabrera González
José Antonio Curbelo Cruz

AGUSTÍN DE BETANCOURT
EN LA HISTORIA DE LA CIENCIA



I.E.S. AGUSTÍN DE BETHENCOURT
PUERTO DE LA CRUZ

Índice

AGRADECIMIENTOS	7
PRESENTACIÓN	8
PRESENTACIÓN	10
INTRODUCCIÓN	13
I. JUVENTUD Y ETAPA CANARIA	15
Primer Invento	17
II. ETAPA ESPAÑOLA	19
Minas	19
III. ETAPA FRANCESA	22
Publicación Invención	22
Real Gabinete de Máquinas	23
Invencciones.....	23
Invención reproducción	24
Invencciones, innovación.....	30
Planos.....	30
Publicación.....	30
Trabajo e investigación	31
Publicaciones	33
Publicación	33
IV. SEGUNDA ETAPA ESPAÑOLA	34
Fundación del Real Gabinete de máquinas.....	34
Primicia	37
Fábrica.....	39
Inventos.....	40
<i>Telégrafo Óptico</i>	41
<i>Prensa Hidráulica</i>	47
<i>Válvula de flotador</i>	47
<i>Máquina de doble cuña</i>	48

Publicación invento	48
Publicación	53
Invencción.....	55
V. ETAPA RUSA	58
Instituto.....	59
Publicación	59
Fábrica de armas.....	61
Draga de Kronstad	61
Excavadora	61
Puente Kámennoi Ostrov.....	61
Fábrica de moneda.....	62
Comité de Construcciones y Obras Hidráulicas.....	63
Catedral de San Isaac	63
Picadero de Moscú	64
Director general del Imperio	66
Escuelas profesionales.....	66
Red de carreteras	66
Ferrocarril y acueducto	66
Máquina, fábrica de hilado. Fábrica de cañones.....	66
Feria.....	66
Fábrica de Moneda de Varsovia.....	69
Puente de San Isaac.....	69
Viajes por Rusia.....	70
VI. FINAL DE SU VIDA.....	73
Revista científica.....	75
Aportación histórica	76
BIBLIOGRAFÍA.....	78
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	79
LOS AUTORES	80

Agradecimientos

Los autores quieren dejar constancia de que esta pequeña biografía, en forma de libro, no pretende ser una investigación de la vida o de la obra del destacado científico Agustín de Bethencourt, sino mostrar unas pinceladas de los elementos más llamativos para nuestros alumnos, con la intención de que se sintieran autores de parte de la vida del centro en el que estudian, sirviendo esto de indicador de una posible estrategia motivadora. La ejecución práctica se llevó a cabo con los estudiantes de Bachillerato del curso académico 84/85. Nuestros aavales y fuentes de apoyo y consulta figuran en la bibliografía, para estudiosos interesados en el tema.

Merece mención especial nuestro agradecimiento a la Dirección General de Promoción Educativa por la financiación del proyecto (1984); a la Dirección General de Formación Profesional y Educación de Adultos, por sufragar la edición (2006); a nuestros alumnos de manera muy destacada, y de una forma muy especial, al profesor D. Rafael Jerez Hernández, director del I.E.S. Agustín Bethencourt, que con motivo del 50 Aniversario ha impulsado el proyecto, mostrando ilusión, interés, optimismo, empuje y compañerismo, sin cuyas diligencias, este trabajo no hubiera salido a la luz.

Queremos agradecer también la colaboración prestada por todas aquellas personas que han hecho posible la edición de este pequeño libro.

Los Autores

Presentación

Presentación

En los últimos años se ha producido un cambio sustancial en la estructura del sistema educativo, lo que ha afectado de manera notoria a la enseñanza secundaria, así como al perfil del alumnado y a la docencia. Este, ha sido el campo donde los autores han asentado el trabajo y con esta publicación pretenden divulgar los resultados.

Para adentrarnos en el significado del trabajo, hemos de señalar que en el acontecer educativo las concepciones del docente determinan diversas formas de enseñar, reconocibles en el trabajo de aula.

En esta diversidad, hay elementos que permanecen en el tiempo, algunos de los cuales puede ser el desarrollo histórico de la Ciencia y la Tecnología, con las personas que protagonizan avances, y con las instalaciones y aparatos en desuso, urbanos, rurales y museísticos.

A todo ello, habría que añadir la vorágine terminológica y científica que rodea irremediablemente a nuestro quehacer como ciudadanos.

Dado que estos elementos, decisivos en el transcurso formativo del alumno, son los pilares que constituyen las directrices que guían a los autores de la presente publicación, con la intención de conjugar las distintas variables que intervienen en el escenario de la actuación como profesores y en el trabajo formativo de los alumnos.

Todo ello con el fin de conocer los personajes históricos locales en la Ciencia y la Tecnología, la arqueología industrial histórica local, y las empresas coetáneas que rodean al centro, responsables del desarrollo comercial tecnológico y científico.

Estas inquietudes avalaron la propuesta de un proyecto financiado por la Consejería de Educación del Gobierno de Canarias (Dirección General de Promoción Educativa y Re-

novación Pedagógica) en la convocatoria correspondiente de 1984, titulado “La Física y Química en el entorno del centro”, que tenía tres líneas paralelas.

La primera de ellas consistía en actualizar, difundir y vivenciar el papel de Agustín de Bethencourt y Molina (que da nombre al centro) en la historia de las Ciencias.

La segunda, pretendía conocer y diseñar unos itinerarios tecnológicos en el Puerto de la Cruz.

La tercera, se proponía rescatar la situación y funcionamiento científico-tecnológico de los “molinos de agua” de la Orotava así como las implicaciones en el desarrollo económico local, dado que el Puerto de la Cruz había sido el puerto de la Orotava.

En la publicación que nos ocupa, se ha rescatado el trabajo de alumnos y profesores del centro, en relación con la biografía del insigne científico Agustín de Bethencourt y Molina, con motivo del 50 ANIVERSARIO DEL “INSTITUTO DE ENSEÑANZA SECUNDARIA DEL PUERTO DE LA CRUZ, AGUSTÍN DE BETHENCOURT”.

Rafael Jerez
Director del IES Agustín de Bethencourt



*Retrato de D. Agustín de Betancourt y Molina
del Museo Municipal de Santa Cruz de Tenerife*

Introducción

No es muy conocida por los propios canarios la gran aportación que han hecho al desarrollo de la Humanidad algunos de sus compatriotas. Este es el caso de Agustín de Betancourt que forma parte de la pléyade de científicos que en el siglo XVIII dieron gran impulso a las Ciencias de la Naturaleza y Experimentales: matemáticas, física y química. Destaquemos a Lagrange, Laplace, Monge, Laviosier, Prony, Coulomb, D'Alambert, Diderot, James Watt, Carnot etc., y ya entre los hispanos a La Gasca, Rojas Clemente, Cavanillas, Mutis Sessi, Cornide, Parga y Puga, Gunlernat, Lanz, Elhuijar Munárriz, López Arroya, Salvá, Jorge Juan, Antonio Ulloa, y entre los canarios a José Clavijo Fajardo (Teguise 1726), Rafael Clavijo (Teguise 1757).

Un hijo ilustre de canarias, incansable trabajador por las ciencias, ingeniero e inventor destacado de todos los tiempos y países, una de las grandes figuras de la ciencia española y universal, llevó el fruto de su ingenio a España, Francia y Rusia. En la tierra de los zares descansan sus restos y aún se conservan muchas de sus obras.

Betancourt representa a la figura de un sabio, pero no como hombre elucubrador en un laboratorio con sus experiencias, sino que es un sabio de logros prácticos, un inventor de grandes avances en la Ciencia y del que el poder se aprovecha cuando le interesa para sus fines en perspectiva, por lo que aparece junto a grandes instituciones estatales como Reyes o Zares. Cuando no sigue los intereses de las instituciones es relegado, aunque él siempre buscó un nuevo cobijo.

Para los Ingenieros de Caminos la memoria de Don Agustín de Betancourt es inmortal, estando su retrato en el salón de actos de la Escuela de Madrid por cuanto significó para ésta. Aunque sus obras fueron trascendentales históricamente, dado el avance gigantesco de la técnica, hoy poco podría aprovecharse de sus invenciones y aportaciones prácticas, pero hay algo que transmite a las generaciones futuras como es el ejemplo de apertura de mentalidad hacia el estudio, el progreso sin fronteras y el espíritu inventivo.



*Retrato de D. Agustín de Betancourt y Molina del
Salón de Actos de la Escuela de Caminos, Canales y Puertos de Madrid (1)*

Ante la figura del ingeniero inventor y canario, con trascendencia universal y que rindió el máximo de sus conocimientos en Rusia, cabe hacer un paralelismo con los hombres relevantes de la ciencia española de nuestros días.

¿Es éste el problema eterno de la Ciencia en España?

Nuestro país ha contribuido con un conjunto de hombres de este tipo, con talante positivo e imaginación desbordante y cierto sentido utilitario y trascendente, pero en todos los casos ha sacado muy poco rendimiento de ellos, y es fuera del medio que los vio formarse donde ha sido fecundo su quehacer científico. La causa de este fenómeno es muy compleja y va relacionada con la propia idiosincracia de la sociedad española, de ayer y de hoy, de relegar la importancia del logro meramente científico sin utilidad inmediata y considerar al hombre de ciencia como un sabio especulativo y hermético o un hidalgo soñador, o son las mismas organizaciones encargadas de administrar la Ciencia que, salvo excepción, han funcionado de espaldas a la sociedad.

En todos los documentos, el apellido de nuestro ilustre personaje aparece como Bethencourt, (según sus antepasados franceses) o Betancourt, siendo este último la forma española del apellido y tal como firmaba la mayoría de las veces Don Agustín.

I. Juventud y etapa canaria

Cuando aún eran unos islotes salvajes bañados por las aguas del Atlántico, el francés Jean de Bethencourt (1360-1422) intentó la conquista, entre 1402 y 1417, de estas tierras denominadas Islas Canarias, erigiéndose rey del Archipiélago.

Después de varios años de conquista de las islas, éstas llegan a poder de Fernando, el Católico, pero los descendientes de sus primeros visitantes seguían viviendo aún en las islas, en Tenerife, en su vertiente norte y en uno de los valles más frondosos, el Valle de la Orotava, donde se reunieron las familias pudientes, los nobles y los comerciantes mas poderosos que avivaban el tráfico del Puerto de la Orotava.

La Orotava es el núcleo de esplendor cultural y comercial de la época en Canarias. En el Puerto de la Orotava, en un amplio caserón, situado frente a la plaza de la iglesia parroquial, vive una familia que posiblemente es descendiente de Jean de Bethencourt. Son el Teniente Coronel de Infantería Don Agustín de Betancourt y Castro (procedente de Las Palmas, donde nació el 7 de julio de 1720-1795) y Dña Leonor de Molina y Briones (natural de Garachico 1732-1808) y sus hijos.

En el seno de esta familia nace un niño el día 1 de Febrero de 1758 que fue bautizado, en la iglesia de Nuestra Señora de la Peña de Francia, con el nombre de Agustín José Pedro del Carmen Domingo de



Fachada de la casa donde nació (2)



1742	SE CONSTRUYE ESTA CASA
1758	Nace en ella el Ilustre Ingeniero, Caballero de la Orden Imperial Rusa, Agustín de Bothemcourt.
1850	Se conoce como " Casa de Baile y Teatro ".
1888	Se dedica desde entonces a la hostelería.
1908	Aparece por primera vez como Hotel Monopol.
1928	Pasa a ser regentada por Carlos y Bona Gleixner.
1960	Se amplía, respetando su estructura principal.
1968	La segunda generación de la familia toma las riendas.
1988	Centenario como hotel.
1998	La tercera generación se une a la dirección.
2008	75 años de la Familia Gleixner, estrechamente vinculada con el turismo y con Puerto de la Cruz.

Calle Quintana. Detalle actual de la fachada de la casa donde nació y placa en su honor (3)

Candelaria de Betancourt y Molina, y que es el segundo de los hijos del matrimonio. La fachada de la casa tiene una placa, en recuerdo del lugar de nacimiento y existe una calle con su nombre. En la plaza de la iglesia se erige un busto como tributo al insigne sabio, orgullo de la tierra que le vio nacer.

La distinguida familia ocupaba un lugar relevante en la vida social, cultural y religiosa. Su padre ocupó cargos impor-

tantes en las asociaciones religiosas del momento y formó parte de la famosa tertulia del Marqués de Villanueva del Prado, germen de las manifestaciones culturales de la Ilustración; así mismo intervino en la gestación de la Sociedad de Amigos del País, fundada en 1777 en La Laguna, conjuntamente con su amigo del Realejo Don José de Viera y Clavijo, quien refiere que el tres Junio de 1769 en compañía de Don Agustín y un grupo de relevantes amigos contemplan, desde una azotea del Puerto, el paso de Venus sobre el disco solar, fenómeno que fue ampliamente comentado y discutido por los pensadores del momento. El niño Agustín contaba aún once años, pero las vivencias del ambiente familiar y social, preocupado por estos fenómenos, indudablemente hicieron mella y atrajeron la curiosidad en la mente del futuro ingeniero.

El ambiente familiar era un auténtico semillero de profunda meditación. Sus hermanos fueron José, M^a del Carmen, Juan, M^a Magdalena, Pablo, Luisa, Catalina, M^a del Pilar (Condesa de la Vega Grande de Guadalupe en Las Palmas), Leonor y Marcos. José (1757-1816) es uno de los hombres más instruido de la isla; amigo de las artes, viaja por Europa siendo miembro de varias sociedades literarias extranjeras, posee una rica biblioteca y una gran colección de pinturas de Rubens, Vandyck, el Españoleto, Miranda y otros, consideradas únicas en la provincia. En la adquisición de la colección de óleos cooperó y contribuyó en gran parte su hermano Agustín. José escribía versos y prosa conociéndose varias obras: "Cultivo del moral", "Memoria sobre la introducción de la patata en Tenerife", "La imprenta y facilidad de establecimiento en Canarias", "Descripción de la caverna que se halla en la isla de Tenerife a una milla hacia el norte del lugar de Icod", "Apuntes sobre el modo menos costoso de establecer una imprenta en esta isla". Pablo fue



*Busto: al ingeniero Agustín de Betancourt.
El Ayuntamiento de su ciudad natal (4)*

coronel graduado de infantería y sargento mayor de la isla de Gran Canaria; Marcos fue teniente de fragata y sus demás hermanas no destacan en los datos que se poseen más que por sus casamientos, siendo M^a del Carmen de la que hay constancia de una gran actividad; así el 4 de noviembre de 1779 presenta a la Real Sociedad Económica de La laguna, la “Memoria sobre el modo de obtener el color carmesí”. Es muy hábil en la confección de telas como tafetanes, felpas y terciopelo, formando una escuela de maestras con las jóvenes orotavenses, que más tarde sería un gran foco de impulso industrial.

Se sabe poco de la infancia y juventud de Agustín. Su padre le enseñó las primeras nociones como leer, escribir, elementos de la ciencia y sociales; es muy probable que recibiera lecciones que impartían los monjes en sus conventos (iniciándose en matemáticas, dibujo e idiomas) en las

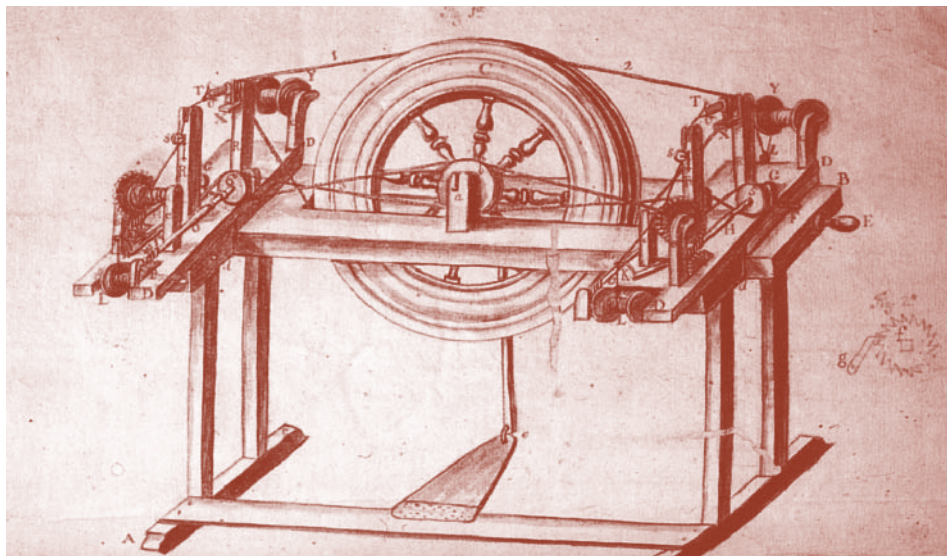
instalaciones de la Orotava de los jesuitas (expulsados en 1767) donde se fundó un colegio.

En su pueblo natal estudió con profesores particulares ya que se ignora la existencia de escuela alguna, aprendiendo matemáticas, inglés, francés y dibujo, revelando prematuramente una tremenda vocación por las ciencias exactas, por la técnica y por el arte, además de estar dotado de grandes facultades para la mecánica y el dibujo.

PRIMER INVENTO

Desde estos años jóvenes ocupa sus ratos libres en la cría de gusanos de seda (sobre todo en la casa de campo de La Rambla), en el hilado, calidad y forma de tejido y tinte de la seda que se hallaba en estos momentos en gran apogeo y con el umbral de una industria floreciente, siendo su hermana M^a del Carmen una especialista en el tratamiento de la seda, y su hermano José, un profundo conocedor del cultivo de gusanos de seda así como de su alimento, el moral. Siendo la industria incipiente de la seda una de las fuentes de riqueza de la isla, Agustín se muestra interesado por el progreso y la mecanización, inventa una máquina epicilíndrica para el hilado, conjuntamente con su hermana M^a del Carmen, cuando contaba nada más que 20 años.

Más adelante, en la etapa rusa de su vida, en las cartas que escribe a sus hermanos José y M^a del Carmen (que todavía conservan los descendientes) recuerda: “¡Cuánto me acuerdo de los gusanos de seda que criamos en La Rambla y de las cintas que tejimos!”. “El feliz tiempo que pasamos juntos, tejiendo las cintas de rasoliso y terciopelo, haciendo entorchados, etc. del que 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 de-



Máquina para hilar seda (5)

más cosas que hicimos como 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 utilidad, que hago trabajar dos horas al día a mi hijo Alfonso con el torno, la lima o haciendo alguna máquina”.

Con la observación de los instrumentos de trabajo y la idea subsiguiente de su posible mejora, es como se llegó a la máquina de hilar seda epicilíndrica y de pedal, que más que un invento, lo que consigue Agustín y su hermana es una gran mejora, ya que con el doble efecto de la rueda movida por el pedal se saca al mismo tiempo dos hilos de dos marañas diferentes colocadas lateralmente, aumentándose así la capacidad de producción de la máquina al sacar mejor resultado de la fuerza que interviene en su impulsión a través del pedal, es decir se trata de sacar el máximo de rendimiento al artefacto.

Como la mayoría de los hijos de familias ilustres, abordó la carrera de las armas,

ingresando a los 19 años en las milicias provinciales de Tenerife como cadete y ascendió al año a subteniente y luego dos meses más tarde a teniente el 13 de Mayo de 1778; su ascenso posterior fue mucho mas lento, y sólo llegó en 1790, cuando contaba 32 años, al grado de capitán de las mismas milicias provinciales pero no ha llegado a figurar en el escalafón de los Reales Ejércitos.

El tinerfeño Estanislao de Lugo y Molina, primo paterno de Agustín de Betancourt, era director en esa época de los Reales Estudios de San Isidro y probablemente influyó para que el marqués de la Sonora, conocedor también de la capacidad intelectual y de los anhelos de saber de D. Agustín de Betancourt, lo llame a la Corte a que perfeccione sus estudios.

II. Etapa Española

Inicia los estudios en 1779 en los Reales Estudios de San Isidro y al mismo tiempo, de forma nocturna, seguía las clases en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando. Este primer año estudia aritmética, álgebra, geometría y trigonometría, y los buenos resultados a los cinco meses son alentadores para el alumno y para los profesores que lo habían preparado en sus bases en La Orotava. En el segundo curso, en 1780, estudia análisis matemático, teoría de curvas, cálculo diferencial e integral y mecánica. Todas estas enseñanzas no son asignaturas tales, sino conocimientos dirigidos a la física por considerarla la ciencia de quien depende el progreso. Así, que lo titulado como matemáticas, en general, trata de mecánica, teoría del movimiento, centro de gravedad, rotación, máquinas simples, etc. Al mismo tiempo asistía a los cursos de física que explicaba en los Reales Estudios el profesor Antonio Fernández Solano, que dirigía un taller donde se fabricaban los instrumentos de laboratorio necesarios para la enseñanza de la física, así como modelos de máquinas vistas en el extranjero a las que se le introducían mejoras. Este fue un primer contacto con la técnica de fabricación de modelos.

Agustín había aprendido a dibujar y a pintar en su isla natal, era una de sus grandes pasiones en su niñez, lo que le ayuda en las clases en la Real Academia de Bellas Artes sobre dibujo, pintura, esculptura, grabado, arquitectura, perspectiva



Dibujos académicos de Agustín de Bethencourt (1779)
(6)

y matemáticas elementales. Las clases de dibujo eran nocturnas para que a ellas pudieran asistir tanto la mayoría de los alumnos como profesores, que durante el día tenían que ganarse el sustento. Empezó con dibujo académico enviando pronto algunas muestras a su familia en La Orotava.

Consiguió una asombrosa habilidad de dibujo que constituye para un mecánico una baza importante, lo que unido a su talento innato y destreza constructiva fueron grandes factores de su éxito. En 1784 fue nombrado socio honorario de la Academia de Bellas Artes.

MINAS

Desde 1780 trabaja para el Ministerio del Interior regentado por el ministro Conde de Floridablanca quién le envió en Julio de 1783 a informar sobre el estado de las minas de Almadén. Resultado de

esta visita de cuatro meses fue la redacción de “Tres Memorias sobre las Minas de Almadén” dirigidas al ministro con carácter descriptivo, destacando algunas deficiencias y las posibles mejoras sobre maquinarias, métodos y operaciones que allí se usaban. Su viaje a las minas no tenía un objetivo determinado, aparte del de su formación e instrucción personal; era una especie de beca sin obligaciones de ningún tipo, ni siquiera el de informar, por lo que la redacción de las Memorias y su contenido ya nos adelanta la categoría de Betancourt.

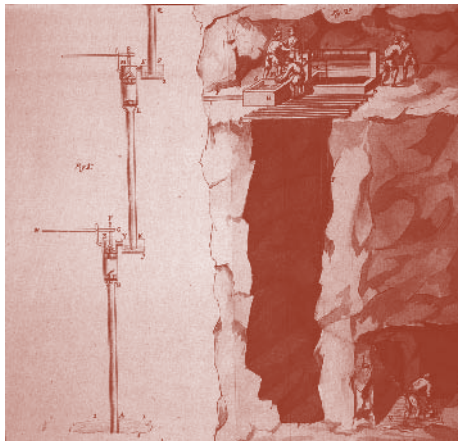
Las Tres Memorias son introducidas con definiciones, ilustraciones y dibujos de una serie de vocablos que se usan en la mina y que son enormemente instructivos para los profanos.

La “Primera Memoria” consta de cuatro artículos:

- el 1º artículo: “De los parajes de la mina de Almadén en que hay agua. Número de bombas y zacas con que se extraen, cantidad que sacan, gente que se emplea y jornales que devengan”.
- el 2º artículo: “De las bombas que hay en la mina y de su construcción” contiene una crítica muy dura a la fabricación de las bombas en condiciones de falta de pericia e ignorancia de las leyes de la mecánica y de los fluidos.
- el 3º artículo: “Del modo de extraer el agua de la mina con zacas”.
- el 4º artículo: “Estado de las aguas de la Real Mina de Almadén”.

La “Segunda Memoria” consta de seis artículos y se dirige a la maquinaria de extracción del mineral.

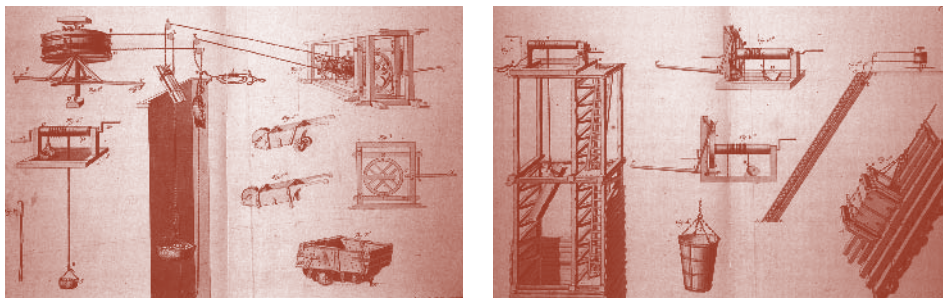
- el 1º artículo: “Del trecho interior de la mina” trata del movimiento interior del mineral en los laberintos de la mina, antes de la extracción, realizado con braseros. Betancourt propone el uso de carritos pe-



Conjunto de tres bombas de extracción (7)

queños como más económicos por desplazar gran parte del personal a otros trabajos.

- el 2º artículo: “Del modo con que se sube el mineral por tornos particulares”.
- el 3º artículo: “De la extracción del mineral fuera de la mina” en que introduce la innovación de equiparar peso a ambos lados de la polea.
- el 4º artículo: “De la máquina de tambor que hay en la mina de Almadenejos” trata de la sugerencia de Betancourt, de la sustitución de la subida de la carga por un plano inclinado, usando cubas que se desplazan sobre maderos (cuyas desigualdades pueden ocasionar la ruptura de las cadenas y la caída), por cubas prismáticas provista de rodillos que pueden ser tiradas por cintas que pesan mucho menos que las cadenas.
- el 5º artículo: “De la extracción del mineral con carros en la mina de Almadén”.
- el 6º artículo: “De la máquina llamada prensa y modo de bajar la madera en la mina”, trata de los problemas que ocasiona el cabrestante para bajar la madera de la mina; esto es, su peso, velocidad de bajada, enganche con las paredes de la mina y otros. Betancourt propone un torno con dos cigüeñales y freno, que se usa tanto



Accesorios de extracción (8)

para bajar la madera como para extraer el mineral.

La “tercera Memoria” trata de los trabajos de fundición y consta de cinco artículos.

- *el 1º artículo: “De los hornos, su invención y construcción” es importante como Historia de la Ciencia en cuanto crítica a los autores que dan como inventor de los hornos de fundición de minerales a Juan Alfonso de Bustamante y que Betancourt sólo le atribuye la puesta en funcionamiento, porque cree que la invención es de Lope Saavedra Barda (1633) dedicándolo a su rey Felipe IV.*
- *el 2º artículo: “Modo de cargar los hornos, hacer la cochura y descargarlos”.*
- *el 3º artículo: “Modo de sacar el azogue de los caños, llevarle al lavadero y conducirlo al almacén”.*
- *el 4º artículo: “Observaciones que hice con el aire, que contenían los hornos de fundición de Almadén”, relata la presencia de vapores extraños en las minas, que no son de aire ni de vapor de agua, que son enormemente dañinos para la salud de los obreros. Denuncia la situación sanitaria y oferta soluciones no rentables económicamente pero si viables para aliviar a los infelices trabajadores. Hoy sabemos que estos vapores venenosos son los de mercurio, que acaban con los obreros en dos o tres años.*

- *el 5º artículo: “Modo de empacar el azogue”.*

Son estas tres Memorias reveladoras de un espíritu inventivo y de una fuerza analítica que se agarra a cualquier detalle de la realidad, no teme afrontar las dificultades y detecta los defectos de un proceso al mismo tiempo que sugiere algún remedio que aplicar.

A comienzos de 1783 la Real Sociedad Económica de La Laguna le nombró apoderado en la Corte de Madrid (aceptó el cargo en Mayo), con el encargo de adquirir caracteres de letras de imprenta que la Real Sociedad necesitaba, pero el viaje de Almadén le impidió la misión.

Betancourt estaba actualizado con los progresos de la ciencia y la técnica; así, conocía los inventos de navegación aérea tales como el globo aerostático que sabía ensayado por Montgolfier en el Campo de Marte de París en 17 de Agosto de 1783, por lo que el mismo fabricó un globo aerostático de tafetán barnizado y lo echó a volar el 29 de Noviembre en presencia del Rey, príncipe, ministros y nobles. Esta escena aparece en un cuadro de Antonio Carnicero en el Museo del Prado (nº 641). El famoso vuelo de Charles y Roberts, partiendo de los jardines de la Tullerías fué el 1 de Diciembre, o sea, tres días después del experimento madrileño.

III. Etapa Francesa

En Marzo de 1784 Betancourt fue a París para completar sus estudios con los de química, geología y física, que no había podido seguir en Madrid. Durante esta continuación de sus estudios parece que recibió también algunos encargos de los ministros, actividad que ejecutó satisfactoriamente, de modo que dos años más tardes prolongó su misión en Francia para dedicarse al estudio de la hidráulica y de la maquinaria en general. 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 numerosos técnicos y hombres de ciencia de la capital francesa, y más que conocerlos, los frecuentó día tras día y pudo apreciar por medio del estudio de su trabajo la sólida preparación de que gozaba y su brillante ingeniosidad. Con unos cuantos de estos hombres trabó relaciones de confianza y amistad, entre los que destaca Perronet, director de la Escuela de Puentes y Calzadas de París, e Inspector General de Puentes, quién comunicó más tarde a Betancourt un gran número de modelos de sus construcciones; fue para él un sabio de abierta generosidad y un genuino maestro. Al igual sucedió con Prony, quien iba a ser más tarde también director de esta Escuela, tenía casi la misma edad que Betancourt y fue uno de los mejores técnicos franceses de la época del Primer Imperio, particularmente apreciado por Napoleón.

Desde Madrid se le enviaba, al mismo tiempo, a realizar varias comisiones que le transformaron en una especie de agregado científico de la embajada en París. También pasó a Inglaterra para ver si conseguía el telar con que los ingleses hacían las medias de puntos cruzados, no obstante del secreto con que aquellos artesanos artistas lo ocultaban, no le impidió ver un telar, aunque por muy pocos minutos, lo que fue suficiente, no sólo para que lo comprendiera, sino también para hacerlo ejecutar en París con igual perfección, haciendo luego la construcción extensiva a Madrid, tal como se encuentra entre las Máquinas del Gabinete de su Majestad. A menudo se le comisionó en París para efectuar varias compras de máquinas e instrumentos de precisión.

PUBLICACIÓN INVENCION

Betancourt redactó por encargo una “Memoria sobre el método de blanquear la seda”, así como que propuso a la Corte el establecimiento de una “fábrica de cajas de concha”, sugerencia que agradó al gobierno y le encargó la compra de la maquinaria y los útiles necesarios, además de la contratación de cierto número de obreros especializados. No sabemos si esta fábrica ideada y organizada por él, llegó a instalarse y a funcionar. En el Canal de Aragón (Marzo 1786) se instaló una máquina para el desagüe de las presas de agua, de reciente invención por Betancourt, en la

línea de su continua preocupación por los canales y las comunicaciones del país.

REAL GABINETE DE MÁQUINAS

Comienza su proyecto y además la gran obra de su vida, aprobado por el Conde de Floridablanca, sobre el Real Gabinete de Máquinas. Inicialmente constaba de un modesto laboratorio de hidráulica, la especialidad de Betancourt, pero luego se extendería a todo tipo de máquinas y construcciones. Su objetivo era centralizar y tener a disposición de los interesados los modelos de los últimos adelantos de la técnica, con el fin de ayudar al progreso de la industria nacional. Probablemente para dirigir todos estos proyectos se pasó parte del año 86 en Madrid, regresando en 1787 para dedicar la mayor parte de su tiempo y de su actividad a la búsqueda de máquinas, artefactos o construcciones dignas de figurar en su Gabinete.

Betancourt realizó una gran colección de piezas que le llamaban la atención; él mismo ejecutaba los dibujos de los planos que acompañaba de una memoria manuscrita que en algunas ocasiones representó en modelos prototipos de proporciones reducidas, sobre todo de las obras de su invención. Al transformar la búsqueda de máquinas ingeniosas en la verdadera razón de su existencia, Betancourt se vio obligado a viajar por todas partes, siempre con el lápiz en mano para tomar los apuntes o dibujos de todo cuanto se le ofreciera, así es como parece que visitó Bélgica, Holanda y una parte de Alemania y por lo que pasó el año 1788 en Inglaterra con el único objeto de imponerse a los últimos adelantos de la máquina de vapor. Incluso colecciona objetos, planos y memorias de ingenios de otros autores que él consideraba importante, con quienes intercambiaba sus propios inventos. Es así como se forma la colección de la Escuela de Puentes y Calzadas de París y que luego

Betancourt copia para traerla a Madrid y que constituye el Real Gabinete de Máquinas. Para la fabricación de los modelos contó en París con obreros especializados (ebanistas, cerrajeros, dibujantes, etc.) que seguían sus instrucciones fabricando, entre otros, los instrumentos de la Física que le encargaban de la Corte así como sus invenciones de hidráulica.

INVENCIONES

París era entonces uno de los centros mundiales de la ciencia y de la técnica, España atrasada y sumida en un largo letargo provinciano, Francia, en cambio, es un país lleno de vitalidad donde existen famosas escuelas de ingeniería y donde se estima que para impulsar la industria del país y mejorar las condiciones de vida se hacía necesario mecanizar el trabajo. Betancourt asimila esta divulgación que sería una constante proyección en su vida aún desde la incipiente invención de la máquina de hilar seda.

Betancourt aprendió tanto del ilustre ingeniero Perronet como del científico matemático Monge, ya que las ideas de ambos tienen muchos puntos de contacto; los conocimientos de Monge son conclusión lógica de los de Perronet, director de la Escuela de Puentes y Calzadas de París, ya que el primero creó la teoría de las máquinas basándose en los mecanismos de construcción de canales y carreteras que había conocido en la famosa escuela militar de Mézieres.

Una de las características de nuestro personaje es la afición al trabajo manual. Comenzó por inventar de joven y esto le llevó a tener gran predisposición por el oficio de tornero en el que alcanzó un alto grado de perfección, a esto se debe el origen de su amistad con el relojero suizo Abraham Luis Breguet instalado en París, el cual en 1780 inició sus innovaciones en relojería, lo que le hizo mundialmente

famoso. La amistad con Betancourt duró toda la vida y algunos inventos se deben a la labor conjunta de ambos.

En París Betancourt gozó en todo momento del apoyo y de la ayuda de los embajadores españoles, tales como el Conde de Aranda, que posteriormente sustituyó al Conde de Floridablanca en el cargo de primer ministro, como Fernán Núñez que le dispuso un trato muy amistoso y se cree que fue el promotor y el auspiciador del Gabinete de Máquinas de Madrid.

El auge alcanzado por la mecanización del siglo XVIII imponía la necesidad de un motor universal como base energética transformadora para las nuevas fábricas. Precisamente partiendo de algo conocido desde fines del siglo XVII como la bomba de achique de agua en las minas, el inglés James Watt logró este motor en 1784. Esta máquina de vapor fue muy pronto uno de los principios fundamentales como eslabón de la industria europea. Pieret la introduce en Francia con el privilegio que le concede Watt, viendo instalada la primera máquina en Chaillot y allí mismo se fabrica una segunda destinada a suministrar agua en París. Esta máquina seguramente fue una de las principales obsesiones e intereses científicos de Betancourt. El desarrollo de las investigaciones en esta máquina ocupan una gran etapa inicial de su labor ingenieril, pero Betancourt quiso conocer la máquina en su lugar de origen, Inglaterra; para ello el 11 de Noviembre de 1788 emprendió viaje pasándose en Londres unos 20 días. Uno de los objetivos principales del viaje era conocer la fábrica de las máquinas de fuego de Watt y Boulton; pero esta firma no estaba dispuesta a compartir sus secretos con extraños y menos aún con extranjeros, por lo que sólo le enseñaron la parte exterior de la máquina de vapor y le dijeron que el interior había sido perfeccionado. La máquina se hallaba detrás de una mampara para que sólo se pudiera ver

el conjunto, pero Betancourt enseguida deparó que el nuevo modelo carecía de las cadenas con la que el vástago del cilindro de vapor y el de la bomba se acoplaban al balancín; por estos dos pequeños detalles cazados al vuelo descubrió también que el émbolo del cilindro-motor actuaba con igual fuerza hacia arriba y hacia abajo, por lo tanto dedujo que el nuevo modelo de Watt era de doble efecto.

INVENCIÓN REPRODUCCIÓN

De nuevo en París, recibe la noticia en diciembre de 1788 de su nombramiento como Director del Real Gabinete de Máquinas de Madrid, lo que asumió tres años después. Este nombramiento es una Real Orden del recientemente coronado Carlos IV. Asimismo ya en París hizo una máquina de vapor de doble efecto y realizó con ella una serie de experimentos; en realidad tomó de Watt el principio de funcionamiento, aunque el mecanismo de transmisión y transformación del movimiento rectilíneo del émbolo, así como el de distribución de vapor, eran totalmente originales. El modelo dio excelentes resultados y la firma Pieret hizo una máquina de vapor que posteriormente fue instalada en Francia para usos industriales.

Los conocimientos de Betancourt sobre la máquina de vapor a través de sus estudios en España eran muy escasos, porque este invento estaba todavía en sus principios y era uno de los artefactos de la moderna industria objeto del monopolio de sus inventores. Desde que durante su estancia en Francia se le encargó la formación del Real Gabinete de Máquinas, comenzó a fabricar en 1788 el modelo de la "bomba de fuego" con los conocimientos técnicos que sobre la máquina de vapor tenían en ese momento en Europa, que pasaban por la máquina de vapor de Savery para sacar agua de las minas, que más tarde fue mejorado por Newcomen, quien realmente

estructuró la primera máquina de vapor de uso generalizado. Las mejoras introducidas por Watt inicialmente, con la agregación de un condensador separado del cilindro, dieron máquinas que estaban trabajando en los talleres de la gran empresa francesa del industrial Péricr.

El tipo de máquina de vapor de Newcomen consistía en: el vapor de agua penetraba en el cilindro por debajo del pistón, y lo empujaba 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 un bastago y de una cadena que lo continuaba, arrastra el balancín que es quien trasmite el movimiento. El agua fría sale por la parte inferior del cilindro y se introduce nuevamente vapor que vuelve a levantar el pistón.

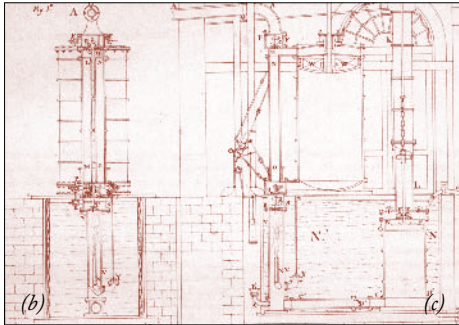
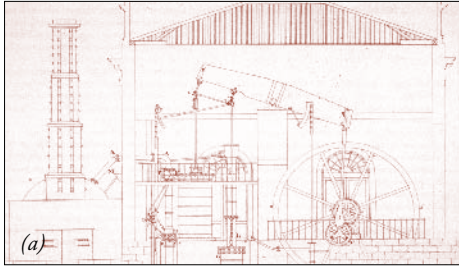
La conexión del condensador separado del cilindro, introducido por Watt, y conocida en Europa en 1774, consistía en que al enfriar y condensar el vapor de agua fuera del cilindro, permite a éste último conservar una temperatura más o menos constante, y al pistón el volver a levantarse acto seguido a la admisión de nuevo vapor, eliminado de este modo el tiempo de espera que antes se necesitaba, para volver a calentar el cilindro enfriado.

Esto es cuanto se sabía en Francia hasta el año 1788 momento en el que habían recibido de la Corte de España el encargo de formar una colección de modelos relativos a hidráulica, para lo cual Betancourt quiso lograr un modelo que reuniese todos los adelantos conseguidos hasta aquel día. Para ello interrumpió un trabajo sobre “la máquina de fuego” y se trasladó a Inglaterra para adquirir los conocimientos necesarios para el perfeccionamiento de la máquina de vapor que se fabricaba. En Londres sólo los señores Watt y Dalton habían hecho nuevos descubrimientos y avances, logrando producir los mismos efectos con una cantidad de combustible mucho menor. Betancourt fue recibido por estos inventores

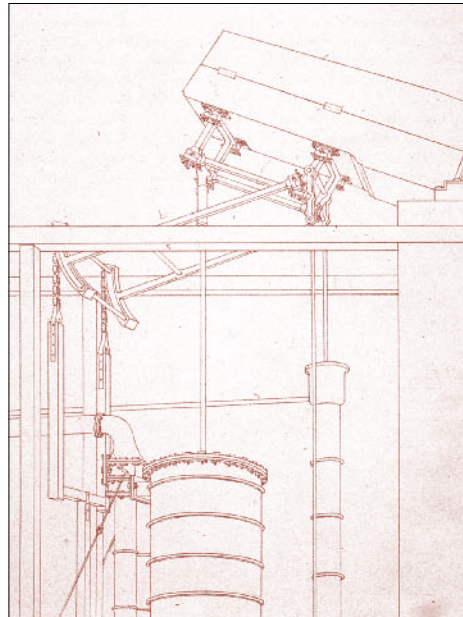
en visita con gran cortesía y le brindaron un buen tratamiento, invitándolo a visitar sus fábricas de botones y plata pero no le enseñaron su máquina de vapor sino que se limitaron a hacer comentarios sobre los avances y sus ventajas; pero ya en Londres consiguió visitar unos molinos en construcción que eran movidos por máquinas de vapor, unas de las cuales estaba terminada y preparada para mover diez molinos.

Aunque las máquinas estaban tapadas, en la terminada, le llamó la atención el ver que se había suprimido la cadena (en la máquina antigua, la acción motora del pistón se ejercía sólo en su carrera descendente y se transmitía al balancín por medio de una cadena) que antes estaba atada al balancín y tenía suspendido el émbolo dentro del cilindro; esta cadena había sido sustituida por un paralelogramo que era muy visible en la máquina de Watt. Además, en lugar del conducto que comunicaba el vapor de la parte superior a la inferior del cilindro, habían dos tubos y se detectaban 4 válvulas que se movían a cada oscilación del balancín, y un cilindro muy pequeño. Todo ello le hizo sospechar que había en aquella máquina algún efecto doble, aunque no pudo contemplar ni su bomba de aire, ni el condensador, ni el moderador de velocidad porque eran piezas tapadas.

Volvió inmediatamente a Francia y al día siguiente trató de recordar y dibujar fielmente todos los detalles en plano y perfiles. Pronto empezó a construir un modelo de la máquina de doble efecto y una vez construido su modelo, en que la deducción lógica y espíritu de invención intervenían para completar los detalles mal observados en Londres. Betancourt se vio precisado a improvisar soluciones nuevas para todos aquellos detalles técnicos que no había podido observar directamente. 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.



Máquina de vapor de doble efecto y de Watt.
a) vista general. - b) Vista perfil. - c) Vista de frente. (9)



Paralelogramo de la máquina de vapor de doble efecto. (10)

Aunque Betancourt lo desconocía, no por su voluntad, la situación de la máquina de vapor de Watt en este momento de la historia presentaba ya sus grandes avances incorporados con respecto a la primitiva máquina de Watt conocida en Europa, ya que los inconvenientes fueron corregidos por una larga serie de modificaciones y de invenciones debidas a su autor, entre las que destacamos tres, por haber tenido mayor trascendencia en la historia de la técnica y del empleo de vapor de agua como fuerza de propulsión. Uno de estos logros fue el condensador separado del cilindro y comunicado con éste, detalle que era ya conocido en Francia (1774). El segundo avance de Watt es el "doble efecto" consistente en que: en las máquinas anteriores el vapor solo invadía la parte inferior del cilindro, y el vacío producido por su condensación solo podía ayudar la carrera descendente 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. El nuevo procedimiento fue conservado en secreto y aplicado sólo a máquinas fabricadas en los talleres de Watt y Balton, ninguna de las cuales llegó a exportarse, de modo que este segundo invento tardó bastante en conocerse en el continente.

El tercer logro de Watt es el dispositivo llamado paralelogramo. En la máquina antigua, la acción motora del pistón se ejercía solo en su carrera descendente, 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 ascendente 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, por una palanca que unía 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 en 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.

Betancourt en Francia trata de plasmar una máquina de vapor con todos los adelantos que él sabía se habían producido, aunque no conocía en detalle y trata de resolver. Este trabajo lo redacta en la "Memoria sobre una máquina de vapor de doble efecto" en que reconoce la invención de Watt y su intento de reproducción haciendo innovaciones para resolver problemas que se le habían ocultado. Esta memoria fue presentada a la Academia de las Ciencias de Francia, al mismo tiempo que construía la máquina. No se justifica pues, la actitud de muchos autores ingleses (tan comprensible como inútil), que para defender la memoria y la prioridad de James Watt, tratan de disminuir la importancia de los trabajos de Betancourt.

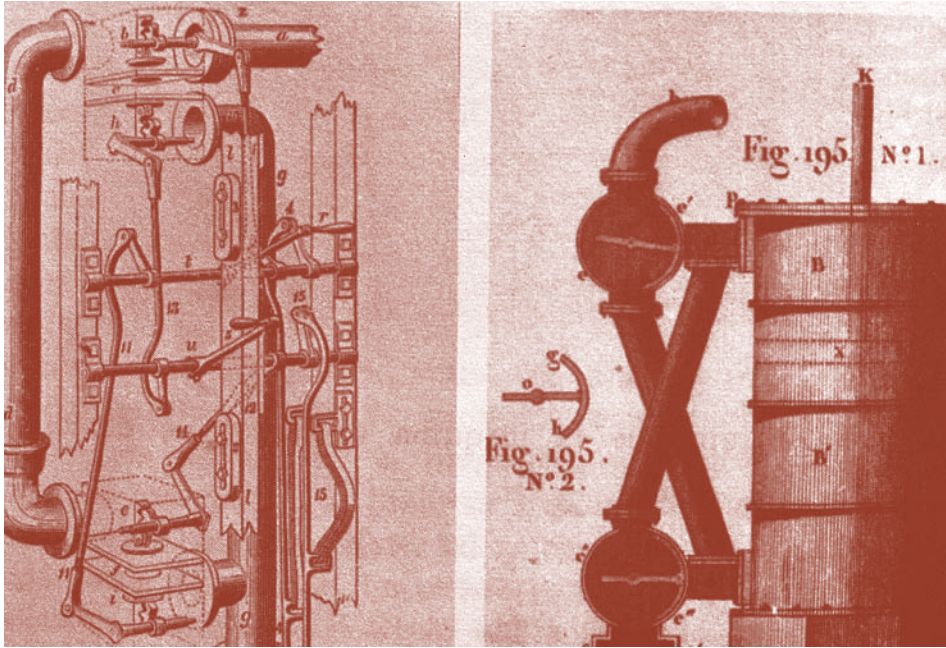
Betancourt construyó el primer modelo continental de la máquina de vapor de doble efecto, que sometido a una serie de pruebas resultó positivo por lo que los hermanos Pèrier (poderosos industriales del momento, que ya poseían la anterior máquina de Watt instalada en Challot, en la proximidad de París, para elevar y distribuir el agua de esta capital) decidieron construirla y colocarla en la isla de Cisse sobre el Sena, para poner en marcha sus molinos de harina. Esta máquina se terminó a comienzos de 1790 y su funcio-

namiento dio todo el resultado que de ella se podía esperar según los informes técnicos de la época. Inmediatamente se sucedieron las construcciones de otras nuevas máquinas. Así, las máquinas fabricada a base de los dibujos de Betancourt fueron las primeras máquinas de vapor de doble efecto hechas en Francia, constituyendo el primer producto de una nueva industria, sobre cuyos progresos y prosperidad no hace falta destacar.

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, era de su invención. Otra parte de la máquina, novedosa, es un regulador de velocidad, fundado en el principio del flotador provisto de un sifón y destinado a moderar la velocidad de la máquina.

La Academia de las Ciencias de París nombró una comisión para juzgar la memoria presentada por Betancourt, formada por científicos destacados, quienes en un informe destacaron los antecedentes en Francia de la aplicación industrial del vapor y el secreto en que Watt mantenía sus últimos adelantos, destacando las ventajas prácticas del modelo de 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 esta abierta, la de abajo queda cerrada; mientras que, al mismo tiempo la comunicación de lo alto con el condensador esta cerrada y la de abajo queda abierta. Con esto, como es fácil ver, 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 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 pis-



Distribución del vapor en la máquina
a) Máquina de Watt. - b) Máquina de Betancourt. (11)

tón, el que se halla encima pierde su fuerza y se dirige hacia el condensador.

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 entraba y salía de modo intermitente.

El condensador de la máquina 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.

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.

En la máquina de Betancourt, el émbolo debe accionar sobre el balancín, tanto durante su carrera ascensional como durante su caída; de modo que no puede 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).

Watt ha suprimido esta dificultad por medio de su paralelogramo de hierro fijado sobre el balancín y movable por medio de bisagras alrededor de las puntas de sus cuatro ángu-

los: 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.

A pesar de estas conclusiones, que fueron aprobadas por la academia, la memoria de Betancourt no llegó a publicarse, probablemente debido a la difícil época estructural por la que pasaba la academia de las Ciencias de París, como consecuencia de la situación revolucionaria del momento.

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. Los autores ingleses silencian en general muchas circunstancias, como si la acción de Betancourt no tuviera ningún interés desde el punto de vista de la historia de la máquina de vapor. Él mismo reconoce que no hizo más que reconstruir una máquina de Watt que había podido examinar aunque muy superficial e incompleta, aunque sabemos que no es exactamente así, porque tuvo que improvisar soluciones y completar con una imaginación y espíritu inventivo los órganos esenciales de la máquina que no había podido examinar, incluso que estas partes de la máquina son tan acertadas como las de Watt cuando no mejores (habiéndolo resuelto en poco tiempo cuando Watt llevaba dedicado toda su vida a la máquina de vapor).

En cuanto al momento histórico, no se puede negar que la aportación de Betancourt ha ayudado poderosamente al progreso de la industria, haciendo cesar el monopolio inglés que impedía la expansión y desarrollo industrial francés. Al popularizar en Francia el principio de la máquina de doble efecto, el ingeniero canario arrebató a los ingleses, y a Watt particularmente, la posibilidad de conservar el monopolio que interesaba a la industria de todos los países, representando enormes intereses económicos y nacionales. Se comprende que los inventores

técnicos ingleses evitaban la intervención de Betancourt de cualquier manera, dejándole solo visualizar las máquinas superficialmente sobre la marcha y con los órganos fundamentales tapados, por lo que en la máquina que se construye mentalmente sustituye los órganos no vistos por otros inventados por él para el mismo efecto. Lo que consigue es indudablemente una máquina nueva, diferente.

Los mismos compatriotas de Watt juzgaban excesivas sus pretensiones de no dejar tocar a nadie los detalles técnicos que había sido el primero en idear, pero que parece haber tenido prisa en explotar; es natural que un extranjero no haya tenido escrúpulos para salvar esta situación siempre que fuera capaz de aportar soluciones.

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 es la medida en que estos resultados alcanzan o superan los de la máquina original. Prony dice de Betancourt que al reproducir una máquina que no había podido examinar en todas sus partes, imitó fielmente lo que había podido observar pero fue el verdadero inventor de los órganos que no había visto. En esta calidad, que no se le puede negar, la historia de la máquina de vapor es injusta si olvida su nombre, tanto más por cuanto los científicos contemporáneos reconocen la aportación de Watt y de Betancourt como lo prueba el nombramiento de James Watt y de Agustín de Betancourt como corresponsales de las Ciencias de París (2 de marzo de 1807). Esto indica que ambos nombres deben unirse para la posteridad, junto con los de tantos técnicos que han contribuido en la medida de sus capacidades y de sus conocimientos al desarrollo de la máquina de vapor, una de las fuerzas más útiles e inocuas de cuantas han contribuido al progreso de la humanidad.

[De "Memoria sobre una máquina de vapor de doble efecto", con texto adaptado de Cioranescu, 1965]

INVENCIONES, INNOVACIÓN

Betancourt mantuvo toda su vida un especial interés por todo lo relacionado con la construcción y mantenimiento de canales y esclusas, a mediados de los años 80 empieza a diseñar máquinas para limpieza de canales. Las dragas eran conocidas desde los siglos XVI y XVII, así por ejemplo la draga veneciana era el prototipo de la excavadora del momento, accionada por la fuerza física del vapor, por lo que eran máquinas de bajo rendimiento, de ahí que los primeros ingenios diseñados por Betancourt, una draga y una segadora, eran también manuales; probablemente estos diseños se utilizaron en la limpieza del Canal de Aragón. Más tarde intentaría impulsarlos con un motor eólico, pero con motivo de su visita a Inglaterra vio la draga mecánica de Savery para la regulación del Támesis, lo que le indujo a proyectar una de vapor inspirándose en una máquina que acababa de visionar.

PLANOS

Durante el viaje a Inglaterra no desperdició el tiempo que le quedaba libre y dibujó cuidadosamente planos en los que representaba la máquina del Támesis, máquina de triturar sílex y una instalación de plano inclinado entre dos canales, con el dispositivo para subir y bajar las embarcaciones a lo largo de una pendiente. Todos estos planos se conservan en la Escuela de Puentes y Calzadas de París.

PUBLICACIÓN

Durante un período largo realiza una serie de misiones para la ciencia, todas ellas encargos que periódicamente le pasaba el Gabinete de Madrid. Así, el Conde de Aranda, como primer ministro, le manda a dibujar y a estudiar en el jardín “des Plantes de París” el funcionamien-

to de unos hornos que habían instalado para extraer el betún del carbón de piedra. En cumplimiento de ello, escribe la “Memoria sobre los métodos de construir los hornos para extraer el betún que tiene el carbón de piedra quedando éste purificado al mismo tiempo”, así como los planos completos de aquella instalación. Aranda envió una memoria a Oviedo, a la Real Sociedad Económica de Amigos del País de Asturias, por pertenecer ésta a la región que más interés podía tener, en conocer aquel procedimiento. La Real Sociedad leyó con agrado aquella comunicación y como prueba de satisfacción nombró a Betancourt socio de mérito. Otro de los encargos sirvió para redactar la “Memoria sobre el mejor método de blanquear la seda”, éste y otros trabajos le ocuparon gran parte de su tiempo.

Desde 1789 y con miras de incorporarse a la dirección del Real Gabinete de Maquinas, construye aparatos y colecciona modelos, diseños, planos y libros, al mismo tiempo que investiga en varios campos. Sabía que en España, a la que tenía que regresar próximamente, se atribuía gran importancia a los títulos de raíz mobiliaria, y es por eso que el 8 de Marzo solicita el ingreso en la Orden de Santiago, una de las cuatro ordenes militares del país cuyo origen se remonta a la Edad Media; poco tiempo después el Rey Carlos IV le concede el hábito.

Es en esta época también cuando se produce un cambio muy importante en su vida; durante el viaje a Londres había conocido a Ana Jourdan, joven inglesa que después iría a vivir a París; se veían con frecuencia en la casa de su amigo Breguet, y ya en 1790 se casaron. Ana Jourdan procedía de una familia católica, cosa muy importante en España donde esta religión era la única permitida. Betancourt solicitó el permiso para el casamiento pero no lo recibió a su debido tiempo y varios años más tarde, ya en España, con una nueva

solicitud obtuvo esta licencia el 7 de Octubre de 1797.

TRABAJO E INVESTIGACIÓN

Betancourt siguió estudiando a fondo las propiedades del vapor de agua y construyó su propia máquina de doble efecto, así basándose en los ensayos que realizó entre 1787 y 1789 en París redactó una “Memoria sobre las fuerza motriz del vapor de agua”. Para llevar a cabo sus estudios ideó un sistema de experimentación de cobre con un termómetro y un manómetro de mercurio.

Después de enfriar el agua hasta cero grados comenzaba a calentarla de forma que la columna del termómetro subiera un grado por minuto, con experiencias de este tipo demostró que la temperatura del vapor era la del agua en el momento de la vaporización; por otro lado, que la presión del aire y del vapor existentes influyen de forma análoga sobre la temperatura, a una presión exterior determinada, y que a una presión fija del vapor le corresponde una temperatura determinada.

Utilizando el método de interpolación de Prony, determinó la eficacia de la máquina de vapor en distintas épocas del año así como en diferentes condiciones atmosféricas de presión y temperatura. Con esta labor que le clasifica entre los grandes pioneros de la técnica investigadora y experimental, logró establecer la independencia entre la presión de vapor de agua y la temperatura. También utilizó este mismo aparato para analizar las propiedades del vapor de alcohol.

El interés por la máquina de vapor fue el punto de partida de nuevos estudios como éste de “ la fuerza expansiva del vapor de agua” París (1790), que es de los más escuetamente científico y de los más generales por su alcance, trata de descubrir una ley que pudiese

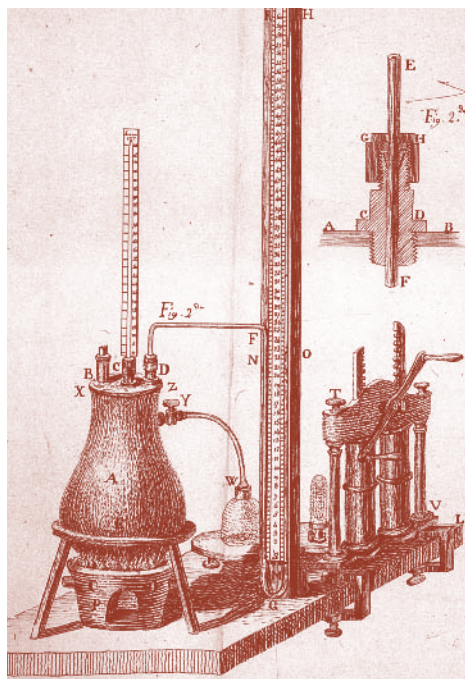
servir de base en los cálculos de la máquina de vapor.

Hasta entonces los fabricantes de máquinas de vapor se servían de fórmulas convencionales y sin fundamento científico; no tienen base para establecer las dimensiones de sus máquinas de vapor, de su cilindro y caldera, en proporción con el esfuerzo que se les iba a exigir y 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 (vapor de agua) , los primeros constructores fabricaban las máquinas, a base de fórmulas empíricas, y comprobaban después su potencialidad.

Betancourt es uno de los primeros investigadores que se ha propuesto comparar la fuerza del vapor de agua según la temperatura, para lo cual se sirvió de un aparato especialmente fabricado por él, que consiste en:

- *A- caldera de cobre, herméticamente cerrada por una tapa metálica XZ colocada sobre la estructura metálica K que posee debajo un brasero P. Tiene cuatro orificios:*
- *B- tubo cerrado herméticamente por el que se introduce el agua.*
- *Y- orificio con una llave de paso que comunica con la campana de vacío W que a su vez está conectada a una bomba neumática T, que sirve para hacer el vacío en la caldera antes de empezar.*
- *C- orificio que deja paso a un termómetro que indica la temperatura del agua de la caldera.*
- *D- orificio que comunica por medio de un tubo con el manómetro MN que es el indicador de la presión del agua en la caldera.*

Para la puesta en funcionamiento se conectaba, por medio de la llave de paso, la caldera con la máquina neumática que hacía el vacío. Después de obtenido el vacío se comenzaba a calentar la caldera (mediante encendido de los carbones de un brasero); luego se iba anotando de grado en grado la temperatura del termómetro y simultáneamente las presiones



Dibujo de la "Memoria sobre la fuerza expansiva del vapor de agua" (12)

de vapor, correspondientes al vapor de agua, en la graduación del manómetro.

Dado que los medios técnicos con que se contaba en la época eran escasos, inicialmente contó en la instalación con una serie de defectos (que en la mayoría de los casos subsanó en las experiencias siguientes):

- la segunda columna de mercurio del manómetro estaba en contacto con la atmósfera y por tanto estaba sometida a las variaciones de la presión atmosférica que introducían un factor imprevisto en el desarrollo de sus mediciones.
- La hermeticidad de la caldera era difícil por los orificios de que estaba provisto la tapa de ésta; las presiones del vapor de la caldera y la imperfección de los medios técnicos que se disponían, ocasionaban fuga de gases entre el metal de la caldera y los tubos de vidrio que salían de ella. Para

subsanan esto inventó el dispositivo del dibujo:

AB es la pared metálica de la caldera, provista de un orificio en que entra un tornillo de cobre CD, fuertemente ajustado y forrado con estopa en su parte inferior. Por este tubo atornillado pasa el tubo de vidrio. Las piezas atornilladas ofrecen bastante más resistencia a la presión ocasionada por el vapor que busca salida.

Betancourt se propuso deducir de los datos de estos experimentos, la ley general que relaciona presión y temperatura. Para llegar a una ecuación que encajara todos los datos de sus experiencias, usó el método de interpolación de Prony. A partir de esta ecuación, el posterior cálculo matemático arrojaba resultados muy parecidos a los experimentales; con pequeñas diferencias, que el autor explicaba por aquellos factores extensivos que le había sido imposible eliminar (roce del mercurio con el vidrio de los tubos, diámetro de los tubos, graduaciones termómetros, etc).

Betancourt hace un estudio dedicado a los vapores de alcohol aprovechando la instalación y la experiencia con el vapor de agua. Trata de generalizar los resultados a todo tipo de gases.

Si se tiene en cuenta los medios de que disponía, los resultados de Betancourt son precisos y asombrosamente cercanos a la realidad. Más adelante con el progreso de la Física y de los métodos de medición de los diferentes fuerzas que interaccionan, empezó a hacerse evidente que estos resultados eran una primera aproximación y nuevos investigadores que se dedicaron al tema, tales como el inglés Dalton (1802) obtuvieron resultados más exactos.

Prony apunta otras dos aplicaciones del logro de Betancourt: la posibilidad de medir la altura de una montaña por el punto de ebullición del agua y la de disponer de un sistema de regular termómetros.

PUBLICACIONES

En 1790 Betancourt presenta a la Academia de París sus investigaciones; la “Memoria sobre la fuerza motriz del vapor de agua y del alcohol” y la “Memoria sobre la máquina de vapor de doble efecto”; ambas publicaciones la comisión las consideró dignas de aprobación y publicación entre los trabajos presentados por científicos extranjeros. Las dos obras son recibidas con aplausos por la ilustre Sociedad de la Academia de Ciencias Francesa y calurosamente recomendada por sus miembros más prominentes. Tanto los descubrimientos como el método desarrollado en su memoria son tan importantes y trascendentes que por éste sólo hecho Betancourt merece un lugar destacado en la historia de la tecnología.

PUBLICACIÓN

Desde 1788, el conde Floridablanca había enviado a París dos jóvenes para que estudiaran bajo la dirección de Betancourt temas sobre hidráulica; desde este momento nuestro personaje se trans-

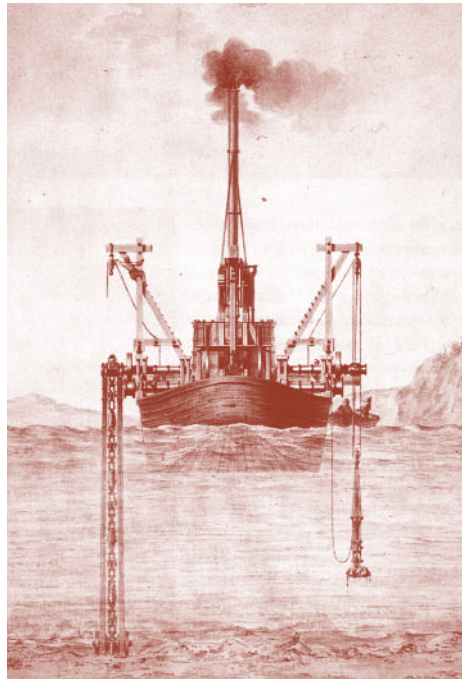
formó en director de los estudios de los jóvenes ingenieros y llegó a imaginar una escuela sólo para ingenieros basada sobre el modelo de la Escuela Francesa de Puentes y Calzadas con la que el mismo mantenía estrecha relación. Sin duda fue entonces cuando empezó a presentar al gobierno de Madrid varias memorias sobre los “Medios de fomentar el comercio interior” exponiendo los defectos que se producían en la construcción de caminos y canales de España. En “Noticias del estado actual de los caminos y canales de España, causa de sus atrasos y defectos y medios de remediarlos en adelante” hace una crítica detallada de los trazados y de las obras ejecutadas en las carreteras, sobre todo en los puentes, dada la total ignorancia de los arquitectos en este género de obras, por no tener la menor idea de los principios de hidráulica. Su crédito y aval debía ser muy grande en la Corte, ya que el propio Manuel Godoy presentó su apoyo ante el Rey Carlos IV, para la fundación de la Escuela de Puentes y Caminos de Madrid, cuyo primer director sería el mismo Agustín de Betancourt.

IV. Segunda Etapa Española

FUNDACIÓN DEL REAL GABINETE DE MÁQUINAS

Ya en 1791 Betancourt vuelve a España, pocos meses después de la huida de la familia Real de Luis XIV, frustrada en Varennes por la Revolución Francesa. Es al final de este año cuando se instala en Madrid en el Retiro, vivienda que ocuparía en sus sucesivas estancias en España hasta 1807 en que se marcha definitivamente a Rusia. Ya desde el año 1788 organizaba el Real Gabinete de Máquinas y formaba esto el núcleo fundamental de sus preocupaciones. Este Gabinete ocupa varias salas del Palacio del Buen Retiro donde se guardaban además todo tipo de modelos de máquinas y prototipos, que constituían unos 271 modelos y 327 dibujos, una colección de 92 memorias manuscritas, entre los que figuraban los inventados por él y los recopilados en distintos países por diferentes autores. Entre sus invenciones figuraba la “segadora de algas”, cinco “Bombas” unas movidas por vapor de agua y otras por energía eólica, una “draga de vapor” para limpieza de puertos, un “telar para cintas” y “tornos” para trabajar distintos tipos de material.

Además de las máquinas descritas figuran otras descripciones en el catálogo del Real Gabinete de Máquinas. Con planos o modelos ejecutados por él o bajos sus órdenes que algunos son inventos que le pertenecen pero



Draga de vapor (13)

que tienen una descripción suscita, siendo algunas cosas variantes de las ya conocidas.

Así tenemos:

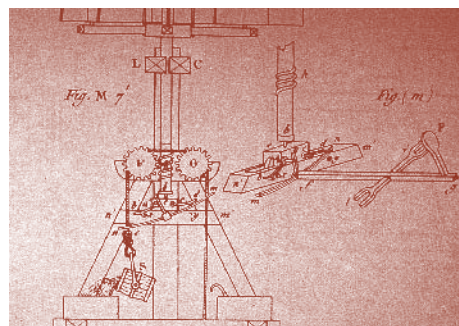
- “Una sierra puesta en la proa de una barca” para cortar estacas debajo del agua.
- “Bomba cuadrada formada de tablas, con émbolo cilíndrico”.
- “Máquina movida por el viento con aspas verticales, para sacar agua por medio

de dos cubos que suben y bajan alternativamente” (descrito también en el *Ensayo sobre la composición de las máquinas*), que probablemente también movía una bomba aspiradora.

- “Máquina para desaguar las lagunas, movida por el viento”, que era otra bomba de desagüe.
- “Noria movida por el viento”.
- “Máquina de vapor dispuesta para mover dos unidades de bombas situadas en el pozo de una mina”, trata del acople de la máquina de vapor a la bomba de aspiración y a la de impulsión.
- “Máquina para cortar los cueros por su grueso” que es una mejora de otra máquina ya conocida.
- “Máquina para picar los cueros por las cardas”.
- “Máquinas para cortar y doblar las puntas de las cardas” que era una reproducción.
- “Telar para hacer varias piezas de cintas de rasoliso y tafetán con un mismo movimiento”, que es una máquina perfeccionada de sus anteriores modelos.

En 1795 la Sociedad para el Fomento de Las Artes, Manufacturas y Comercio de Londres convocó un concurso de modelos de máquina para cortar las hierbas y limpiar el fondo de los canales y ríos navegables, al cual se presentó A. Betancourt con su invención y resultó ganador, encargándose la Sociedad de su publicación. Más tarde, el autor publicó en España el grabado y lo dedicó a Manuel Godoy (éste se encuentra en posesión del Cabildo de Tenerife)

Si el proyecto fuera una máquina para arrancar hierbas con sus raíces, ésta requiere una gran cantidad de movimientos con piezas diferentes, adaptadas a diferentes especies de plantas, con lo cual sería muy complicado y un gasto de tiempo que haría la operación demasiado lenta y costosa. Otro inconveniente sería resquebrajar el bloque compacto de raíces con tierra, que sirve para proteger los efectos destructores de la corriente, y por otra parte ocasionaría una gradual acumulación

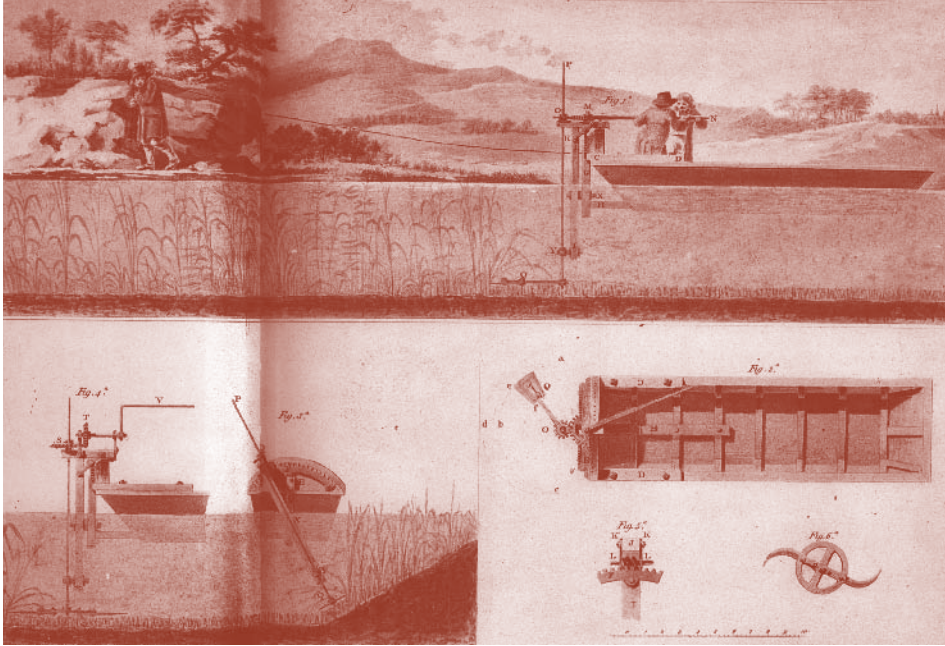


Máquina para subir agua (14)

de tierra sobre el fondo de los ríos y canales dificultando su navegación. Así pues, la máquina que se requiere sólo pretende cortar las hierbas, sin arrancarlas desde la raíz.

La descripción de esta segadora según el proyecto de Betancourt es como sigue:

- AB, lancha de fondo ancho que sirve de soporte para la máquina.
- C y D, dos piezas de madera, fijada sobre la pieza E, y cuya misión es afirmar la máquina y mantenerla amarrada a la lancha.
- E, pieza de madera cuyo borde superior tiene la forma de un arco de círculo de 90°, con el centro en x.
- F, pieza de hierro que forma un cuarto de círculo dentado, de 5 en 5 grados, y queda fijado sobre la pieza E. Su misión es mantener el brazo IJ en una posición perpendicular al plano del terreno que se debe limpiar y, por consiguiente, en que debe trabajar la cuchilla.
- G, barrote de madera, colocado en posición vertical y fijado por un extremo a la pieza de madera E, y por el otro al travesaño H; sobre este barrote se halla fijado el eje.
- H, travesaño fijo al fondo del bote, sujeta el barrote vertical G.
- IJ, brazo movable alrededor del eje X; su largo debe estar proporcionado con las profundidades en que deberá trabajar la cuchilla que corta la hierba.



Máquina de cortar la hierba en los ríos y canales: inventada por A. Betancourt (15)

- K, dos piezas de hierro que afianzan el brazo I y el travesaño J. Entre las dos piezas se halla el indicador o la púa metálica L, que se debe engranar entre los dientes del cuarto de círculo F.
- L, púa de metal entre las dos piezas K, sirve para colocar y mantener el brazo I en una dirección, perpendicular a la del fondo.
- M, eje fijado sobre el travesaño J.
- N, manivela que gira alrededor del eje M, lleva en su extremo un segmento de círculo dentado, de unos 120°.
- O, rueda dentada engranada en el segmento terminal de la manivela M, y cuyo diámetro es la mitad del diámetro de este segmento.
- P, vara de metal que atraviesa el centro del círculo O, y queda afianzada en posición paralela al brazo H, por medio de un soporte Y. En su parte inferior esta fija una cuchilla. La vara P puede bajarse y

subirse según la profundidad del fondo que se debe limpiar.

- Q, cuchilla con su manga.

El funcionamiento de la máquina se obtiene accionando por uno o dos hombres la manivela N. Esta transmite su movimiento, por mediación de la rueda dentada O, a la vara P, que hace girar la cuchilla. Debido a la diferencia de diámetros que acabamos de señalar, mientras que el segmento fijado en N, describe un cuarto de círculo, la rueda O y la cuchilla dan media vuelta; de modo que con un solo movimiento de manivela, se ha "barrido" y limpiado de hierba un sector semicircular, que va adelantando al compás de la marcha de la lancha.

Naturalmente, antes de poner la cuchilla en acción, se deberá medir la profundidad del agua, y subir o bajar la vara P, de tal modo que la cuchilla quede a unos 15 cm encima del fondo.

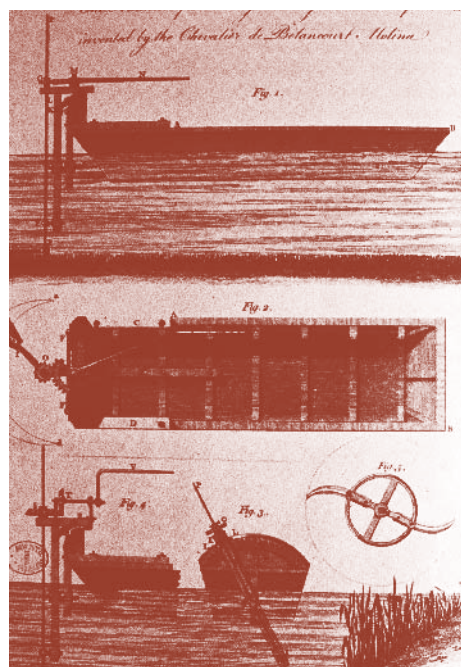
Los inconvenientes que se le plantearon fueron que debido a las desigualdades que

existen en la profundidad de los canales, la cuchilla corre el peligro de tropezar con el fondo. Esto se resolverá transformando la pieza G en corredera y al agregarle una cremallera, movida desde el interior del bote, es posible subir o bajar la cuchilla unos 10 cm, que unido a los 15 cm que se separa del suelo tiene gran maniobrabilidad.

[Adaptación del Cap. "Las Dragas" de Cioranescu, 1965; pg. 129-130]

Se consideró terminado el Gabinete hacia el año 1794, si no antes, publicándose un catálogo de las publicaciones, el cual aún se conserva, demostrando la gran cantidad de trabajo que representa, para la labor de un sólo hombre, y en un espacio de tiempo tan reducido, dada la innumerable cantidad de datos que allí figuraba. Para dar una idea del trabajo que supone la formación de esta colección basta indicar que, por ejemplo, las máquinas para levantar peso habían sido reproducidas de máquinas principales que se encontraban trabajando en distintas ciudades de Europa, como por ejemplo Rouen, Ostende, París, Mansella, Le Hayne, Londres, etc.

Como se sabe Betancourt iba personalmente a dibujarlas, haciendo planos y luego modelos, lo que indicaba otros tantos viajes realizados por el ingeniero canario, con el simple objeto de detallar y completar las características de cada una de las máquinas que iba a reproducir; si se piensa, por otra parte, que se carecía de las publicaciones técnicas de las que hoy se dispone para diseñar los progresos técnicos, nos haremos una idea de la dificultad de sus realizaciones, tanto en las ejecuciones mas perfeccionadas como en la instalación de las máquinas y su puesta en funcionamiento. De este Real Gabinete de Máquinas no queda ni el menor rastro, ya que desgraciadamente durante la guerra de la Independencia desapareció, quedándonos sólo como muestra el catálogo mencionado. Los modelos se hallaban distribuidos por



Máquina de cortar hierba en ríos y canales (16)

secciones, tituladas: Montes; Enmaderaciones; Carruajes, Máquinas para elevar el agua; Máquinas para sacar la arena de los ríos y puertos; Puentes y cimbras; Exclusas para canales, ríos y puertos de mar; Máquinas relativas a la conducción del gas; Puertos de mar; Máquina relativa a las artes; e Instrumentos para dibujar y nivelar.

PRIMICIA

Es probable que en sus primeros años en este trabajo, Betancourt iniciase un avance en el estudio sobre la teoría de las máquinas quizás influido por Monge; al mismo tiempo que este llegó a la conclusión de que la cualidad mas definidora de una máquina es la transmisión y la transformación del movimiento, es por esto por lo que diseñaba mecanismos que en sus distintas variables pasaba de una máquina a otra y aunque

no de una forma muy precisa concibió ya la idea del par. Dado que, ya desde la época en que estaba afincado en Francia, en el año 85, se interesaba por la transmisión de la palabra a distancia, en sus estudios emplea por primera vez la energía eléctrica en transmitir la voz; es por esto que se traslada a España en el año 1787 y, en presencia de público, establece la comunicación entre Madrid y Aranjuez valiéndose de las botellas de Leyden como condensador. Así, seis años más tarde, el catalán Francisco Salvá desarrolló estas ideas en varias memorias sobre el telégrafo eléctrico y en 1796 realizó varios experimentos públicos.

Por su trascendencia, destaquemos su contribución al telégrafo eléctrico, 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 en la generación siguiente sería un gran avance tecnológico. Fue uno de los primeros en detectar la posibilidad práctica de transmitir el pensamiento por medio de la electricidad.

El progreso científico de la época y los adelantos de la técnica conducen la investigación hacia un empleo útil de la carga eléctrica estática; así el descubrimiento de la conductividad eléctrica y el de las botellas de Leyden (como fuente de carga eléctrica estática), abrieron el paso a la idea de una posible transmisión a distancia de los efectos de una descarga eléctrica por medio de un conductor. Un alambre fue tendido a través del Támesis y la descarga en un extremo, con una botella de Leyden, era percibida por una persona en el otro extremo (1747). Probado así el hecho de transmitir la corriente a distancia, queda abierta la posibilidad teórica de utilizar la descarga eléctrica para transmitir mensajes inteligibles. El primero que parece haber puesto en práctica estas sugerencias teóricas, y haberse servido efectivamente de la corriente para transmisiones de pensamiento, fue el científico Lomond; y el primero que sacó estos experimentos del labo-

ratorio, para buscarles una aplicación práctica a gran escala, fue Agustín de Betancourt.

Lomond aporta en sus experiencias, (en comparación con sus predecesores que proponían emplear 24 alambres distintos, uno para cada letra), el hecho de servirse de un solo conductor variando la intensidad de la corriente según una escala de valores. Es probable que Betancourt conociera a Lomond y de él le vino la sugerencia de experimentar la utilización de la corriente eléctrica en las comunicaciones a distancia.

Betancourt empezó aplicando la electricidad a la telegrafía, pero dado que el estudio de la electricidad estaba aún en sus comienzos, su aplicación práctica ofrecía enormes dificultades, a veces insuperables; pero, finalmente, desistió de este propósito y se dedicó al perfeccionamiento del telégrafo óptico que parecía ofrecer mayores garantías de éxito.

En las condiciones existentes, sobre el conocimiento de la electricidad, la aplicación de ésta al telégrafo podía dar algún resultado en los experimentos de laboratorio, pero difícilmente hubiera podido conducir a la implantación de un verdadero sistema telegráfico. 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 de pensamiento a distancia. Como sus intentos no dieron el resultado apetecido, él mismo los abandonó no volviendo a mencionarlos en sus trabajos posteriores.

El célebre Carl Friedrich Gauss en una de sus publicaciones, en 1837, conocía el hecho de que Betancourt había instalado, muchos años antes, un alambre conductor desde Madrid a Aranjuez, con el objetivo de transmitir señales telegráficas por medio de las descargas de una botella de Leyden. Parece que este telégrafo eléctrico de Betancourt se componía de 24 hilos separados unos de otros y rodeados de aislante; haciendo pasar la descarga de una máquina eléctrica a través de un determi-

nado hilo, se producía en el otro extremo el movimiento de una letra del alfabeto.

En cuanto a la época en que se atribuye acontecieron los experimentos de Betancourt con este tendido a distancia, parece ser, según los argumentos de Cioranescu (1965), que se puede establecer en 1787.

Salvá figura como inventor del telégrafo eléctrico, por la explicación de su invento, en una memoria presentada a la Academia de Las Ciencias de Barcelona, en la sesión del 16 de diciembre de 1795. Salvá había repetido sus experimentos en presencia de la corte, con gran éxito, siendo la máxima distancia posible de transmisión de alrededor de un kilómetro, ya que la máquina era considerada como insuficiente para las transmisiones a distancias mayores de las experimentadas.

Probablemente a Salvá se le encargó un experimento a mayor escala, pero ninguna fuente asegura, de manera incontrovertible, que este segundo experimento llegó a verificarse. Muy posiblemente, el telégrafo eléctrico instalado entre Madrid y Aranjuez, que algunos autores atribuyen a Salvá con ligeras modificaciones, eran las instalaciones de Betancourt de ocho años antes. Todo ello hace pensar que, en 1795 ó 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. La verdadera telegrafía eléctrica no ha sido posible sino después del descubrimiento de la pila eléctrica, por Volta, en 1800.

Don Agustín de Betancourt debió tener conocimiento, desde 1787, de los experimentos de Lomond, e intentó 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 que parece se limitó, en sus experimentos, a transmisiones sobre distancias bastantes cortas.

Sin querer restar méritos a Salvá, creemos que Betancourt fue en esta materia de la te-

legrafía eléctrica un precursor y sus intentos de transmisión eléctrica son los primeros con fines prácticos, a grandes distancias, de aplicación del fluido eléctrico, que medio siglo más tarde llegaría a ser un gran éxito

[Resumen de la presentación del “Telégrafo eléctrico” de Cioranescu, 1965]

FÁBRICA

Durante su estancia en España parece que Betancourt haciendo uso de su propio capital, había montado una fábrica de telas de algodón en la ciudad de Ávila. Se carece de noticias sobre esta empresa pero sí hay vestigios de su funcionamiento, todavía en el año 1801. Dadas las continuas vicisitudes que transcurren a partir de este momento en la vida y obra de Betancourt, es interesante reseñar cuál es la situación histórica de España en estos momentos. Muere Carlos III y le sucede Carlos IV y con él una “camarilla” que se gestó desde el reinado anterior y que llevó a España al borde de la ruina, estando a punto de privar al país de la soberanía real. Carlos IV era un hombre oscuro, sin autoridad para decidir los asuntos de estado. En el país mandaba la reina María Luisa y sus favoritos, entre los que destacaba Godoy. En Noviembre de 1792 asumió el poder el valido Manuel Godoy, oficial de la guardia, hombre torpe llenos de maquinaciones, que a los 25 años era primer ministro, donde se mantuvo durante quince años. La ofensiva reaccionaria no sólo afectó a los trabajadores, puesto que los elementos progresistas fueron expulsados del gobierno. Son precisamente estas páginas de la historia las que inspiraron los “Capítulos” de Goya.

De cualquier manera, Betancourt no fue mal visto por la Corte, al contrario, le favoreció. No es tanto por la incompreensión de los gobernantes, sino que las dis-

tintas y difíciles circunstancias históricas por las que entonces atravesaba España, tienen en parte la culpa de haberse malogrado muchas facetas de la obra de Betancourt, tanto en el terreno de los adelantos técnicos e invenciones como en el de la formación de futuros profesionales. A Betancourt, por aquel entonces se le buscaba destino fuera del país, posiblemente debido a las intrigas de Manuel Godoy, quien no mostraba muchas preferencias por nuestro investigador. Un ministro francés que apreciaba altamente al ingeniero canario dijo en estos momentos: “Betancourt es uno de los mecánicos más hábiles de Europa e Inglaterra, para decir la verdad, no es despreciado ni olvidado, pero no tiene donde ser empleado en España, donde todas las máquinas necesarias en las artes y oficios son hasta ahora rudimentarias; de modo que se le envía a construir carreteras y caminos en la isla de Cuba”. Destino que no llegó a cumplir. Uno de estos encargos en el extranjero probablemente fue mandarle a Londres para fabricar y traer de allí las máquinas de vapor con que se pensaba desaguar las minas de Méjico, probablemente las de Potosí, que habían sido abandonadas, por no disponer de los medios necesarios para sacar el agua que invadía sus galerías.

Betancourt, como miembro de la Real Academia de las Bellas Artes, asistió, durante el año 92, a varias reuniones de esta institución, habiendo sido elegido en una comisión para tratar de mejorar las enseñanzas, conjuntamente con otros miembros, uno de los cuales era Goya. Asimismo, en agosto del mismo año fue encargado de la 2ª impresión de la obra “Elementos de Matemáticas” de Benito Baile, señalando las modificaciones y alteraciones que creyera conveniente, dado que este profesor de Matemáticas y académico había sido confinado en Granada por la Inquisición.

INVENTOS

En marzo de 1793, Betancourt presentó a la Academia una serie de modelos hechos con maderas e hilos, para explicar una serie de teoremas y leyes matemáticas. También construyó un aparato para dibujar objetos y paisajes, que tenía un ocular sincronizado con un lápiz, aunque no se conocen detalles del invento ni la suerte que siguió.

Así pues, con varios encargos y por propia iniciativa, en ese octubre del 93, Betancourt partió para Inglaterra donde estuvo poco menos de 3 años; esta estancia le fue extraordinariamente útil por su visita a fabricas (este país inició la revolución industrial y por lo tanto la fabricación mecanizada), así como para estudiar e inventar, o bien hacer amistades con mecánicos, ingenieros, obreros especializados y pequeños fabricantes que se disponían a transformarse en grandes.

Londres era la rica metrópoli comercial e industrial de un imperio disperso por todo el Mundo, el centro de un país en el que triunfaba la mecánica industrial con todas las maravillas de la técnica insuperable. El proceso arrollador de la industria creaba un ambiente que iba muy bien con el carácter de Betancourt ingeniero y científico autodidacta disponiendo sólo de su ingenio, sabiduría y propio esfuerzo, se sentía muy a gusto entre los mecánicos ingleses, mitad capitalistas y mitad ingenieros que no repudiaban ningún trabajo, inventores empedernidos, que unas veces se hacían ricos y otras se arruinaban, pero todos eran autodidactas haciendo a Betancourt testigo de excepción de cómo surgía en Inglaterra la industria mecánica como concepto y como rama tecnológica. Esta segunda estancia de Betancourt en Inglaterra (Londres) es más difícil de explicar, posiblemente fue como consecuencia de su propia iniciativa y para cumplir determinados encargos, pero para su completa

interpretación habría que conocer las intenciones de Manuel Godoy en ese momento. Y es el propio Betancourt, quien en una carta, a principio de 94, dirigida a su amigo el suizo Breguet le dice: “si alguna idea puede turbar mi reposo es imaginar que algún día estaré obligado a volver a España, pero hago toda clase de esfuerzos para que esto no ocurra o al menos para retrasarlo todo lo que sea posible”.

El hecho de que tres años más tarde sea expulsado y obligado a venir a Madrid puede explicarse que no sea por su gusto, sino por el hecho de haber cambiado España sus alianzas y junto con la República Francesa declararon la guerra a Inglaterra, lo que hizo que expulsaran a todos los súbditos españoles. Otra de las causas posibles es que Betancourt sea uno de los pioneros del espionaje industrial, puesto que, desde que llegó a Londres y mientras esperaba la ejecución de sus encargos, le pareció posible dedicarse, como otras veces lo había hecho, a la observación de lo últimos adelantos técnicos puestos en práctica por la industria inglesa. Posiblemente algún técnico le sorprendió dibujando alguna máquina nueva o curiosa, para su gabinete, y los ingleses todavía no habían olvidado la revelación al mundo de los inventos de Watt, por parte de Betancourt, y que tan celosamente habían sido reservados. Se le detuvo, se le hizo un escrupuloso examen de sus papeles y fue conducido a Lisboa donde le desembarcaron. Al comunicar a la Corte lo ocurrido, todavía antes de salir de Lisboa, le llegó la orden de trasladarse directamente a París, para fabricar y encargar allí la máquina que se pensaba comprar en Londres como resultado de su viaje. Este último detalle podía servirnos de gran ilustración sobre posibles enredos de sus enemigos en la corte.

TELÉGRAFO ÓPTICO

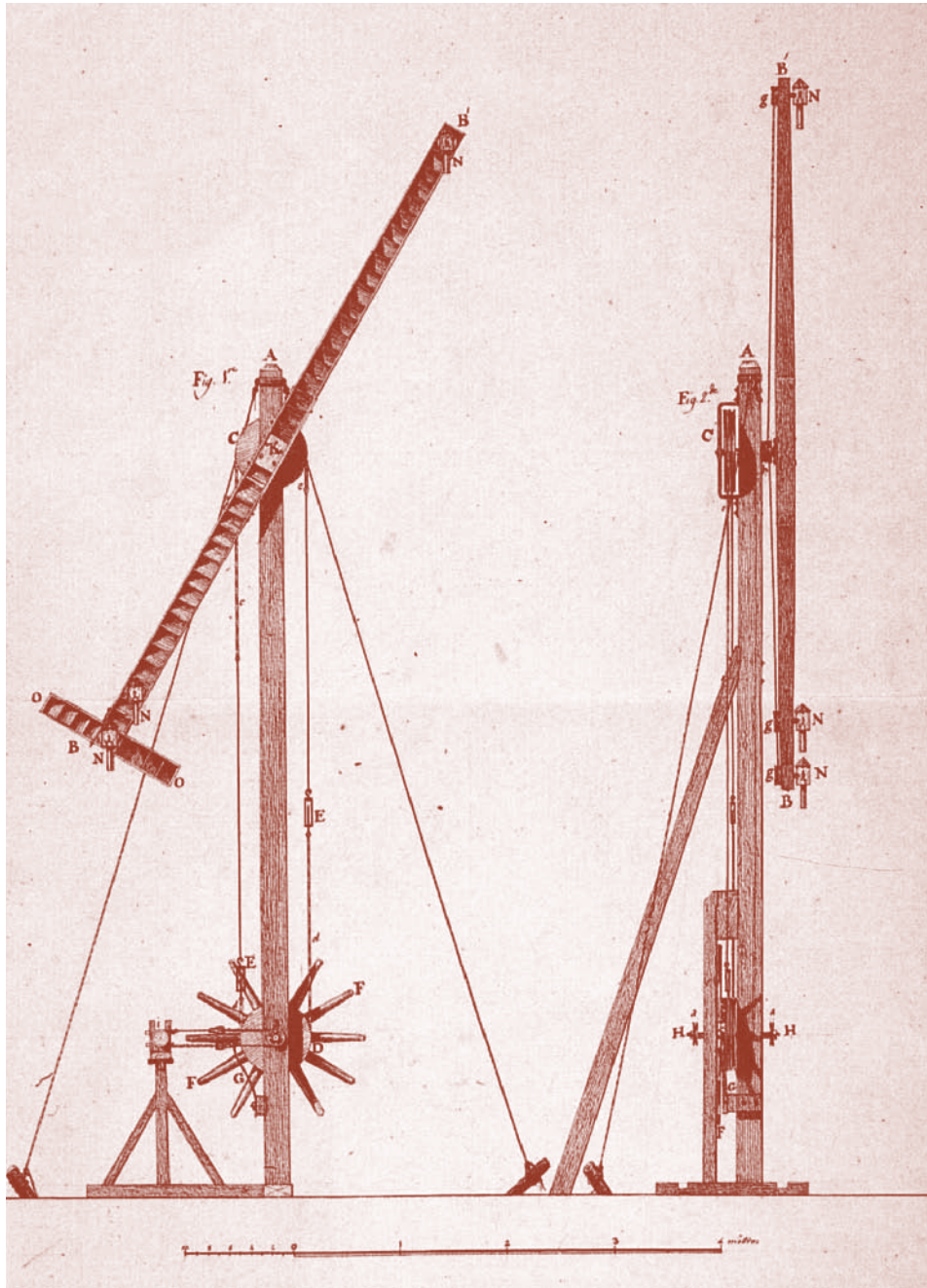
Una vez fracasado su proyecto del telégrafo eléctrico, Betancourt se dedicó a la realización de un telégrafo óptico que sin duda le había parecido, como a todos los técnicos de su tiempo, la verdadera fórmula del porvenir. Al publicar su nueva invención, en 1796, hacía ya cuatro años que el telégrafo óptico de Chappe funcionaba en Francia, donde había sido adoptado oficialmente por el gobierno.

Betancourt no podía reivindicar la propiedad del método; sólo podía pretender mejorar resultados ya conocidos; su máquina, aunque básicamente diferente de la de Chappe, transmitía mejor, más rápida y económica, pero sus resultados eran esencialmente los mismos, con la ventaja del sistema de Chappe de haberse convertido en realidad práctica por estar prestando servicio diario, avalado por el gobierno francés.

El proyecto de Betancourt compartía la autoría con su amigo y conocido relojero suizo Breguet, quien también había sido el constructor de instrumentos de precisión; habrá intervenido sobre todo en la sincronización del mecanismo que ponía en movimiento la máquina telegráfica y transmitía este movimiento a sus distintos órganos, mientras que la concepción general de la máquina es posiblemente 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 ruedas 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 consiguien-



Telégrafo óptico (17)

te, 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 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 un tornillo (E).

La polea inferior podía ser manejada desde el suelo, por medio de un torno (F), comunicándole su propio movimiento a la polea superior y, por consiguiente, a la flecha. En el momento 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 engazarla y estabilizar la señal. Para mayor seguridad de los movimientos, cada una 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 el 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 (T), de modo que el otro extremo, fácil de distinguir, podía ser reconocido como punta de la flecha, mientras que el extremo de 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.

De las 36 señales posibles, se habían reservado las cuatro señales que correspondían a los ángulos rectos (90°, 180°, 270° y 360°), para comunicar 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, la cifras.

He aquí cómo se debía proceder para transmitir mensajes por medio del nuevo instrumento teleográfico. El empleado del primer puesto de 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 al 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 los 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, así como su misma flecha, se habían fijado ya en la misma posición. Entonces el observador miraba en el segundo antejo, para asegurarse de que el puesto siguiente había leído correctamente su propia señal. Sólo en caso de duda, o si la lectura del telegrama era necesaria, el observador leía también, al mismo 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 este modo, los observadores de las estaciones intermedias podían transmitir los telegramas sin enterarse de su significado.

Cabe añadir que los inventores habían entrevisto incluso la posibilidad de un telecriptor automático. En efecto, la descripción indicaba 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"

Los autores tratan de explicar su preferencia por un sistema de transmisión alfabética, aunque muchos pensaban desde entonces que la verdadera transmisión telegráfica, para ser rápida, debía consistir en señales representando palabras enteras o ideas completas. Conocían los trabajos de Chappe y los éxitos conseguidos, pero tenían la conciencia de que su medio era "nuevo", pero su resultado no era más que un perfeccionamiento de técnicas ya conocidas y aplicadas. Así pues, se puede afirmar que Betancourt y Breguet reconocían la prioridad y el mérito de Chappe, pero estaban convencidos que habían inventado un sistema mejor, por lo menos desde la economía de su implantación.

La memoria de Betancourt y Breguet con la descripción del invento fue presentada al Directorio ejecutivo de la República Francesa el 13 de Noviembre de 1796 por el diputado y amigo de los inventores d'Eymar, quien presenta a Breguet como conocedor en detalle de la máquina instalada sobre el Louvre (puesto teleográfico de emisión de Chappe) ya que es él mismo quien proyectó su movimiento, y a Betancourt como conocedor de los telégrafos ingleses.

La memoria llega a Prony para que ejecute una máquina de experimentación y emita un informe. La conclusión con que se cerraba el informe de Prony era sumamente favorable al invento presentado:

De las experiencias de que acabo de dar cuenta resulta:

- *"Primero, que el telégrafo propuesto por Breguet 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 ha necesitado 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 suficiente muy probablemente”.*

No sabemos de que 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 la “Memoria sobre el proyecto de un nuevo telégrafo, presentado al Directorio”, aunque esta memoria no venga firmada.

Las intenciones polémicas de Chappe son evidentes, por la violencia con que el autor la toma con los dos inventores, haciendo un examen muy superficial de la nueva máquina con una determinada mala intención al afirmar que sería imposible transmitir frases convencionales a lo largo de una serie de estaciones. 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.

Prony debió comunicar a los dos colaboradores el contenido de las observaciones de Chappe; ya que Betancourt y Breguet volvieron a escribir y completar su propia memoria, con unos cuantos párrafos en que recogieron estas objeciones y las rebatieron como infundadas. Los autores aprovechan esta revisión de su propio trabajo para identificar 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 antejo del observador forma con el plano de la flecha observada un ángulo no recto, interviene una deformación óptica, que modifica sensiblemente el valor de las señales observadas. El defecto así señalado lo corrigen 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, de tal modo que, cada una de las dos estaciones vecinas, la que precede y la que sigue, se viesen bajo la misma inclinación. El aparato de Hook, modificado convenientemente, es el que permite dar cualquier inclinación a los telescopios, y modernamente, a las máquinas fotográficas.

Es fácil comprender que al Directorio le interesaban poco los ataques personales; lo único que podía tener interés era averiguar si el nuevo invento era preferible al anterior, para lo cual ordenó un nuevo examen comparativo de los dos sistemas, comisionando para ello una junta de científicos. El resultado fue el informe que concluía:

- *1. Que la invención de Betancourt y Breguet es totalmente diferente de la de los telégrafos construidos por Chappe, y que la misma diferencia existe también en su manipulación y en su sistema de notación.*
- *2. Que la máquina telegráfica de Betancourt y Breguet, reúne, en su ejecución, la simplicidad con la economía, y que al aplicarla se podrán establecer líneas telegráficas con mayor rapidez que hasta el momento.*
- *3. Que la manipulación de este telégrafo es fácil y no exige al operario más que una cantidad mínima de destreza, de inteligencia y de memoria...*

El informe concluye que el telégrafo propuesto es un invento que añade posibilidades nuevas y útiles en la técnica telegráfica, y que merece ser recogido por el Gobierno.

Eymar rebate también las objeciones de Chappe, citando el segundo informe mencionado y procurando hacer públicos los dibujos

y piezas. Eymar no cesó 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 25 de noviembre de 1797, la memoria de los dos técnicos nuevamente completada y puesta a punto.

Esta memoria, 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 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, se leyó en la misma Academia un oficio del Ministerio de 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. Los miembros de la comisión solicitaron que se les proporcionasen los elementos que constituían ambos telégrafos.

Los dos inventores terminaron la construcción de dos máquinas a disposición de la comisión. No actuó así Chappe, a quien parece que no debía interesarle mucho aquello de experimentar y comparar, que no brindó a los investigadores ninguna ayuda. En ausencia del examen comparativo, que no pudo verificarse debido a la obstrucción de Chappe, los comisionados cumplieron, en lo que les fue posible, emitiendo un informe detallado en el que se dice: "La operación de manejo es sumamente sencilla, no requiere ningún aprendizaje"..... "La nueva máquina nos parece que posee el más alto grado de facilidad de maniobra"..... "Con respecto a ángulos tan pequeños como de 10°, la experiencia nos ha reflejado que en ningún momento hemos notado la menor vacilación; el ojo juzga con ex-

traña precisión el exacto paralelismo y el más mínimo movimiento hecho por el telégrafo".

"Podemos decir, que el telégrafo de Bréguet y Betancourt se distingue esencialmente de todas las demás máquinas de este tipo que conocíamos, ya que reúne en un grado, que parece difícil rebasar e incluso alcanzar, todas las cualidades que pueden asegurar la facilidad, rapidez y precisión en la correspondencia; la economía en el establecimiento y reparación de las máquinas; la multiplicidad de señales junto a una sencillez tal que no requiere ninguna preparación por parte de las personas que lo manejan.....".

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

En cada fase de la polémica y de los varios experimentos a qué dio lugar, el nuevo telégrafo salió victorioso de las pruebas a que fue sometido y todos los científicos, cuyos conocimientos técnicos y cuya buena fe no deja lugar a dudas, se pronunciaron a su favor. Después del informe favorable de la Academia, no se vuelve a hablar más del nuevo telégrafo, y el de Chappe sigue su carrera triunfadora y sin rival, que continuará durante casi medio siglo. Así, aunque favorablemente acogido por los técnicos y científicos, fue prácticamente rechazado por los poderes públicos y rápidamente olvidado en Francia, aunque luego Betancourt trató de instalarlo en España, ya que al poco tiempo de establecidas las líneas ópticas en Francia, se trató por nuestro gobierno de instalarlas en España y se ha dicho que en 1798 Betancourt fue llamado de París para establecer una línea telegráfica de Madrid a Cádiz. Aunque faltan los documentos que lo confirman explícitamente, se sabe que el emperador Napoleón decía claramente en una de sus órdenes, al exigir a sus ministros la instalación de nuevas líneas telegráficas con

gran rapidez, que prefería se le construyesen telégrafos como los de Cádiz.

Dada la situación oficial de Betancourt, así como los informes científicos favorables, hacen admisible que la Corte de Madrid habría permitido la implantación en España de un telégrafo; pero desgraciadamente, la red española vivió muy pocos años, y debido a la guerra de la Independencia, las estaciones fueron abandonadas a los pocos años. 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 era en nada inferior.

[Tomado de Cap. "Telégrafo óptico" de Cioranescu, 1965; pg. 65-94]

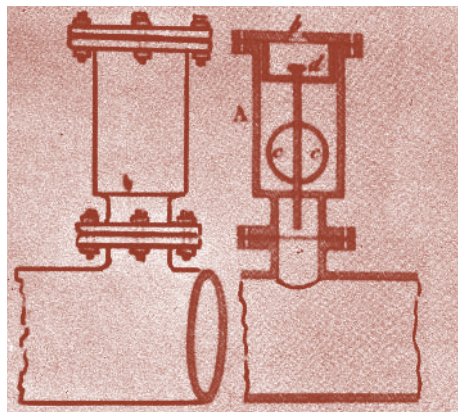
PRENSA HIDRÁULICA

La prensa hidráulica de Betancourt (1798) no se trata de ninguna invención suya sino que debió de haberse inspirado en la que vió en Inglaterra, durante su viaje de 1797, cuando fue detenido y expulsado por los ingleses. La máquina inglesa había sido construida recientemente en 1796 basada en los principios de Pascal, expuestos en "Traite de l'équilibre des liqueurs" (1664).

Posiblemente estaba dibujando el funcionamiento de la máquina inglesa cuando fue detenido, ya que no cabe imaginar que pudiera llevarse consigo los planos de sus dibujos; incluso publicó una memoria descriptiva en castellano en los cuadernos del Real Gabinete de máquina de Madrid.

Muchos de los inventos de Betancourt no son en realidad más que una feliz adaptación de procedimientos antiguos o naturales a máquinas a las que hasta entonces nunca se habían aplicado, intuyendo su autor las soluciones más sencillas y adecuadas. Este es el caso de otras invenciones del año 1801.

"Medio para que de un acueducto no salga más agua que la necesaria para mantener lleno un pilón", que según parece, para la fundición que estableció Betancourt en el jardín del Retiro, necesitaba agua en abundancia; por lo que propuso que se abriese un caño en



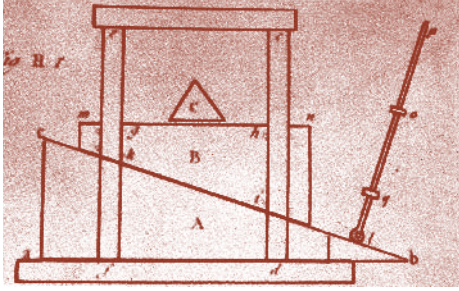
Válvula con flotador (18)

el acueducto más próximo para suministrar agua a su laboratorio (con la condición de que no gastaría más que la que precisa y la misma que si fuera a cántaros de la fuente). Para ello adoptó un dispositivo que es un flotador fijado al extremo de un caño, de modo que hace de válvula y cierra el conducto cuando el agua del pilón lleno lo ha colocado a cierta altura (es el mismo principio conocido hoy de la bola de cobre que regula el caudal del surtidor en las cisternas de agua de los baños) y que no era conocido en este momento.

"Medio para evitar en algunas partes el mal olor de los pozos y desagües", para esto adoptó, en la parte inferior del desagüe de un fregadero, un conducto en forma de codo, cuyo ángulo conservaba siempre una cierta cantidad de agua, suficiente para obturar el conducto e impedir la subida de los malos olores. Hoy esto es tan popular como el flotador anterior, ya que se trata del sifón inevitable en todos los conductos de desagües interiores.

VÁLVULA DE FLOTADOR

"Válvula de flotador", que es un invento original, ya que cuando los conductos presentan sinuosidades en el plano vertical, en el momento que se llenen de agua, el aire que se encuentra en su interior se concentra en las partes más elevadas de estas sinuosidades. Si el volumen de aire es bastante considerable,



Máquina de doble cuña (19)

puede ocurrir que llegue a constituir, en aquel punto, a lo menos por algún tiempo, un obstáculo a la corriente de agua. Para suprimir este obstáculo es necesario evacuar el aire contenido en el conducto, y la forma más sencilla es fijar encima de las sinuosidades del conducto un tubo vertical que se eleve hasta la altura del depósito y queda abierto para que escape el aire de la base del tubo, ascendiendo a través del agua.

MÁQUINA DE DOBLE CUÑA

“Modo de levantar un peso por medio de un plano inclinado o de cuña.

Supongamos una cuña A, que puede deslizarse, entre cuatro columnas c, d, e, f, mientras que otra cuña B queda mantenida por clavijas o, para reducir rozamientos, por los rodillos g, h e i, fijados en la cuña y tocando a las columnas. Al empujar la cuña A de f hacia d, la línea nm de la cuña B se eleva sin perder su paralelismo. La aplicación de este movimiento se puede ver en muchos artefactos (pedales de piano, levantamientos, etc.)

La Dirección y la Inspección de Caminos, Fuentes, Obras Públicas y Canales (creada en 1780) fue organizada en 1799 y dirigida a los pocos meses por Betancourt, que, con su peculiar laboriosidad, se puso inmediatamente a reorganizar toda la red de caminos y canales del país.

Donde ya estaba el Real Gabinete de Máquinas, en el palacio del Buen Reti-

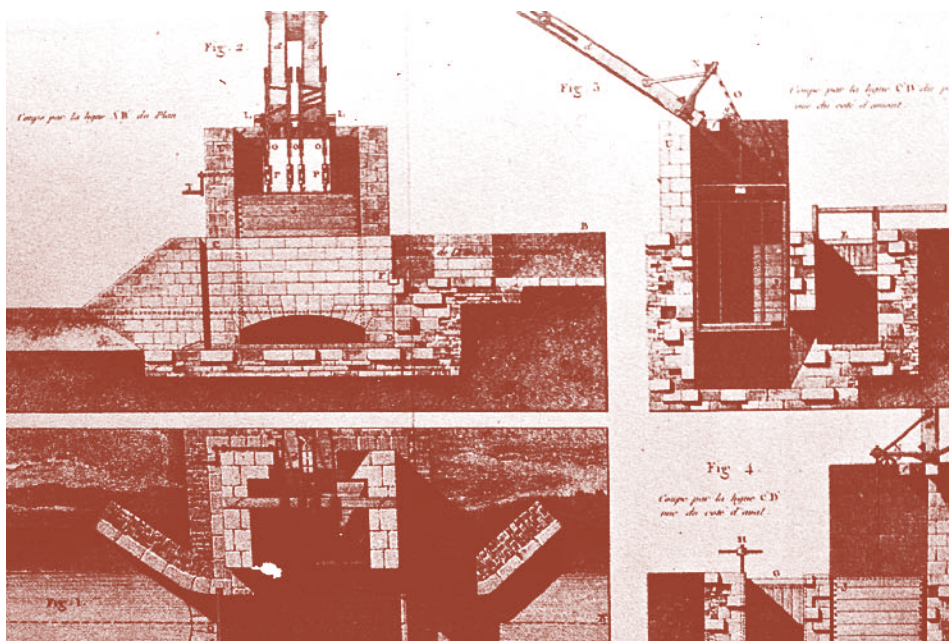
ro, fue inaugurada en 1802 la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Betancourt se apoyó en las experiencias de Perronet y su Ecole de Pont et Chaussés, así como de la Ecole Polytechnique francesa; fue el primer director de la Escuela, invitando a ella a los mejores profesores, entre ellos al matemático hispanoamericano José María Lanz. Betancourt consideraba que el futuro ingeniero debía ser educado en el amor al trabajo; así, sus alumnos, los primeros “ingenieros de caminos”, españoles, destacaron por sus ideas progresistas, tal y como lo demostraron en varias ocasiones en la lucha contra el invasor francés. La Escuela tuvo corta existencia ya que el 2 de Mayo de 1808 el Palacio del Buen Retiro fue bombardeado por la artillería francesa, y gran parte de la colección del Real Gabinete de Máquinas y los locales ocupados por la escuela quedaron destruidos.

Así pues, Betancourt fue inspector general de Puentes y Caminos, director del Real Gabinete de Máquinas y de la Escuela de Puentes y Caminos. Más tarde fue nombrado intendente de Carlos IV.

PUBLICACIÓN INVENTO

A principios de 1807 redactó un extenso libro, escrito en colaboración con José María Lanz que presentó en agosto al Consejo de la Escuela Politécnica Francesa y a la Academia de las Ciencias de París (más tarde Instituto Nacional de Francia) como “La Memoria sobre un nuevo sistema de navegación interior”, que fue publicada al final de ese mismo año. Al comienzo se hace un breve resumen histórico sobre la construcción de canales en Europa y luego describe la esclusa por él ideada, acompañada de los correspondientes cálculos matemáticos.

Las esclusas hasta entonces en uso se caracterizaban porque para que la embarcación



Esclusa de émbolo buzo (1808):

1. Plano. 2. Corte vertical. 3. Vista hacia la compuerta de arriba. 4. Vista hacia la compuerta de abajo. (20)

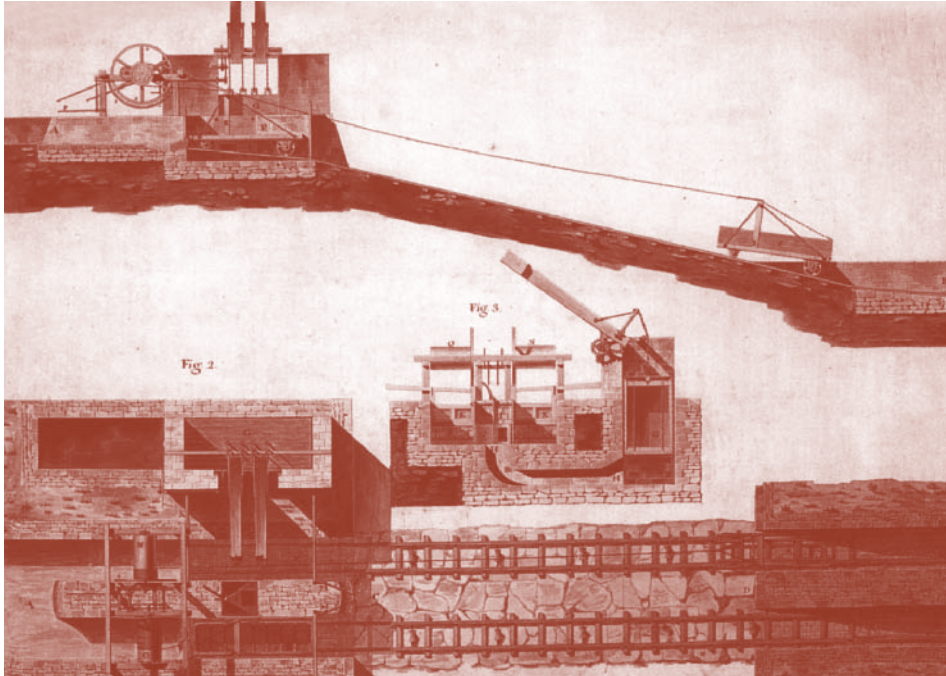
colocada en la esclusa llegara al nivel superior de aguas, en el caso de un viaje aguas arriba, se debía esperar que la corriente descendente llenase toda la capacidad de la esclusa, con lo cual se perdía mucho tiempo, sobre todo en los canales de poca corriente. Betancourt se había propuesto subsanar este inconveniente con el objeto de reducir el gasto de agua y de tiempo; para ello pretendía agregar al lado de la esclusa un pozo de agua, en el que se sumerge un contrapeso, que hace las veces de un émbolo y reboza el agua del pozo, enviándola a la esclusa que se llena rápidamente; y cuando se necesita vaciar la esclusa se levanta el peso y el nivel del pozo queda equilibrado con el de la esclusa.

En el invento de Betancourt, cada esclusa, en lugar de un solo vaso, tenía dos contiguos que se comunicaban por el fondo. Uno servía para hacer subir y bajar los barcos por los métodos ordinarios, pero el movimiento vertical

de agua que debía sostenerlos, era producido por la simple inmersión o emersión del émbolo buzo en el vaso contiguo. El émbolo buzo tenía un volumen igual al del agua que se necesitaba quitar o añadir, y estaba tan ingeniosamente equilibrado, que un hombre sólo bastaba para la maniobra de hacer subir y bajar el barco, por muy grande que este fuese.

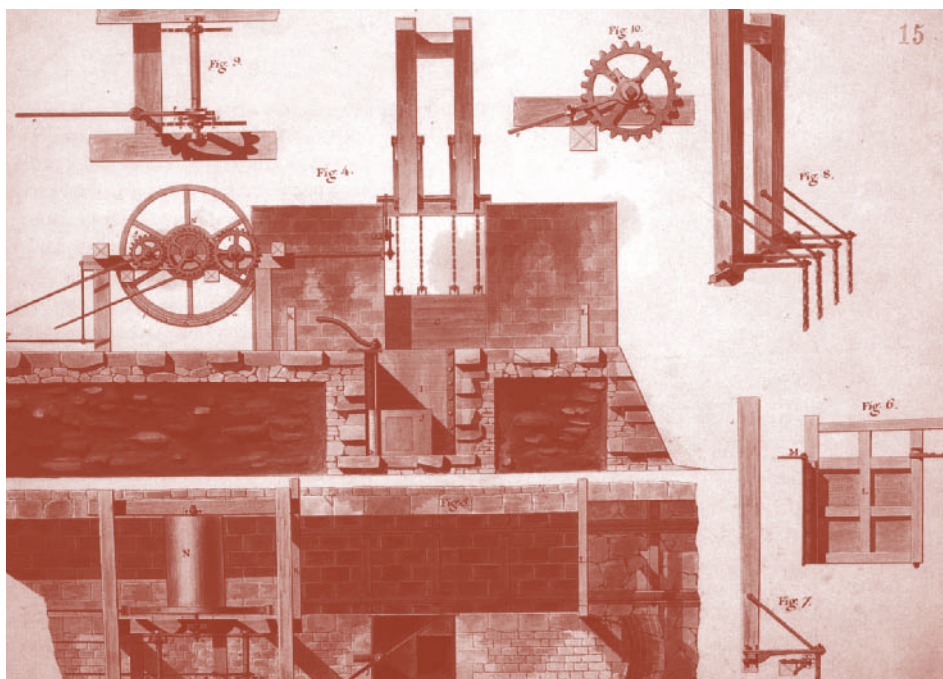
La descripción de la esclusa de émbolo buzo de Betancourt es como sigue:

- A, nivel de presa inferior.
- B, nivel de presa superior; se supone unos 130cm. de profundidad y que las barcas penetran en el agua unos 90 cm.
- CD, cuerpo de la esclusa formando un rectángulo.
- E, puerta de arriba, ajustada en su parte inferior a la pieza de madera F.
- F, madera que forma el bañete inferior de la puerta, y cuyos dos extremos están engastados en las paredes de la esclusa.



Plano inclinado con émbolo buzo (corte vertical y lateral) (21)

- G, puerta de abajo, que en lugar de girar sobre un eje, rueda sobre dos poleas aa, para colocarse en la abertura hh, 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 al 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.
- K, recipiente de émbolo buzo, de modo que el émbolo está sumergido por todos lados.
- 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.
- 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.
- 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 del hierro PP.
- PP, asas fuertemente agarradas al émbolo buzo. Por medio de los tornillos OO y de estas asas, se pueda graduar la tensión de las cadenas, para que cada una de ellas soporte el mismo peso durante su movimiento.



Plano inclinado con émbolo buzo (detalle) (22)

- Q, parte de rueda dentada, fijada en el eje L del contrapeso.
- R, rueda dentada, provista de 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.

Para explicar el funcionamiento supongamos que llega un barco por el nivel superior de la esclusa. Si se cierran las puertas bajas y comienza a sumergirse el émbolo buzo en el pozo, el agua eleva su nivel tal que el volumen coincide con el del agua desplazada. Dado el volumen del pozo y del buzo, así como la porción sumergida, podemos controlar la altura del nivel de agua, hasta llegar a coincidir con el de la parte superior de la

esclusa. Se coloca ahora el barco en esta parte de la esclusa recién nivelada y mediante una emersión del émbolo buzo hará bajar el nivel del agua y del barco hasta el rasante inferior de la esclusa. Esta operación se repite las veces que se desee, haciendo subir o bajar las embarcaciones, aunque sería más provechoso y económico en gasto de agua y tiempo, aprovechar una inmersión-emersión del émbolo para subir un barco mientras otro baja.

Este es un procedimiento simple y directo para hacer subir y bajar los barcos por una esclusa, pero su aplicación tendría grandes inconvenientes si no se encontrase un medio de efectuar la inmersión-emersión del émbolo buzo sin grandes gastos de energía y empleado poca mano de obra, a ser posible un solo hombre. Esta fue la primera aportación y mejora de Betancourt.

La idea era mantener el émbolo buzo permanentemente en equilibrio, por medio de un

contrapeso; pero habría que simplificar su uso hasta que fuera una operación fácil y segura. Betancourt buscó por medio del análisis matemático y de la hidrostática, el cálculo de la curva sobre la cual debía moverse el centro de gravedad del contrapeso, para equilibrar a un émbolo buzo de cualquier forma, en cualquier posición y en cualquier fluido. Obtuvo la ecuación diferencial de esta curva, cuyas indeterminadas son separables y que, por consiguiente, sea cual fuese la hipótesis sobre la forma del émbolo, se puede integrar exactamente o reducir a las cuadraturas.

La segunda parte de la memoria está dedicada a la aplicación de esta esclusa de émbolo buzo a planos inclinados. En la navegación interior, se llamaba planos inclinados, a las pendientes que separaban dos trozos de un mismo canal, con fuerte desnivelación, que impide la construcción de una esclusa corriente. En este caso, el nivel de presa superior terminaba con una esclusa, en la que el barco se colocaba y aislaba encima de una especie de carro sobre raíles, que recorra con su pesada carga la pendiente, hasta penetrar en la esclusa que flanqueaba la entrada de nivel de presa inferior. En el sentido contrario, el mismo carro cargaba los barcos que iban agua arriba y los subía por la misma pendiente, hasta dejarlos en la esclusa del nivel de presa superior.

En el proyecto Betancourt, la esclusa del émbolo buzo sigue siendo útil en caso de 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.

El mejor rendimiento de este dispositivo se da, como en el caso anterior, al encontrarse dos embarcaciones en el río o canal con sentidos opuestos; al coincidir en el paso del plano inclinado, las dos embarcaciones se ayudan recíprocamente: una frena a la otra y esta acelera a la primera. La pendiente que se pro-

pone con un ángulo mínimo de 8°, permite a los buques un paso rápido y cómodo, ya que el busque que desciende ayuda con su peso a elevar el que asciende.

Aunque el recorrido del plano inclinado es el mismo para ambos barcos cuando el que baja toca con su proa el nivel del agua, ya se introduce en el nivel del agua y flota fácilmente, pero el que sube ha de tener ya su popa dentro del agua para estar en las condiciones del anterior. El que sube parece como si recorriera una distancia mayor, en una cantidad correspondiente a su longitud; y es por ello por lo que la proporción entre el número de dientes de las dos ruedas (que tiran por las cadenas atadas a los barcos) es la misma que entre el largo del plano inclinado y esta misma cantidad aumenta en la longitud de la embarcación.

En cuando al funcionamiento del émbolo buzo aplicado al plano inclinado, hay que decir que éste tiene por objeto colocar la embarcación encima de la plataforma introducida de antemano en la esclusa. Esta aplicación del émbolo buzo supone, por su misma naturaleza, más complicaciones que la esclusa correspondiente

[Texto apoyado en descripciones de la "Memoria sobre un nuevo siema de navegación interior de Bogoliubov (1972) y Cioranescu (1965)]

Este trabajo acerca de la navegación lo había realizado el ingeniero canario, hacía seis años, estando los modelos de la esclusa, con la pendiente, en el Real Gabinete de Máquinas de Madrid, y un modelo reducido en la Escuela de Puentes y Calzadas de París (1802).

La Memoria y los dibujos de Betancourt fueron examinados en septiembre de 1807 por una comisión del Instituto Nacional de Francia (formada por Bossut-Monge-Prony) que destacó la sencillez y precisión de la invención, el hecho de que la esclusa pueda ser accionada por

una sola persona, su fundamentación matemática e hidrostática, así como la ingeniosidad del inventor, todo esto hace que decidan su edición.

A pesar del éxito teórico de su invento, y de la acogida particularmente calurosa que se le había hecho, este invento parece haber sido uno de los que no llegaron nunca a realizarse; sin embargo, esto no quiere decir que su trabajo haya sido inútil ya que sus sugerencias fueron recogidas y transformadas por otros investigadores. El conocimiento de Betancourt está presente en estos nuevos intentos; es el primer impulso que indica a los técnicos, de la generación siguiente, el camino que deben seguir.

Desde 1806 habían dificultades en la relación entre Betancourt y Godoy. Para granjearse simpatías de los liberales Godoy favoreció económicamente a algunos pintores arquitectos y científicos, entre ellos a Betancourt, quien, por su probada rectitud no quiso hacer el juego al favorito, que despilfarraba el dinero del Estado a manos llenas, aunque “tan pronto protegía a los nombres del saber y respecto, como los humillaba”. Betancourt y Godoy eran de dos idiosincrasias diametralmente opuestas: el primero sobrio, sencillo, desnudo de trapacerías, apasionado sólo de la ciencia; el segundo, en cambio, intrigante y sensual, traidor tanto a su rey como a su patria y preocupado únicamente de medros personales y efímeros honores; tenían pues que chocar entre sí.

Se tiene noticia que el 26 de abril de 1807, Betancourt va a la Academia de Bellas Artes para participar, por última vez, en una reunión del Consejo. Son varios cronistas y autores los que señalaban la hostilidad de Godoy como la causa de la partida de España de Betancourt, en este año de 1807. Fija su residencia en París, en compañía de su esposa Ana Jourdan y sus cuatro hijos (uno varón y tres hembras). Emigró con el propósito de no vol-

ver a su patria, hostigado, mortificado y amenazado por el Príncipe de la Paz, que no había logrado hacer del ingeniero uno de sus cortesanos aduladores.

Alguna vez el desdichado y apacible Monarca, Carlos IV, abandonaba su taller de ebanistería y se reunía con Betancourt para informarse de los proyectos que planeaba y de las industrias que dirigía.

PUBLICACIÓN

Desde 1803, con cuidadas investigaciones y experiencias sobre la construcción de canales, comenzó a escribir el “Ensayo sobre la composición de las máquinas” y fue publicado a principios de 1808 en París, por Lanz y Betancourt.

École Impériale Polytechnique. Programme du Cours élémentaire des machines pour l'an 1808, par M. Hachette. Essai sur la composition des machines par M.M.Lanz et Bethencourt. A Paris, L'imprimerie Impériale en 1808 cet ouvrage se trouve à Paris, chez Bernard, libraire de l'École Polytechnique.

Esta obra fue el primer manual de máquinas y mecanismos del mundo y la primera guía de síntesis de la composición de nuevas máquinas pero tuvo que pasar mucho tiempo para que esto se apreciara debidamente. El libro de Lanz y Betancourt fue el primero en su género y lejos de limitarse a describir las máquinas citan toda la bibliografía conocida, los inventores, y donde se emplean o podrían emplearse estas máquinas.

Hachette, discípulo de Monge, inició en diciembre de 1806 en la escuela Politécnica de París, la enseñanza de los elementos de máquinas dentro de un curso amplio de obras y mecanismos para minas, puentes y caminos. El programa había sido desarrollado por Lanz y Betancourt, como materia fuera del currículo, en años anteriores. La obra de Lanz y Betancourt

se publicó al mismo tiempo que el programa de Hachette para sus alumnos de la escuela politécnica. Hachette intervino en la redacción, pero sólo después de terminada la obra y probablemente como coordinador de tratamiento.

Hachette sólo intervino en la redacción después de Lanz y Betancourt, siguiendo la línea trazada en la Escuela por Monge y Hachette; trataron de buscar los elementos que integran las máquinas. Se desarrollaron unas tablas para clasificar las máquinas elementales, que cuando las observamos hoy, parecen ingenuas con la mentalidad actual, sin pensar que en el siglo XIX estos eran los primeros pasos de una teoría nueva basada en las máquinas. Las tablas eran un puente entre las máquinas anteriores y las del futuro, un libro de texto o manual de consulta para los proyectistas de nuevas máquinas. Eran las precursoras de un nuevo método: la síntesis de las máquinas.

La intervención de Betancourt en la redacción fue menos directa que la de Lanz. Betancourt era director de la escuela de Ingenieros de Madrid, donde Lanz era profesor; tenía sin duda, en aquella época, más experiencia y más categoría científica que su colaborador. Se puede suponer que la intervención en la obra se había limitado a las indicaciones generales sugiriendo ejemplos e ideas, y Lanz habrá escrito.

A comienzos de 1808 el ensayo sobre la composición de las máquinas fue presentado al claustro de la Escuela Politécnica de París, que, por recomendación de Monge y de Hachette, acordó editarlo por su cuenta aquel mismo año.

La mayor novedad del libro es la consideración de que la forma de acoplamiento cinemática de sus fuerzas en el tiempo, de cualquier máquina, es un aspecto decisivo, es su esencia cinemática y dinámica. El ensayo repite y desarrolla la tabla de máquinas elementales como un anexo, aunque la 2ª edición que apareció en París en 1919 agregó algunos mecanismos y dos tablas auxiliares. La 3ª edición apareció en 1940 cuando ya no existían sus autores.

Algunos mecanismos revisten especial interés, tales como los que se utilizan en la transformación del movimiento circular en otro rectilíneo, de retroceso, que Betancourt los utilizó en varias ocasiones, en los molinos de vapor, y en bombas de émbolo. Sobresale también el mecanismo de un taladrador de cañones. La mayoría de los mecanismos citados en el libro se llevaron posteriormente a la práctica, y en gran medida se debe a la ingeniosidad de Betancourt y sus amigos, como Breguet.

Hasta principios del siglo XX, muchos investigadores de la mecánica siguieron auxiliándose de la clasificación, de Monge-Betancourt-Hachette, siguiendo en la actualidad la idea de la transformación de movimientos.

El ensayo sobre la composición de las máquinas tenía también defectos; su concepto de "máquina elemental" y la terminología empleada, eran imprecisas, carecían de datos para los cálculos, y los mecanismos de acción semejantes se hallaban en ocasiones dispersos en diferentes sitios.

El manual de Lanz y Betancourt fue, durante medio siglo, libro de texto en todas las escuelas técnicas europeas y obra de consulta principal de los proyectistas. Su presentación sistemática, basada en la transformación de los movimientos, facilitaba el estudio de los mecanismos y era una excelente introducción a la ciencia de las máquinas. En esta época, esta ciencia aún formaba un todo; no se habían segregado aún de ella otras disciplinas.

Los principales méritos del libro 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 minuciosa relación de las fuentes desde el siglo XVI hasta los últimos trabajos de especialidad.
- La capacidad de sistematización dentro de la enorme variedad de máquinas y de posibilidades técnicas que abarcan.

- Un espíritu científico que inspira a los autores una absoluta confianza en la ciencia y sus posibilidades

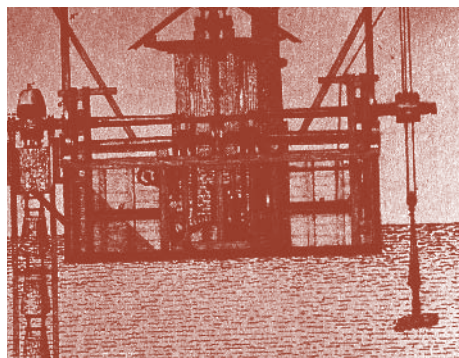
El libro planteó una serie de cuestiones que dieron origen a la ciencia de las máquinas. Penetra en las bases cinemáticas de la mecánica, avanza la idea de la sintetización de los mecanismos, sienta los principios de un proyecto científico y busca su sistematización racional. Por todo ello, el manual figura con pleno derecho entre las obras clásicas de la mecánica.

INVENCIÓN

Sus últimos días en Francia parece que fueron un continuo negociar con el Emperador Napoleón sobre la parte económica y técnica de la adopción por parte del gobierno de su nueva máquina de draga a vapor, en la que ha introducido sustanciales mejoras a su ya conocida “segadora”, además de acoplarle una máquina a vapor adaptada para funcionar en regímenes fluviales. Parece que las negociaciones no llegaron a buen fin y Betancourt decidió marcharse a Rusia donde sí que vio realizado su proyecto, años más tarde.

La draga inventada por Betancourt sufrió continuas modificaciones de innovación, de acuerdo con los conocimientos que asimilaba el autor. En 1789, en carta dirigida a sus padres, comentaba una máquina para desaguar los terrenos pantanosos, movida por el viento y que había sido celebrada por los mecánicos hidráulicos. En 1791, estando en París, propuso un proyecto de draga a la Junta de Generales de la Armada Española. Más tarde, con su visita a Inglaterra, después de ver la draga del Támesis de Thomas Savery, realiza otro modelo al que ya le incorpora la máquina de vapor.

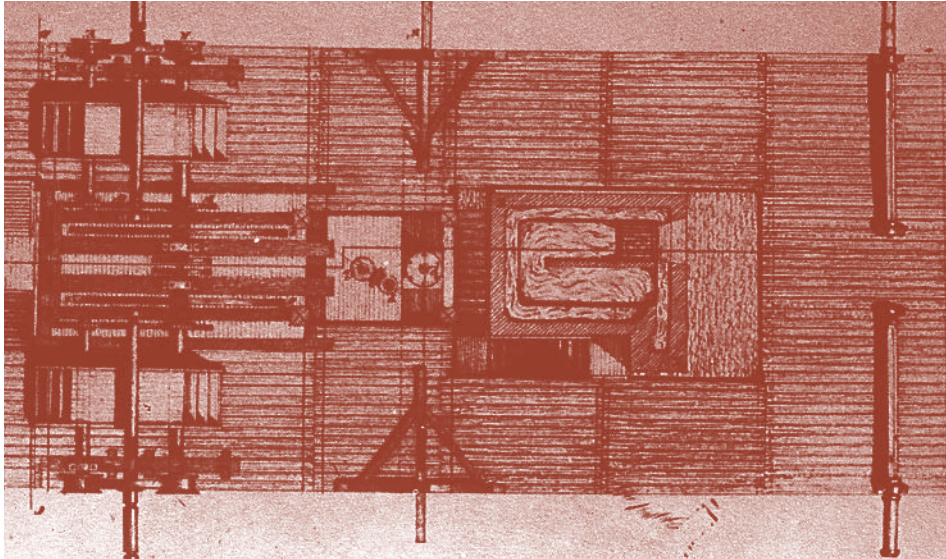
Más tarde, pocos meses antes de salir de Francia para establecerse definitivamente en Rusia (1808), Betancourt trata de negociar con el gobierno francés un modelo de draga a



*Máquina de dragar:
corte longitudinal y transversal*

vapor, destinada a limpiar y profundizar el puerto de Venecia.

Betancourt trata de incorporar un motor a vapor que sea menos costoso que el de esfuerzo humano, que es la energía mecánica usada hasta ese momento. Trata de sustituir la fuerza de braseros por la fuerza del vapor de agua. Sin embargo, para poder aplicar la fuerza del vapor de agua, hacia falta introducir diferentes modificaciones en la máquina de vapor, tales como reducirla al menor volumen y al menor peso posible ya que debe ser llevada por una lancha; también, disponer de agua dulce para la alimentación de la máquina, ya que el agua de mar corroe y deja tal cantidad de depósitos que la inhabilita pronto; asimismo, la dragadora a vapor, debe trabajar a diferentes profundidades, sin que toque el fondo, (en cuyo caso se habrá de parar la máquina) con el fin de limpiar un puerto o cualquier profundidad, a condición de que el



Draga: corte horizontal (24)

fondo sea movable, o sea, de arena, limo fango o tierra.

Las condiciones para ceder los planos de la draga al gobierno francés eran especiales. Si la máquina aborraba menos del 30% en los gastos actuales del proceso, el autor perdía todos los derechos, pero en caso contrario cobraría mensualmente 1/3 de las cantidades aborradadas, por todas las máquinas en uso, en un plazo de 10 años. Parece ser que Napoleón consideró el proyecto digno de interés, y dio instrucciones para que se pidiese a Betancourt planos y descripciones, pero hizo algunas reservas con respecto a la remuneración del autor que prefería que fuese en un solo plazo y en menor cuantía. (Los planos tienen fecha de 15 de Mayo de 1808).

Como por aquellos mismos meses preparaba su primer viaje a Rusia, dejó de apoderado de todos sus asuntos a su amigo Bréguet.

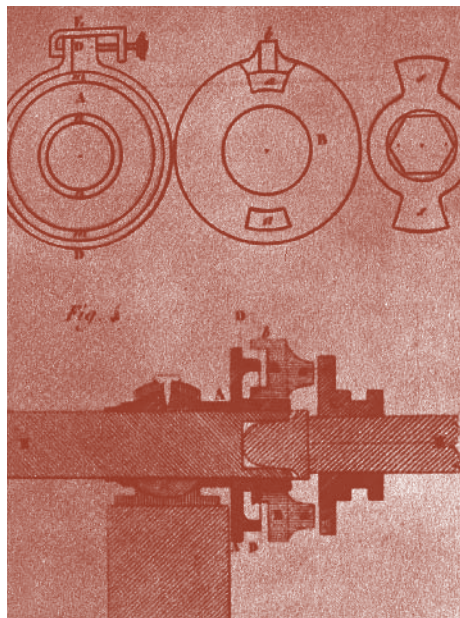
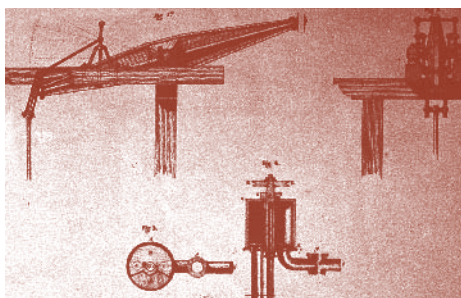
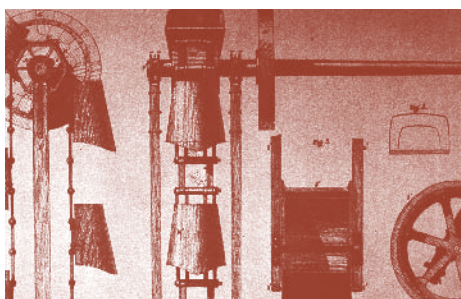
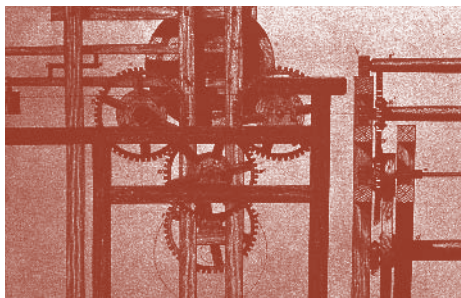
La draga de vapor se compone esencialmente de tres partes diferentes:

- la embarcación que le sirve de soporte.
- la máquina de vapor, que tiene los mismos dispositivos que la máquina conocida de doble efecto, más o menos modificados.

Merece destacar “el surtidor”, que es una nueva invención de Betancourt, sólo contemplada en esta máquina para simplificarla y aligerarla. Así, se ha suprimido la cisterna y sustituido la bomba que subía el agua a la parte superior de la caldera por el surtidor.

- la máquina de dragar en sí misma se compone de dos dragas idénticas y simétricamente colocadas a cada lado de la lancha.

La cronología de las negociaciones de Betancourt con el gobierno francés, para hacer adoptar su proyecto de la draga de vapor, no es absolutamente clara. Incluso es de suponer, dada la importancia económica de las pretensiones expresadas por Betancourt, que éste contaba con una eventual aceptación del gobierno francés, antes de tomar una decisión definitiva, con respecto a su establecimiento en Rusia. Después de sondear allí el terreno, había regresado a París, para ver si el proyecto de draga y de colaboración con el gobierno francés daba los resultados que él esperaba y quizás, en este caso, determinar su estancia en Francia. Pero como el asunto no salió como



Draga (25):

- a) Mecanismo de transmisión.*
- b) Mecanismo de extracción*
- c) Órgano de la máquina de vapor de la draga.*
- d) Mecanismo de parada de la draga, sin que pare el motor.*

él quería, no le quedaba otra solución mejor que la de aceptar los ofrecimientos que se le habían hecho en Rusia, donde se estableció rápido.

En Rusia fue donde puso en práctica su proyecto de draga, algunos años después de su entrada al servicio del Zar. Para dragar el puerto de Kronstadt construyó una inmensa máquina de dragar a vapor, tan notable por la precisión de sus movimientos como por la intensidad de la fuerza desarrollada, Cioranescu (1965). Se sabe de esta máquina que el engranaje, que permite a la máquina parar sin que se apague el motor,

al encontrar una resistencia superior a un límite establecido, es lo más destacable.

Este dispositivo, bastante ingenioso, debió ser sugerido al autor, al presentar su primera draga, como uno de los mayores inconvenientes de aquella. Como en el proyecto de 1808, presentado al gobierno francés, Betancourt afirmaba que un dispositivo de este tipo era la parte más ingeniosa de su invento, parece probable imaginar que se trataba en realidad de la misma máquina de dragar de 1808, ejecutada ahora en Rusia.

V. Etapa Rusa

No cabe duda que desde que proponía la draga al gobierno francés, ya Betancourt estudiaba la posibilidad de trasladarse a Rusia. Parece ser que en Madrid ya había contactado con el embajador de Rusia, por lo que decidió realizar un viaje de reconocimiento previo a esta lejana tierra. En noviembre de 1807 son favorables las negociaciones con representantes del gobierno ruso. A finales de año regresa a París para resolver distintos problemas pendientes (las negociaciones con Napoleón sobre la draga, la publicación del ensayo sobre las máquinas y otros), pero dado que las cosas se le ponían difíciles profesionalmente en Francia, por la actitud del gobierno con sus vecinos, y dado el afán expansionista de Napoleón, corría cierto riesgo en París y tomó la decisión definitiva de pasar al servicio de Rusia, durante los 16 últimos años de su vida. Estableció con su familia la residencia definitiva en San Petersburgo, (conocido como Leningrado).

En septiembre de 1808 fue presentado al Zar Alejandro I y el mes siguiente ingresó en el ejército ruso con el grado de general mayor, formando parte del séquito de Zar como miembro para “misiones especiales de Su Majestad Imperial” en el Departamento de Vías de Comunicación, cuya tarea esencial era asegurar el funcionamiento de los canales que unen los ríos. Fue ascendido a Teniente General en el agosto siguiente.

La mayoría de los componentes de este Departamento, viejos generales del ejército ruso e ingenieros experimentados en hidrotécnica y fortificaciones, se sintieron ofendidos con el ingreso de Betancourt al que le reconocían talento en mecánica, montaje de fábricas, en matemáticas, pero en lo referente a obras hidráulicas lo consideraban un teórico, desconocedor de cómo se realizan y dirigen los trabajos en el extranjero y menos en Rusia, por clima, y topografía.

Habían canales que conducían a la nueva capital, San Petersburgo, al Ladoga de 111 km. (que unía los ríos Voljov y Neva) y el Viybni Volochok (que comunicaba los ríos Tvertsa y Mesta) que era el más importante de todo el sistema, el Tijvinaki (que unía los ríos Samina y Tijvinka) y el Varinski. Era posible llegar por agua, del mar Caspio al Báltico y de la capital a las regiones interiores. Pero a comienzos del siglo XIX los canales se hallaban en pésimas condiciones: las orillas no estaban consolidadas, las esclusas de reserva no mantenían la cantidad de agua necesaria y su capacidad de paso era tan baja, que en invierno de aquel año fueron apresados por los hielos y quedaron a medio camino, más de 2800 barcas que se dirigían a San Petersburgo, llegando a escasear los víveres y los precios se desbordaban en la ciudad.

La situación en el Departamento era indudablemente mala y la función del cargo, para el que había sido designado Betancourt, no era ninguna comodidad.

En 1809 el príncipe Jorge Oldenburg (cuñado del Zar) fue designado director general del Departamento de Vías de Comunicación y se creó un consejo formado por Betancourt, De Wollant, Gerard y Sablukov (incorporado más tarde).

Betancourt propuso la reconstrucción inmediata de todo el sistema de esclusas, pero la mayoría del Consejo lo rechazó, aunque ocho años más tarde hicieron efectivas las previsiones de Betancourt, dadas las penosísimas condiciones para la navegación.

INSTITUTO

Ese mismo año se creó el Cuerpo de Ingenieros de Vías de Comunicación y el centro de estudios superiores del cuerpo, esto es, el nuevo Instituto del Cuerpo de Ingenieros de Vías de Comunicación, del que Betancourt fue designado Inspector-Jefe para fijar sus bases valiéndose de la experiencia que había adquirido en la Escuela de Caminos de Madrid y en la Escuela Politécnica de París.

Las clases se daban en ruso y en francés. Los dos primeros años los alumnos debían estudiar aritmética, álgebra hasta ecuaciones de tercer grado, progresiones, logaritmos, geometría plana, topografía, dibujo y arquitectura. Los que superaban los exámenes eran enviados para hacer prácticas en zonas próximas, durante el verano, en los dos primeros cursos.

El tercer y cuarto año estudiaban estereometría, cantería, carpintería, secciones cónicas, construcción de bóvedas, fundamentos de la mecánica y de la hidráulica, organización del trabajo, relación de proyectos y presupuestos, así como contabilidad de construcciones civiles. Finalmente se le daban datos de todos

los ríos y canales de la nación, existentes en proyecto, explicándoles la utilidad.

Para esta época el plan docente de Betancourt era muy progresista, porque preveía una sólida preparación teórica y la práctica de las principales operaciones tecnológicas. El Instituto se convirtió en uno de los mejores centros docentes, no sólo de Rusia, sino de Europa.

Betancourt nombró director a S.I. Senovert (capitán retirado del ejército real francés) y profesores de matemáticas a V.I. Viskovátov y a I.S. Reimont (ex oficial francés); también fueron contratados cuatro ingenieros franceses, dos como profesores, Fotier y Fabre, y dos encargados de construcciones Bazaine y Destreme. Los aparatos y libros se compraron en París, la mayoría eran del antiguo Departamento de Comunicaciones por agua.

PUBLICACIÓN

La experiencia mostró que el plan de estudio inicial debía ser mejorado, y en noviembre de 1811, Betancourt presentó al director general del cuerpo la memoria titulada "Distribución de los cursos de estudio en el Instituto de Vías de Comunicación". La obra y los documentos complementarios son de gran valor por sus ideas pedagógicas. Pretende que los ingenieros al finalizar los estudios, estén capacitados para realizar en el imperio todo tipo de trabajos técnicos, es decir, que conozcan los fundamentos de la ciencia y su aplicación a la ingeniería. Pretende formar ingenieros universales, capaces de dirigir todo tipo de construcciones, por lo que debían dedicar el último año de estancia en el centro, exclusivamente, a las prácticas.

La enseñanza teórica, acompañada del trabajo práctico en los talleres y de muchas horas de trabajo lineal, eran una novedad, no sólo en Rusia. Por primera vez



Puente de Babina (26)

en un centro de formación de ingenieros, se incluyen las matemáticas superiores y la geometría descriptiva, asignatura que, hasta hacía muy poco, había sido un secreto profesional de la escuela técnica francesa.

En Junio de 1812 el ejército francés cruzó la frontera rusa y comenzó la guerra. Doce subtenientes recién graduados fueron puestos a disposición del ejército ruso y se irían incorporando poco a poco; en total fueron al combate 33 de los 133 hombres que estudiaban en el Instituto. También la guerra incidió en el personal docente. Los ingenieros Fabre, Potier, Bazaine y Destreme fueron ordenados por Francia a regresar a su país, pero no obtuvieron permiso de salida y fueron trasladados a Yaroslav junto con el príncipe Jorge Oldenburg; más tarde fueron deportados a Siberia.

En diciembre de 1812 falleció el príncipe Jorge, y De Wolant fue nombrado

director general del Departamento de Vías de Comunicación, quedando directamente bajo los cuidados de Alejandro I el Zar.

Bethancourt con su esposa, tres hijas, Carolina, Adelina y Matilde, y su hijo Alfonso, se alojaron en el mismo edificio del Instituto. Su mujer Anna Ivánovna tenía fama de mujer vanidosa en contraposición al resto de la familia; así sus hijas estaban dotadas de cierta gracia espiritual e intelectual; daba gusto oírlas cuando tocaban el arpa o el piano, era un placer observar sus dibujos o verlas bailar los populares fandangos o boleros con gran calor, propio del origen latino que le recorría sus venas. Por el temperamento del ingeniero aún fluía el calor del cielo que le vio nacer, y como todas las gentes temperamentales, tenía buen corazón y carácter alegre, manantial de inteligencia y conversación amena. Nunca se despojo de sus formas aristocráticas, ni siquiera cuando trabajaba

el torno en sus momentos de ocio. Gran conocedor de la práctica y la teoría, tenía tal habilidad en el trabajo manual que muchas veces superaba a los obreros más diestros; manejaba todas las herramientas con la misma habilidad, y cuando carecía de ellas las inventaba ampliando a diario las posibilidades de la tecnología.

FÁBRICA DE ARMAS

Su labor en el Departamento de Vías de Comunicación y en la organización y dirección del Instituto del Cuerpo de Vías de Comunicación se acompañaba en estos mismos años de otros trabajos. Así se preocupa de la modernización de la fábrica de armas de Tula. Esta fábrica fue construida en 1713 y en el siglo XIX había quedado en muchos aspectos anticuada, por lo que en 1809 Betancourt la inspeccionó y proyectó su modernización, para lo cual fue encargada una máquina de vapor de 24 HP para barrenar los cañones y tornos para el acabado del ánima del fusil. Se terminó de instalar en 1814.

DRAGA DE KRONSTAD

Otro de sus trabajos fue la draga de rosario para el puerto de Kronstadt; fue esta la primera máquina de vapor instalada en plataformas fluviales en Rusia. Hasta ese momento todos los barcos que navegaban por ríos o canales eran remolcados por cuerda o se movían por medio de una lancha que se adelantaba y clavaba en la orilla un ancla con un cable que después se recogía. La máquina de vapor instalada en una barcaza accionaba el cabrestante y éste movía una cadena sin fin de recipientes que extraían las ramas y fangos y los vaciaban en barcasas junto a la draga.

La draga se instaló en agosto de 1812 y entró inmediatamente en funcionamiento. Más tarde diseñaría otras muchas.

EXCAVADORA

Se sabe que su último proyecto fue una típica excavadora de cuchara, que no se sabe si llegó a construirse. (La primera excavadora de cuchara para movimientos de tierra fue construida por el norteamericano V. S. Otis en 1836).

PUENTE KÁMENNOI OSTROV

Desde que De Wollant dirigía el Departamento de Vías de Comunicación se inicia en Rusia, bajo la mano de Betancourt, la construcción de puentes con características modernas. En 1811 Betancourt proyectó el Kámennoi Ostrov, primer gran puente permanente de arco de madera de Rusia. Pasando el Malaia Nevka unía las islas Kámenni y Aptékar-ski. Los pilotajes horadados y ligeros que mostró en la construcción, en lugar de los pilares macizos usados hasta entonces, consiguieron presentar menos obstáculos al golpe de la corriente y el hielo, por lo que oponen una resistencia mayor y más eficaz. El éxito de los nuevos procedimientos aplicados sirvieron de prueba de lo que se podría diseñar para instalar un puente permanente sobre el Neva (Puente de San Isaac) que le había sido encargado. Betancourt diseñó también la maquinaria de construcción necesaria que se fabricó en los talleres del Instituto. El puente quedó abierto al tráfico el 30 de Agosto de 1813.

Betancourt fue el autor de los planos de numerosos puentes rusos: sobre el Izhora; en el Slavianka el del Parque de Catalina; el de Peterhof; el de Tula; el de Babina sobre el río Rauna, cerca de San Petersburgo (puente de madera de un solo ojo); el de Lubani a unos 100 Km de San Petersburgo es un puente de tres ojos, de madera sobre pilares de piedra; el de Tchudina sobre el río Kerest, a 130 Km de la capital; el de Holojje Polesti.



Puente de Lubani (27)

Derrotados los franceses y firmada la capitulación, regresaron del desierto los ingenieros deportados Fabre, Bazaine, Destreme y Potier que se pusieron a disposición de Betancourt. Bazaine como profesor de matemáticas y Potier de geometría descriptiva se quedaron en el Instituto y Fabre y Destreme recibieron el encargo de proyectar el puerto de Taganrog y la carretera militar de Georgia.

FÁBRICA DE MONEDA

En Rusia los primeros rublos de papel fueron emitidos en 1769 por Catalina II. Dado que la emisión de papel moneda no estaba cubierta por las reservas del banco, la fabricación no era empresa muy difícil y a ello se dedicaban desde el favorito de la emperatriz hasta los campesinos. A principios del siglo XIX Rusia estaba inundada de billetes falsos fabricados dentro

y fuera del país; así, mucho antes de la guerra contra Napoleón, se imprimían en Francia y con la invasión se diseminaron por todo el país ruso.

En 1816 surgió la necesidad perentoria de cambiar el papel moneda para poner fin a la avalancha de falsificaciones. Se precisaba un tipo nuevo de papel y un dibujo complicado, y para todo ello se requería la construcción de un centro especializado. Betancourt recibe la misión de proyectar una fábrica de papel moneda, por lo que proyectó el edificio de la Moneda de San Petersburgo y diseñó y construyó los departamentos de fabricación de papel, la imprenta y la maquinaria necesaria. Betancourt hizo también el dibujo de la nueva moneda que fue retocado ligeramente por el príncipe A. N. Jovanski.



Catedral de San Isaac (28)

COMITÉ DE CONSTRUCCIONES Y OBRAS HIDRÁULICAS

En 1816 Betancourt recibió la designación directa de Alejandro I de presidente del Comité de Construcciones y Obras Hidráulicas, para organizar el urbanismo de San Petersburgo. La misión del comité era examinar los nuevos proyectos, reglamentar el trazado de calles y plazas, proyectar canales y puentes, urbanizar suburbios, etc. El comité realizó una ingente labor para planificar y ordenar la construcción de la capital. La victoria de la guerra patriótica y el sentimiento nacional que aquel triunfo despertó en el pueblo ruso fueron razones de peso que motivaron la creación de grandes conjuntos arquitectónicos en San Petersburgo.

Se reconstruyó el palacio Anichkov, se edificaron los palacios Elaguin y Mi-jáilovski (actual Museo Ruso), el edificio

del Estado Mayor General en la plaza del Palacio, el teatro Aleksandrinski, los edificios del Senado y el Sínodo, etc. En Rusia, Betancourt se transforma de científico y educador en un hombre de acción. Esta nueva etapa del ingeniero canario dedicado a tareas de construcción y organización las había realizado ya en España cuando era Inspector General de Caminos y Director General de Correos.

CATEDRAL DE SAN ISAAC

El emperador había encargado a Betancourt que se hiciera cargo del proyecto de construcción de la Catedral de San Isaac, la obra más gigantesca del San Petersburgo imperial. En el verano de 1816 había llegado de París un arquitecto joven Ricard Montferrant recomendado por su amigo Breguet; empezó como delineante pero al poco tiempo Betancourt le encar-



Fachada del picadero de Moscú en 1971 (29)

gó los dibujos de la Catedral, los cuales configuraron un álbum de 24 dibujos que presentados a Alejandro I hicieron que Montferrant fuera contratado como arquitecto.

En realidad la catedral había sido mandada a construir por Pedro el Grande en 1710, pero aquel primer edificio era de madera y quedó enteramente consumido por un voraz incendio en 1735. Se había colocado la 1ª piedra por el Zar Alejandro I en junio de 1819 y se reconstruía bajo los planos de Betancourt confiados al arquitecto francés Montferrant, quien terminó el templo en 1858, después del fallecimiento de Betancourt. Este arquitecto siguió básicamente los criterios del proyecto inicial, aunque introdujo, sobre obra, bastantes modificaciones, pero su contribución a la parte de la estructura debió ser mínima, siendo mayor su aportación en la decoración y carácter artístico.

Montferrant en lo que se refiere a métodos de construcción debía mucho a Betancourt. En la parte artística y tecnológica del proyecto también aportaron sus ideas los notables arquitectos del Comité de Construcciones. Lo que fue aportación más exclusiva de Betancourt es la mecanización de la obra, es decir todos los mecanismos de elevación y los andamios, que diseñados y proyectados por Betancourt fueron construidos incluso algunos después de su muerte. En la exposición actual de la catedral se exhiben las maquetas de los diseños.

PICADERO DE MOSCÚ

En 1817 Alejandro I se disponía a visitar Moscú; con tal motivo y para que pudiera evolucionar un regimiento bajo techo con garantías climáticas a efectos de presentar honores, se decidió a cons-

truir un edificio para estos menesteres. Betancourt hizo el proyecto inicial de este “Picadero de Moscú”, siendo un edificio que debía armonizar con el conjunto arquitectónico del Kremlin y que por sus dimensiones, arquitectura y cubierta no tuviera rival en la Europa de la época.

Al comenzar 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 actuar con su presencia en los trabajos de reconstrucción. Pero Moscú no había previsto la presencia de tropas tan numerosas, como las que arrastraba normalmente la presencia del Zar. Para los ejercicios de estas tropas se hizo urgente la necesidad de un picadero, ya que el clima de aquellas regiones no permite ejercicios al aire libre durante el invierno. Así es como en el verano de 1817, al establecer su residencia en Moscú, el Zar mandó realizar varios proyectos para el salón de ejercicios, conocido en España con el nombre de picadero, que parece impropio, porque el edificio en realidad es un salón para los ejercicios y las formaciones de soldados de infantería; necesidad propia de los países nórdicos.

Uno de sus trabajos más conocidos, en el terreno de la construcción, es el “Picadero de Moscú”, por sus atrevidas proporciones y por la rapidez de su construcción. Sus dimensiones eran 164’7 m. de largo, 45’8 de ancho y 12’80 m. de altura, con paredes de ladrillo y madera (el picadero de San Petersburgo era el mayor hasta entonces y su formato era 168 x 36 x 7 m). El proyecto fue sometido por Betancourt al Emperador en Junio de 1817, inmediatamente aprobado y puesto en ejecución, con dificultades técnicas y materiales se terminó en cinco meses, siendo inaugurado el 2 de diciembre del mismo año.

La techumbre de la fábrica, capaz de ofrecer a cualquier ingeniero dificultades casi insuperables, no presentó ninguna para el genio de su inventor, que, sometiéndolo a sus ensayos al cálculo y la experiencia, hizo del hierro y de la madera una combinación perfecta. 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, en el interior de un espacio completamente libre, sin columnas o paredes intermedias para apoyo del techo, ya que en aquella época no se podía pensar más que en un techo de madera, difícil de construir en buenas condiciones, encima de paredes tan separadas. Su mayor logro era la anchura, la más grande de las que se habían conseguido hasta el momento y se consideraba un alarde de técnica y movimiento.

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. 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 Betancourt, acaba por alterar la forma del maderaje y producir efectos de hundimiento o desplome. A pesar del gran éxito y de la inmediata utilización que se hizo del salón de ejercicios, su fábrica no dejaba de presentar ciertas imperfecciones, que Betancourt señala escrupulosamente, siendo el resultado de no haber sido posible vigilar convenientemente la ejecución de cada detalle.

El resultado definitivo es que en los pocos meses de que había dispuesto, Betancourt había podido cumplir con creces su cometido, entregando una construcción mejor de lo que se podía esperar en aquellas condiciones y terminando en breve plazo un edificio atrevido, gracias a la precisión de sus cálculos.

[Gioranescu, 1965]

DIRECTOR GENERAL DEL IMPERIO

Por fallecimiento de Franz Pávlovich de Wolant, fue designado Director del Departamento de Vías de Comunicación del imperio ruso el teniente general Agustín de Betancourt en abril de 1819 (era un cargo equivalente al de un ministro de gobierno). Conserva además el cargo de Inspector Jefe del Instituto del Cuerpo de Vías de Comunicación.

ESCUELAS PROFESIONALES

Se comprobó, que además de ingenieros cualificados, cada obra requiere un personal medio, subalterno, bien formado; por lo que nada más ponerse al frente del Departamento plantea la necesidad de crear un cuerpo auxiliar que llamó destacamento de construcciones de la brigada militar de vías, y que trató de formar en los talleres del instituto. En 1820, según proyecto de Betancourt, se organizan en San Petersburgo dos escuelas de formación de personal técnico: la escuela Militar de Construcciones y la escuela de Ayudantes de Vías de Comunicación. En éste segundo centro se admitían hijos de soldados entre ocho y diez años, que durante 6 años estudiarían aritmética, geometría, trigonometría, dibujo lineal, lectura, caligrafía, levantamiento de planos y práctica de construcciones de madera y de piedra.

RED DE CARRETERAS

Betancourt impulsó de forma notoria la construcción de carreteras, usando el dinero y el esfuerzo de la población, mayoritariamente campesina, como contribuyente de la nación. Entre estas carreteras se construyeron las de San Petersburgo a Narva y a la frontera finlandesa, así

como varios puentes y una red de caminos en torno a la capital.

FERROCARRIL Y ACUEDUCTO

Parece que Betancourt se ocupó también del proyecto de ferrocarriles en Rusia y proyectó construir un acueducto de 15km que traía agua potable desde Taitsi hasta la célebre residencia de verano del Zar de Tsárkkoie Sieló.

Se procedió a la limpieza permanente de los fondos de ríos y canales (de fangos, bancos de arena, hierbas, etc), corrección de cauces y otros. En estos años en que Betancourt dirige el Departamento de Vías de Comunicación aparece la primera máquina de vapor en barcos fluviales usada en Rusia, y comienza a utilizarse la navegación a vapor, recorriendo el Volga los primeros "vapores".

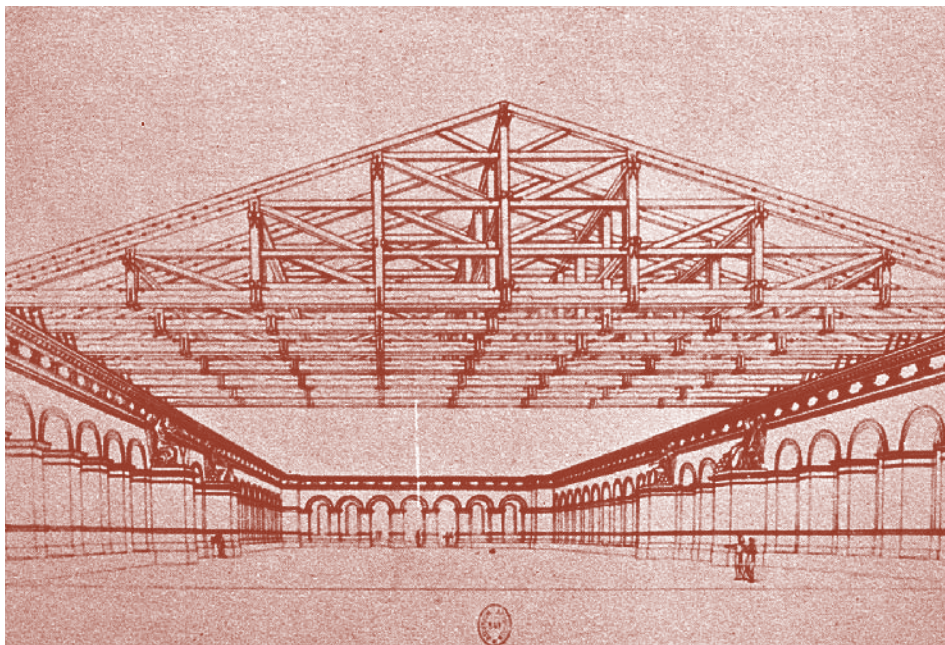
MÁQUINA, FÁBRICA DE HILADO. FÁBRICA DE CAÑONES.

Betancourt construyó una serie de máquinas, en los talleres del instituto, para renovar una fábrica de hilado mecánico de lino, algodón y lana. Otra empresa digna de destacar es su participación en la instalación de la fábrica de cañones de Kazan, cuyos talleres fueron proyectados por Betancourt y construidos bajo su orden.

En el Instituto de Ingenieros Ferrovianos Obrastsov, de Leningrado, se conserva una carpeta con planos dibujados por él, unos en tinta china y otros en acuarela.

FERIA

Desde 1816 Betancourt estudia, por encargo del Emperador, el modo de trasladar la feria de Makáiev a Nizhni Nóvgorod (hoy Gorki, en el curso medio de Volga), para lo cual se formó un comité presidido por Betancourt. Es esta una de las obras de arquitectura más importante



Techumbre del Picadero de Moscú (30)

de Rusia, y de las más modernas en soluciones técnicas de la época.

Destruídas por un incendio las instalaciones de la feria de Makárief, la más importante de toda Rusia, el gobierno ruso juzgó preferible no volver a construirla en el mismo lugar. Sino buscarle un sitio más conveniente y más fácilmente accesible, en la misma confluencia de los grandes ríos Volga y Oka.

En julio de 1817, Betancourt fue a Nizhni Nóvgorod en viaje de inspección y para hacer un estudio previo de todos los aspectos económicos del traslado. Eligió como emplazamiento la orilla izquierda del Oka, donde este desemboca con el Volga, lugar muy favorable a la navegación. El principal problema era el saneamiento de los terrenos que se pensaban dedicar a la feria, ya que se trataba de tierras pantanosas e inundables, minado continuamente por las embestidas perío-

dicas de las aguas del Volga. Hacía falta vencer grandes dificultades para formar una instalación saludable y cómoda, donde los comerciantes, compradores, y curiosos que acuden de Europa y Asia, puedan hallar todo cuanto contente sus intereses y necesidades. Por el traslado de la feria abogaron los mercaderes de todo el Volga, oponiéndose sólo los comerciantes locales de Yoroslavl y Moscú.

Para evitar las inundaciones de la primavera se levantaría una ciudad nueva, construida 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, edificio para la policía, conductos de agua para consumo y limpieza; en fin, todo cuanto es necesario para el uso de la sociedad.

Los planos de la feria fueron elaborados por Betancourt asistido por tres ingenieros españoles que habían contratado al servicio del Zar; Jose Espejo (su yerno), Bauzá y Viada; además de los ingenieros ex-alumnos y colaboradores mas próximos A.I. Rokassovski y A.D. Gotman. Se trasladó a Nizhni Nóvgorod probablemente en 1817 ubicando la residencia familiar de su hija, y su yerno, y durante la duración de los trabajos pasó largas temporadas con ellos. Con la población de Nizhni Nóvgorod Betancourt tenía pocas amistades, pero debido a que su esposa Ana era inglesa y compatriota de la esposa del gobernador civil A.S. Kriúkov, estos hicieron amistad; aunque en ese mismo año (1818), tuvieron serias desavenencias lo que ocasionó que Kriúkov le destituyera de su cargo y lo ocupara él mismo. En septiembre, Betancourt partió hacia San Petersburgo (en parte para no descuidar su labor en esta ciudad, sobre todo la reconstrucción de la catedral de San Isaac), encontrando que en su ausencia en el Gobierno se habían producido cambios sustanciales, (que más adelante le afectarían) como era el aumento de influencia en el Consejo de Ministros por parte de Arakchéyev, por quién pasaban todos los informes de los ministros al Zar.

En mayo de 1819, Betancourt, al volver a Nizhni Nóvgorod, lleva a toda su familia en un vapor, puesto a su disposición. Al pie de la casa que habitaban, fue tendido sobre portones, un largo puente, que llevaba a la feria uniendo las dos orillas del Oka; la parte derecha de la llanura en que éste desembocaba, la ocupaban tiendas y barracones provisionales y la parte izquierda era un hervidero de gente dedicada a levantar los enormes diques que contuvieran las riadas de los grandes ríos.

Los edificios son para albergar tres mil tiendas espaciosas, delante de las cuales hay una galería sostenida por 3200 columnas de

hierro fundido. Además, hay varios edificios para alojamiento del gobernador, salón de asambleas generales, tres iglesias, bolsa, cafés, etc. La feria, ocupando la lengua de tierra formada por la confluencia de los dos ríos, tiene el recinto situado en la inmediata proximidad del casco urbano de Nizhni Nóvgorod, conocido con el nombre de "jarmarka" (feria en ruso) y se divide en feria interior y feria exterior.

La feria interior está formada por un inmenso mercado, con tiendas construidas en piedra y sobre uno o dos pisos, formando calles que se cruzan en ángulo recto, todo rodeado por un canal en forma de U, unido al río, para mejorar el transporte de mercancías a la parte central de la feria. Se conoció desde entonces con el nombre de canal de Betancourt.

En total hay 12 galerías o calles longitudinales, que llevan por nombre una letra del alfabeto, y seis transversales, que llevan un número de orden; una calle o avenida longitudinal, en medio de las mencionadas, desemboca frente al palacio del Gobierno y de la Catedral. Una torre de agua hacía subir ésta desde el río Oka, por medio de una máquina de vapor construida por Betancourt, para las faenas de limpieza y en caso de incendios.

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. A esto se añadían las posibilidades suplementarias de la feria del exterior, superficie irregular cubierta con tiendas, fuera del recinto, y para satisfacer la demanda que las tiendas del interior no podían cubrir.

[Cioranescu, 1965]

La mayoría de los trabajos de la feria se terminaron en 5 años (en 1822), y la terminación total en 1824. Así, en julio de 1822 se inauguró en prueba, y al poco de la inauguración, todo era barullo y movimiento en la ciudad, pues únicamente en la parte más alta se podía encontrar alojamiento.



Feria de Nizhni Nóvgorod (31)

La feria era la primera del mundo en lo referente al volumen de sus negocios, y quizás la primera en cuanto al pintoresco ambiente y variedad de su contenido; representaba un enorme movimiento de masas y de capitales. A la primera feria acudieron 774 barcos (233 del Volga superior, 69 del Oka, 472 del Volga inferior) que trajeron mercancías por valor de 40 millones de rublos. El resultado fue un éxito sin precedentes, ya que por sí sola la obra de Betancourt formaba un conjunto imponente por la importancia de su mole y su perfecta ordenación, por lo que llegó a decir que “tanta grandeza y tanta solidez recuerdan a Roma”.

La feria de Nizhni Nóvgorod fue la última y más entrañable de sus obras y fue el origen de la populosa Gorki actual.

Al mismo tiempo que se llevaban a cabo los trabajos de la feria, el general Betancourt dirigía en la misma ciudad de

Nizhni Nóvgorod los trabajos de urbanismo y embellecimiento de la población en su aspecto social integral.

FÁBRICA DE MONEDA DE VARSOVIA

Durante el tiempo que proyectaba y ejecutaba la feria Betancourt comenzó a proyectar los andamios y mecanismos elevadores para la Catedral de San Isaac. Al mismo tiempo dirigía la construcción de varios puentes en San Petersburgo y aconsejaba sobre la edificación de la fábrica de la moneda de Varsovia que proyectada por él la construyó Bauzá.

PUENTE DE SAN ISAAC

En el interior de San Petersburgo el río Neva se divide en varios ramales, de los que destaca el Gran Neva (Malaja Newa),

el Pequeño Neva (Balshaja Newa) y el Nevka. Una de las construcciones más importantes de Betancourt es el puente de barcas de San Isaac que atraviesan el Gran Neva, que le fue confiada hacia 1820.

Se componía de dos poderosos estribos de piedras y del puente de madera, que descansaba sobre quince barcazas, con un puente elevadizo, para permitir el paso de las embarcaciones que seguían el curso del río. La principal dificultad era la corriente del Neva, cuyo caudal, varía demasiado del verano al invierno y en la primavera, por lo que el nivel de las aguas ocasiona que también suben al mismo tiempo las barcas y ejercen sobre el tablado del puente una presión ascendente que pone en peligro la solidez de la construcción. Para evitar el riesgo de la presión ejercida por el crecimiento del río, Betancourt adaptó el sistema de tirantes elásticos que dejaban cierto juego al conjunto y permitían al entablado seguir el movimiento vertical de la barcas sin pérdida de solidez del puente. El puente, de gran vistosidad y de hermosa concepción arquitectónica, es un nuevo éxito de cálculos del ingeniero canario; sin embargo, presenta el defecto de todos los puentes de barcas y con el tiempo hubo de sacrificarse para responder a las exigencias cada vez mayores de San Petersburgo, por lo que en 1851 fue sustituido por el actual puente de Nicolás, de hierro y granito.

VIAJES POR RUSIA

Lo vemos viajar por los interminables caminos de Rusia, con el cuaderno de dibujo en 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 un práctico paso de esclusa.

Betancourt llegó a Kazán para estudiar la traída de agua potable, la construcción de un muelle y la forma de acabar con la contaminación del aire. Después de estudiar la situación estima que el agua potable puede llegar a Kazan desde el río Mesh por un acueducto de 40 Km, o del Volga por una tubería subterránea de 5 Km, pero habría que instalar una máquina de vapor que eleve el agua hasta la altura de la ciudad. Ahondar el río Kazanka en la desembocadura y limpiar el fondo hasta Kazan, así como dotar de un muelle el casco urbano, aceleraría el comercio al facilitar las operaciones de carga y descarga. También se propuso mejorar la atmósfera de la ciudad, para lo cual había que limpiar los lagos Kabany y Bulak y cegar los depósitos de agua estancada, consiguiendo acabar con las fiebres mortales que se registraban todos los años por épocas.

En un informe, Betancourt se refiere a la posible unión de los ríos Volga y Don por un canal, proponiendo dos variantes, una con esclusas y otra sin ellas. Destaca que el Departamento tiene el cuidado de el Volga Astrajan, porque hacia el sur se halla bajo la responsabilidad de una comisión inoperante, por la que debía pasar todo al Departamento.

Prosigue su viaje hacia el Cáucaso hasta Kizliar y toma la carretera militar de Georgia, donde a la vista del paisaje tan hermoso y fértil exclama: ¡Que Andalucía más bella! La carretera militar de Georgia era uno de los objetivos del viaje. Causó mala impresión a los expedicionarios, por estar frecuentemente el camino obstruido por rocas y ser los puentes pésimos. No dependía del Departamento, sino del gobernador general del Cáucaso, general Iermolov, quien recibió a Betancourt con grandes atenciones para que comprendiera lo mucho que había hecho por Tiflis, principal centro comercial y económico del Transcaucaso, dotado con un elevado número de talleres (tejidos, sables y puña-



Puente San Isaac (San Petersburgo) (32)

les, y joyas) de productos muy solicitados, pero lo más que extraña es que se fabricaban con herramientas muy primitivas.

Los españoles pronto se sintieron en Georgia (en la llamada Iberia Oriental) como en su patria ya que las mujeres dedican la tarde al baile, uniéndosele algunas veces los hombres, siendo la danza Georgiana parecida, por la gracia y fogosidad de su arte, a la danza popular Andaluza. Las mujeres Georgianas tienen fama de hermosas, de imaginación viva y exaltada y de grandes pasiones. Los visitantes encuentran en Georgia un país de enormes riquezas naturales que no se extraían por falta de comunicaciones, por lo que se estableció un acuerdo entre Betancourt y el gobernador para la intervención del Departamento de Vías de Comunicación para actualizar la red de vías. La salida de Georgia al Mar Caspio y a Europa era a través del río Kurá, que era navegable

pero se necesitaba buques de fondo plano y despejar el lecho de piedras.

Desde Georgia, Betancourt se dirigió hacia el norte para inspeccionar los puertos del Mar Negro. También quiso conocer las aguas Medicinales del Cáucaso, tan solicitadas por los enfermos y de indudables propiedades curativas. Así, dio consejos para mejorar las Caldas de Konstantinogorsk, los manantiales de aguas sulfurosa y el balneario de Kislovodsk.

En un informe Betancourt señala, en relación a su visita a Sebastopol, que éste es el mejor puerto de la costa por sus condiciones naturales, por lo que debe contar con astilleros para la construcción y reparación de buques. Desde allí, Betancourt y su comitiva partieron hacia el norte; a su paso por Crimea observa que la mayor parte de la provincia está sin cultivar por falta de vías de comunicación. Potier se encargó de estudiar la carretera que enla-

za Crimea con otras comarcas, y sólo con los productos de la zona cubrirían los gastos de construcción.

Odesa era otra ciudad flamante; en ella se establecían muchos extranjeros atraídos por los privilegios concedidos a su ciudadanía. Este origen cosmopolita configuró una ciudad con un fuerte colorido tipo Mediterráneo. Allí nuestro ingeniero examinó los proyectos del puerto, del abastecimiento de agua y la pavimentación de las calles, que lo único que requerían era ponerlos en marcha. La navegación en el sur de Rusia estaba en un estado muy precario, provincias muy ricas se hallaban en la mayor miseria por la falta de buenas salidas. También opinaba que las comarcas bañadas por los ríos que desembocaban al Mar Negro deben fomentar los transportes por agua; con este fin exploró los ríos Niéper y Seim.

En noviembre de 1829, Betancourt y su comitiva regresaron a San Petersburgo presentando un exhaustivo informe al Zar, señalando que Rusia es muy rica en vías de comunicación pero que estas se usan muy mal, ya que muchos ríos navegables no tiene barcos y provincias fértiles rayan la miseria por que los caminos son incómodos. Existen regiones enteras

despobladas por falta de vías de comunicación. El mayor obstáculo a la resolución de estos problemas señala Betancourt, son las asignaciones para obras públicas.

Alejandro I era muy aficionado a viajar, pero cuando llegaba a una ciudad le rodeaban los nobles y los grandes propietarios prodigándole halagos y ensalzando sus “mercedes” al pueblo. Le explicaban como todo era abundancia y bienestar y que los campesinos cada vez vivían mejor; aunque cuando estallaba alguna insurrección lo achacaban a malhechores y a la ingratitud de la gente.

Por todo ello, parece dudoso que el informe del viaje por Rusia, de Betancourt, fuera del agrado del Zar. Como respuesta Alejandro I ordena el 9 de marzo de 1822 reducir las obras que venían realizando el Departamento de vías de Comunicación y no hace mención de los compromisos financieros futuros, con lo cual parece clara su actitud de castigo e intención de desarticulación del Departamento.

A sus 64 años, como recompensa a su gran labor realizada en el imperio ruso, le aguardaba esta ingratitud y desprecio, como suele ocurrirle a todos los grandes hombres al final de su carrera.

VI. Final de su Vida

Sobre Betancourt se cernían densos nubarrones ya que era enemigo de la adulación y, por sus construcciones, continuamente asediaba y se enfadaba con el ministro de Hacienda. Además, era hombre muy independiente que no se sometía al mecanismo burocrático y policial de Arakchéyev (general de artillería, favorito de Alejandro I que desde 1815 tuvo en sus manos la dirección del consejo de estado y controlaba todos los informes dirigidos al Zar, así como organizaba una política de despotismo policíaco). En las esferas gubernamentales y en su propio departamento, crecía el número de sus enemigos hecho que no preocupaba a Betancourt ya que estaba convencido de que contaba con el apoyo del Zar, pero ignoraba las intrigas a sus espaldas así como la hipocresía de Alejandro I que con mucha astucia simulaba su interés por la labor del ingeniero. No había trabajado para ganarse la protección de Arakchéyev y éste buscaba la forma de eliminarlo exaltando los roces y desavenencias tanto en el Departamento como en el Comité de Construcciones y Obras Hidráulicas.

A fines de mayo de 1821 fue recibido en audiencia por el Zar, siendo bien acogido y quedando aprobados sus programas y condecorados los técnicos que él propuso. Convencido de que contaba con el afecto del Zar, tres días después de la visita marchó para Nizhni Nóvgorod. Los enemigos aprovecharon su ausencia

para todo tipos de intrigas y a su vuelta en septiembre de 1821 solicitó una audiencia con el Zar, que durante tres meses le fue denegada.

Durante este tiempo en el Departamento de Vías de Comunicación se habían organizado algunos problemas. Valiáshhev, miembro del Cuerpo de ingenieros de Vías de Comunicación, llevaba a cabo todas las misiones que le encomendaban con gran satisfacción de sus jefes y con gran quebranto para el Tesoro público, por lo obsequioso de forma discriminada, a la gente que le era útil para sus aspiraciones. Algunas denuncias pusieron en peligro su carrera, pero con extraordinario cinismo escurrió el bulto y engaño y fascinó a Betancourt eludiendo responsabilidades; pero con eso no le bastó, sino que, siempre a disgusto con lo que se hacia, se unió con el general Charbonier para hacer una oposición declarada (y apoyada desde el poder político) contra el director general, Betancourt. En las vísperas de las navidades de 1821, presentaron en escrito lleno de protestas contra la gestión de Betancourt. En enero de 1822, Alejandro I llamó a Betancourt para resolver el tema, tratándole, por primera vez, con severidad. Los dos generales fueron juzgados por oposición a su jefe, siendo Charbonier absuelto pronto y Valiáshhev murió nada mas acabar el proceso, pero de todo esto la autoridad del Director del Departamento había quedado muy disminuía.

Betancourt seguía dirigiendo el Instituto, como presidente del Comité, así como organizando la construcción de la catedral de San Isaac. Pidió en varias ocasiones audiencia con el Zar pero siempre le fue denegada.

Por fin, en agosto de 1822, Alejandro I recibió a Betancourt pero tan farsante y astuto que una vez más engañó a su ministro de Vías de Comunicación. Algo compungido le hizo ver que, por ser extranjero, tenía muchos enemigos en Rusia, por lo que a él se le había ocurrido respaldarle con uno de sus familiares nombrándole como jefe, solo nominal, de Betancourt. El elegido fue su tío el duque Alejandro de Wurtemberg, que es nombrado administrador general de Vías de Comunicación pero sin especificación de su relación con el Director del Departamento.

Lo que parece cierto es que, emperador y duque, tenían reuniones secretas y un plan estudiado de actuación mientras Betancourt seguía ignorante de su alrededor.

Betancourt aceptó la propuesta del Zar y quedó subordinado voluntariamente al duque; pero era una situación extraña ya que nadie había visto a un ministro subordinado a su inmediato. Alejandro de Wurtemberg, exgobernador de Bielorrusia, jamás había tenido nada que ver con asuntos técnicos, por lo que extrañó que un día de octubre de 1822 ordenó que todos los ingenieros de la ciudad se presentaran acompañados de sus jefes. Al día siguiente Betancourt se presentó, junto con una multitud de subordinados, hasta que le llamaron, no aparte, sino con todos lo demás, para que el duque se echara un discurso, en el que había que destacar su despiste en temas técnicos así como la alusión a que en el cuerpo había un cúmulo de robos y cosas mal hechas, sin pruebas ni explicaciones. Durante esa madrugada, Wurtemberg, alquiló carros y sacó todos los papeles, informes y proyec-

tos del despacho de Betancourt dejando los armarios vacíos y la oficina saqueada. El ingeniero pidió explicaciones al tío del emperador, negándose este a todo tipo de conversación. No pasaba semana sin nuevos disgustos y humillaciones para Betancourt.

Ni siquiera el príncipe de Oldenburg ni de Wolant, siendo Director del Departamento, podía mandar en el Instituto, ya que el Zar había concedido a Betancourt el privilegio de ser dueño y señor de las enseñanzas de ingeniería. El duque sin embargo se permitió la osadía de inspeccionar el Instituto con todo detalle, sin avisar a su Inspector-Jefe; dada su ignorancia docente eran ridículas sus objeciones, aunque en lo más que se fijó eran en los detalles administrativos; no hacía más que censurar.

En noviembre ordenó a Betancourt, como si se tratara de un simple ayudante, que fuera a Schlisselburg a revisar unas averías en las esclusas. Así mismo decidió alojarse en la casa que formaba parte del Instituto y en donde vivía Betancourt; para ello hubo de trasladar el Instituto a otro sitio y argumentar varias razones para desahuciar al ingeniero de su hogar.

En el Instituto comenzaron los cambios, ya que el administrador general decidió militarizarlo (se introdujeron asignaturas militares impartidas por un oficial) poniéndole disciplina cuartelera y transformándolo en centro restringido a nobles mayores de 15 años, por lo que solo era accesible a los ricos.

A Betancourt ya no le quedaban energía ni para luchar por esta situación, ni para contemplar como se desmoronaba la obra que él levantó con tanto esfuerzo. Un informe suyo al Zar, detallado y exhaustivo, quedó sin respuesta. Contra su voluntad, pero como si se tratara de un favor especial, le fue permitido el no considerarse adscrito al Cuerpo de Ingenieros del Departamento de Vías de Comunicación,

no dirigir el Instituto y no depender del duque. A su cargo sólo quedó el Comité de Construcción, la Catedral de San Isaac y la feria de Nizhni Nóvgorod.

En el verano de 1823 realiza su último viaje a la Feria, donde todos los edificios estaban terminados, a falta de algún retoque. Allí le llegó la noticia de la muerte de su hija Carolina, lo que fue un golpe moral definitivo que le hizo regresar a San Petersburgo y presentar la dimisión de todos sus cargos y que le fue aceptada en febrero de 1824.

En esta situación, muere el 14 de Julio de 1824 con 66 años, momento en que Alejandro de Wurtemberg como administrador general del Departamento de Vías de Comunicación informaba: “El Cuerpo de Vías de Comunicación pierde a un general excelentísimo por sus vastos y profundos conocimientos y por todas sus virtudes, que le convirtieron en el hombre mas celoso y útil del Departamento. No cabe duda de que esta perdida será sentida por todos los señores oficiales del Cuerpo y de manera especial por los que se formaron bajo su dirección en el Instituto del Cuerpo de Ingenieros”.

Sus restos se enterraron en el cementerio Luterano de Smolenski (al lado de la tumba de su hija Carolina) a la derecha de la entrada principal muy cerca de la tumba de Euler, una de las grandes figuras de la historia de la Ciencia y el fundador de la mecánica de los fluidos, base de la mecánica aplicada donde brillo Betancourt. También Euler fue un exiliado traído a Rusia por Catalina la Grande (al igual que hizo Alejandro I con Betancourt).

Más tarde, los ingenieros del Cuerpo de Vías de Comunicación erigieron sobre la tumba de su maestro un monumento, el mayor del cementerio, con una gran columna de hierro de 7 m. de altura. En su lado sur tiene un epitafio y en el lado norte hay una vista de la feria de Nizni Nóvgorod.



Tumba de Agustín Betancourt en San Petersburgo (Leningrado) (33)

Después de la muerte de Betancourt, su esposa Ana se trasladó a París con las dos hijas Adelina y Matilde, quedando en Rusia, como oficial de la Guardia imperial, su hijo Alfonso y su sobrino Agustín Monteverde Betancourt (hijo de su hermana Catalina y natural de la Orotava que llegó a Rusia en 1821 y consiguió llegar a general del ejército ruso)

REVISTA CIENTÍFICA

Todavía se materializó otra de sus empresas después de su muerte, esto es, la revista literaria científica del Departamento de Vías de Comunicación del imperio ruso que versaba sobre: I) Notas históricas; II) Datos y descripciones estadísticas; III) Artículos de carácter científico;

IV) Proyectos de nuevos caminos y obras; V) Caminos militares, puentes, arquitectura civil, militar y marítima; VI) Noticiario industrial; VII) Noticiario administrativo; VIII) Navegación; IX) Leyes, decretos disposiciones, etc.

APORTACIÓN HISTÓRICA

Betancourt aparece ante nosotros como un hombre universal: ingeniero, científico, pedagogo, directivo y organizador, con originalidad inventiva y hábil técnico. Las ideas y las obras de este hombre inteligente y culto en grado sumo, bondadoso y noble, todavía perduran. Así dice: "Cuando las ciencias no tienen más objeto que el de lucir el genio del que la cultiva, y cuando no tienen aplicación para la vida práctica, se puede decir que su utilidad es muy limitada".

Para Betancourt la ciencia pura no es más que un instrumento, y el conocimiento debe estar siempre al servicio del progreso. Esto es, la ciencia siempre es un instrumento no sólo útil, sino imprescindible, para obtener los resultados que la técnica anhela. Desprecia la invención casual, el acierto producido sin la intervención del cálculo y sin la garantía de los números o de los principios de aplicación universal.

Sus características personales son:

-Su intención marcadamente práctica.

Desprecia la especulación gratuita y tiene una avidez por conseguir, a base de la teoría y del cálculo, resultados y aplicaciones utilitarias, y de servir con la ciencia al progreso y bienestar de la humanidad.

-Sus dotes de inventor.

Gran capacidad de imaginación para en lugar de asociar ideas, asocia efectos mecánicos y piezas engarzadas; construye a base de cálculos mentales, partiendo de lo que quiere conseguir para llegar hacia atrás hasta el modo de lograrlo. Pero de esta ingeniosidad natural y esponta-

neidad, parece que Betancourt no se fía mucho, ya que el empirismo, para él, no tiene mucho que ver con la técnica, que depende exclusivamente de los cálculos y de los principios.

-El adquirir una sólida preparación científica.

Su preparación académica era bastante más fuerte que lo que necesitaba en realidad, para solucionar la mayor parte de los problemas con que tuvo que enfrentarse. Así es como lo vemos proceder por ambos métodos a la vez; por ejemplo, en la esclusa, experimentando su invento y calculando a la vez. Siempre asocia en sus trabajos la ciencia con la invención, para pasar sus tanteos a conclusiones, o bien para hallar la fórmula exacta del equilibrio de fuerzas, efectos mecánicos y órganos de máquina.

-Dibujo ágil y firme.

Es un intérprete fiel y rápido de sus pensamientos, de modo que a base de sus planos y dibujos cualquier mecánico de mediana preparación puede transformar en realidad la máquina que el solo ha visto en su imaginación.

-Su laboriosidad.

Para él es un placer su trabajo; el amor al trabajo considerado como juego y como creación, es quizás la explicación más acertada de sus éxitos como técnico y como constructor. Conserva toda su vida la afición por el taller y por el trabajo mecánico hecho por sus propias manos. Después de haber imaginado el inventor dibuja y trata los planos del invento, y luego pasa al taller, donde funde, amolda y ensambla él mismo.

Su carrera de ingeniero y de inventor fue un continuo triunfo. Llegó a Madrid como modesto estudiante, que no había abandonado nunca su rincón canario, y en pocos años llegó a ganar la confianza del rey y de los ministros, a conseguir avales ilimitados para los grandes trabajos que dirigió en varias ramas de obras públicas, a ofrecer en su país el primer museo

tecnológico del mundo y una de las primeras y mejor red telegráfica de aquellos tiempos. En Francia se codeó con los más ilustres científicos de la época, tratándoles como iguales, intercambiando ideas colaborando con ellos, e hizo que aplaudieran sus descubrimientos la más ilustre corporación científica del mundo, la Academia de las Ciencias Francesas.

Su nombre ha sido tratado injustamente por la historia de las ciencias ya que no figura en ninguno de los libros de este tema, posiblemente debido a la propia ingratitud de la época en que vivió y que no se ha conservado en su país, casi ninguna de sus obras.

En los extremos de Europa fundó dos escuelas de ingeniería, en Madrid y en San Petersburgo. Tanto en España como en Rusia, Betancourt dejó una gran herencia, una generación de ingenieros formados por él, en escuelas concebidas según planos y normas de enseñanza diseñados por él. Son los continuadores conscientes o inconscientes de sus obras y sus ideas, formando la base de todo cuanto se ha adelantado desde entonces.

Su libro, el Ensayo sobre la composición de las maquinas, fue texto durante

medio siglo en todas las escuelas técnicas europeas y una de las bases de la teoría de maquinas y mecanismos. Las tablas esquemas de Betancourt -Lanz- Hachette que resumían el contenido del libro, siguieron utilizándose a lo largo del siglo XIX. En Estados Unidos se publica el "Appletons Dictionary of Machines, Engine -Work and Engineering" (1873), que acepta el sistema de Lanz -Betancourt.

Sus trabajos han sido continuados, imitados, mejorados, completados, que es lo mejor que puede ocurrir con un trabajo científico. En este progreso de los conocimientos humanos Betancourt es un eslabón necesario.

En 1900, al formarse en Paris un Museo Centenario de la Mecánica francesa Agustín de Betancourt fue el único extranjero admitido en el museo, por su gran aportación al país. No podía faltar la mención a los trabajos de Betancourt, el hijo de Canarias, adoptado por la comunidad científica internacional, porque con ello hubieran faltado los primeros eslabones de especialidades importantes, que más tarde adquirieron gran desarrollo.

Bibliografía

- BOGOLIUBOV, ALEKSEI.: “Un héroe español del progreso: Agustín de Betancourt” (traduc.). Seminario Ediciones (1973).
- CIORANESCU, ALEJANDRO: “Agustín de Betancourt: su obra técnica y científica”. Instituto Estudios Canarios La Laguna de Tenerife (1965).
- GARCÍA ORMAECHEA Y CASANOVA, P. : “Betancourt y la Academia de Bellas Artes”. Revista de Obras Públicas (1964).
- GARCÍA ORMAECHEA, PEDRO: “Agustín de Betancourt: su juventud y su vejez” I, II, III, IV y V. Periódico El Día, Agosto (1983).
- HERNANDEZ PEREZ, MELECIO: “Semblanza biográfica del polifacético Agustín de Betancourt”. Periódico El Día, 3 Julio (1983).
- MENENDEZ PELAYO, MARCELINO: “La ciencia española” T.III, 373, (1847).
- MILLARES CARLO, AGUSTÍN: “Ensayo de una bibliografía de escritores naturales de las Islas Canarias” siglo XVI, XVII y XVIII, 123, (1932).
- PADRON ACOSTA, SEBASTIAN: “El ingeniero Agustín de Bethencourt y Molina”. Instituto de Estudios Canarios. La Laguna. Tenerife (1958).
- PEREZ BORGES, J. M.: “Actividades del Hogar Canario en Madrid: Conferencia de D. Tomás García Diego sobre el tinerfeño Bethencourt y Molina”. Periódico La Tarde, 6 Mayo, (1958).
- PEREZ ZAMORA, AURELIO: “Apuntes para la biografía de don Agustín de Bethencourt y Molina”. Periódico El Eco del Comercio. Santa Cruz de Tenerife. Marzo, (1859).
- RUIZ ALVAREZ, ANTONIO: “Nuestro Instituto Laboral ha tomado el nombre del ilustre portuense Don Agustín de Bethencourt y Molina.” Boletín Informativo del Instituto Laboral Agustín de Bethencourt, nº1 ,6-7, (1956).
- VARIOS AUTORES. Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo CEHO-PU. “Betancourt. Los inicios de la ingeniería moderna en Europa”. Edita Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. (1996).

Índice de ilustraciones

1. Retrato de Agustín de Betancourt y Molina del Salón de Actos de la Escuela de Caminos, Canales y Puertos de Madrid
2. Fotografía tomada en el año 2000 de un cuadro de la colección del Hotel Monopol con la Fachada de la casa donde nació. Puerto de la Cruz
3. Calle Quintana. Detalle actual de la fachada de la casa donde nació y placa en su honor, que figura en el frente del inmueble
4. Busto al ingeniero Agustín de Betancourt. El Ayuntamiento de su ciudad natal.
5. Máquina para hilar seda. Tomada de CEHOPU; p.159
6. Dibujos académicos de Agustín Betancourt. Tomada de Padrón Acosta, S. referida a la colección de la familia Salazar y Bethencourt de la Orotava; p.31
7. Conjunto de tres bombas de extracción de agua con zacas. Tomada de CEHOPU; p.63
8. Accesorios de extracción. Tomada de CEHOPU; p.65
9. Máquina de vapor de doble efecto y de Watt. a) Vista general b) vista perfil c) Vista de frente. Tomada de CEHOPU; p.112-113
10. Paralelogramo de la máquina de vapor de doble efecto. Tomada de CEHOPU; p.177
11. Distribución del vapor en la máquina: Tomada de Cioranescu A.; p.112-113
12. Dibujo de la "Memoria sobre la fuerza expansiva el vapor de agua" de A. Betancourt. París (1798). Tomad0 de CEHOPU; p.246
13. Draga de vapor. Tomada de CEHOPU; p.269
14. Máquina para subir agua. Tomado de Cioranescu, A.; p.160-161
15. Máquina de cortar hierba. Tomada de CEHOPU; p.287
16. Máquina de cortar hierba en ríos y canales. Tomada de Cioranescu, A.; p.120-121
17. Telégrafo óptico. Tomado de CEHOPU; p.189
18. Válvula de flotador. Tomado de Cioranescu, A.; p.161-162
19. Máquina de doble cuña. Tomado de Cioranescu, A.; p.161-162
20. Esclusa de embolo buzo. Tomado de Cioranescu, A.; p.144-145
21. Plano inclinado con embolo buzo (plano vertical y lateral). Tomado de CEHOPU; p.180
22. Plano inclinado con embolo buzo (detalle). Tomado de CEHOPU; p.180
23. Máquina de dragar. Tomada de Cioranescu, A.; p.120-121
24. Draga: corte horizontal. Tomada de Cioranescu, A.; p.120-121
25. Draga: a) Mec. de transm. b) Mec. de extrac. c) Órgano d) Mec. Tomado de Cioranescu, A.; p.137-138
26. Puente de Babina. Tomado de Cioranescu, S.; p.176-177
27. Puente de Lubani. Tomada de Cioranescu, A.; p.176-177
28. Catedral de San Isaac. Tomada de Bogoliubov, A.; p.96-97. Acuarela de 1847
29. Fachada del Picadero de Moscú en 1971. Tomada de Bogoliubov, A.; p.96-97
30. Techumbre del Picadero de Moscú.. Tomada de Cioranescu, A.; p.160-161
31. Feria de Nizhni Nóvgorod. Tomada de CEHOPU, p.143
32. Puente de San Isaac (San Petersburgo). Tomada de Cioranescu, A.; p.168-196
33. Tumba de Agustín Betancourt en San Petersburgo. Tomada de Bogoliubov, A. (fotografía 1968); p.96-97.

Los Autores

JOSÉ FERNÁNDEZ GONZÁLEZ

Natural de Tenerife, actuando de profesional docente en diversos ámbitos. Así, ha sido profesor de instituto de enseñanzas medias, ejerciendo varios años en el actual I.E.S. “Agustín Bethencourt”, de Catedrático de Física y Química, en 1980, y actualmente es Profesor Catedrático de la Universidad de La Laguna en Didáctica de las Ciencias. Doctor en Ciencias por la Universidad de La Laguna (Octubre de 1977), ha desempeñado el cargo de Vicerrector de Alumnado de la misma.

Su amplia trayectoria profesional le ha llevado a dirigir reformas de las enseñanzas, en Ciencias, de Secundaria, en la Comunidad Canaria, durante varios años. Así mismo, se tituló de Especialista en Didáctica de las Ciencias Experimentales por la Universidad de Sevilla en 1988, lo que le llevó a desempeñar puestos en Gabinetes de Formación del Profesorado en varios cursos.

Su conocimiento de la innovación de las enseñanzas y de la Formación del Profesorado le llevaron a dirigir la Dirección General de Ordenación e Innovación Educativa del Gobierno de Canarias en 1991.

Con alrededor de una veintena de libros publicados en distintos campos de las Ciencias (energías renovables, diseños curriculares, experiencias de laboratorio, unidades didácticas, modelos didácticos, incidentes críticos, etc.), más de un centenar de artículos publicados en revistas especializadas y otras tantas participaciones en Congresos, Simposiums, etc., así como innumerables cursos impartidos al profesorado, le dan un perfil de profesional con amplia formación avalada por la experiencia.

ABELARDO CABRERA GONZÁLEZ

Nace en La Laguna (1944). Licenciado en Ciencias (Sección de Quím.) en la ULL

(1970). Prof. del INEM Masculino de La Laguna (Sección Delegada de los Realejos), (1970-1974).

Prof. adscrito a las enseñanzas de Quím. de la Facultad de Ciencias de la ULL (1971-1981). Prof. adscrito a las enseñanzas de Mecánica y Ampliación de Física en la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de la ULL. (1973-1976).

Dr. en Química por la ULL (1976). Autor de 7 artículos científicos publicados en revistas especializadas. Ha presentado 2 comunicaciones en la Biental de la Real Sociedad Española de Fis. y Quím. celebrada en Alicante (1975).

Prof. Agregado de Fis. y Quím. mediante el concurso oposición libre celebrado en Madrid en 1978. Prof. Agregado en prácticas en el INEM. Viera y Clavijo de La Laguna (1978-1979). Prof. Agregado en el Instituto Agustín de Bethencourt de Puerto de la Cruz desde 1979. En 1993 adquiere la condición de Catedrático de Física y Química del Cuerpo de Profesores de Enseñanza Secundaria.

JOSÉ ANTONIO CURBELO CRUZ

Nace en Hermigua-Gomera en agosto de 1946. Inicia sus estudios de ingreso en la academia de Cristo Rey de Hermigua. Posteriormente se traslada con sus padres a Tenerife, donde reside e inicia los estudios de Bachillerato en la academia Rodríguez Campos de Santa Cruz de Tenerife, finaliza dichos estudios en el Instituto Andrés Bello. Se licencia en Ciencias Químicas por la Universidad de LaLaguna, ejerciendo como docente en los centros que se citan a continuación: Colegio Casa Azul del Puerto de La Cruz, Colegio Pureza de Maria Los Realejos, Instituto de Bachillerato de Ofra, Vecindario, Viera y Clavijo, y Alfonso Fernández García de La Victoria de Acentejo.

