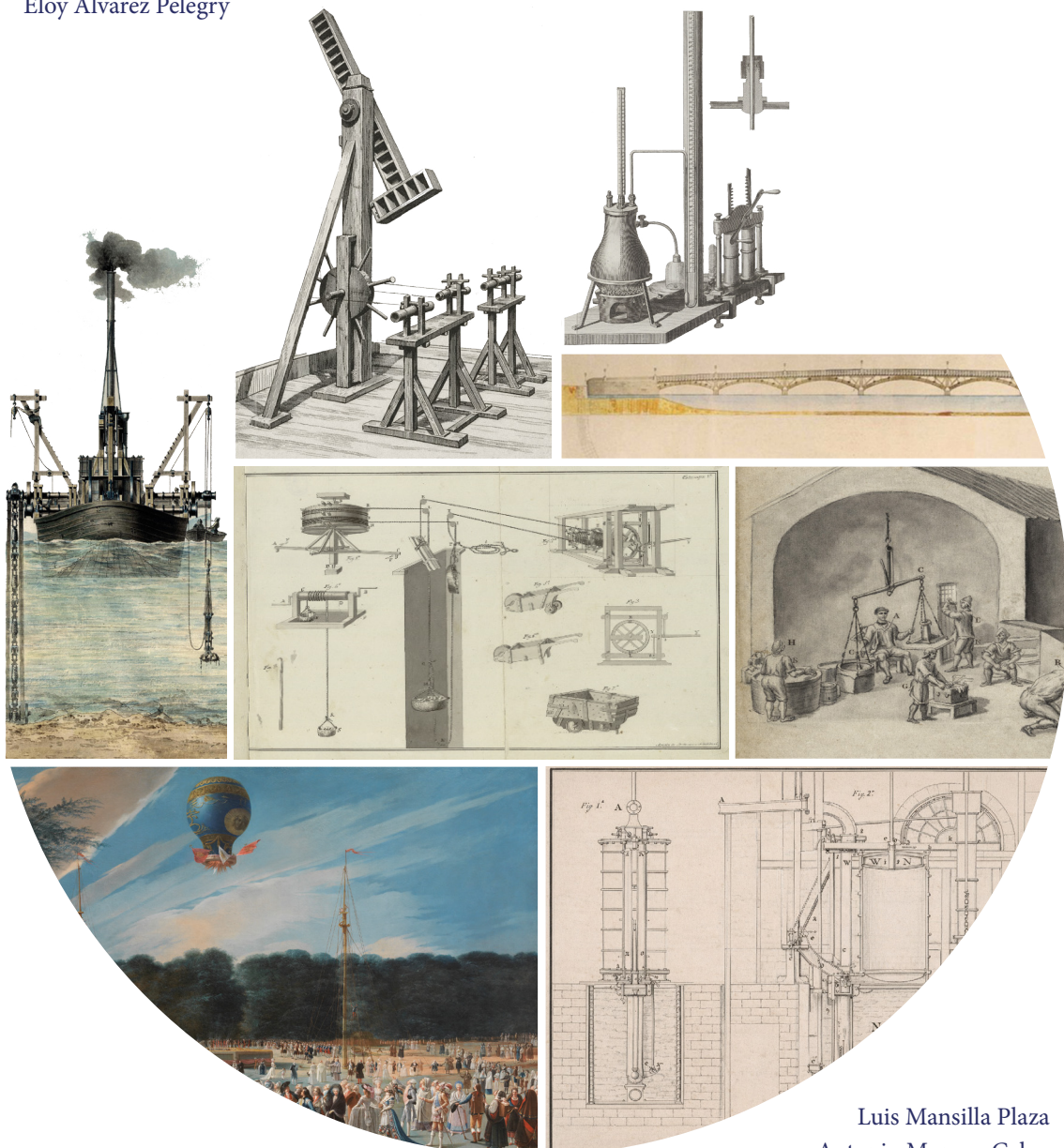


INNOVACIONES DE *Agustín de Betancourt*

Manuel Avendaño Gascón (Coord.)

Francisco González de Posada

Eloy Álvarez Pelegrý



Luis Mansilla Plaza
Antonio Moreno Calvo
María A. Sáenz-Nuño

Edición año 2026

© del texto: Eloy Álvarez Pelegry, Francisco González de Posada, Luis Mansilla Plaza, Antonio Moreno Calvo y María Ana Sáenz Nuño.

© Ibersaf Editores

Este libro ha contado con el apoyo del Instituto de Ingeniería de España y en particular con el estímulo de su propia presidenta, María Cruz Díaz Álvarez.



Coordinación: Manuel Avendaño Gascón

Edita: Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación y
la Asociación de Ingenieros de Telecomunicación

Servicios Editoriales: Ibersaf Industrial

Imprime: Ibersaf Industrial

Depósito legal: M-12318-2026

ISBN: 978-84-128317-4-0.

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico o por fotocopias.

IMPRESO EN ESPAÑA - PRINTED IN SPAIN

Índice

Prefacio.....	4
Prólogo	6
01. Ingentes contribuciones pioneras en obras públicas	10
02. Contribuciones de Agustín de Betancourt a la minería, la metalurgia y a la maquina de vapor	33
03. Lo bueno, si sencillo, dos veces bueno. El telégrafo óptico de Betancourt.....	90
04. El tiempo de Agustín de Betancourt y Napoleón Bonaparte: ideas, máquinas y revoluciones.....	121

PREFACIO

María Cruz Díaz Álvarez

Dra. Ingeniera Agrónoma

Presidenta del Instituto de la Ingeniería de España

Poder escribir las primeras palabras que ve el lector al abrir este libro sobre las innovaciones de Agustín de Betancourt me llena de satisfacción como presidenta del Instituto de Ingeniería de España, pues se cumple el deseo de que los que hemos ejercido la misma profesión después de él rindamos colectivamente un homenaje a este genio que ha tenido una gran influencia en el carácter y en la forma de ser y de actuar de los ingenieros. En realidad, podemos considerarlo el fundador de la Ingeniería moderna.

Agradezco, por ello, la iniciativa de las Asociaciones de Ingenieros de Caminos, de Minas, Industriales ICAI y de Telecomunicación de desvelar en este libro el ingenio vivo de un creador, cuya mirada interdisciplinar y espíritu innovador siguen siendo un referente para la ingeniería contemporánea.

A su condición de hombre de genio, Agustín de Betancourt añadió una avidez por descubrir y aprender. Y la oportunidad de viajar incansablemente por España, Francia, Inglaterra y Rusia, lo convirtieron en un ilustrado hijo del Siglo de las Luces.

Como ingeniero de su época, Betancourt era ciertamente transversal, y de él hemos heredado esa versatilidad que nos caracteriza a los ingenieros, la capacidad de responder o de actuar en unas condiciones muy cambiantes. Nuestra formación nos ha preparado para un abanico de posibilidades que evidentemente nos es muy peculiar.

Agustín de Betancourt era un genio de su momento. Ahora hablamos más del talento, de ese talento con el que nacemos y que nos predispone para ser una

cosa o ser otra. En el Instituto estamos muy preocupados y pendientes de que ese talento de Ingeniería no se vaya, no se pierda; que los niños y niñas que nacen con ese talento, no desperdicien ese don que Dios les ha dado.

Sigamos el ejemplo de Betancourt, contribuyendo a la Sociedad con nuestros conocimientos y entrega a la innovación tan necesaria en este período tan disruptivo.

MARÍA CRUZ DÍAZ ÁLVAREZ

PRÓLOGO

Manuel Avendaño Gascón

Ingeniero de Telecomunicación

Foro Histórico de las Telecomunicaciones

À la mémoire d'Augustin de Betancourt pour son génie ...

Me he permitido transcribir el elogio público que el Zar Alejandro I mandó dejar grabado en la basílica de san Isaac de San Petersburgo para iniciar este prólogo.

Es exactamente este reconocimiento el que persigue este libro. Muchos y con gran acierto fueron los medios que conmemoraron el bicentenario de Agustín de Betancourt en 2024 relatando su vida, pero, como ingenieros no encontramos, en ellos, la exaltación de su genio como ingeniero completo ni su capacidad para aportar innovaciones en ramas muy diversas de la ingeniería, en plena época de la Ilustración.

Ese vacío nos motivó a diseñar una propuesta incuestionablemente identificada con el Instituto de Ingeniería de España, por el ámbito multidisciplinar de un ingeniero español que supo hallar soluciones novedosas a los obstáculos con que se tropezó en el diseño de las obras que cubrían distintas ramas de ingeniería.

Así lo entendió María Cruz Díaz, presidenta del Instituto de Ingeniería de España, y el 9 de octubre de 2025 inauguró una Jornada en el Instituto, bajo el título “Innovaciones de Agustín de Betancourt”. Ya fin de perpetuar las ponencias presentadas, de gran interés para la ingeniería, nos instó a que se editase un libro enriqueciéndolas con la mayor riqueza de contenido. Y es el que ahora tiene, amigo lector, en sus manos.

Mucho agradezco la invitación a redactar este prólogo, puesto que me permite alabar, desde sus mismas páginas, la labor tan meticulosa en la búsqueda y definición de las contribuciones más relevantes de Agustín de Betancourt que han acometido los autores.

Más allá de la figura del primer maquinista de España, como lo calificaba Gaspar Melchor de Jovellanos, los autores ponen el acento en mostrar el ingenio del ingeniero completo en el Siglo de las Luces. En una época en la que la ingeniería comenzaba a consolidarse como disciplina científica, Betancourt supo integrar conocimiento teórico, experimentación práctica y visión estratégica con una claridad poco común incluso para los estándares actuales.

Este libro, al recoger sus innovaciones técnicas, revela el espíritu de un ingeniero ilustrado que comprendió que la tecnología no es un fin en sí misma, sino un instrumento para transformar la sociedad. Betancourt no diseñaba únicamente, máquinas, puentes o sistemas ópticos, diseñaba progreso.

Pero quizás lo más admirable de Betancourt no fue solo su capacidad técnica, sino su método. Fue un ingeniero total: analítico y creativo, práctico y visionario. Comprendió que la innovación exige observación, cálculo, ensayo y mejora constante. Supo combinar la teoría con la ejecución y la ciencia con la administración, anticipando la figura moderna del ingeniero como gestor del cambio tecnológico.

Recordemos que Agustín de Betancourt, desde sus primeros viajes por Europa, se comprometió con la gran aventura del conocimiento entre dos revoluciones, en el siglo XVIII y principios del XIX. Y en la convergencia entre las artes y las ciencias, como recomendaba d'Alambert, se enmarca el paso de Agustín de Betancourt por la Escuela de San Fernando que ha permitido, entre otras muchas cosas, descubrir el rigor del ingeniero en los dibujos y esquemas de sus invenciones.

Fue en Inglaterra y en Francia, donde pudo conocer y, en ocasiones, mejorar inventos del momento, poco o nada conocidos en una España muy atrasada en materia de ciencias y técnicas. En Inglaterra, Agustín de Betancourt, gracias a su perspicacia, descubrió el principio de la máquina de vapor de James Watt, permitiendo que dejase de ser un monopolio industrial británico para extenderse primero en Francia, luego por España y el resto de los países europeos. Y en Francia, siguiendo el interés de los ensayos del telégrafo óptico del francés Claude Chappe, consiguió perfeccionarlo significativamente con la ayuda del relojero suizo Bréguet.

Y en nuestro país, de gran impacto fueron las memorias sobre la tecnología minera y metalúrgica de la época en Almadén. Ninguna de las nuevas ingenierías de su tiempo le resultó ajena. Y por ello se le considera, con justicia, fundador de la ingeniería moderna en España.

Destacan la creación de la Escuela de Caminos y lo que fue el Real Gabinete de Máquinas, que Betancourt instaló en el hoy justamente llamado el Paisaje de la Luz en El Retiro madrileño.

Por ello, en este libro nos acercamos al ingenio vivo de un creador, cuya mirada interdisciplinar y espíritu innovador siguen siendo un referente para la ingeniería contemporánea.

Y más allá de nuestras fronteras, se revela asimismo la influencia de Agustín de Betancourt a través de las máquinas que impulsaron el progreso material de Europa, donde fue calificado de ‘great enlightened master’ por James Watt y de ‘maître ingénieur’ por Jean-Rodolphe Perronet, el primer director de la ‘École des ponts et chaussées’ de París, entre otros.

Se ha estructurado este libro en dos bloques, en el primero, más tecnológico, los autores de sus tres capítulos nos invitan a descubrir las distintas facetas de la genialidad del ingeniero cosmopolita, centrándose en elementos diferenciales de su obra que evidencian la profundidad en sus proyectos durante el ejercicio de nuestra profesión. Y en el segundo bloque se propone una mirada panorámica al mundo que Betancourt habitó: un periodo marcado por la Ilustración, la Revolución Francesa, el ascenso de Napoleón Bonaparte y el avance acelerado de la Revolución Industrial.

En el bloque tecnológico del libro, Francisco González de Posada, Doctor Ingeniero de Caminos, Académico de la Real Academia de Doctores y de la de Medicina, presenta las ‘Ingentes contribuciones pioneras en obras públicas’. Nos descubre la amplitud de las obras públicas de Agustín de Betancourt como revolucionarias concepciones en Educación, Planificación Territorial, Urbanismo, Canales, Puentes, Estructuras soportes para construcciones, etc.

Eloy Álvarez Pelegrý, Académico de la Real Academia de Ingeniería, Profesor Ad Honorem ETSI de Minas y Energía de Madrid y Luis Mansilla Plaza, Profesor e Investigador de la Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén (Universidad de Castilla La Mancha) han contribuido a detallar y difundir las ‘Contribuciones de Agustín de Betancourt a la minería, la metalurgia y a la máquina de vapor’.

Y dando testimonio de la genialidad de Agustín de Betancourt en la recién nacida ingeniería, Antonio Moreno, Presidente del Comité de Metrología y representante de la Asociación Española de Ingenieros de Telecomunicación en la Comisión de Estatutos y Reglamento de este Instituto, nos descubre cómo el ingeniero completo fue capaz de simplificar el manejo y mejorar las comunicaciones ópticas con la introducción de un sencillo elemento.

En el segundo bloque del libro, María Ana Sáenz Nuño, Licenciada en Físicas y Doctora por la Universidad Pontificia de Comillas y profesora en ICAI, contextualiza con amplísimas referencias las obras y éxitos de Betancourt, en un capítulo bajo el atractivo título 'El tiempo de Agustín de Betancourt y Napoleón Bonaparte: ideas, máquinas y revoluciones'.

En un momento histórico en el que la tecnología vuelve a redefinir nuestras sociedades, la figura de Agustín de Betancourt adquiere renovada vigencia. Su ejemplo nos recuerda que el verdadero progreso nace de la unión entre conocimiento profundo, compromiso público y ambición transformadora.

Este libro es, por tanto, una invitación a reconocer en Betancourt no solo a un ingeniero brillante, sino a un referente intelectual cuya obra continúa inspirando la manera en que concebimos la innovación.

Redescubrirlo es, en cierto modo, redescubrir la esencia misma de la ingeniería.

MANUEL AVENDAÑO GASCÓN

Ingentes contribuciones pioneras en obras públicas

Francisco González de Posada,
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Dr. Ciencias, Dr. Filosofía, Dr. Historia, Dr. Sociología
Catedrático de Fundamentos Físicos. UPM

Contenido

1. Contextualización	11
2. A modo de presentación del personaje. Unas notas previas para caracterizar al personaje	16
3. Eje de las singulares contribuciones de Betancourt	17
4. Planificación y ordenación del territorio	18
5. Ideas en torno al urbanismo, expresión de la ingeniería civil	20
6. Puertos	21
7. Ingeniería hidráulica: Canales	23
8. Presas: geotecnia y materiales	24
9. Puentes	26
10. Grandes obras ‘de arquitectura’	27
11. Preparación de Ingenieros civiles	29
12. A modo de resumen	30
13. Bibliografía Básica.....	32

Figura 1. Retrato de Agustín de Betancourt y Molina, por Platón Tiurin, 1859. Óleo sobre lienzo.



1. Contextualización

Nos han precedido las brillantes notas introductorias de nuestra Presidente, las consideraciones preliminares del moderador del ciclo de conferencias y coordinador de este libro, Manuel Avendaño Gascón, acerca del preclaro ingeniero Agustín de Betancourt, que quedarán enmarcadas por la compañera María Ana Sáenz Nuño con las narraciones históricas del último capítulo. Debo ceñirme, tras las contribuciones citadas, a caracterizar el contexto básico, tal como lo concibo, en el que actuó Betancourt, para centrarme en los capítulos propios de sus realizaciones en el ámbito de la ingeniería civil.

Los extremos temporales de la vida de Agustín de Betancourt están señalados por su nacimiento en el Puerto de la Cruz, Tenerife, 1758; y el fallecimiento en San Petersburgo, 1824.

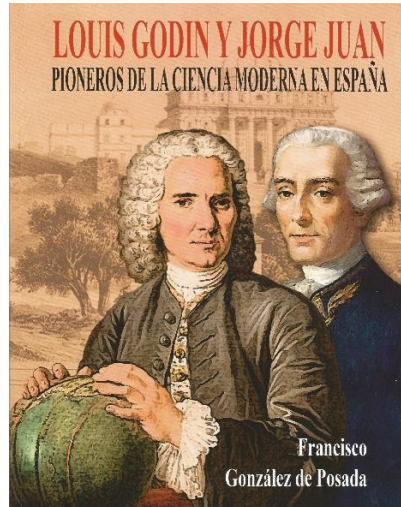
En 1758, fecha de su natal acontecimiento, se produce la diáspora del ‘decenio intelectualmente prodigioso’ que se había concentrado en Cádiz con la creación del Real Colegio de Cirugía de la Armada, 1748; la presencia de Jorge Juan, Antonio de Ulloa y Louis Godin en la Real Compañía de Caballeros Guardiamarinas, 1752, con la renovación del profesorado y la edición de libros de textos de matemáticas, física, astronomía y navegación; la creación del Observatorio astronómico de Cádiz, 1753; y la Asamblea Amistosa Literaria, 1755, remedo de la prevista pero nonnata Sociedad Nacional de Ciencias (Real Academia de Ciencias Exactas y Naturales que vería la luz en 1847). En este marco se vivió, con carácter único en España, y transitorio, la ‘ciencia moderna’, engendrada por Galileo, Kepler y Newton, como actitudes y saberes basados en la razón experimental y observacional y por la elaboración de construcciones matemáticas que explicaran los hechos y facilitaran predicciones. Este momento singular pertenece al marco que considero como ‘**primera etapa**’ de la Ilustración (segundo tercio del siglo XVIII), caracterizada básicamente por la ‘**búsqueda de la verdad**’, y que ofrece como trasfondo el esquema de Ortega y Gasset: “**Razón = Ciencia = Física moderna**”¹. Esta etapa dura poco tiempo y pasa fugazmente por nuestra España, de modo que queda centrada específicamente en Cádiz, ciudad en la que se formarían, por otra parte, y con los anteriormente citados, los gaditanos Vicente Tofiño y José Celestino Mutis. Así, en esta primera etapa se sitúan, en tanto que orto y cénit de la Ilustración española, en Cádiz, los científicos Jorge Juan y Louis Godin, cuyas tareas dieron lugar al que consideramos ‘decenio intelectualmente prodigioso’ de esta ciudad, como hemos puesto de manifiesto en nuestro reciente libro *Louis Godin y Jorge Juan pioneros de la ciencia moderna en España*. En los dos primeros tercios del siglo XVIII verían la luz las Reales Academias Española (1713), de la Historia (1738) y de Bellas Artes de San Fernando (1744)² así como, por ejemplo, en Madrid y de ámbito sanitario, la Real Academia Médica Matritense, el Real Colegio de Boticarios y el Real Colegio de Cirujanos, instituciones de naturaleza prioritariamente académica propias de esta primera parte del siglo XVIII caracterizada por la creación de academias³.

1 González de Posada (2017): Ortega y Gasset, sociólogo de la ciencia y del conocimiento científico. Su actitud y su pensamiento acerca de la Física, ‘Ciencia por excelencia’. Tesis doctoral en Sociología. Universidad San Pablo CEU.

2 Fechas según la antigüedad que les concede el Instituto de España.

3 González de Posada (2018-2025): Historia contextualizada de la Academia Médica Matritense en el siglo XVIII. Tesis doctoral en Medicina. Universidad de Alcalá. Real Academia Nacional de Medicina de España.

Figura 2.



Considero **‘segunda etapa’** de la Ilustración, ésta de naturaleza europea con difusión al resto del mundo, como caracterizada por la **‘búsqueda de la utilidad’**, y, en consecuencia, gobernada por **la ingeniería, la industria y el comercio**. Se genera en el último tercio del siglo XVIII y continúa su desarrollo permeando las guerras napoleónicas. En esta segunda etapa se sitúa la vida adulta del ilustre ingeniero Agustín de Betancourt, así como las de José Celestino Mutis y Gabriel Císcar y Císcar, trío de figuras con notable presencia internacional que alcanzan dignos lugares en las historias de la ciencia y de la técnica. Es la etapa de creación y profusión en las Españas de las Sociedades Económicas de Amigos del País.

Figura 3. José Celestino Mutis (1732-1808), Agustín de Betancourt (1758-1824), Gabriel Císcar (1759-1829).



En este contexto histórico parece necesario recordar que, en 1778, Betancourt, teniente de Infantería, marcha a Madrid, donde se integra en los Reales Estudios de San Isidro y en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, dos centros de excelencia en los que había dejado su huella científica Jorge Juan en los últimos años de su vida.

En el período 1783-1791 estuvo con frecuencia pensionado en Francia, donde, a los efectos de nuestro tema relativo a sus contribuciones en Obras Públicas, debo señalar que descubre los progresos de la técnica francesa, estudia en la famosa École de Ponts et Chaussées, contacta con el reconocido Grupo de Hidráulica en París y realiza de diferentes maneras acciones de espionaje industrial civil.

A modo de anécdota, pero por su relevancia, debe recordarse que, en 1783, tras conocer en París la ascensión de un globo Montgolfier, realizó él una llamativa prueba en El Escorial (Madrid). Esta singular preocupación por el globo aerostático constituye un símbolo preclaro de aprecio por lo científico y técnico novedoso y lo constituye en pionero de la investigación ingenieril aeronáutica que realizaría su compatriota Leonardo Torres Quevedo a principios del siglo XX con su exitosa dedicación a los dirigibles.

Figura 4. Antonio Carnicero. Museo del Prado.



En una breve estancia en Inglaterra en 1788 ‘descubre’ (imagina) el fundamento de la máquina de Watt de doble efecto.

En 1791, con prestigio internacional reconocido, se traslada a Madrid con 42 grandes cajones con máquinas, planos y memorias, desplazándose por la Francia en ambiente revolucionario.

Ha adquirido, pues, una sólida formación que le permitiría disfrutar de unos conocimientos excepcionales para el desarrollo del Gabinete de Máquinas. No obstante, junto al interés por el Gabinete, su pretensión máxima se centraría en nuestro tema: el logro de **medios que faciliten el comercio interior**, y así iniciará los largos intentos de **solicitud de creación del Cuerpo y de la Escuela de Caminos y Canales**.

La política y la burocracia españolas no le satisfacen y así, en 1793, **se desplaza a Inglaterra**, con toda su familia, donde desempeñaría una importante actividad industrial, ganaría un concurso de máquina de limpieza de canales, y alcanzaría la condición de Socio de Mérito del *Board of Agriculture de Whitehall*.

Abraham-Louis Breguet, (1747-1823), inventor de la prestigiosa marca de relojes Breguet, se había establecido en París, donde fundó su taller en 1775. Ha sido considerado el “**padre de la relojería moderna**” debido a sus innovaciones revolucionarias, muchas de las cuales siguen vigentes en la actualidad bajo el rótulo comercial de Casa **Breguet**. Betancourt, que le diseñó algunos relojes y los distribuyó, escribió a Breguet:

“Si alguna idea puede alterar mi tranquilidad es imaginar que algún día me vea obligado a volver a España, pero hago todo lo que puedo para que eso no suceda o al menos para retrasarlo todo lo posible”.

El regreso, tardío, lo situaría en el contexto político español determinado por la España de Carlos IV y Godoy.

El ocaso de la Ilustración española se expresa: a) en la Península, con Agustín de Betancourt exiliado a Francia y Rusia, y Gabriel Císcar confinado en Oliva y posteriormente exiliado en Gibraltar; y b) en la América española, con la defunción de Celestino Mutis y el comienzo de las guerras de independencias⁴.

4 González de Posada (Coord.) (2007): *La Ciencia en la España ilustrada*. Instituto de España.

2. A modo de presentación del personaje. Unas notas previas para caracterizar al personaje

En el ámbito de la historia de la ciencia y la ingeniería española se viene considerando el siglo XVIII caracterizado como siglo de “militarización de la ciencia”. En el marco de las Obras públicas destacan los ingenieros militares que ofrecen una “buena” preparación matemática.

Y respecto al foro civil español debe recordarse la filípica de Betancourt, para justificar la creación del cuerpo de ingenieros:

“Los arquitectos de la Academia de San Fernando recibían una formación bastante alejada de los requerimientos de las obras de ingeniería”.

Betancourt fue un ingeniero de ‘amplio espectro’: industrial, minas, aeronáutico, naval, telecomunicación, ... y, sobre todo, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, aunque formalmente no fuera nada de ello al no existir las posteriores Escuelas Técnicas Superiores de las respectivas Ingenierías, ya que sólo conoció, en su madurez, la por él creada Escuela de Caminos y Canales.

Por sus múltiples invenciones, construcciones e innovaciones originales le corresponde la condición de “**Ingeniero total**”, una especie de Leonardo da Vinci⁵. Ocupó el lugar cumbre de la Ilustración española, en la etapa de “búsqueda de la utilidad”, de la que se constituyó en su máximo representante, en tanto que español, aunque no propiamente en España, como consecuencia de su autoexilio a Rusia con la intermediación de Francia.

Una nota de especial significación, en cierto contraste con la situación político-administrativa de la actual España de las autonomías, lo caracteriza como “**Español de Canarias**”, nacido en la isla de Tenerife, educado en Tenerife, ilustrado en Tenerife; salió becado a Madrid y no regresaría nunca a las islas canarias. También fueron ‘españoles de Canarias’, más tarde, el literato **Benito Pérez Galdós**, y el científico físico **Blas Cabrera Felipe**, al que hemos dedicado tantas obras y tantísimas tareas, sobre todo en su natal Arrecife (Lanzarote).

Conviene destacar el marco de la preparación del tinerfeño Betancourt en la capital de España: Reales Estudios de San Isidro (donde se situó en las ciencias) y en

5 González de Posada, F. y González Redondo, F.A. (2022): *La obra de Leonardo Torres Quevedo*. Santander: Editorial Los cántabros.

la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando (matemáticas y dibujo), centros en los que había dejado su huella científica Jorge Juan; en esta última colocando a Benito Bails como profesor de Matemáticas. Completó sus estudios en París en la citada *École de Ponts et Chaussées* (Escuela de Puentes y Caminos). Así como Mutis y Vicente Tofiño fueron discípulos directos de Juan, Gabriel Císcar y Agustín de Betancourt lo serían indirectos.

La preparación adquirida facilitaría su amplia dedicación ingenieril que, en nuestro caso, hemos titulado **“Ingentes contribuciones pioneras en obras públicas”**. De manera más apropiada, podríamos afirmar que destacó de manera excepcional en el marco de la **planificación territorial, integrando en ella el urbanismo**, de grandes comarcas y de ciudades.

Se le puede aplicar, sin lugar a duda, la condición usual de ‘genio’, que se manifestó en: a) una gran inteligencia (reflexión y abstracción); b) especial capacidad de innovación (creación con valentía); y c) trabajo (dedicación intensa y tenaz).

Y, ¡cómo no señalarlo!, tuvo una especial preocupación por la formación de ingenieros: creación de Escuelas y elaboración de textos.

Haremos unas breves referencias a los distintos capítulos de la ingeniería civil en los que dejó impronta la contribución de Agustín de Betancourt.

3. Eje de las singulares contribuciones de Betancourt

Si se desea encontrar una referencia nuclear en la novedosa producción ingenieril de Agustín de Betancourt no es de difícil localización. Su experiencia internacional, como viajero por tantas ciudades con conocimiento de los numerosos canales y aceptables caminos para el traslado humano y de mercancías, le facilitó el descubrimiento de lo carente en España. Entre paréntesis puede afirmarse que nuestros puertos, con astilleros, tinglados, varaderos y diques, tras los trabajos fruto de las visitas anteriores de Jorge Juan, se encontraban en aceptable estado tras las notables construcciones de La Carraca, Ferrol y Cartagena.

Logro fundamental de Betancourt fue su condición en 1799 de Inspector de la Inspección General de Caminos y Canales, con la creación del Cuerpo de Ingenieros de Caminos y Canales y, consecuentemente, en 1802, la denominada Escuela de Estudios de Hidráulica que se convertiría en 1803 en Escuela de Caminos y

Canales. Muchos relevantes avatares, inicialmente por la posición progresista del fundador, como las tensiones con Godoy, la incursión francesa en la península en 1807 y el absolutismo de Fernando VII, impidieron su funcionamiento. Fue reinstaurada durante el trienio liberal, 1820-23, para, a continuación, suspendida de nuevo hasta 1934, tras el fallecimiento del rey.

En resumen, la concepción básica de Betancourt como ciudadano responsable de sus conocimientos consistió en el fomento de la preparación de los necesarios ingenieros civiles, en los ámbitos de las comunicaciones terrestres, caminos y canales, para la interconexión de las ciudades y acondicionamiento de ríos hasta sus desembocaduras. Esto le conducía necesariamente a la general ordenación del territorio y adecuada urbanización de las poblaciones. Y así, para ello, dedicaría especial atención a la Administración -creación del Cuerpo- y a la Enseñanza -creación de la Escuela-.

Su enemistad con Godoy conduciría en 1805, en el entorno de la batalla de Trafalgar, a su sustitución por ingenieros militares, a modo de vuelta al pasado.

Se trasladaría a Francia en 1807, y no dispuesto a permanecer en París tras la incursión de Napoleón en España se desplazaría en 1808 a San Petersburgo.

Recién llegado a Rusia escribe una carta a Floridablanca, en su condición de Presidente de la Junta de Gobierno opuesta a José I Bonaparte, desde San Petersburgo:

“[...] me vi precisado a salir de España por no ser víctima de don Manuel Godoy, que empezó a declararse contra mí como lo hacía ante todo hombre honrado ... y ... no queriendo admitir las ofertas que se me hicieron de parte del Emperador Napoleón y de su hermano Joseph, me vine aquí donde este Emperador [Alejandro I] me ha acogido del modo más honorífico que podía esperar”.

En San Petersburgo ingresa en el Ejército ruso con grado de Mayor General y destino al departamento de Vías de Comunicación.

4. Planificación y ordenación del territorio

En España, como se ha indicado, Betancourt sería Inspector General de Caminos y Canales, y desde esta posición se crearía el Cuerpo de tales y asimismo la Escuela de Caminos y Canales. Sus innovaciones principales en el campo de la

Planificación y Ordenación del Territorio alcanzarían el nivel de la configuración geográfica del Estado y su planificación general.

Betancourt había adquirido pronta conciencia de la deficiencia en España del asunto de las **comunicaciones interiores**, elementos primordiales para el comercio. Había conocido el amplio panorama de canales en Francia e Inglaterra, así como su carencia en España, debida ésta, en parte, a la orografía de la península y a la insuficiencia de obras públicas. En su concepción carecíamos de una adecuada política viaria. Centró la atención en la necesidad del **fortalecimiento del Estado y la configuración de su administración**.

Para su solución sugiere la necesidad de una Corporación de ingenieros, en línea con los ingenieros militares. Detecta la necesidad de ‘nuevos ingenieros al servicio del Estado’, por la apremiante necesidad de facilitar la circulación y los intercambios. Es decir, **interrelación de ingeniería civil y economía**. Se da, de ordinario, suma importancia a tal invento o innovación de una máquina, y no tanto a la organización del ‘todo’ y del ‘total’ de la vida social, tarea que en medida apreciable corresponde a la ingeniería de obras públicas.

De manera complementaria asume como **principio de racionalidad** la necesidad de ordenar y regular las producciones de los arquitectos (que en tanto que artistas, se sitúan por libre, centrados en su obra). Así, la condición de ingeniero, de utilidad, fundada y enriquecida en la racionalidad, quedaría orientada al bien común (o, dicho de otra manera, la estética debería quedar condicionada por la utilidad).

Así, el territorio, puesto en producción, debe organizarse y gestionarse según principios racionales. Los arquitectos plantean la ciudad como concreta edificación, monumentalidad y ornato. **La ciudad debe enmarcarse en el territorio**: abastecimiento de agua, saneamiento, circulación, vivienda, jardines, paseos, ...

En Rusia simultaneó su posición de **Director General de Vías de Comunicación** con la de **Director del Comité de Urbanización de San Petersburgo**. A fin de cuentas, reproducción de su condición de Inspector General de Caminos y Canales de España. En resumen: ‘conocer’ el territorio concreto, ‘saber’ de territorio en general y ‘transformar’ y/o ‘inventar’ un nuevo territorio.

En esta tarea primordial de su quehacer, **PLANIFICACIÓN DE TERRITORIOS, recorre una parte considerable del extenso imperio ruso** para concebir y realizar alternativas a la notable falta de infraestructuras, con la visión general que poseía: **dsecación de ciénagas para evitar enfermedades, abastecimiento de agua a las poblaciones, lugares de esparcimiento, caminos, puentes, canales, comercio fluvial, construcción de muelles y astilleros**.

5. Ideas en torno al urbanismo, expresión de la ingeniería civil

Betancourt siempre tuvo una tensión en su intelecto en referencia a los arquitectos, en tanto que ofrecían, a su juicio, soluciones artísticas sin la complementaria técnica. La arquitectura se expresa como de formación fundada en el gusto clásico en atención a lo artístico:

“En la Academia de San Fernando y en las demás del reino que se intitulan de las Bellas Artes, no se enseña más que el ornato de la arquitectura...”.

Las Academias no tienen en cuenta el **territorio ni la ciudad**, en tanto que el **todo** en el que integrar la nueva obra, en un lugar concreto en el que colocarla.

Dedicaría una atención especial a la **planificación de la ciudad de San Petersburgo**. Así constituiría un preclaro antecedente, precursor, de Ildefonso Cerdá (Barcelona) y de Arturo Soria (Madrid), ofreciendo una visión general de la ciudad: avenidas, agua, parques, río, canalización, grandes edificios, etc.

Ildefonso Cerdá Suñer (1815-1876), había estudiado ingeniero de caminos y canales, 1835-1841, en la Escuela recién abierta que había fundado en Madrid Agustín de Betancourt. Hombre polifacético, como tantos otros compañeros (recuérdense, por ejemplo, Práxedes Mateo Sagasta o José de Echegaray), fue ingeniero, urbanista, jurista, economista y político español. Escribió en 1867 la Teoría general de la urbanización, obra pionera de la especialidad, por la cual se le considera uno de los fundadores del urbanismo moderno. De manera práctica, aplicó sus ideas en la reforma y ensanche de la ciudad de Barcelona. Posteriormente, **Arturo Soria (1844-1920)**, también genial conceptualizador del territorio en el que enmarcar una ciudad, en su caso la **Ciudad Lineal**, fue el otro pionero español del urbanismo bien concebido.

En todo caso, con unos 50 y 100 años de anticipo respectivamente, puede afirmarse que Betancourt fue el auténtico pionero de las concepciones teóricas básicas de la ordenación del territorio y del urbanismo, precediendo a los considerados hasta hoy figuras generadoras de la nueva disciplina.

Como obras principales de urbanismo propias de Betancourt pueden señalarse:

1. Las numerosas actuaciones de reforma y ampliación de la ciudad de **San Petersburgo: puentes, canalización, edificios, muelles en el puerto**; y, sobre todo,
2. La **Feria de Nizhni Nóvgorod** (‘obra emblemática’) que se constituiría en la Feria comercial más importante de Rusia. Localizada en la confluencia

del Oka con el Volga, estudió las condiciones para el **emplazamiento y elevación del terreno** en más de ocho metros, con el fin de evitar el peligro de las inundaciones.

En este punto conviene reiterar que en Rusia simultaneó su condición de **Director General de Vías de Comunicación** con la de **Director del Comité de Urbanización de San Petersburgo**. Y asimismo su importante papel como creador de la Escuela de Ingenieros de Caminos y Canales en Madrid y de la Escuela de Ingenieros y Constructores en San Petersburgo.

6. Puertos

Sus estudios de ingeniero habían sido “Puentes y Caminos” en Francia, y su creación “Caminos y Canales” en la Escuela que fundó en Madrid; a fin de cuentas, centros docentes especializados para el enfrentamiento al problema de las comunicaciones terrestres. En mis tiempos de estudiante, 1961-1965, el título de la carrera y de la profesión era “de Caminos, Canales y Puertos”, denominación también del Cuerpo de la especialidad, y que permanece, singularmente en España, donde no se ha perdido la denominación enterrada en el más genérico y sencillo de ‘ingeniero civil’.

Entre las obras singulares de Betancourt, como importantes, en este capítulo de Puertos, pueden destacarse:

- a. La ampliación del carácter de gran ciudad portuaria de San Petersburgo.
- b. El puerto interior para la **Feria de Nizhni Nóvgorod**, tratada como ‘obra emblemática’ por la previa elevación del terreno en unos ocho metros.
- c. Los muelles en diversos puntos de la bahía, así como en los canales y ríos.
- d. En tanto que ‘máquina’, la **draga** en Kronstadt.

Figura 5. Draga de Kronstadt. Vista de Proa.

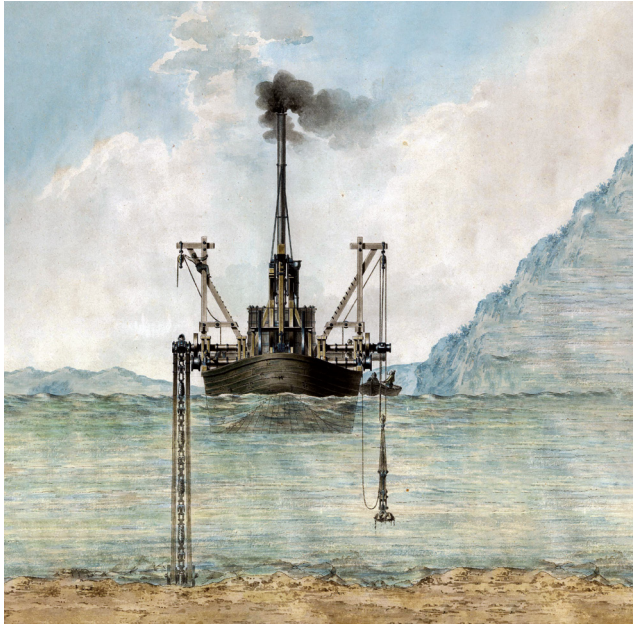
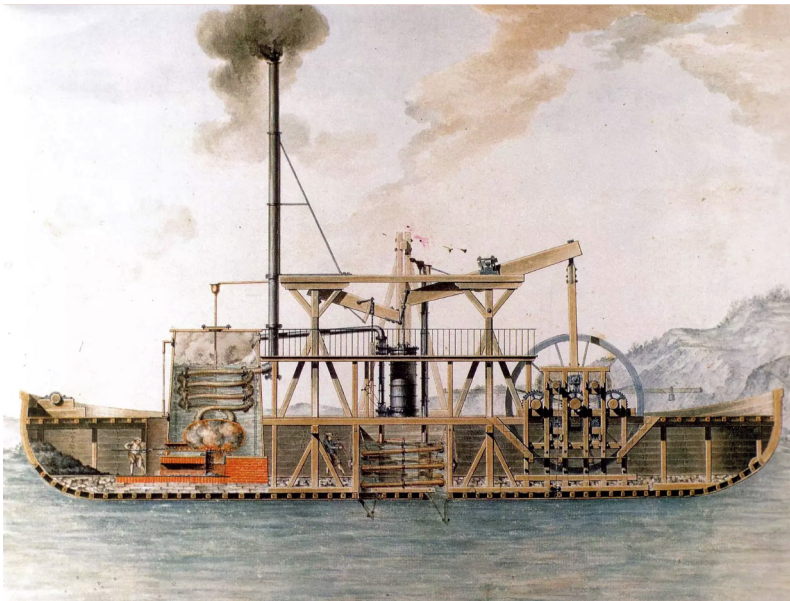


Figura 6. Draga de Kronstadt. Sección longitudinal.



7. Ingeniería hidráulica: Canales

En su condición reiterada de “intelectual”, Betancourt curioso y pensador, había captado las ventajas que ofrecían los canales para comunicaciones terrestres en Francia, Países Bajos, Italia e Inglaterra. Les otorga carácter de fundamentales para el comercio interior.

Había informado a Floridablanca de las dificultades que para ellos ofrecía la geografía española (relieve –de fuertes pendientes- y clima –con un régimen irregular de los ríos), así como de la falta de financiación.

Entre sus actuaciones en este ámbito pueden recordarse: a) el estudio y análisis crítico del Canal de Aragón; b) El hecho de que la denominación inicial de la Escuela de Ingenieros, 1802, concebida en Madrid, se denominaba “Escuela de Hidráulica”, que entraría en funcionamiento como “Escuela de Caminos y Canales” en 1803.

Figura 7. Canal Imperial.



Con objeto de destacar una obra singular, a modo de máquina, resulta de sumo interés su concepción del “émbolo buzo”, obra que serviría para reducir el gasto de agua que tiene lugar en las esclusas de los canales, reincorporando el agua desalojada al tramo inferior mediante su elevación por un sistema de gasto de energía mecánica.

Figura 8.

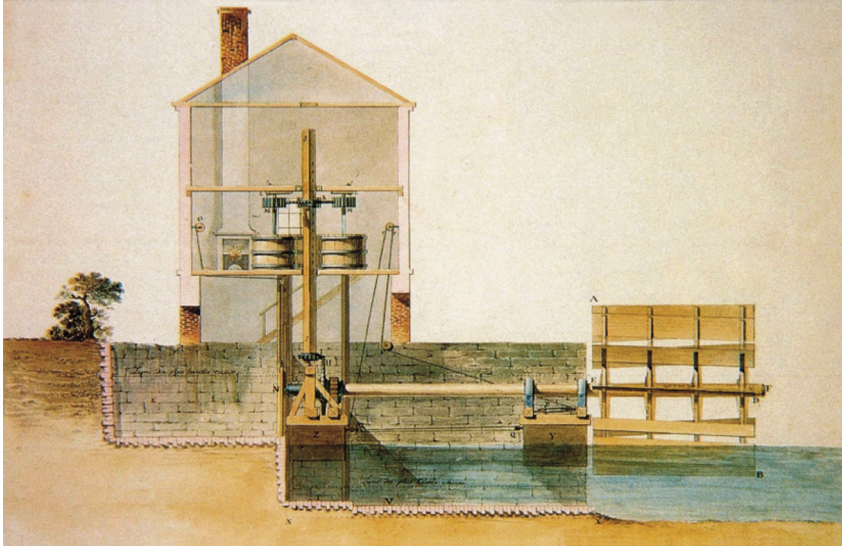


Figura 9. Esclusa de émbolo.



8. Presas: geotecnia y materiales

Fue significativo su “Informe sobre la rotura del pantano de Puentes” que había tenido lugar el 30 abril 1802 en Lorca. La tragedia de este pantano se debió a la rotura de la presa, causada por una cimentación defectuosa sobre terreno arenoso, lo que provocó una inundación catastrófica que mató a 608 personas y arrasó gran

parte del barrio de San Cristóbal y sus alrededores. Esta catástrofe, considerada la mayor tragedia hidráulica de la historia española, motivó e impulsó la creación de la primera escuela de ingenieros de caminos ('Escuela de Hidráulica' hemos escrito anteriormente) en el país para prevenir futuros desastres.

Figura 10.

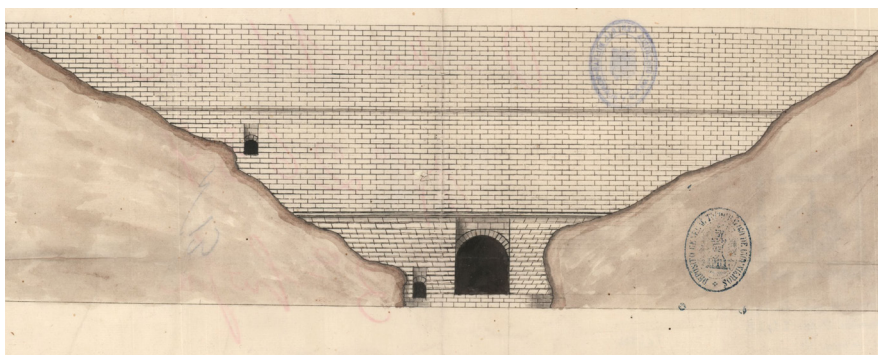


Figura 11.



En el informe, señala las causas: malas fundaciones, cimientos y filtraciones. Explica la conveniencia del recurso a los recuerdos de los 'viejos del lugar', en tanto que ofrecen la vida de experiencia de los pueblerinos, regantes y agricultores. Recomienda la no necesidad de 'reconstruir' las obras en el lugar en que se

encuentran, sino reconsiderar todas las condiciones de avenidas anteriores, con objeto de concebir un nuevo urbanismo local que evite las tragedias (recuerdo de la reciente ‘dana’ de Valencia). Conocimiento técnico, circunstancias sociales y urbanas y procesos naturales. Aquí se expresa Betancourt directamente como pionero de ordenación del territorio y del urbanismo.

Centralmente hace un adecuado análisis de Geotecnia de presas, relativo a las condiciones del terreno y al comportamiento de los materiales. Y expresa su queja, ya puesta de manifiesto en puntos precedentes: se envían, para proyecto y ejecución, arquitectos, que son artistas salidos de la Academia de Bellas Artes, pero carentes de conocimientos técnicos.

9. Puentes

Recordaremos dos de sus principales estructuras: el puente sobre el Nevka y el Puente de Barcas.

Figura 12. Puente sobre el Nevka.



Figura 13. El Puente de barcas.



10. Grandes obras ‘de arquitectura’

No fueron de menor importancia sus contribuciones en el campo que tradicionalmente se considera propio de la arquitectura, en tanto que edificios en un determinado lugar.

Siempre se ha considerado muy relevante su contribución en la Catedral de San Isaac, por sus ingeniosas y complejas cimbras (que se utilizaron después de su muerte), colaborando así con el arquitecto francés August Ricard de Montferrand.

Como realización singular suya se recuerda el ‘Monolito’ (gran columna de granito rojo, de una sola pieza) concebida para conmemorar la victoria del zar Alejandro I sobre las tropas napoleónicas.

Figura 14. La catedral de San Isaac en construcción.

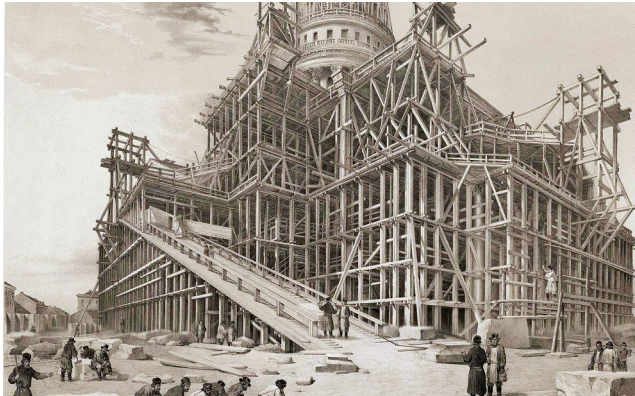


Figura 15. Mecanismos de izado de la Columna-monolito del zar Alejandro I (frente al Palacio de Invierno).



Y sin duda la obra más importante fue el Picadero de Moscú, denominado “Salón de Ejercicios Ecuestres”, 1817, (“Manége”), que fue el mayor edificio de Rusia hasta entonces.

En esta ‘Escuela de equitación de Moscú’ construyó unas cerchas de madera que superaron las luces de entonces, reforzadas con piezas de hierro fundido (a modo de uso de ‘nuevo material’ mixto) colocadas en los puntos singulares de las cerchas con máximas tensiones (de esfuerzos de tracción, flexión y cortante).

Figura 16.

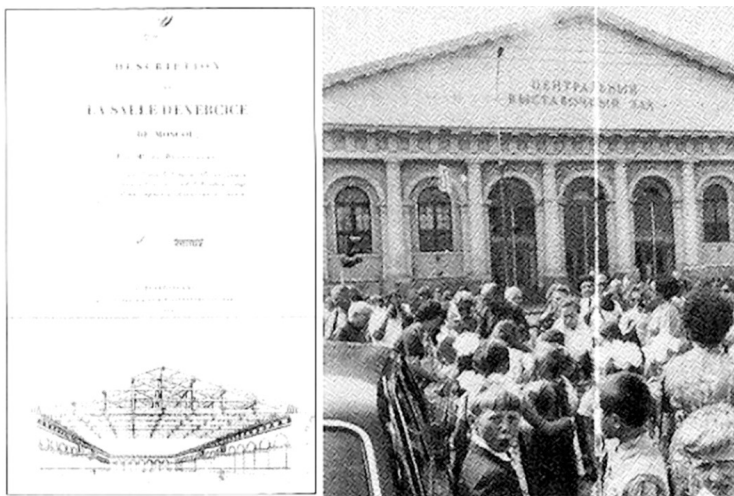
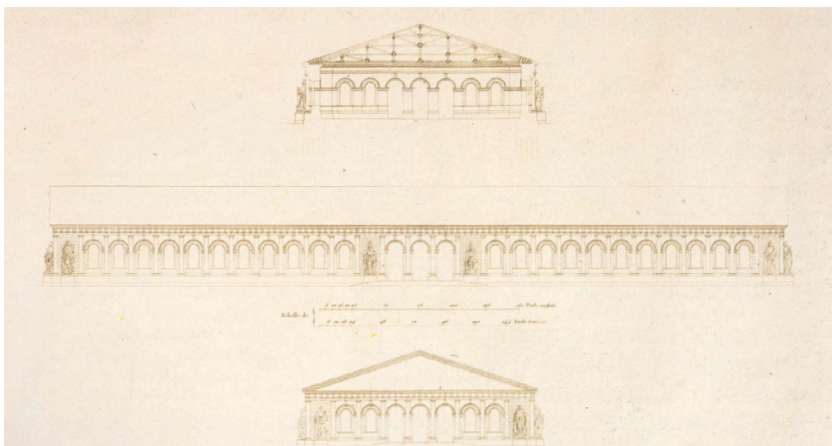


Figura 17.



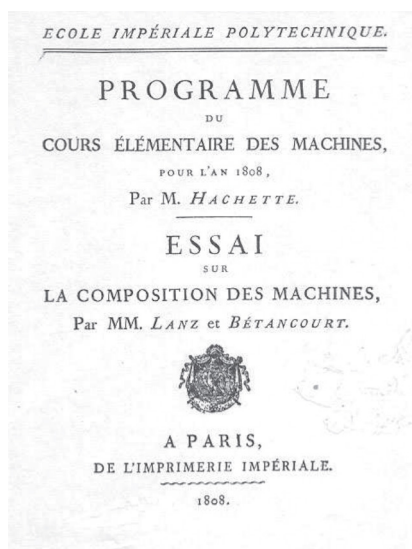
11. Preparación de Ingenieros civiles

Su punto de partida, en perspectiva general, en este tema era la “Insuficiencia técnica que ofrecía la Real Academia de Bellas Artes, en la preparación de los arquitectos”. La indicación de unas fechas pone de manifiesto claramente su carácter pionero en este importante campo de la preparación de ingenieros.

Debemos reiterar que, en fecha tan temprana como 1785 (etapa de becario en París), propone al Conde de Floridablanca la creación de una ‘Escuela de Puentes y Calzadas’ con el ejemplo que disfruta en la École de Ponts et Chaussées de París. En 1802 crea la Escuela de Estudios de Hidráulica que en 1803 se funda como Escuela de Caminos y Canales en Madrid

Y recién llegado a Rusia crea, en 1809, el Instituto de Vías de Comunicación. Así, Betancourt no es sólo buen profesor y autor de libros de texto, sino, sobre todo, creador de instituciones docentes y administrativas: Cuerpo de Ingenieros de Caminos y Canales de España, Escuela de Ingenieros de Caminos y Canales en Madrid y la Escuela de Escuela de Ingenieros y Constructores en San Petersburgo.

Figura 18 Portada de la primera edición francesa del ESSAI.



Conviene dejar constancia de su condición de académico correspondiente del Instituto de Francia, con James Watt (1736-1819), el prolífico ingeniero e inventor escocés, figura de la revolución industrial, especialmente conocido por el perfeccionamiento de la máquina de vapor.

12. A modo de resumen

En el intento del coordinador de la sesión pública y del presente libro de que fijáramos ‘una’ innovación de Agustín de Betancourt relativa a cada especialidad de la ingeniería (minería, industrial, civil) de fácil encaje (como han sido las magníficas descripciones de su actuación en las minas de Almadén y el telégrafo óptico que podrán leerse en los capítulos siguientes). Obviamente carecía de sentido la elección de una singularidad en el caso de la ingeniería civil, por lo que con la anuencia del coordinador del libro acordamos tan necesaria como conveniente ofrecer en este caso una perspectiva más general. Así, para titularla, en esta visión comprensiva de la totalidad, recurrimos al término “ingente” como expresión conveniente para el tema de la ingeniería civil.

En consecuencia, acudimos como útil recurso a la RAE, que nos informa:

RAE: “**ingente**”

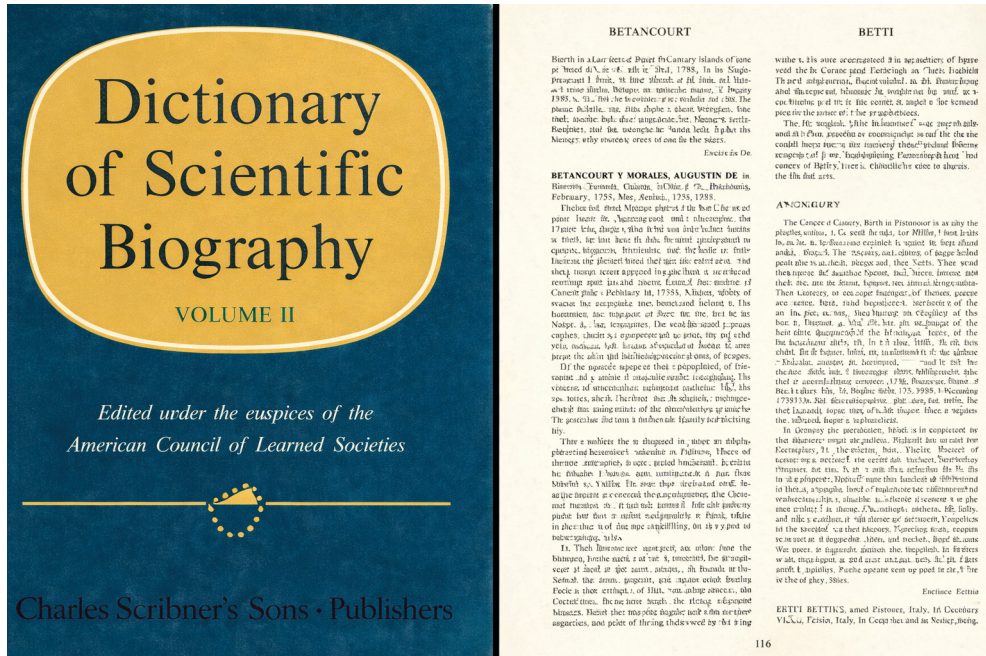
1. adj. **Muy grande**. Sin.: enorme, inmenso, colosal, monumental, descomunal, gigantesco, titánico, grandioso.

Parece que se ha utilizado adecuadamente el adjetivo para la confección del título de este capítulo. ‘Ingente’ fue la contribución de Betancourt en el ámbito de las obras públicas.

En resumen, Agustín de Betancourt, en perspectiva histórica, fue un **Patriarca de la ingeniería moderna**, que puede caracterizarse por las siguientes notas: a) en sus condiciones naturales mostró **curiosidad, capacidad de observación, reflexión crítica, habilidad manual**; b) en sus hechos destacó por el aprecio por la mecánica, cualidad de **inventor, capacidad de organización**, creador-reformador de Cuerpos de la Administración Civil del Estado, creador de la Escuela de Ingenieros de Caminos y Canales, capacidad de convicción a los “poderes fácticos” y **fundador de la Ingeniería civil en España y en Rusia**; c) representó el **tránsito de la ingeniería militar** (s. XVIII: “la militarización de la ciencia”) **a la ingeniería civil** (s. XIX: las “escuelas de ingenieros”); d) en su capacidad de atracción de discípulos excepcionales; y e) condición de conducta sociopolítica: **ilustrado y liberal**.

Betancourt ha sido integrado en las historias de las ciencias y las técnicas. He aquí un ejemplo.

Figura 19.



Así fue, ciertamente, la tarea de Betancourt, “ingeniero total”, destacando como pionero en el ámbito de lo que realmente fue: Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Sus restos se encuentran en el cementerio Smolenski, junto al **matemático Leonhard Euler (1707-1783)**, muerto, como él, al servicio de Rusia.

Figura 20. Con Agustín de Betancourt en su natal Puerto de la Cruz (Tenerife).



13. Bibliografía Básica

- Betancourt, A. (1802): “Informe dado por don Agustín de Betancourt sobre los pantanos y reparos que deben hacerse en Lorca”. Manuscrito conservado en el Archivo de Lorca, reproducido en Muñoz Bravo, J. (1996), págs. 88-98.
- - - (1869): “Noticia del estado actual de los caminos y canales en España, causas de sus atrasos y defectos y medios de remediarlos en adelante”. Revista de Obras Públicas.
- CEDEX-CEHOPU, Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente (1996): Exposición *Betancourt. Los inicios de la ingeniería moderna en Europa*.
- Sáenz Ridruejo, F. (1996a): “Evolución de las ideas de Betancourt sobre canales”, págs. 79-87, de CEDEX-CEHOPU, Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente (1996): Exposición *Betancourt. Los inicios de la ingeniería moderna en Europa*.
- González de Posada, F. (2025a): *Louis Godin y Jorge Juan pioneros de la ciencia moderna en España*. Novelda: Editions Locals.
- - - (2025b): *Historia contextualizada de la Academia Médica Matritense en el siglo XVIII*. Madrid: Real Academia Nacional de Medicina de España.
- Real Academia de Ingeniería (2007): *Agustín de Betancourt y Molina*.
- Sáenz Ridruejo, F. (2007): “*Bosquejo histórico de Agustín de Betancourt: su vida, su obra y su recuerdo*”, págs. 63-92, de Real Academia de Ingeniería (2007): *Agustín de Betancourt y Molina*.
- Gómez Mendoza, Josefina (2007): “Urbanismo y ordenación del Territorio en los últimos cincuenta años”, págs. 125-176, de Real Academia de Ingeniería (2007): *Agustín de Betancourt y Molina*.

FRANCISCO GONZÁLEZ DE POSADA.

DR. INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DR. CIENCIAS, DR. FILOSOFÍA, DR. HISTORIA, DR. SOCIOLOGÍA

CATEDRÁTICO DE FUNDAMENTOS FÍSICOS. UPM

Contribuciones de Agustín de Betancourt a la minería, la metalurgia y a la maquina de vapor¹

Eloy Álvarez Pelegry, Dr. Ingeniero de Minas.

Luis Mansilla Plaza, Profesor Titular de Universidad (UCLM).

Contenido

1. Propósito y alcance	34
2. Betancourt en Almadén (1783). Memorias sobre desagüe, extracción de mineral y metalurgia.....	35
3. Memorias de Betancourt sobre la máquina de vapor de doble efecto (1789) y sobre la fuerza del vapor (1790)	52
4. Sobre la incorporación de las máquinas de vapor en las minas de Almadén (1770-1848)	62
5. Relación de Betancourt con diversas instalaciones en las que las máquinas de vapor eran equipos relevantes: Isla de los Cisnes, Yndrid, Seybabo, Barcelona y Tula	67
6. Memoria sobre la purificación de carbón de piedra y modo de aprovechar las materias primas que contiene (1785)	78
7. A modo de conclusiones	82
8. Bibliografía	83

¹ Los autores desean agradecer los comentarios realizados por Martín Pereda, así como a éste y a Yves Bamberger la identificación de algunos documentos utilizados en este trabajo.

1. Propósito y alcance

En el año 2024 se cumplieron 200 años de la muerte de Agustín de Betancourt y Molina (1758-1824). El Instituto de la Ingeniería de España (IIE) organizó, en su sede, una jornada, que tuvo lugar en octubre 2025, cuyo propósito fue examinar, no tanto la vida de Betancourt, como sus contribuciones en las diferentes ramas o aspectos de la ingeniería.

En este capítulo se abordan las que realizó en el campo de la minería y a la máquina de vapor; muy relacionadas con los trabajos mineros y en particular con las operaciones de desagüe.

Para ello se parte de las tres memorias que Betancourt escribió tras su visita a las minas de Almadén en 1783, que presentó a la Academia de Ciencias de Francia en 1789, sobre la máquina de vapor de doble efecto; así como sobre la fuerza del vapor, en 1790.

Por otra parte dada la relevancia de la máquina de vapor en los procesos de desagüe de minas se dedica un apartado sobre este asunto describiendo la situación en las minas de Almadén en el período 1770-1848, que permite situar la evolución de su función en la actividad minera y enmarcar mejor la labor y las contribuciones de Betancourt.

También se aborda la relación, o la influencia de Betancourt, en la puesta en marcha de una máquina de vapor de doble efecto en la isla de los Cisnes en París para un molino harinero, así como su descripción de la máquina de vapor en la fábrica de cañones ubicada en la isla de Yndrid (Francia).

De igual manera y en el contexto citado; examinaremos la relación de Betancourt en la incorporación de una máquina de vapor *compound* en un ingenio azucarero en Cuba, así como su influencia en la instalación de máquinas de vapor para una fábrica de indianas en Barcelona; y el papel del vapor en la fábrica de cañones de Tula en Rusia.

Relacionado con la minería es también de interés el trabajo de Betancourt sobre la purificación del carbón de piedra, por lo que se dedica un apartado al mismo.

Como contexto histórico general, la vida de Betancourt discurrió entre los reinados de Carlos III (1759-1788), Carlos IV (1788-1808) y Fernando VII (1808-1833) en España².

² No se trata aquí el contexto histórico. Para el periodo de Carlos III puede verse Cepeda Gómez, J. (2004), pp. 611-635.

Cabe indicar que la visita a Almadén y las memorias dedicadas a la turbina de vapor, a la fuerza del vapor y a la purificación del carbón de piedra; se enmarca en los reinados de Carlos III y Carlos IV³, al igual que la influencia de Betancourt en los asuntos relativos a la máquina de vapor, analizada en el apartado 5, salvo la de Tula, que correspondería ya con el reinado de Fernando VII.

2. Betancourt en Almadén (1783). Memorias sobre desagüe, extracción de mineral y metalurgia

En este apartado, en primer lugar, se enmarca la situación de las minas de Almadén en el periodo en el que Betancourt visitó las mismas, para tratar en la sección siguiente las tres memorias que realizó sobre su visita. En el tercer apartado, como se ha dicho, se tratarán las memorias sobre la máquina y la fuerza del vapor.

Las Minas de Almadén a mediados del siglo XVIII

Las necesidades de mercurio para las minas de oro y plata americanas hicieron que las Minas de Almadén recibieran un trato y supusiesen una preocupación especial para la Corona, a partir de la segunda mitad del siglo XVI⁴, con el objetivo de asegurar las remesas de mercurio para América.

Para alcanzar estas pretensiones y lograr las producciones que se necesitaban se modificó la metalurgia, abandonando los viejos hornos de xabecas de origen árabe por los de reverberación traídos desde Alemania y pocos años más tarde (1646) por los de aludeles⁵. Estos avances técnicos se vieron acompañados por un yacimiento minero sin igual, que cuando daba señales de agotamiento en algunas de sus galerías, pronto era sustituido por nuevos descubrimientos, como los llevados a cabo por el superintendente Miguel de Unda y Garibay a finales del siglo

³ Una historia de Betancourt que recoge los aspectos claves de su vida puede verse en Martín Pereda, J.A. (2024). Una cronología en la que se señalan los hechos biográficos, la época y los hitos científicos, técnicos y filosóficos puede verse en el apartado de cronología “Betancourt (1758-1824) y los inicios de la ingeniería moderna en Europa.” Textos de la exposición. (2024).

⁴ En el año 1554 Bartolomé de Medina puso en marcha, en las minas de Pachuca (México), el método de amalgamación, que consistía básicamente en unir los minerales de plata o de oro con mercurio para obtener los metales, utilizando para ello, además del mercurio, otros componentes básicos como la sal común y el magistral (sulfato de cobre o hierro).

⁵ Mansilla, L. e Iraizoz, J.M. (2012), p. 84.

XVII en la Mina del Castillo y las de Almadenejos⁶, que permitían tener reservas suficientes para hacer frente a las necesidades de aquellos tiempos.

A pesar de los nuevos descubrimientos de mercurio la producción no era la esperada, debido principalmente, a las técnicas de laboreo que se empleaban y a la caótica organización del establecimiento minero, lo que provocaba un deterioro de la fuerza laboral en la que se incrementaba la morbilidad y la siniestralidad. Ello trajo consigo la falta de personal para trabajar en las minas, lo que obligó a su administración a organizarlas a través de nuevas normas como las Ordenanzas para el gobierno de las Fábricas y Minas de Azogue del Almadén del ministro Cornejo (31 de enero de 1735)⁷.

Las medidas anteriores fueron insuficientes para mejorar la producción y atraer mano de obra, viéndose obligada la administración minera, en apenas unos años, a introducir nuevos cambios con un modelo intervencionista, que tuviera mayor poder de atracción para la captación y conservación de los trabajadores, así como para aumentar la producción de mercurio⁸.

Algunas de las medidas adoptadas fueron: las exenciones fiscales y militares, la generalización de limosnas a favor de viudas y huérfanos de los mineros, el avencindamiento⁹, etc., que pronto tuvieron respuesta con la afluencia de trabajadores (temporeros) de las zonas colindantes a Almadén.

En el ámbito productivo se abordó una política centrada en tres campos de actuación. El primero la reactivación de la investigación minera por toda la comarca como nunca se había realizado, llegándose a determinar más de cuarenta puntos de interés minero.

En el segundo, se llevó a cabo la visita a la mina de numerosos expertos españoles y extranjeros como Nangle, Escurrechea (1750), los hermanos Jussieu (1717), Bowles (1752), etc., para asesorar acerca de las reformas técnicas que se tenían que llevar a cabo en la mina, que terminaron con la contratación de técnicos alemanes procedentes de la Escuela de Minas de Freiberg a mediados del siglo (1765)¹⁰.

6 Matilla Tascón (1987), p. 53.

7 Op. cit., p. 84.

8 Menéndez Navarro, A. (1990), pp. 93- 130.

9 Avencindar significa establecerse en un lugar como vecino, fijando residencia habitual y reconocimiento legal o social en ese sitio.

10 Diversas fuentes dan fechas diferentes para la creación de la Escuela de Freiberg.

Algunas de las innovaciones introducidas por estos fueron: a) nuevo método de arranque mediante bancos y testers con barrenos de pólvora, b) uso del pozo de San Teodoro, que debería profundizarse a la vez que las excavaciones como vía principal para la extracción y la ventilación, c) instalación de un malacate en 1769 movido por caballerías, d) mejora de la fortificación favoreciendo la seguridad, e) reordenación del espacio productivo interior y d) generalización del uso de bombas aspirantes en vez de zacas¹¹.

La puesta en marcha de los estudios de ingeniería de minas en 1777, con la creación de la Academia de Minas, fue el tercer pilar en el que se sustentaron los cambios introducidos en la segunda mitad del siglo XVIII.

A pesar de las innovaciones introducidas por los técnicos alemanes, apenas tres décadas después, estas habían agotado su potencial, como asegura Agustín de Betancourt en sus memorias del año 1783, instando este a la necesidad de incorporar nuevos cambios, sobre todo en los sistemas de desagüe y tratamiento metalúrgico.

Betancourt en Almadén. Las memorias de las Reales Minas del Almadén (1783)

La estancia de Agustín de Betancourt en Almadén vino precedida por su sólida formación en ciencias, arte y técnicas, adquiridas en dos de las instituciones madrileñas más prestigiosas de la época del reinado de Carlos III, los Reales Estudios de San Isidro, colegio clásico con vocación general que ofertaba distintas materias, y la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, referente de la enseñanza artística en España¹².

Para Gouzévitch, I. (2024) “Betancourt comienza a seguir las lecciones de ambos centros en 1779, alternándolos durante varios meses hasta que dejó de frecuentar la Academia en noviembre de 1781. En San Isidro, primero estudió las matemáticas elementales antes de dedicarse, el año siguiente, al análisis matemático, a la teoría de las líneas curvas, a los cálculos integral y diferencial y a la mecánica racional. En la Academia, siguió principalmente los cursos de dibujo artístico, consiguiendo, gracias a sus méritos, diversas recompensas. Gracias a las competencias adquiridas en estas disciplinas, Betancourt pudo impulsar su vida profesional, pronto inaugurada con una misión estatal de envergadura”.

11 Mansilla, L. e Iraizoz, J.M. (2012), p. 85-86.

12 Gouzévitch, I. (2024), p. 51.

Según Gouzévitch I. (2024), por encargo del conde de Floridablanca, en julio de 1783, Betancourt realizó su primera misión de interés, requiriéndosele para que visitara las Minas de Almadén con el objetivo de inspeccionarlas, pues para la Corona los cambios tecnológicos introducidos en los últimos años eran insuficientes para aumentar la producción de mercurio, solicitándole, un informe de la situación de las minas, y una opinión que presentara alternativas para la mejora tecnológica de éstas, siendo “en ese contexto en el que redactó, hacia noviembre de 1783, tres memorias sobre las Minas de Almadén, que se convertirían más tarde en la llave para su futuro”¹³.

No tenemos información certera sobre los conocimientos de minería y metalurgia que Betancourt habría adquirido antes de su visita a Almadén, pero teniendo en cuenta su espíritu inquieto y ávido de conocimientos, no es de extrañar que por sus manos hubieran pasado los textos de Johan Gottschalk Wallerius, *Mineralogía, eller mineralriktet indelt och beskrifvit*, publicado en 1747¹⁴, y el Tratado sobre la Ciencia de la Explotación de Minas, de Johann Friedrich Delius, publicado en 1778, dos de los libros más influyentes en estas materias durante la época.

Ahora bien, lo que sí se puede afirmar, a tenor de lo que se reflejan en las memorias que éste redactó de su visita a Almadén, es que lo más relevante publicado sobre las Minas de Almadén en aquellos momentos, podría haber sido consultado y estudiado por Betancourt¹⁵, lo que le permitiría preparar la visita con cierto grado de conocimiento.

Probablemente algunos de los textos consultados fueron: a) *Introducción a la Historia Natural y a la Geografía Física de España* (1752), de William Bowles¹⁶, b) *Memorias sobre las Minas de Almadén* (1717), de B. y A. Jussieu, c) *Descripción de la Mina de Mercurio de Idria* (1774), de Juan Jacobo Ferbes, d) *El Arte de los metales* (1640), de Alonso Barba, e) *Dictionnaire raisonné des arts et métiers* (1766), dirigido por François-Alexandre Aubert de La Chesnaye-Desbois, f) *Le Traité de la fonte des mines par le feu du charbon de terre* (1776), de Antoine de Gensanne.

Con estos antecedentes y tras la visita a las minas almadenenses, el informe que debía redactar Agustín de Betancourt se convirtió en *Las memorias de las reales Mi-*

¹³ Gouzévitch, I. (2024), p. 52.

¹⁴ Vid. p. 275, Betancourt, A. (1990), en la que Betancourt hace referencia al libro citado.

¹⁵ En el artículo primero de la tercera memoria, Agustín de Betancourt aprovecha el conocimiento que tiene de las obras de Bowles y los hermanos Jussieu para poner en evidencia la falta de rigor de lo escrito sobre las Minas de Almadén, como es el caso de Bowles, y la poca profundidad en el tema de los hornos en el caso de los hermanos Jussieu.

¹⁶ Bowles visitó las Minas de Almadén en 1752, durante su gran viaje científico por España (1752-1758). Su visita a Almadén quedó reflejada en su obra “Introducción a la Historia Natural y a la Geografía Física de España”, publicada en 1775.

nas del Almadén, un documento de gran interés para el momento, que Gouzévitch, I. (2024)¹⁷ las define, desde el punto de vista de la presentación, como “Una pequeña obra maestra de estilo, de claridad y de grafismo, pues las magníficas láminas que acompañaban estas memorias revelan su habilidad en el dibujo”, aspecto este del dibujo, sobre el que volveremos más adelante.

Y en cuanto al contenido también señala que “Sus memorias mostraban el temperamento sólido de un técnico competente preocupado por estudiar el problema con profundidad para proporcionar soluciones realistas”.

Primera memoria

Betancourt escribe la primera memoria con el título *Sobre las aguas existentes en las Reales Minas del Almadén en el mes de julio de 1783 y sobre las máquinas y demás concerniente a su extracción*¹⁸, compuesta por una introducción justificativa de la misma y tres artículos. Como nota de interés, la introducción incorpora un vocabulario de la tecnología usada en el desagüe de las minas muy interesante, que entendemos que el autor hace para que las personas que pudieran leer el documento no tuvieran problemas en el seguimiento de este.

El primer artículo es: *De los parajes de la Mina del Almadén, en que hay agua: númº de bombas, y Zacas con que se estrahe: cantidad que sacan: gente que se emplea, y jornales que devengan*. En él se hace una descripción del interior de la mina en el momento de su visita, de sus galerías, pozos y pocillos, de la ubicación de cada uno de los sistemas de desagüe, del personal que se emplea y el coste que supone todo el trabajo, acompañado de un magnífico plano en planta y alzado de las galerías y pozos.

El segundo artículo titulado: *De las bombas que hay en la Mina y de su construcción*, es una descripción pormenorizada de los diferentes modelos de bomba empleados, su montaje y fabricación, sacando a la luz, en algunos casos, la falta de conocimiento de mecánica e hidráulica de los operarios que construían las bombas, como queda reflejado en este texto: “Por lo mismo no me causó novedad lo que me respondió un Maestro de Bombas, y que fue que las Bombas eran unos Duen-des que sacaban agua quando querían, y quando no, no había diablos que las hiciesen ir adelante”¹⁹.

17 Gouzévitch, I. (2024), p. 53.

18 En letra cursiva los títulos de las memorias y artículos extraídos conforme figuran en el original de las memorias sobre las Reales Minas de Almadén de Agustín de Betancourt.

19 Entre comillas, palabras extraídas del texto de las memorias sobre las Minas de Almadén.

El último artículo de la primera memoria es: *Del modo de extraer el agua de la Mina con Zacas*²⁰, que describe dicho método con precisión y detalle, aconsejando evitar este tipo de prácticas en la medida de lo posible a la mayor brevedad y en los casos que aún no fuera así, mejorar el equipamiento. Este artículo y el anterior están acompañados por sendas láminas, que ilustran los detalles de los dos sistemas de bombeo empleados en la mina, así como un resumen del estado de las aguas en ésta, que constituye un análisis minucioso de todos los sistemas de bombeo que hay en las distintas partes de la explotación minera (planes), incluyendo el número de bombas, la cantidad de agua, mano de obra, jornales, etc. En la tabla 1, que sigue, puede verse la situación del número de bombas y zacas, así como detalles técnicos y operativos en diversas labores de la mina.

20 Zacas (que acaso es corrupción de la voz zaque) son unas bolsas de suela, capaces cada una de contener cosa de dos pies cúbicos, o 120 libras de agua. (Definición obtenida del artículo 1º de la primera memoria sobre las Minas de Almadén de A. de Betancourt). Vid. Estampa 2 figura nº2.

Tabla 1 A. Estado de las Aguas de las Reales Minas de Almadén en 1783.

Zonas en las que hay agua	Nº Bombas	Nº Zacas	Altura que sube el agua	Nº Jornaleros		Entradas que hacen	Jornales devengan	Precios de cada jornal (Reales)		Total Importe	
				Bombero	Compositor			Bombero	Compositor	Día	Año
3º Torno San Francisco	1	“	10	2	“	4	8	5	“	40	14600
2º Torno San Francisco	“	2	28	6	1	4	26	5	8	136	94640
1º Torno San Francisco	2	“	18	4		2	8	5		40	14600
Plan de San Julián	“	2	36	5	“	1	5	5	“	25	9125
Plan de San Carlos	“	2	34	“	“	“	“	“	“	“	“
Travesía de San Miguel	“	“	74	“	“	“	“	“	“	“	“
Plan de San Juan	5	“	46	5	1	2	12	5	8	66	24090
Travesía al norte de la caña Real en el 4º piso	“	“	“	“	“	“	“	“	“	“	“
Torno de San Andrés	9	“	81	18	2	4	76	5	8	392	143080
Charcos de San Teodoro	“	“	2	2	“	0,5	1	4	“	4	140
Torno principal de la Esperanza	5	“	44	10	2	2	22	6.17.	8	146	53290
Torno 2º de Santa Bárbara	4	“	38	4	2	1	5	5.17.	8	22	8030
Torno 1º de Santa Bárbara	4	“	32	8		4	“	“		176	64240
TOTAL	30	6	“	64	8	“	197			1047	427155

Fuente: Calderón Herrera, D. (2017), p. 230., basada en Betancourt, A. (1990), p. 12.

Tabla 1 B. Estado de las Aguas de las Reales Minas de Almadén en 1783.

Zonas en las que hay agua	Agua elevada en una hora		Agua que produce la mina		Tránsitos que hace el agua dentro de la mina	Sitios por donde sale el agua de la mina
	Pies	Pulgadas	Pies	Pulgadas		
3° Torno San Francisco	120	“	1200	“	Caldera 2° Torno	Pasan por la Travesía de San Andrés y salen por el Socavón del Castillo
2° Torno San Francisco					Suelo 1° Torno	
1° Torno San Francisco					Caldera Torno San Andrés	
Plan de San Julián	Varía mucho su cantidad				Caldera Torno Grande	Se consume en la mina
Plan de San Carlos	“	“	80	“	Cañada Real 4° Piso - Caldera San Andrés	Sale por el Socavon del Castillo
Travesía de San Miguel	Varía mucho su cantidad				Caña Gitana	
Plan de San Juan	53	816	534	1248	Caldera de San Andrés	
Travesía al norte de la caña Real en el 4° piso	20	“	480	“		
Torno de San Andrés	110	1272	2214	1248	Travesía de San Andrés	
Charcos de San Teodoro	“	“	28	“	Suelo 1° Torno Santa Catalina	Sale por el Socavón de Santa Catalina
Torno principal de la Esperanza	90	“	1800	“		
Torno 2° de Santa Bárbara	68	“	340	“		
Torno 1° de Santa Bárbara	108	691	2168	“	Socavón de Santa Catalina	
TOTAL	570	1091	9845	768		

Fuente: Calderón Herrera, D. (2017), p. 230., basada en Betancourt, A. (1990), p. 12.

Segunda memoria

La segunda memoria está dedicada a la extracción y el transporte del mineral por galerías y pozos, que Betancourt titula: *Sobre las máquinas que usan en las Minas del Almadén*, en que se expresan sus ventajas y defectos, y algunos medios de remediarlos, que al igual que la primera memoria va provista de una introducción con un pequeño vocabulario de palabras usadas en las Minas de Almadén y de seis artículos que dan cuenta del *modus operandi* de esta importante operación minera.

Los artículos primero y quinto de la segunda memoria están dedicados al transporte horizontal en el interior de las galerías, siendo el primero de ellos el que va a denominar con el nombre de *Del trecheo interior de la Mina*. El trecheo es una técnica utilizada en la minería española desde tiempos inmemoriales, que consistía en transportar los minerales y las rocas por los mineros en una espuerta o capazo a lo largo de una determinada distancia que se le llamaba trecho, de donde va a tomar el nombre este método. Aunque este sistema es poco sustituible en algunas galerías por su estrechez y la proliferación de curvas, Betancourt aporta como solución para ahorrar número de trabajadores y seguridad en la operación, la introducción de pequeños carros de una o dos ruedas para las galerías más anchas y llanas.

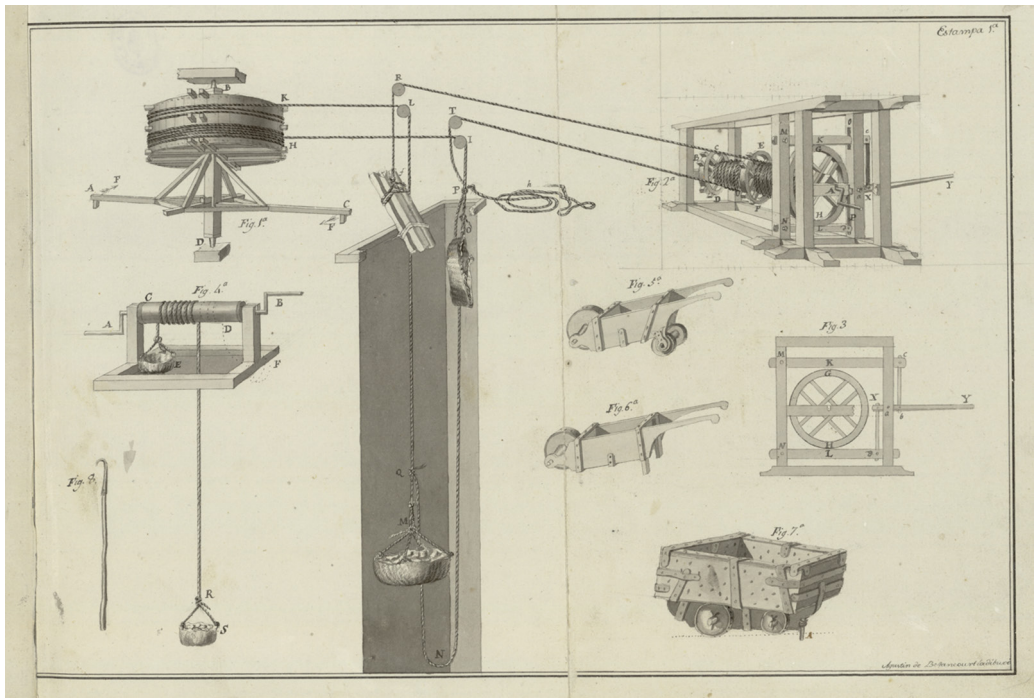
El quinto artículo está dedicado a: *De la extracción del mineral con carros en la Mina de Almadén*. Una máquina excesivamente pesada y penosa en su manejo, que Betancourt describe de este modo en la memoria “Como este es un trabajo tan penoso, solamente a los forzados²¹ se puede obligar a que lo hagan, y ellos mismos me han dicho que el trecheo con estos carros es lo que más sienten de todo lo que les mandan hacer”²².

Los artículos segundo y tercero están dedicados al transporte vertical. El artículo segundo con el título: *Del modo con que se sube el mineral por tornos particulares* constituye una clara exposición de cómo funciona el sistema, mientras que el tercer artículo: *De la extracción del mineral fuera de la Mina*, es un buen estudio del funcionamiento del malacate del pozo de San Teodoro. Su descripción con sus pros y contras, así como el estudio comparativo con el sistema de tornos manuales, demuestran el conocimiento que Betancourt tiene de estas máquinas cuando llega a Almadén, que se va a traducir en la propuesta de implementación de algunas mejoras en la máquina en el pozo de San Teodoro si se piensa profundizar, y la colocación de una máquina de este tipo en el pozo de San Miguel (ver figura 1).

21 Los forzados eran trabajadores condenados a cumplir sus penas trabajando en las minas de Almadén.

22 Betancourt, A. (1990), p. 254.

Figura 1. Estampa n° 1 de la segunda memoria de las Reales Minas del Almadén, 1783²³.



Fuente: Betancourt, A. (1990), p. 158. Imagen procedente de los fondos de la Biblioteca Nacional de España.

Esta memoria incorpora dos artículos muy interesantes en cuanto a la maquinaria empleada en las minas. El primero de ellos, el artículo sexto, tiene dos partes, una dedicada a una máquina que en la mina se conoce con el nombre de Prensa y que se emplea para bajar la madera de la entibación por los pozos, siendo descrita por Betancourt como una máquina muy conseguida en su uso y bastante segura (ver figura 1).

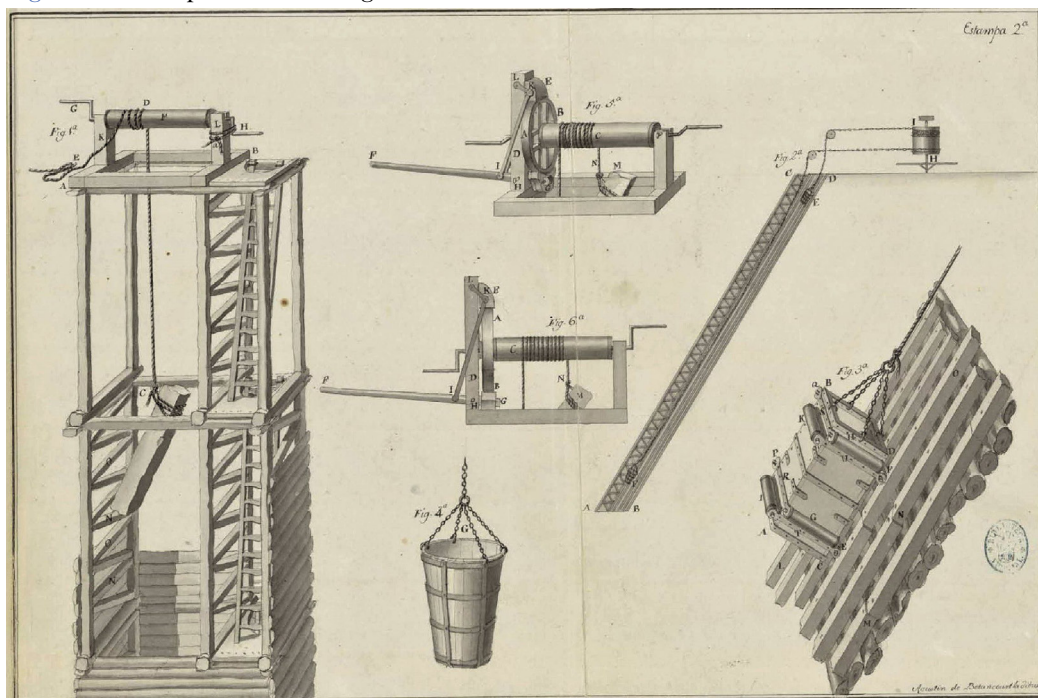
La otra parte está dedicada a la bajada de la madera por los pozos de menor diámetro usando para ello los tornos manuales, donde Betancourt expone los múltiples problemas de esta práctica con gran falta de seguridad para los operarios, dando lugar a que este presentara un modelo de una nueva máquina para estas operaciones, que mostró a los dos principales encargados de la entibación para que opinaran sobre ésta, llegando estos a decir: “que sería utilísimo ponerla en los prin-

²³ Esta estampa de la segunda memoria incluye las imágenes de los tornos manuales y malacate para el transporte vertical, así como las imágenes de los carros pequeños de una o dos ruedas y los grandes carretones para el transporte horizontal. Al margen de estos sistemas en la lámina también se puede ver la máquina conocida como la Prensa (figuras 2ª y 3ª de la estampa).

cipales tornos por donde se baja la madera; pues se podría ahorrar mucha gente y trabajarían con más prontitud y seguridad, y sin tanta fatiga como les cuesta hoy”²⁴.

El artículo cuarto, está dedicado a la máquina de tambor que hay en la Mina de Almadenejos²⁵, con grandes problemas para sacar el mineral por el torno inclinado de S. Joaquín, con enganches del cubo, cadenas y tambor provocando paradas intermitentes y en algunos casos roturas. Ante el estudio de estos problemas Betancourt propone una serie de cambios, como la construcción de un cajón o cuba cuadrada apoyado en ocho rodillos y arrastrada con cintero²⁶ como novedad, que puesto en conocimiento de las autoridades se trasladó a la práctica inmediatamente (ver figura 2).

Figura 2. Estampa n° 2 de la segunda memoria de las Reales Minas del Almadén, 1783²⁷.



Fuente: Betancourt, A. (1990), p. 160. Imagen procedente de los fondos de la Biblioteca Nacional de España.

²⁴ Betancourt, A. (1990), p. 257.

²⁵ Las minas de Almadenejos (Ciudad Real) también son de mercurio y pertenecían a la empresa de las minas de Almadén, encontrándose a 12 kilómetros de la población de Almadén.

²⁶ Cintero. Soga o maroma que cuando se emplea para extraer el mineral es de cáñamo y cuando se utiliza en el achique de agua en las zacas es de esparto. Betancourt, A. (1990), p. 284.

²⁷ Esta estampa de la segunda memoria incluye las imágenes de los tornos manuales con la máquina inventada por Betancourt para la bajada de la madera por los pozos, así como las imágenes de la máquina de tambor de la mina de Almadenejos.

La búsqueda de mejoras en el sistema de hornos fue una de las constantes desde la instalación en el año 1645 de los hornos de aludeles en las Minas de Almadén, que habían atraído hasta estas minas a un número importante de inventores durante todo el siglo XVII y XVIII, por lo que no es de extrañar que Betancourt dedicara la última de sus memorias a todo lo que concierne al proceso de producción de mercurio e incluyera en ella algunas propuestas de cambio.

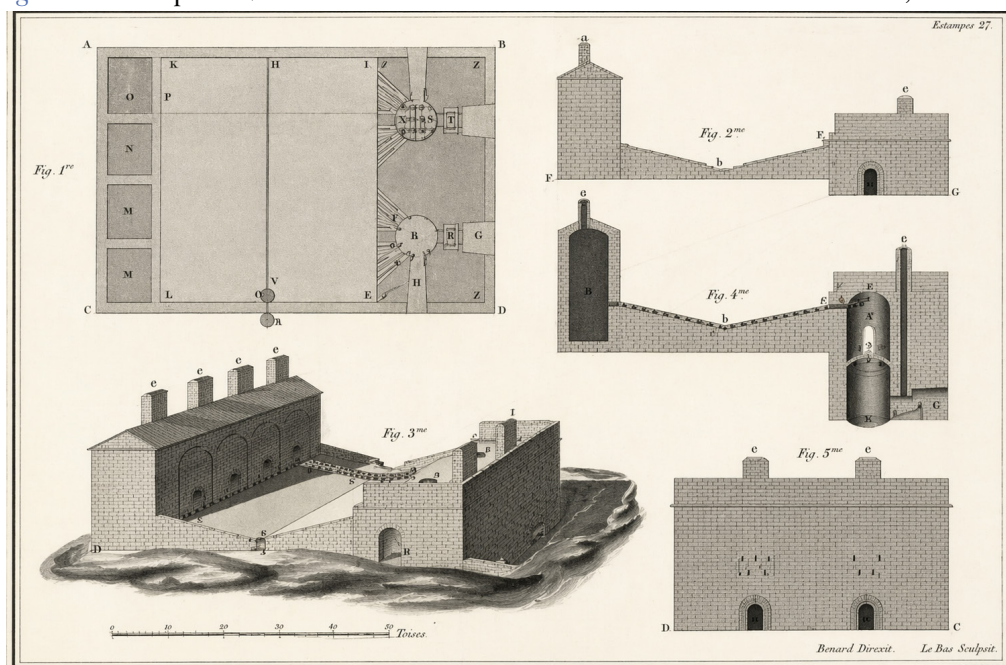
Tercera memoria

La tercera memoria lleva por título: Sobre todas las operaciones que se hacen dentro del cerco en que están los hornos de fundición del Almadén, siendo esta la de mayor extensión y compuesta por cinco artículos con un esquema similar a las anteriores, acompañada de una introducción con vocabulario para hacer un seguimiento claro de los textos e imágenes que esta contiene.

El artículo uno está centrado en: *De los hornos, su invención y construcción*, comenzando por una magnífica descripción de cómo era el Cerco de Buitrones²⁸, constituyendo este artículo un magnífico ejemplo del estudio y análisis de los hornos de aludeles, que incorpora un levantamiento de planos realizado con sumo detalle, su tipología constructiva, costes, etc. (ver figura 3).

²⁸ El Cerco de Buitrones en las Minas de Almadén era el espacio físico donde estaban ubicados los hornos para la metalurgia del mercurio.

Figura 3. Estampa n° 2 de la tercera memoria de las Reales Minas del Almadén, 1783²⁹.



Fuente: Betancourt, A. (1990), p. 227. Imagen procedente de los fondos de la Biblioteca Nacional de España.

Un aspecto de gran interés y curiosidad de este artículo, que refleja ya la personalidad que se está fraguando en Betancourt, es su crítica al trabajo realizado por Bowles en Almadén años antes (1752), al que ya nos hemos referido. Llega a afirmar que este había fundamentado sus estudios con una falta de conocimientos de física y sin conocer a fondo los trabajos que había consultado para lanzar sus tesis, olvidándose además de otros trabajos que ya habían introducido mejoras en los hornos de aludeles a nivel europeo, que para Betancourt se tradujeron en resultados erróneos en los experimentos realizados por éste en el Cerco de Buitrones.

Todas estas afirmaciones las realiza tras el estudio comparativo y experimental que hace durante los días que dura el proceso de obtención del mercurio en los propios hornos, con el fin de obtener datos suficientes para poder hacer dicha comparación con el rigor que la ocasión merece.

Entre las propuestas de mejora que manifiesta Betancourt para estos hornos se encuentra la de sustituir los caños de barro por otros de hierro colado sumergidos

29 Esta estampa de la tercera memoria incluye la planta, alzado y perfiles de un par de hornos de aludeles.

en agua³⁰, aprovechando para ello el agua que se vertía por un socavón de la mina hacía un arroyo, ahorrando bastante dinero al cambiar de ubicación el sistema de bombeo. Esta propuesta no se llegó a implementar en las Minas de Almadén y tampoco tenemos constancia de que se hiciera alguna prueba de ella.

El artículo dos está dedicado al *Modo de cargar los Hornos, hacer la cochura*³¹ y *descargarlos*. Comienza por una descripción pormenorizada de la clasificación de los diferentes minerales que van a entrar al horno en función de su ley³², las cantidades de cada uno de ellos y la posición que van a ocupar dentro de este a partir de la parrilla.

Continúa con un repaso de las tres operaciones básicas del proceso de obtención del mercurio: carga, cochura con la acción del desbrase³³ y descarga del horno, calificando a estas, después de un exhaustivo control de tiempos, como un trabajo rutinario, donde la participación del maestro de cochuras es clave para saber el tiempo que se necesita para continuar el fuego o terminar la operación de la cochura, ya que como dice Betancourt “dichos tiempos son un secreto de estos especialistas (...) que el hacer misterio de dicha regla consiste, en que ninguna tiene, sino una rutina, y no quieren confesarlo, pues se gobiernan por el ruido que hace el fuego dentro del horno, y otras semejantes señales, que no prueban haberse dado a la piedra el fuego preciso para la total separación del azogue”³⁴.

Aunque todas las fases de obtención del mercurio se realizaban con suficiente control, es la del *Modo de sacar el azogue de los caños, llevarle al lavadero y conducirlo al almacén*, (artículo tercero), una de las más complicadas, pues de su buen desarrollo y cuidado iba a depender, en gran parte, la producción final del horno, siendo este artículo de la tercera memoria al que va a dedicar Betancourt estos laboriosos trabajos, sorprendiendo, una vez más, la minuciosa descripción del proceso, que le permite hacer un análisis pormenorizado de los costes que tiene cada hornada, con la intervención de 25 operarios y un coste total de 207 reales de vellón (ver tabla nº 2).

30 Betancourt, A. (1990), p. 266.

31 Cochura. Operación que se realiza en los hornos para obtener el mercurio a partir del cinabrio. Betancourt, A. (1990), p. 284.

32 La ley de un mineral es la cantidad de metal útil que contiene, expresada normalmente en porcentaje (%) o en gramos por tonelada (g/t). La clasificación de minerales en Almadén para la época era: Metal 33%, Fino 15-16%, Pizarra 7-8%, China (piedras pequeñas que quedan al quemar el metal) 7-8%, Bacisco (tierra procedente del metal derribado en la mina y otros restos) 3%, Garduja (desechos de los metales anteriores) 3%. Mansilla, L. (2000), p. 68.

33 Operación de remover las brasas y de quitarlas junto con las cenizas de la caldera

34 Betancourt, A. (1990), p. 270.

Tabla n° 2. Costo de una hornada en los hornos de aludeles³⁵.

Individuos que intervienen en cada hornada	Jornales que ganan (rs.v.)	Total Costo (rs.v.)
4 Cargadores	10	40
1 Retapador	5	5
1 Cochurero	10	10
2 Arrieros, cada uno con un jumento (para un par de hornos)	7	7
6 Xareros: estos deben traer la leña necesaria, cuyo precio varía según las distancias: se regula su costo de 120 a 130 reales.		125
2 Desbrasadores: estos cuidan de cuatro hornos	8	2
4 Muchachos	2	8
2 Azogueros	2	4
1 Medidor	2	2
2 Atadores que deben atar el azogue de dos hornos y requebrar o volver a romper los 8 pesos de piedad de metal que lleva cada horno	4	4
Total		207

Fuente: Elaboración propia basada en Betancourt, A. (1990), p. 272.

El trabajo que se hacía en los hornos, descrito por Betancourt en los artículos segundo y tercero de esta memoria y comprobado por este en más de una ocasión, le llevó a ver las penurias que sufrían los operarios en este tipo de trabajo con una descripción desgarradora de los mismos, y al respecto señala que “Deseando instruirme en todas las maniobras que se usan en las minas del Almadén para separar el azogue de la piedra y otras materias que le contienen, pasé una mañana al cerco de fundición, o de Buitrones para ver cómo descargaban los hornos de la piedra de que ya habían extraído el mercurio, y el modo con que volvían a cargarlos. Estando dentro del cerco, que dista un corto trecho de la villa hacia Poniente, sentí un olor sulphúreo y fastidioso que exhalaban los hornos, y desde luego juzgué que podía ser dañosos a todos los que manipulaban allí, pero me confirmé más en este concepto, quando me acerqué y sentí el calor tan excesivo que sufrían los descargadores, cuyos efectos se veían bien expresados en lo macilento y afligido de sus semblantes, en lo extenuado de sus cuerpos,

³⁵ Tabla confeccionada con los datos de Betancourt, A. (1990), p. 272.

y en el mismo modo de descargar, pues cada una de sus acciones, movía a compasión, y ellos mismos formaban un espectáculo digno de lástima y difícil de pintar”³⁶.

Lo anterior le lleva a escribir el artículo cuatro de la memoria: *Observaciones que hice con el aire que contenían los hornos de fundición del Almadén*, para con el desarrollo de pequeños experimentos de control de temperaturas y el análisis de la presencia de gases tóxicos y su cantidad en función de dichas temperaturas, proponer algunas soluciones como la de la construcción de cinco pares de hornos con el mismo sistema, aumentando los días de las operaciones (el 4º para destapar y el 5º para descargar y cargar), consiguiendo con ello bajar la temperatura de los hornos cuando se trabaja sobre ellos y reduciendo a su vez la pérdida de mercurio con el resto de gases. Betancourt también deja constancia de que el ahorro de esta operación no disminuye los gastos de la construcción, pero si mejora mucho el trabajo de los operarios en los hornos.

En la parte final de este artículo Betancourt vuelve a la crítica de los trabajos de Bowles y en ella se manifiesta la sutileza con la que lo hace para no caer en la arrogancia, dejando claro el interés que le lleva a ella. Según sus propias palabras “Lo que únicamente me ha movido en el desempeño de la Comisión de V.E., el amor a la verdad y el crédito a la Nación; pues es cosa harto reparable que, quexándonos con tanta razón de la ligereza y falta de verdad con que los extranjeros se explican en sus libros acerca de todos los asuntos relativos a España, se incurra entre nosotros mismos en el propio defecto, cabalmente en una obra que corre en el común concepto de los que no la examinan desapasionadamente, y con la inteligencia, juicio y crítica correspondiente ...”³⁷.

El último artículo de esta tercera memoria, el quinto, está dedicado a la laboriosa tarea del *Modo de empacar el azogue, para una vez finalizado dicho trabajo, dejar listos los baldeses*³⁸ para su transporte hasta las Atarazanas sevillanas en carretas tiradas por bueyes o en recuas de mulas. En la estampa nº 4 de esta memoria, (ver figura 4), Betancourt refleja con todo lujo de detalle el trabajo de los operarios en el proceso de empaque del mercurio en los almacenes.

³⁶ Betancourt, A. (1990), p. 272.

³⁷ Betancourt, A. (1990), p. 277.

³⁸ Baldes: Cuero o badana, generalmente de carnero, empleada para el empaque de los azogues. También recibe este mismo nombre, el cántaro o cubo de barro que sirve de soporte al baldés cuando se realiza el empaque. Betancourt, A. (1990), p. 283.

Figura 4. Estampa n° 4 de la tercera memoria de las Reales Minas del Almadén, 1783.



Fuente: Betancourt, A. (1990), p. 230. Imagen procedente de los fondos de la Biblioteca Nacional de España.

Betancourt nos legó tres memorias sobre las Minas de Almadén que son un retrato bastante claro de cómo se encontraban las minas en los momentos de su visita, bien estructuradas, con rigor científico en sus observaciones y experimentos, elaboradas de forma muy didáctica en sus explicaciones y acompañadas de planos, dibujos y un vocabulario minero propio de la mina almadenense, que las hacen más atractivas para comprender su lectura, justificando en cada una ellas sus trabajo y proponiendo continuas mejoras, donde la preocupación por los trabajadores fue también otras de sus constantes.

Gouzevitch I. (2024) deja muy claro que la visita de Betancourt a Almadén fue clave para su camino posterior que emprendería más tarde por Europa “La manera en la que resolvió la misión de Almadén convenció a sus superiores madrileños de la necesidad de invertir en su talento prometedor. Y esto, en la mentalidad política de los gobiernos de los Borbones de este periodo, significaba la justificación para un viaje de estudios al extranjero”³⁹.

³⁹ Gouzevitch, I. (2024), pp. 58-59.

3. Memorias de Betancourt sobre la máquina de vapor de doble efecto (1789) y sobre la fuerza del vapor (1790)

Sobre la máquina de vapor de doble efecto

Tras la estancia de Betancourt en Almadén, con 25 años, y la publicación en 1783 de las tres memorias, que hemos analizado anteriormente; en 1784 “Betancourt es comisionado junto con su amigo y paisano Alonso de Nava y Grimón para de camino a Francia, visitar las obras y evaluar los daños que una fuerte avenida había causado meses antes en la presa de El Bocal”⁴⁰.

En París estudia en la École de Ponts et Chaussées, donde está entre 1784 y 1788 y en cuyo periodo realiza un viaje a Inglaterra que es relevante para el tema de la máquina de vapor.

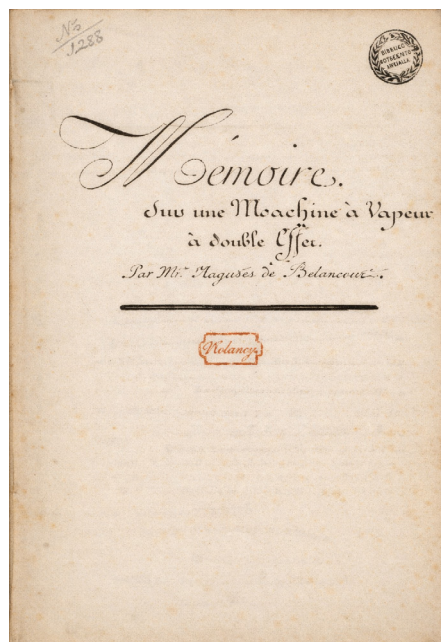
En 1788 visitó Birmingham y se entrevistó con James Watt y Matthew Boulton, quienes no le facilitaron la información que iba buscando, pero visitó también Londres donde pudo observar las máquinas de vapor de los Albion Mills cerca del puente de Blackfriars.

Fue a su regreso a París cuando empieza a trabajar en las máquinas de vapor de doble efecto y presenta en la Academia de Ciencias Francesa en 1789, su *Mémoire sur une machine à vapeur à double effet*; y al año siguiente la *Mémoire sur la force expansive de la vapeur de l'eau*.

La primera memoria, cuya portada puede verse en la figura 5, tiene 30 páginas. Una descripción de esta más fácil de leer que la manuscrita puede verse en Payen, M. J. (1967), quien lleva a cabo una introducción en la que llama la atención sobre los errores de Betancourt cuando denomina a Watt, Wast y a Boulton, Bolton.

40 “Betancourt (1758-1824) y los inicios de la ingeniería moderna en Europa”. Catálogo de la exposición, p. 21.

Figura 5. Título de la *Mémoire sur une machine à vapeur à double effet* (1789) de Agustín de Betancourt.



Fuente: Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia. Cedita para su digitalización por la Escuela Nacional de Puentes y Caminos de París-Tech.

En dicha memoria describe la instalación de Albion Mills, cerca del puente de *Blakfriars*. En la figura 6 puede verse el dibujo de Betancourt que refleja el corte transversal del condensador y el alzado del conjunto de la máquina, reproducido también en el trabajo de Payen, J. (1967)⁴¹.

Respecto a la instalación de Albion Mills, Betancourt señal que “Lo que me llamó la atención en primer lugar, fue el ver que se había suprimido la cadena que antes estaba atada al balancín y que tenía suspendido el émbolo dentro del cilindro. Esta cadena había sido sustituida por un paralelogramo, que describiré un poco más adelante...”⁴². También me llamó la atención la pequeñez del cilindro, en comparación con el efecto maravilloso de la máquina”

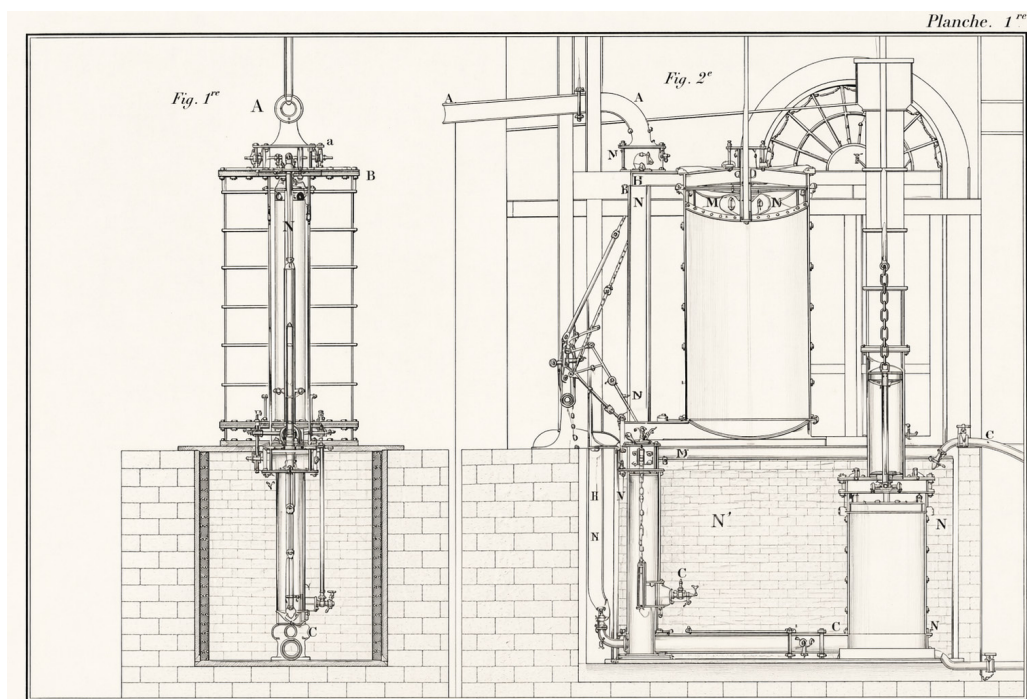
⁴¹ Op. cit., 192. En este trabajo se puede ver también la figura del paralelogramo de Watt, observado por Betancourt en Albion Mills, p. 195.

⁴² Al respecto es de notable interés la “planche 4eme”, de la memoria. Betancourt (1789).

“...todo ello me hizo sospechar que debía haber en aquella máquina algún doble efecto; es decir que, mientras el vapor hacía presión sobre la cara superior del émbolo, se hacía el vacío en su parte inferior, y recíprocamente, cuando el vapor empujaba el émbolo hacia abajo, se hacía el vacío en su parte superior. En cuanto a la bomba de aire, al condensador y al moderador de velocidad, no puede darme cuenta de ellos, ya que todas las piezas estaban tapadas”⁴³.

El funcionamiento de la máquina de doble efecto descrita por Betancourt en la memoria citada, con la ayuda de las láminas, algunas de las cuales se reproducen en este capítulo, puede verse “en funcionamiento” en Fundación Juanelo Turriano (2024).

Figura 6. Planche I de la *Mémoire sur une machine à vapeur à double effect* (1789) de Agustín de Betancourt. Corte transversal del condensador y longitudinal del conjunto de la máquina.

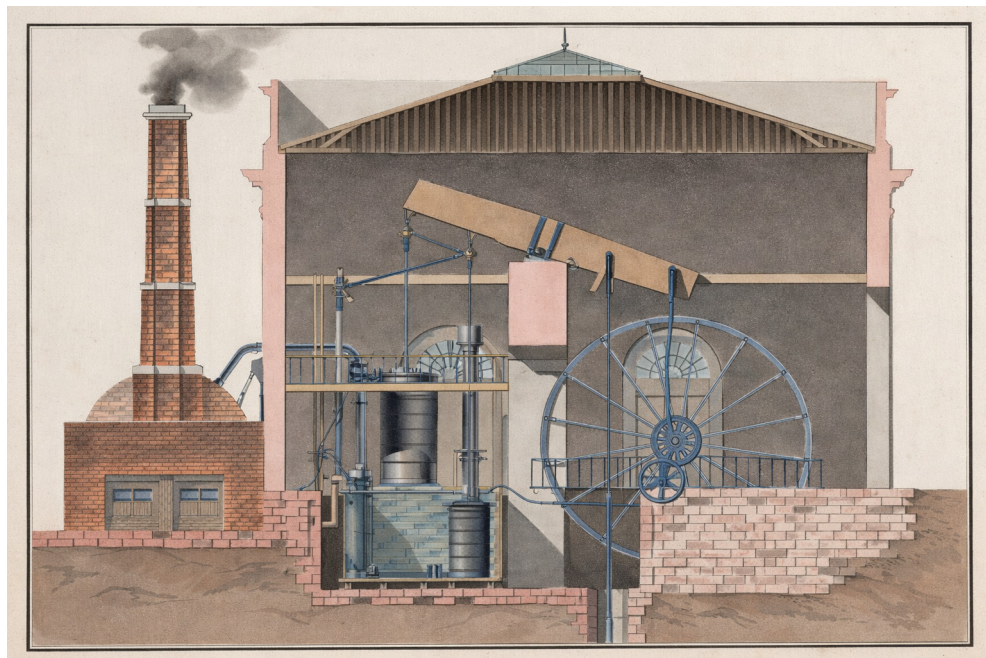


Fuente: Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia. Cedida para su digitalización por la Escuela Nacional de Puentes y Caminos de París-Tech.

43 Martín Medina, A., Martínez Navarro, F. y Repetto Jiménez, E. (s.f.), pp. 123-124.

Gouzévitch. I. (2009) en su trabajo sobre el gabinete de máquinas de Betancourt, señala que entre en el catálogo de modelos y máquinas figuran las bombas y máquinas para elevar el agua, que también están incluidas en el catálogo de planos⁴⁴. Al respecto y en cuanto a la descripción de máquinas del Real Gabinete; en la figura 7 puede verse el dibujo realizado por Betancourt de la máquina de doble efecto de Watt.

Figura 7. Dibujo realizado por A. de Betancourt de la máquina de doble efecto de Watt.



Fuente: Fernández Pérez, J. y González Tascón, I. (1991), pp. 260-261.

Conviene recordar la habilidad de Betancourt para el dibujo y las representaciones a escala, en lo cual, como ya se ha mencionado anteriormente, tuvo mucho que ver su formación en la Real Academia de San Fernando en 1780. Al respecto conviene señalar que “En la Academia de Bellas Artes de San Fernando, Betancourt educó y perfeccionó su extraordinaria aptitud para el dibujo bajo la dirección del pintor Mariano Salvador Maella (1739-1819), a quien en sus cartas familiares reconoce como su maestro”⁴⁵.

⁴⁴ Gouzévitch, I. (2009), p. 100.

⁴⁵ “Betancourt (1758-1824) y los inicios de la ingeniería moderna en Europa”. Textos de la exposición, p. 19.

Asimismo, “Aunque el dibujo técnico garantizaba una representación fiel de los ingenios y las máquinas, el temperamento artístico de Betancourt exigía la confección de planos llenos de armonía de matices, lo que se lograba con el lavado con colores, utilizando pinceles análogos a los que utilizan los pintores”⁴⁶. Lo anterior es manifiestamente notable en los dibujos de Betancourt que se pueden apreciar tanto en los del establecimiento de Yndrid⁴⁷ que veremos más adelante, como en otros casos.

La misma fuente señala que en el segundo viaje a Inglaterra de Betancourt se hizo acompañar por Bartolomé Sureda quien incorporó las técnicas de la aguainta y la aguada.

En la figura 8 se incluye una fotografía de la máquina de vapor de balancín, de Boulton y Watt de 1777. Se considera de interés en el contexto de este trabajo, ya que se trata de una de las máquinas de vapor más antiguas, la fecha (1777) es anterior a la de las memorias de Betancourt.

La máquina originalmente se encontraba en la fábrica de Boulton en Soho en Birmingham y dejó de funcionar en 1848⁴⁸. Se trata de una máquina de bombeo del tipo que el fabricante hizo para el desagüe de minas, pero que en este caso se utilizó para mover la rueda de agua de la fábrica, y cuando el río tenía bajo caudal bombeaba desde aguas abajo hacia el embalse⁴⁹.

Asimismo, consideramos de interés referirnos a la máquina de vapor simple de Watt para el desagüe de una mina, y la máquina de vapor de doble efecto de Watt cuyo examen comparativo resulta de interés, y que pueden verse en Dickinson, H. W. (2010)⁵⁰.

46 Op. cit., pp. 87-88.

47 Vid. Betancourt A.d. (2008), una de cuyas láminas se reproduce aquí, en el apartado 5.

48 Vid. Turvey, P. (2012).

49 Traducido por Álvarez Pelegry, E. del panel de la exposición de la máquina.

50 Vid. op. cit., pp. 75-83, donde se describen las mismas.

Figura 8. Máquina de vapor “*Old Bess*” *beam engine* by Boulton and Watt, 1777.



Fuente: Museo de Ciencias de Londres. Fotografía de Álvarez Pelegry, E. (2024).

Para finalizar este apartado nos referiremos al trabajo de Rojas- Sola, J. I. y De la Morena-De la Fuente, E (2018), que llevan a cabo una recreación, utilizando diseño asistido por ordenador (CAD), de la máquina de vapor de Betancourt.

En las conclusiones del trabajo citado se señala que el diseño de Betancourt presenta sustanciales diferencias respecto al modelo de Watt, siendo el de Betancourt más eficiente. Así el vacío generado en la condensación del agua en las tuberías se utiliza mejor en la máquina en el doble movimiento de pistón.

Por otra parte, la estructura era muy sólida en línea con los diseños de entonces y de acuerdo con la modelización y los análisis de los autores citados estaba sobredimensionada, lo que era debido en ese tiempo a la ausencia de pruebas de resistencia de materiales.

Sobre la fuerza expansiva del vapor

Los trabajos de Betancourt sobre la máquina de vapor no solo fueron importantes por lo que hemos indicado más arriba y por los trabajos relacionados con máquinas de vapor, que reseñaremos en el apartado 5. Tiene también gran relevancia la *Mémoire sur la force expansive de la vapeur de l'eau* de 1790, que lee en la Real Academia de Ciencias.

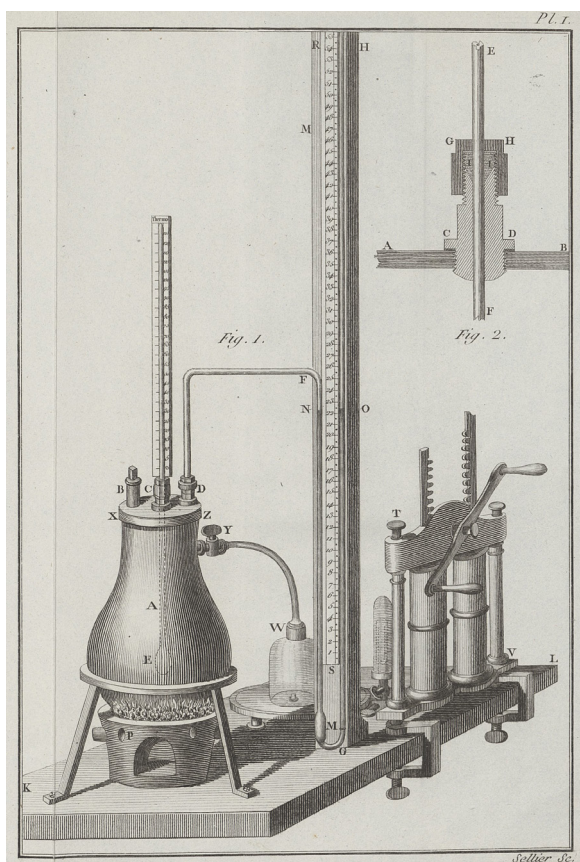
El documento⁵¹, tiene un texto introductorio de Borda, Brisson y Monge, quienes señalan que las experiencias detalladas en la memoria les parecen útiles y que esta es digna de aprobación por la Académie royal des Sciences, en el compendio de eruditos extranjeros.

La memoria tiene 38 páginas y va acompañada de tres tablas, dos figuras en una lámina y un gráfico. Comienza señalando que “cuando las ciencias no tienen otra finalidad que la de hacer brillar el genio de quien las cultiva y cuando no se aplican a las necesidades de la vida se puede decir que su utilidad es bastante limitada”⁵². En ésta realiza unas consideraciones previas en las que pone de relieve la necesidad de tener una base practica (podríamos decir que ingenieril y científica) del comportamiento del vapor. Para ello describe los aparatos que usará en los experimentos, que se pueden ver en la lámina de la figura 9, las precauciones que ha tenido para evitar la entrada de aire, los aparatos de medida (incluyendo termómetro en escala Réaumur y barómetro de mercurio) y la forma de llevar a cabo los ensayos. Realiza los ensayos con agua destilada y con alcohol etílico (*l'esprit de vin*).

51 Betancourt, A. (1790).

52 Traducción por los autores del original en francés, p. 1.

Figura 9. Aparato para medir la fuerza del vapor de Betancourt



Fuente: Betancourt, A. (1790), lámina primera. Imagen procedente de los fondos de la Biblioteca Nacional de España

Betancourt señala en el inicio de las pruebas que “... en el primer ensayo que todo iba a ser fácil, pero me encontré con tantas dificultades en la práctica, que muchas veces estuve a punto de abandonar mis experimentos y de contentarme con algunos avances superficiales. Pero el conocimiento que tenía de la utilidad de estas experiencias me alentó, y seguí con mi trabajo, tras ocho meses, sin obtener resultados satisfactorios”⁵³.

Cuando evalúa los resultados una de las conclusiones a las que llega es que hay una relación y una dependencia mutua entre la temperatura y la presión de vapor de tal manera que la misma presión debe siempre corresponder a la misma tempe-

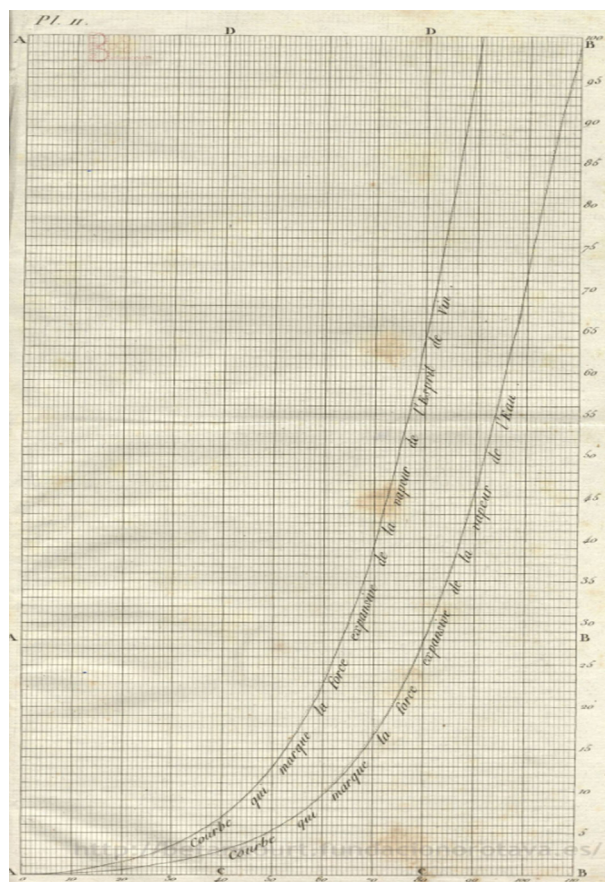
⁵³ Traducción por los autores, p. 8.

ratura y recíprocamente e independientemente del tipo de vasija en la que tiene lugar la vaporización⁵⁴.

Las tablas incluidas en la memoria no solo recogen los resultados, también estiman las diferencias entre los valores experimentales y los calculados, de acuerdo con la fórmula que Betancourt reconoce se la facilitó M. de Prony⁵⁵.

La representación gráfica de los resultados puede verse en el gráfico de la figura 10, en el que en el eje de abscisas se representan los grados del termómetro y en vertical (altura del barómetro) la presión..

Figura 10. Gráfico de presión y temperatura de la memoria de Betancourt.



Fuente: Betancourt, A. (1790), pl. II. Imagen procedente de los fondos de la Biblioteca Nacional de España

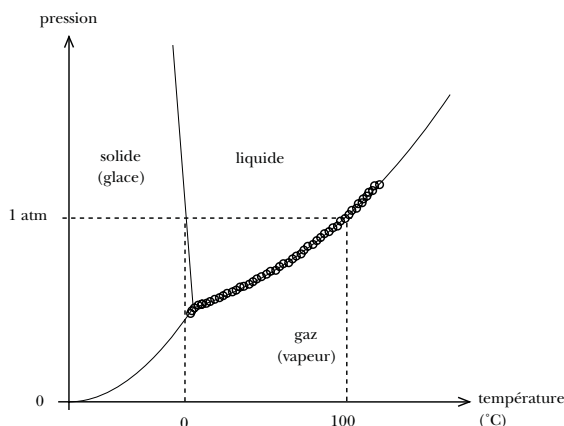
⁵⁴ Betancourt, A. (1791), traducción, p. 15.

⁵⁵ Op. cit., pp. 17-22.

Martín Medina, A., et al. (s.f.)⁵⁶, señalan que “Agustin de Betancourt encontró por primera vez una relación exponencial de la presión de vapor con la temperatura, germen de la futura ley de Clapeyron, posteriormente expresada por Clausius en función de la temperatura absoluta. En este sentido, además de haber sido pionero de los estudios líquido-vapor, se le puede considerar como el precursor de la citada ley, cuya estructura matemática es muy parecida a la suya. Los datos de presión y temperatura, tanto experimentales como calculados, cumplen la ley aludida.”

Gouzevitch, M. (2009) representa las curvas de Betancourt en el diagrama trifásico del agua, ver figura 11, donde puede apreciarse que los resultados de Betancourt se ajustan bien a los diagramas actuales⁵⁷.

Figura 11. Gráfico de diagrama trifásico del agua.



Fuente: Gouzévitch, M. (2009), p. 124.

Son también de interés las consideraciones de Gouzévitch, M. (2009), ya que en base a la memoria de Betancourt y a la formulación aportada por Prony, establece la formulación que denomina Betancourt-Prony⁵⁸. Igualmente analiza la repercusión de los trabajos de Betancourt-Prony, (B-P), en la obra de Sadi Carnot, así como la evolución desde los resultados de B-P hasta la ley Clapeyron-Clausius⁵⁹.

⁵⁶ Op. cit., p. 117. En dicha página y en la 118 los autores representan la ley Clausius-Clapeyron y el efecto Gay-Lussac.

⁵⁷ Op. cit., p. 124.

⁵⁸ Vid. Op. cit., pp. 125-129.

⁵⁹ Op. cit., pp. 137-141.

Examina también las repercusiones en Inglaterra y en España y al respecto cita las reseñas aparecidas en el *Mercurio Histórico y Político*⁶⁰ de Madrid y en la *Memorias de Agricultura y Artes*⁶¹.

El mismo autor señala que “es interesante remarcar que, contrariamente a las emulaciones prácticas y las vocaciones científicas que despertaron los notables trabajos en otros países, no suscitaron en España ningún interés”⁶², en particular cuando los trabajos de Betancourt estaban encargados por la Corona Española. También se refiere al triste destino de la primera máquina de vapor de doble efecto importada con grandes gastos en España, en 1790 y que terminó “abandonada” (*laissée pourrir*) en el puerto de Cádiz.

4. Sobre la incorporación de las máquinas de vapor en las minas de Almadén (1770-1848)

Para enmarcar la situación en Almadén, en cuanto al tema del desagüe de minas, es importante citar a Jerónimo de Ayanz ya que “El interés de Jerónimo de Ayanz en conseguir un eficiente desagüe de las minas, le condujo a presentar una invención revolucionaria para la época: ingenios de vapor que se adelantaron un siglo a los que al filo del año 1700 presentaría el famoso inventor inglés Thomas Savery, abriendo al mundo lo que sería la era de vapor representada por las máquinas de Newcomen y de Watt”⁶³.

La descripción de la máquina de Ayanz y de Savery pueden verse en García Tapia, N. (1992) y Sevilla Hurtado, L. (2022)⁶⁴ quienes, incluyen varios esquemas y realizan comparaciones entre otras con estas dos máquinas de vapor.

En este apartado, nos referiremos brevemente a la primera máquina de vapor que corresponde en gran parte con la vida de Betancourt (1758-1824) y finalizaremos con un apunte y referencias sobre la segunda máquina de vapor a partir de 1848.

60 Números de marzo 1790 y septiembre 1791. Ambos se pueden consultar en Hemeroteca Digital de la Biblioteca Nacional de España.

61 En cuanto a reseñas, puede resultar de interés la que cita Sáenz Ridruejo, F. (2024); de Císcar y Císcar, G. de 1828, cuando señala que “Es principio sentado y evidente que, en general, los gases estrechados, tienden a dilatarse, a todos lados, con la misma potencia comprimente. Y la del ácuo vapor, según los grados De ígneo calor, el siglo precedente calculó Betancourt exactamente”. Vid. Sáenz Ridruejo, F. (2024), p. 136.

62 Op. cit., p. 145.

63 García Tapia, N. (1992), p. 247.

64 Op. cit., pp. 247-252 y op. cit., pp. 264-266, respectivamente.

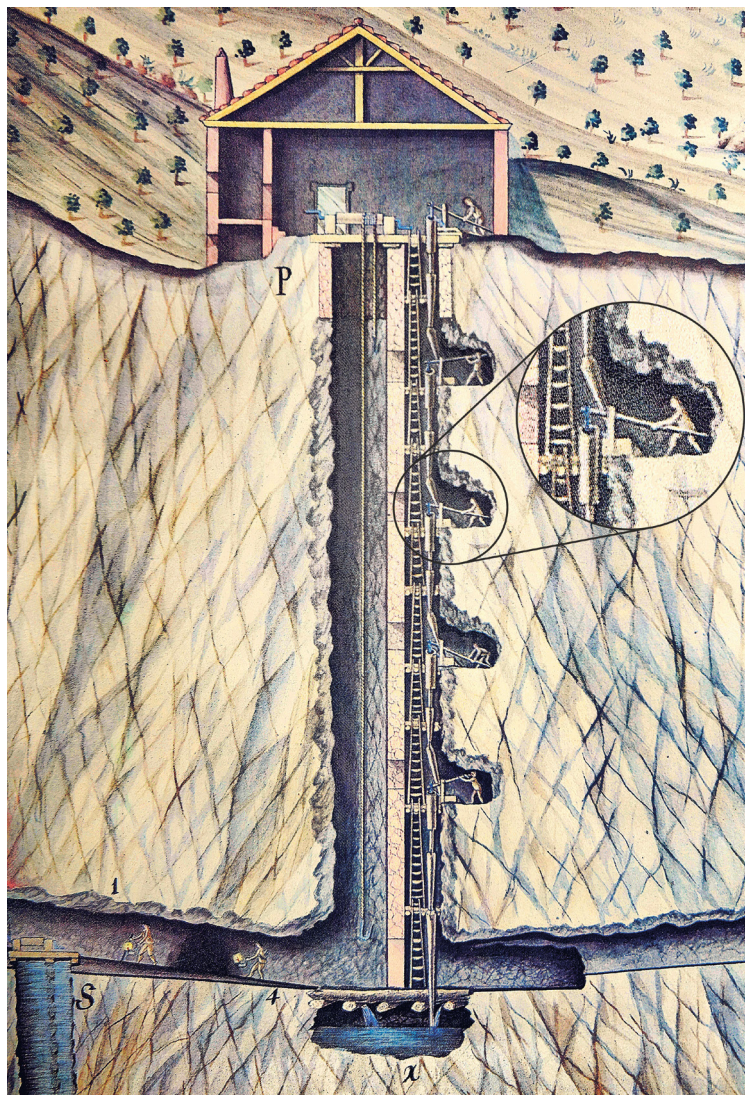
Sobre el desagüe en las minas de Almadén

“La mina de Almadén no produce una gran cantidad de agua, debido fundamentalmente a que se encuentra enclavada en una región con pluviosidad escasa (unos 500 mm de lluvia al año) y a que las rocas en las que encaja el mineral son bastante impermeables (básicamente cuarcitas, pizarras y rocas volcánicas). No obstante, las minas del Pozo, de la Hoya y del Castillo, que no son sino partes de un mismo conjunto, la mina de Almadén, habían alcanzado los 140 metros con numerosos pocillos que hacían el desagüe complicado y costoso”. Y más adelante el mismo autor señala que “El método que tradicionalmente se había venido usando para el desagüe era el de tornos de mano para subir las “zacas”, que eran bolsas de cuero capaces de transportar entre 10 y 12 arrobas de agua (una arroba castellana pesa 11,5 kg). Se establecía así un sistema que dividía el recorrido ascendente del agua en tramos de modo que cada 20 o 30 metros había un equipo formado por dos a cuatro “tiradores”, que movían el torno, un “charquero”, que llenaba la zaca de agua en el fondo del pozo, y un “amainador” que la vaciaba”.

“Los técnicos alemanes sustituyeron a mediados del XVIII el achique de agua con zacas por el nuevo método de bombas aspirantes que eran accionadas mediante una palanca o balancín que daba movimiento al émbolo, y su ejecución, igualmente penosa, estaba encomendada a operarios denominados bomberos”⁶⁵, (ver figura 12).

65 Hernández Sobrino y Fernández Aparicio, J. (2005), pp. 64-65.

Figura 12. Detalle del plano de las minas de Almadenejos (Ciudad Real), donde se pueden ver las bombas de achique de agua. Ugena, A. y Roig, J. (1803) según los autores citados en la fuente de esta figura⁶⁶.



Fuente: Fernández Pérez, J. González Tascón, I. (1990), pp. 40-41, y elaboración propia para la ampliación del sistema de bombas de achique.

⁶⁶ Esta misma figura esta referida como bombas aspirantes en la mina de la Concepción de Almadenejos, según Calderón Herrera, D. (2017), p. 232.

“En las décadas de 1770 y 1780 se seguía experimentando con nuevos métodos, como la utilización de bombas mixtas (aspirante-impelente), o el uso de la fuerza animal a través de un malacate construido bajo la dirección del francés Francisco Pellieur, aunque los resultados obtenidos tampoco fueron satisfactorios. Otro de los sistemas utilizados fue la noria de Francisco Gabriel Malo de Molina (Anónimo, 1779), en el pozo de San Aquilino, que con multitud de imperfecciones y a fuerza de sangre alimentaron de agua el Cerco de San Teodoro sin mucho éxito”.⁶⁷

“En 1783 el conde de Floridablanca ministro principal de la Corona y el Superintendente General de los Azogues José de Gálvez, encargaron inspeccionar las minas a los expertos Tomás Pérez de Estala y Agustín de Betancourt”⁶⁸. Este último escribió las tres memorias que se han tratado con detalle en el apartado 2.

Tomás Pérez de Estala “sugirió la idea de implantar una máquina de vapor para el desagüe basándose en el modelo que había visto durante su estancia en Francia, en la mina de carbón de Fresnes (Hainaut), novedad en España, pero no en el resto de Europa, donde las máquinas de vapor ya se utilizaban para la extracción de aguas de las explotaciones mineras”⁶⁹.

José de Gálvez designó a Tomás Pérez de Estala para que viajase a Inglaterra, quien tras pasar por París llegó a Londres a principios de 1789, conociendo al propietario de fábricas John Wilkinson, y “pudo visitar las fábricas en Bersham y en Broseley, viendo de primera mano cómo funcionaban las máquinas de vapor de simple efecto con condensador independiente, frente a las de tipo Newcomen que ya estaban obsoletas”⁷⁰, encargando a este las piezas principales de tres máquinas de vapor de 50, 38 y 26 pulgadas de diámetro del cilindro.

Las vicisitudes de la compra, que como se ha dicho no se realizó para el conjunto de la máquina sino para algunas piezas, dejando el resto a encargos a terceros y a la integración del conjunto de componentes a las notas y planos de Tomás de Estala, es descrita con cierto detalle por Hernández Sobrino, A. y Fernández Aparicio, J. (2005)⁷¹. El resultado fue que “después de 18 años se puede dar por concluido el montaje de la máquina, en junio de 1805”⁷².

67 Calderón Herrera, D. (2017), p. 227.

68 Op. cit., p. 228.

69 Hernández Sobrino, A. y Fernández Aparicio, J. (2005), p. 43.

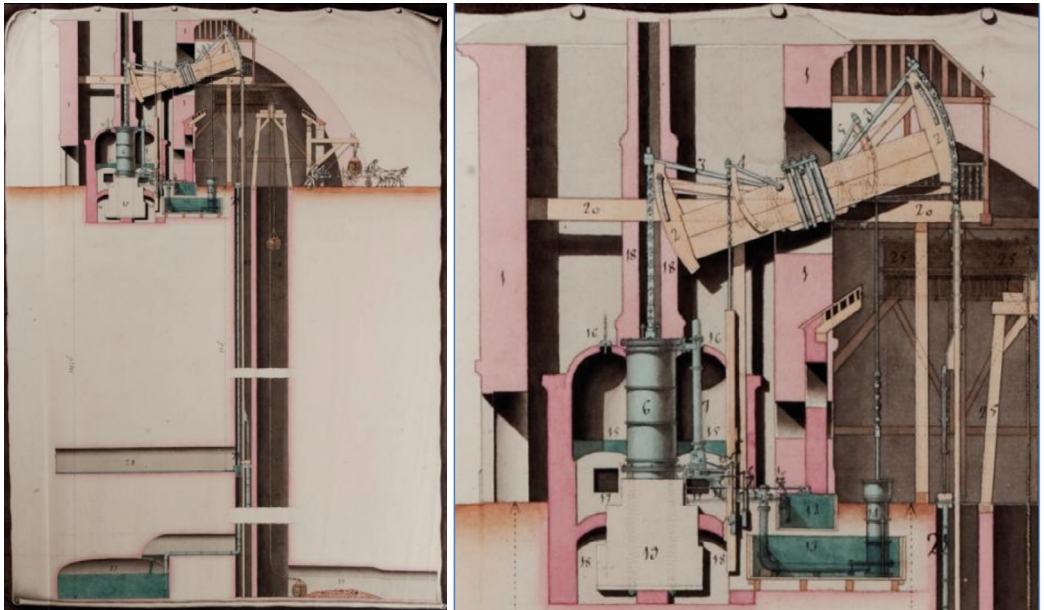
70 Calderón Herrera, D. (2017), p. 235.

71 Hernández Sobrino, A. y Fernández Aparicio, J. (2005), p. 45 y ss.

72 Calderón Herrera, D. (2017), p. 237.

La ubicación general de la máquina de vapor en el pozo de San Teodoro puede verse en la figura 13, y en la 14 puede apreciarse el detalle de la máquina de vapor instalada en el pozo de San Teodoro.

Figuras 13 y 14. Ubicación de la máquina de vapor en el pozo de San Teodoro de la mina de Almadén, y detalle de este. Morete de Varela, J. (1803).



Fuente: Museo Nacional de Ciencia y Tecnología de España y Fernández Pérez, J. González Tascón, I. (1991), p. 191.

La segunda máquina de vapor y las nuevas máquinas de vapor

La segunda máquina de vapor se sitúa en el periodo 1848-1870. En 1838 Rafael Cavanillas, director de las Minas realiza un estudio sobre las posibilidades del malacate del pozo de San Teodoro. El malacate era movido por 8 mulas cada tres horas y examina la posibilidad de una máquina hidráulica, pero debido a la falta del agua necesaria para su movimiento se decanta en su propuesta por una máquina de vapor que permitiría ahorrar tiempo y extraer más cantidad de mineral, que en el caso del malacate seria de 50 arrobas.

Sin embargo “No será hasta el año 1847 cuando se aprobará la adquisición de una nueva máquina de vapor, procedente de Londres y con una fuerza de 40 CV,

con cilindro vertical de doble efecto, de baja presión, con condensación y sin expansión. Su misión sería la de realizar las labores de extracción de minerales y el desagüe directamente desde el 9º piso para eliminar los crecidos gastos de las bombas de mano y sustituir a la antigua máquina del Pozo de San Teodoro”⁷³.

En la tabla del anexo 1, puede verse de forma resumida, la evolución de la incorporación de las máquinas de vapor en las Minas de Almadén, lo que permite tener una visión de la incorporación de las máquinas de vapor en las minas de Almadén para un período mucho más amplio del que aquí se trata, más relacionado con la época de Betancourt.

5. Relación de Betancourt con diversas instalaciones en las que las máquinas de vapor eran equipos relevantes: Isla de los Cisnes, Yndrid, Seybabo, Barcelona y Tula

La influencia o la relación de Betancourt en la construcción de máquinas de vapor de doble efecto puede verse, en varios casos. Aquí hemos identificado en primer lugar su relación o influencia con la incorporación de máquinas de vapor en un molino harinero en el Sena, en la Isla de los Cisnes, en París (1789-1790).

Siguiendo un orden cronológico, encontramos su descripción de la fábrica de cañones de Yndrid en Francia (1791), su participación en la instalación de una máquina de vapor con dos niveles de presión en un ingenio azucarero en Seybabo⁷⁴, en Cuba (1794-1797).

Asimismo, es destacable la influencia de Betancourt en la instalación de una máquina de vapor en el ámbito textil realizada por Santponç, para una fábrica de indianas en Barcelona (1804-1806) y, finalmente nos referiremos a su participación en la fábrica de cañones de Tula en Rusia (1809).

Máquina de vapor en molino harinero. Isla de los Cisnes. París (Francia). 1789-1790.

Tras la presentación de la memoria a la Academia de Ciencias de París, que hemos tratado en el apartado 3, “Poco después, Prony la describió en su *Nouvelle architecture*

⁷³ Calderón Herrera, D. (2017), p. 259.

⁷⁴ En algunos documentos figura también como Seibabo.

hydraulique, mientras que los hermanos Périer construyeron una máquina a gran escala para accionar un molino harinero situado en la isla de los Cisnes”⁷⁵.

Gouzévitch I. (2009) señala la influencia de Betancourt en la instalación de la Isla de Los Cisnes ya que “*Parmi le mémoires, se range sa description de la machine à vapeur à double effet, mais en même temps, les plans des deux machines similaires sont mentionnés comme anonymes. Sur 8 de ces plans 3, selon la précision de l’auteur, ont servi pour construire à Paris deux machines à vapeur actionnant 12 moulins. Autrement dit, il s’agit de la fameuse invention de James Watt dont Betancourt avait percé le principe lors de son premier voyage en Angleterre en 1788, et qu’il a transmis par la suite à Périer pour sa mise en exploitation à l’île des Cygnes*”⁷⁶.

La descripción que hemos encontrado de la máquina de vapor de doble efecto de los hermanos Périer es en el periódico *Mercurio de España*⁷⁷, que se reproduce a continuación.

“Hace más de dos años que los Señores Perier habían pensado á imitación de los ingleses, en construir aquí varios molinos movidos por máquinas a vapor, y para ensayo executáron una de estas máquinas que hacía andar una sola piedra de 4 pies y medio de diámetro. Las dificultades que encontráron en esta prueba para dar con regularidad el movimiento de rotación, con la máquina conocida en Francia, en el que el vapor no obraba sino a intervalos, esto es al tiempo de baxar el émbolo del cilindro de vapor, les hizo abandonar esta idea; pero luego que D. A. de Betancourt y Molina, natural de la Isla de Tenerife en las Canarias, les dio a conocer la máquina de doble efecto⁷⁸, en el que el vapor obra igualmente al tiempo de baxar como al de subir el émbolo, no dudaron del buen éxito que tendría esta excelente máquina, y propusieron a esta Ciudad hacer un establecimiento que fuese capaz de moler por lo menos el tercio del trigo que se necesita para su subsistencia. Esta proposición fue admitida con tanto mayor gusto quanto se acababa de experimentar la escasez de pan por falta de medios suficientes para moler el trigo; pues, aunque hay en sus cercanías de 6 a 7⁷⁹ molinos de agua, estos suelen estar parados mucha parte del año en el verano por la escasez de las aguas, y en

⁷⁵ Gouzévitch, I. (2024), p. 84.

⁷⁶ Gouzévitch, I. (2009), pp. 102-103.

⁷⁷ Mercurio de España. (1790), pp. 661-663. El Mercurio de España era una publicación periódica de carácter político, científico y cultural, muy vinculada al Estado borbónico que comenzó a editarse en Madrid a partir del año 1738.

⁷⁸ Véase el Mercurio del mes de marzo de este año.

⁷⁹ Este número no está claro en el original.

invierno a causa de los yelos. En el mes de Setiembre del año pasado, la Municipalidad dio orden á los Señores Perier para que construyesen 12⁸⁰ molinos movidos por dos máquinas de vapor, los cuales no estando sujetos á los inconvenientes de los de agua o viento, liberarán la Capital de los sobresaltos en que se han visto muchas veces por falta de harinas.

Estas dos máquinas, que se empezaron en 30 de noviembre del año pasado, están ya concluidas en el día. El edificio que las contiene está situado á la orilla del Sena, frente al lugar de Chaillot, y tiene 150 pies de largo, y 48 de ancho. En el primero de los tres pisos están las doce piedras, en el segundo las cernederas, y en el tercero las máquinas para limpiar el trigo y para subir los sacos, tanto por la parte interior, como por la exterior del edificio.

El cilindro de vapor de cada una de estas máquinas tiene 42 pulgadas de diámetro interior, y el bástago del émbolo que juega dentro de él, comunica con un balancín, el cual mueve por medio de una cigüeña dos árboles, á cuyas extremidades están fixas las ruedas de hierro que dan movimiento á 6 piedras de 6 pies y $\frac{1}{2}$ de diámetro cada una; y para hacer la rotación perfectamente uniforme, hay en los dos árboles dos volantes de hierro de 24 pies de diámetro y 7 pulgadas de grueso, 11 de ancho⁸¹.

Cada máquina tiene dos calderas, para que no se quede parada, aun quando se necesite componer algún horno, y por medio de una bomba que comunica con el río, levanta el agua necesaria para la inyección. Al mismo tiempo mueve las cernederas, limpia el trigo y sube los sacos, y todas sus partes están dispuestas de tal modo que se pueden acelerar ó retardar los movimientos según se necesite.

Por el primer experimento que se hizo, el 30 del mes pasado con una de estas máquinas, en presencia del Corregidor de esta Ciudad y de varios Miembros de la Municipalidad, consta que las 6 piedras han molido en 5 horas 92 quintales de trigo, y que por consiguiente las dos máquinas podrían moler 883 quintales por día⁸².

El costo de este utilísimo establecimiento ya concluido asciende á 2 millones de rs., pero en una memoria de los Sres. Perier sobre estas máquinas, se demuestra que la Municipalidad puede sacar libre de todos costos, y del interés de Capital á 5 por 100, un beneficio de 417,600 rs. Anuales”.

80 El número no aparece claro en el original.

81 El número no se distingue bien en el original.

82 El número no parece claro en el original.

Este asunto queda también reflejado en que “...la conjunción del genio de Betancourt y la maestría de los hermanos Périer, acompañada por la solvencia financiera que supuso el respaldo de la Academia de Ciencias de París, permitió introducir en Francia la moderna máquina de vapor sin la imposición de tener que respetar el monopolio de Watt & Boulton”⁸³.

Fábrica de cañones de Yndrid (Francia).1791

Otra relación de Betancourt con las máquinas de vapor es la descripción del establecimiento de Yndrid⁸⁴ de 1791, donde se funden y barrenan los cañones de hierro para la Marina Real de Francia. A este respecto citamos varios párrafos del documento de Betancourt ya que ilustran muy bien, por un lado, la sustitución del accionamiento hidráulico por el de vapor y en segundo lugar la relevancia de la máquina de vapor de doble efecto⁸⁵.

Respecto a la sustitución de la fuerza hidráulica por la de vapor señala que “Hay muchas personas á quienes el establecimiento de las máquinas de vapor parece tan costoso, por su construcción y por el consumo diario del combustible que necesitan, que preferirían cualquier otro medio, antes de valerse de ellas; pero por poco que comparen lo que se gasta en la presa de un rio, en la conducción de una cantidad de agua que pueda hacer el mismo efecto que una de estas máquinas, y en las reparaciones de la obra hidráulica más sencilla se convencerán de que es raro el caso en que la naturaleza presente un parage donde se puedan establecer otras máquinas, con más economía que las de vapor. Lo que ha sucedido en Yndrid, podrá convencernos de esta verdad”⁸⁶.

“En la máquina hidráulica que movía los cañones enseñaba la experiencia que un cañón de á 36, necesitaba ciento y sesenta horas de tiempo para barrenarlo, y por otra parte, se sabía que en los quatro hornos no se podían fundir con comodidad más de treinta cañones por mes. Baxo estos datos y el conocimiento de la fuerza que se necesitaba para hacer girar un cañón al tiempo de barrenarlo, se proporcionaban las dimensiones del cilindro de vapor, y se construyó la máquina, de modo que pudiese mover siete cañones, aunque fueran todos de á 36, afin que

83 Lanza, C. (2024), p. 240.

84 Betancourt, A. d. (2008).

85 Asimismo, se recomienda al lector que consulte los dibujos, en particular las láminas XI, en la que hay un corte vertical de la máquina de vapor, y que reproducimos aquí; y la XII, en la que se dibuja el balancín. En la lámina IV se puede apreciar la vista general de la caldera la máquina de vapor y las ruedas dentadas para barrenar los cañones.

86 Betancourt, A. d. (2008), pp. 15-16.

barrenase trescientos al año, suponiendo que estuviese parada un par de meses para reparar las calderas ú otras piezas de la máquina”⁸⁷.

Y más adelante añade. “Quando se estableció la máquina de vapor de Yndrid, todavía no se conocía en Francia la de doble efecto, esto es, en la que obra igualmente el vapor, al tiempo de baxar como al subir el émbolo del cilindro principal, y así se vieron precisados, según se practicaba entonces, á poner un contrapeso á la extremidad del balancín, afín que obrase mientras cesaba el impulso del vapor y subía el émbolo. Este método de producir el movimiento de rotación, con la máquina simple, tiene grandes inconvenientes; pues quando la resistencia no es constante y proporcionada á la potencia del vapor, es muy difícil, y a veces imposible moderar la fuerza, y dar el movimiento con uniformidad, lo qual se verifica en Yndrid siempre que se quiere barrenar menos de cinco cañones. Si la máquina de vapor fuese doble, sin ser mayor, se podrían barrenar catorce cañones de á 36 á la vez, se ahorraría mucha parte del combustible, y se podría arreglar, con la mayor facilidad y exactitud, aunque no moviese mas de un solo cañón”⁸⁸.

En la figura 15, puede verse un corte longitudinal de la máquina de vapor de Yndrid. En el documento de Betancourt, se explican las partes de la máquina. No reproducimos aquí todas, pero si algunas que entendemos permiten dar una idea del funcionamiento y además ponen de relieve el detalle con la que Betancourt explica los componentes de la máquina. Así GG es el cilindro de vapor y BC las “Caxas que contienen las válvulas, que hacen obrar la máquina, por medio de un movimiento alternativo”, D es el regulador para abrir y cerrar las válvulas, L el condensador.

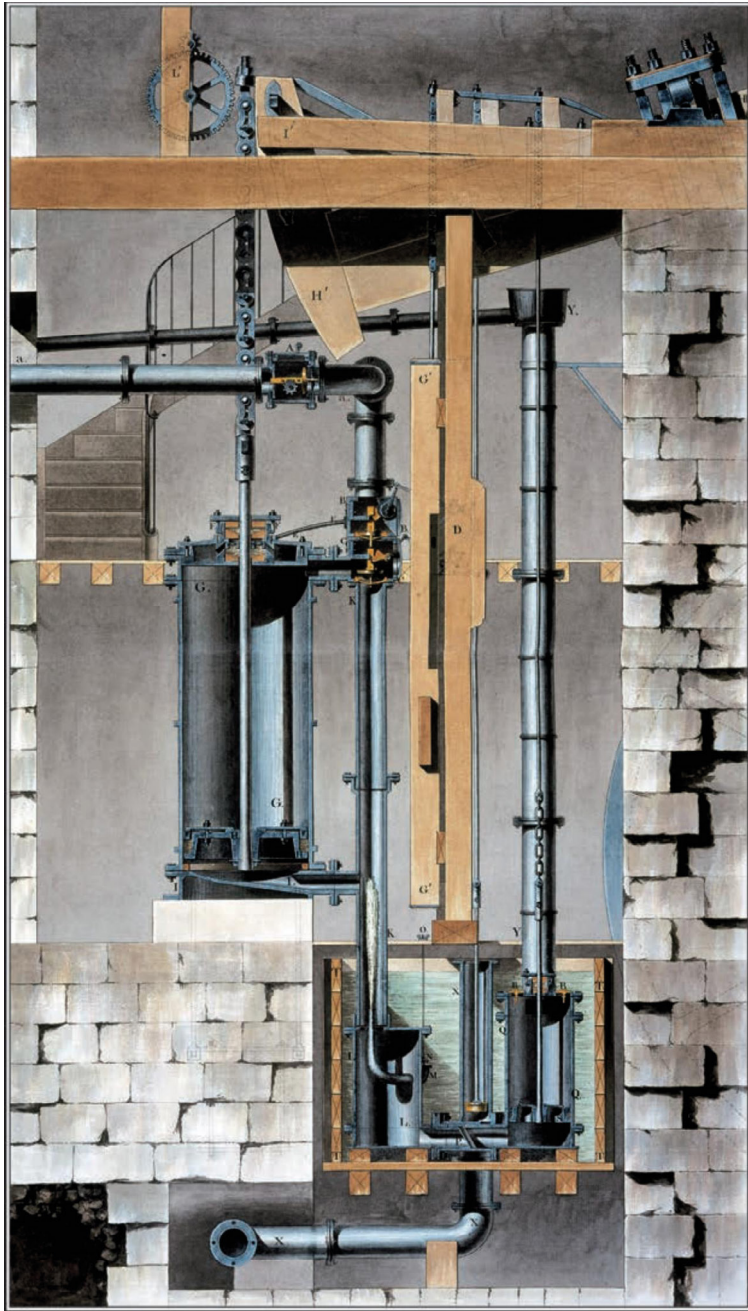
Q la “bomba de ayre, que recibe su movimiento por medio del balancín, y sirve para extraer el agua que resulta del vapor condensado, el agua de la inyección, y el ayre que se introduce en el condensador”. TT es la “Caxa de agua en que está sumergido el condensador y la bomba de ayre”, X la bomba que suministra el agua necesaria para la inyección, e Y la “Bomba que levanta el agua caliente, extraída por la bomba de ayre Q, afín que pueda pasar á la caldera, por el caño ZZ”⁸⁹.

87 Op. cit., p. 12.

88 Op. cit., p. 14.

89 Op. cit., pp. 26-27.

Figura 15. Corte vertical de la máquina de vapor.



Fuente: Agustín de Betancourt. Descripción del establecimiento de Yndrid, 1791, lámina XI. Patrimonio Nacional. Colecciones Reales. Real Biblioteca,

Ingenio azucarero de Seybabo (Cuba). 1794-1797

Otra relación de interés, en particular por lo que supone de innovación o desarrollo de la máquina de vapor es la participación en una instalación en Cuba para un ingenio azucarero.

García Tapia, N. (1992), al referirse a los ingenios de azúcar a partir del siglo XVIII “La primera máquina de vapor que sepamos intentó aplicarse a un trapiche fue en Jamaica en 1770 y la primera que realmente tuvo éxito se instaló en Seybabo (Cuba) en 1797. Durante el siglo XIX se generalizó el empleo de las máquinas de vapor en los ingenios azucareros”⁹⁰.

El mismo autor señala que “A pesar de la utilización de la energía de vapor y de otras mejoras derivadas de la Revolución Industrial inglesa, se continuaron produciendo invenciones locales en los sistemas de molienda tradicionales, todavía en el siglo XIX”⁹¹.

Puesto el contexto en los dos párrafos anteriores, y refiriéndonos a la relación de Betancourt con la introducción de la máquina de vapor en Cuba el caso se puede resumir a continuación, siguiendo a Gouzévitch, I. (2024)⁹². “En 1794, durante su larga estancia en Inglaterra, tras oír hablar de los experimentos realizados por William Reynolds en las forjas de Coalbrookdale, Betancourt, a petición de “dos amigos de la América española”⁹³, propuso su propia versión de la reutilización del vapor expulsado para el segundo cilindro de la máquina. Pero a diferencia de los demás ingenieros (como John Hornblower, Adam Heslop, James Sadler) que experimentaban a partir de la máquina de Newcomen o de la máquina de simple efecto de Watt, él creó un nuevo tipo de aparato, la machine-compound, basada en la máquina de doble efecto. Para Betancourt, el futuro pertenecía a las máquinas de este tipo, que funcionaban a alta presión, no a las de baja presión utilizadas por Watt. El ingeniero español no sólo inventó este principio, sino que hizo construir dos máquinas compuestas en la fábrica de Reynolds y las envió secretamente a Bristol en 1796. Una de las máquinas cruzó el Atlántico y funcionó durante unas semanas en la refinería de azúcar (“ingenio”) de Seibabo propiedad del conde Jaruco de Mopox, en Cuba. Cabe destacar que estos acontecimientos tuvieron lugar diez años antes de la invención oficial de la máquina compuesta de alta presión por Arthur Woolf (1804)”⁹⁴.

90 Op. cit., p. 160.

91 Op. cit., p. 154.

92 Op. cit., p. 84.

93 García Diego, J. A. (1985).

94 Gouzévitch, I y Gouzévitch, D. (2022); Gouzévitch, I y Gouzévitch, D. (2023)

Para Egórova, O. V. (2011) Betancourt está en Londres tres años (1793-1796) y “Es precisamente durante esa estancia en Londres que se produce su encuentro con “dos amigos de la América española” a los cuales propone sus servicios como ingeniero inventor para aplicar la fuerza de vapor a los trapiches azucareros, con objeto de sustituir la tracción animal en el movimiento de los mismos”⁹⁵.

En este punto hay que mencionar a Francisco de Arango y Parreño de la burguesía cubana relacionada con la producción de azúcar uno de sus representantes más brillantes y dueño de vastas tierras e intelectual⁹⁶.

Egórova, O. (2011)⁹⁷ cita la carta que el citado Arango escribe respecto a temas relacionados con la máquina de vapor para Seibabo, al Sr. D. Francisco de Equino, en la que señala, entre otras cosas, que “No haya que decir cosa alguna la bomba de fuego y el modo de hacer su pago pues sobre esto se ha dicho lo suficiente en la notita que he firmado con el conde de Casa Montalvo y en la obligación que igualmente debo firmar en compañía del mismo Don Agustín de Betancourt que ha sido el director de estas obras y el que inmediatamente se ha obligado a recibirlos queda encargado de recibirlas (sic) y conocerlas, luego que estén concluidas (...)”

En el mismo documento más adelante se indica que “(...) es incierto todavía donde deben hacerse los cilindros que han de acompañar esta bomba y aunque a mi por todas razones me parece lo mejor que se hagan en la misma fábrica de Reynolds todo lo dejo a la voluntad del referido D. Agustín de Betancourt a cuya disposición ya se sabe que han de ponerse las doscientas libras esterlinas que por mi parte he depositado en poder del Sr. Equino (...)”

Egorova, O. y Moiséyev, A. (2008) se refieren a una carta de Betancourt a su amigo Bréguet el 10 de diciembre de 1794 en la que dice que “Este verano estuvieron aquí dos amigos de la América española y les propuse el proyecto de colocar en sus posesiones las bombas de fuego para evitar la utilización de los bueyes y negros que necesitan para exprimir la caña de azúcar, les hice los cálculos y me hicieron el encargo de fabricar dos de estas máquinas por mí diseñadas y que ya están haciéndose, en este trabajo pude informarme de todos los defectos de las máquinas que se usan en las islas inglesas, francesas y españolas y traté de evitarlos”⁹⁸.

95 Egórova, O. V. (2011), p. 38.

96 Vid, Egorova, O. y Moiséyev, A. (2008), p. 124.

97 Op. cit., p. 39.

98 Op. cit., p. 127

Betancourt no llega a estar en Cuba, si bien inicia el viaje en la Coruña, pero el bergantín correo en el que viaja es atacado por una fragata británica, los tripulantes son apresados y liberados días después en Lisboa. En esta circunstancia Betancourt pierde su instrumental científico y su biblioteca⁹⁹.

Gouzévitch, I. y Gouzévitch, D. (2022), al referirse a los trabajos de las máquinas de vapor “compound” con varios cilindros señalan que “Ya en el verano de 1794 cuando Betancourt trabaja en su máquina para Cuba la idea anterior ya era conocida”¹⁰⁰. Dicha máquina “...se le vio funcionar el día 11 de enero de 1797 en el ingenio Seybabo [corr.Seibabo] molió durante varias semanas. El experimento no tuvo éxito, pero los sacarócratos no se desanimaron. Comprenden que el problema no está en la bomba en sí, sino en el trapiche que mueve y el absurdo sistema de transmisión instalado”¹⁰¹.

Así pues, las referencias anteriores muestran claramente el señalado papel de Betancourt en la incorporación de la máquina de vapor en Cuba.

Máquina de vapor en fábrica de Indianas. Barcelona (España).1804-1806

Montava Gadea, M. y Roca Rossell, A. (2024) han puesto de manifiesto¹⁰² la influencia de Betancourt en la construcción en Barcelona de una máquina de vapor para una fábrica de indianas.

“En 1802, un grupo de empresarios de Barcelona del sector textil (hilado, tejido e impresión de “indianas”) se dirigió a la Corona para solicitar que el técnico Tomás Pérez de Estala (1754-1827), bien conocido en Barcelona, instalara en alguna de sus fábricas una máquina de vapor similar a la que él había instalado en Almadén. La solicitud fue finalmente considerada inadecuada...”¹⁰³.

“Entre los fabricantes que solicitaban de la Corona disponer de una máquina de vapor se encontraba Jacint Ramon, de una familia de fabricantes de indianas...En esta misma época, Ramon contactó con Santponç para encargarle la construcción de una máquina de vapor. El proceso de construcción (entre 1804 y 1806) tuvo tanta repercusión que el Intendente General, Cayetano Soler, conoció de primera mano y encargó a Santponç la redacción de una memoria”¹⁰⁴.

99 Vid. Egórova, O. V. (2011), p. 43.

100 Op. cit., p. 73, traducido por los autores. La fuente citada examina los perfiles de los protagonistas, la reconstrucción de la máquina de Betancourt y los imprevistos que debieron afrontar los aparatos fabricados.

101 Gouzévitch, I. y Gouzévitch, D. (2022), p. 80, quienes mencionan el texto que aquí se cita de Moreno Friginals, M. (1964), p. 30.

102 Montava Gadea, M. y Roca Rosell, A. (2024), pp. 245-257.

103 Op. cit., p. 248.

104 Op. cit., p. 250.

Según Montava Gadea, M. y Roca Rosell, A. (2024), entre las fuentes utilizadas por aquél, destaca la *Nouvelle Architecture Hydraulique* de Prony, en la que explica con cierto detalle el sistema de doble efecto desarrollado por Betancourt. Asimismo, indica que el proyecto de Santponç se lleva a cabo con técnicos locales y también resalta que “Con la descripción de Prony se puede entender el funcionamiento de una máquina de vapor de doble efecto: el movimiento automático de sus válvulas, la acción del vapor sobre cada parte de la máquina, el movimiento del pistón, etc. Pero una máquina de vapor no se podía construir estudiando solo la obra de Prony ni cualquier otra publicación”. Y más adelante añade que “... se presentaron problemas difíciles de superar, como la mala coordinación de la obertura y cierre de las válvulas ...”¹⁰⁵.

Los autores del trabajo, tantas veces citado, terminan señalando que “Podemos afirmar que la inversión material y humana que la Corona Española puso en la formación de Agustín de Betancourt fructificó, en parte, de la mano de Francesc Santponç, quien aprovechó la revelación de la tecnología de doble efecto de Betancourt para construir su máquina”¹⁰⁶.

Roca Rosell, A. (2005), describe con detalle los trabajos de Santponç para el empresario Jacint Ramon, y entra a describir los mecanismos tanto de una máquina que denomina pequeña y que considera atmosférica y de simple efecto; como de la de doble efecto de mayor potencia sobre la que destaca que fue la primera que se instaló en una fábrica.

Una parte relevante del trabajo detalla lo que Santponç denominaba registro, que constituía el mecanismo de válvulas para pasar el vapor de una a otra parte del embolo, y que acompaña con gráficos y figuras. Si resaltamos lo anterior, en el contexto de la relación de Betancourt con la máquina de vapor es porque Roca Rosell, A. (2005) destaca el detalle del “registro” del diseño de Betancourt ya que “en toda máquina de doble efecto debe haber un sistema que conduzca el vapor después de haber impulsado el émbolo en una dirección para empujarlo en la dirección contraria. El sistema ingeniado por Betancourt difiere del de Watt cuya solución desconocía”¹⁰⁷.

105 Op. cit., p. 253

106 Op. cit. p. 253-254.

107 Vid. op. cit. p. 214, y en particular la figura 4.11; así como los detalles del “registro” de Santponç, p. 221.

Fábrica de cañones de Tula (Rusia).1809

Otro caso de interés relacionado con Betancourt y la máquina de vapor es la fábrica de cañones de Tula.

“La primera fábrica de armas se estableció en virtud de un ukase o decreto de Pedro el Grande en 1712. Entre 1713 y 1718 se levantó esta primera fundición de cañones de hierro, considerada una de las mejores de Europa y que utilizaba como fuente motriz la energía hidráulica”.

“...En 1809 Betancourt inspecciona las fundiciones de Tula y proyecta su modernización sustituyendo las máquinas hidráulicas por una potente máquina de vapor de 24 caballos con la que se accionaba, con facilidad, las barrenas para abrir los cañones en sólido.

Como en muchos otros trabajos de Betancourt, fue uno de sus colaboradores, el comandante de ingenieros Bodet, quien se encargó del montaje de la máquina y de la construcción de los edificios que se precisaban para albergarla”¹⁰⁸.

“Gracias a la modernización de Betancourt, durante la guerra de liberación de 1812, frente a las tropas napoleónicas, y la campaña del ejército ruso en los años 1813-1814, los armeros de Tula pusieron en el frente unos 600.000 cañones, cifra que con la antigua fábrica hubiese sido imposible de alcanzar”¹⁰⁹.

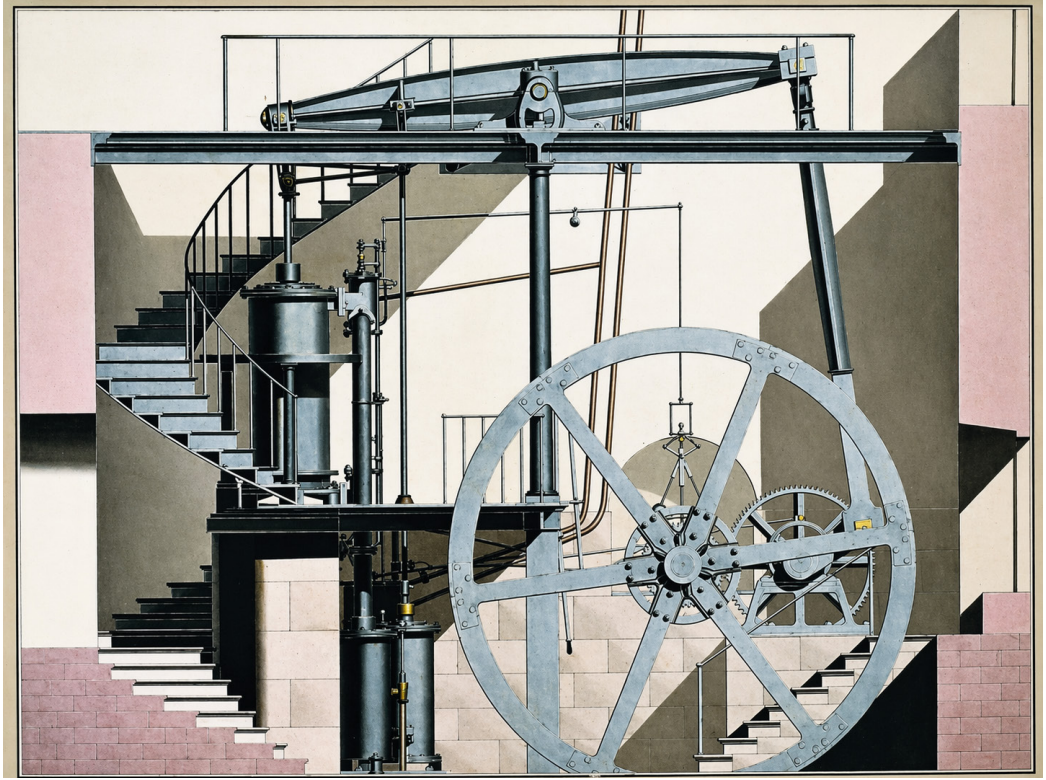
En la figura 16, puede apreciarse el dibujo de una máquina de vapor en la fábrica de Tula¹¹⁰.

108 Vid. “Betancourt y los inicios de la ingeniería moderna en Europa”. Textos de los paneles (1996), p. 97.

109 Martín Pereda, J.A. (2024), p. 111.

110 La figura, también puede verse en “Betancourt (1758-1824) y los inicios de la ingeniería moderna en Europa”. Textos de la exposición (2024), p. 49.

Figura 16. Agustín de Betancourt, máquina de vapor en la fábrica de armas de Tula.



Fuente: En V. Fedoseev, Álbum de dibujos de la fábrica de Tula, 1830. Universidad Estatal de Vías de Comunicación. San Petersburgo.

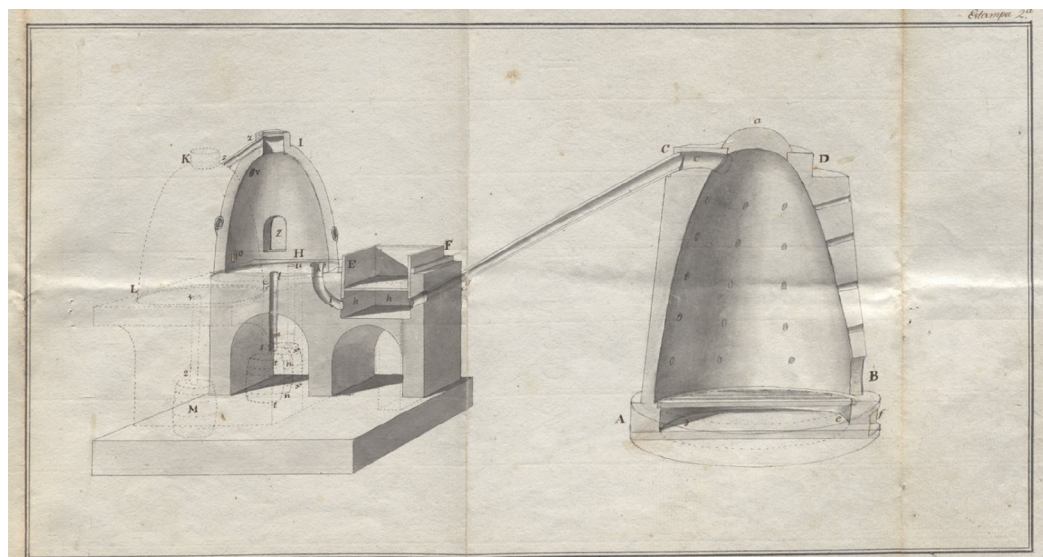
6. Memoria sobre la purificación de carbón de piedra y modo de aprovechar las materias primas que contiene (1785)

Las necesidades de betún y coke para la industria española se hicieron patentes en el último tercio del siglo XVIII, lo que obligó a los sucesivos gobiernos del momento a buscar las tecnologías que se estaban llevando a cabo en el Reino Unido para intentar trasladarlas a España, de aquí que los máximos responsables políticos estuvieran al tanto de lo que se estaba desarrollando en torno a este tema en Europa.

Va a ser el periódico El Mercurio de España, donde se dé cuenta de la realización del experimento para extraer alquitrán del carbón de piedra realizado por Faujas en el Jardin du Roy, (ver figura 17), interesando al conde de Floridablanca¹¹¹, que solicitó al conde de Aranda, embajador en aquellos momentos en París, información de dicho experimento, quien, a su vez, trasladó el encargo a Agustín de Betancourt que se encontraba pensionado por la Corona en Francia para ampliar sus estudios.

González-Pumariiega Solis, P. et al. (2023), señalan que Betancourt redactó, poco tiempo después, la *Memoria sobre la purificación del carbón de piedra y el modo de aprovechar las materias que contiene*, e indican que su rápida ejecución, y la cantidad de detalles del experimento y los dibujos que lo acompañaban, quizás fueran debidos a que Betancourt asistió directamente al evento realizado por Faujas en París (1785).

Figura 17. Estampa n° 2. Dibujo realizado por Agustín de Betancourt del horno (corte vertical), construido por Faujas en el Jardin du Roy.



Fuente: Bonet (1988), p. 25.

La memoria comienza con un estudio sobre los hornos empleados en Sulzbach y Escocia para pasar a continuación a compararlos con el modelo de Faujas. Betancourt, “consideraba que el modelo alemán era un conjunto de retortas que consu-

111 La Sociedad Económica de Amigos del País de Asturias; instó al conde de Floridablanca para que se interesase por el nuevo sistema, ya que estos veían en él una oportunidad para aprovechar el carbón asturiano.

mían mucho combustible para destilar el carbón, mientras que resaltaba la economía y simplicidad del horno británico frente al francés, más «complicado, dispendioso y sujeto a continuas reparaciones», lo que hacía que solo pudiera ser manejado por personas muy experimentadas que no resultaban fáciles de encontrar¹¹²».

La experiencia de los hornos de aludeles de Almadén y el estudio meticuloso del experimento de Faujas permitió a Betancourt ver los defectos que tenía el horno diseñado por el francés, proponiendo varias modificaciones para fabricar un aparato más sencillo que mejorara la combustión del mineral, facilitara la expulsión de los vapores y optimizara la condensación y separación de los productos volátiles resultantes de la coquización.

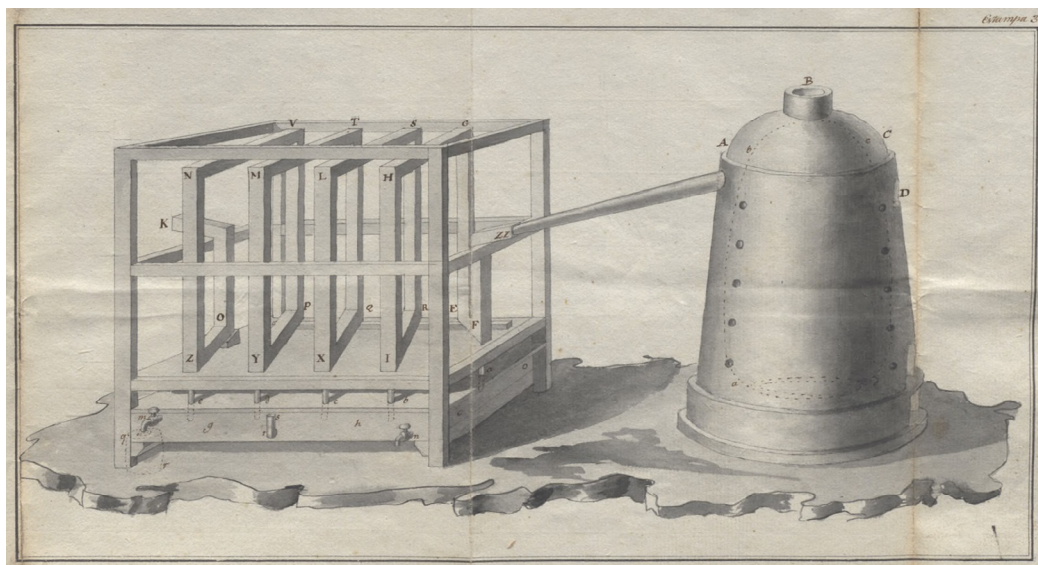
Betancourt entendía que la cámara debería tener forma cilíndrica en vez de parabólica, estar rematada con una bóveda esférica provista de una chimenea regulable y contar con una rejilla más pequeña en su base. También creía conveniente sustituir el complicado artilugio de destilación por una única tubería de sección cuadrada en forma de alambique, y añadir un gran recipiente lleno de agua para separar por decantación el alquitrán, el aceite y el álcali volátil¹¹³.

La memoria venía acompañada de tres estampas con unos magníficos dibujos y detalles de los hornos. Las dos primeras corresponden al modelo de horno de Faujas, representando la primera el horno completo visto desde el exterior, mientras que la segunda es un corte vertical del horno, con el fin de poder apreciar mejor su funcionamiento. La tercera estampa es la del modelo de horno diseñado por Betancourt, donde se pueden ver los cambios y mejoras propuestas sobre el horno de Faujas (ver figura 18).

112 González-Pumariega Solís, P. et al. (2023), p. 21.

113 González-Pumariega Solís, P. et al. (2023), pp. 21-22.

Figura 18. Estampa n° 3 Horno para extraer el betún diseñado por Agustín de Betancourt.



Fuente: Bonet (1988), p. 29.

Poco tiempo después, la memoria de Agustín de Betancourt llegó a la Real Sociedad Económica de Amigos del País de Asturias, comenzándose a construir el horno en las cercanías del Balneario de Las Caldas de Priorio a nueve kilómetros de Oviedo. En agradecimiento la entidad nombró a Betancourt socio de mérito¹¹⁴.

Un año después, en un informe remitido el 23 de febrero de 1788 al ministro de Marina, Antonio Valdés, por el presidente y el secretario de la sociedad, se da cuenta del accidente ocurrido con el horno al reventar éste, sin conocer las causas que pudieron dar lugar a este fracaso que derivó en la paralización de la obra al no disponer de recursos económicos¹¹⁵.

114 Martín, A. (2019), p. 110.

115 González-Pumariega, P. et al. (2023) p. 25 y Adaro Ruíz Falcó, L. (1981) p. 467.

7. A modo de conclusiones

La formación técnica y de dibujo de Betancourt en los primeros años parece clave para entender, ya desde las memorias de Almadén, el diagnóstico y las recomendaciones tanto en los aspectos de diseño como de las operaciones mineras y metalúrgicas para la obtención del mercurio. Asimismo, resulta relevante señalar la importancia del dibujo técnico para la ingeniería.

A lo anterior debemos añadir sus aportaciones a los trabajos de purificación del carbón de piedra o de obtención del coque a partir de carbón mineral, aspecto este vital en la historia de la siderurgia, en la transición de la utilización de carbón vegetal al carbón de piedra.

Las aportaciones de Betancourt a la máquina de vapor de doble efecto podrían calificarse de extraordinarias. El diseño, corroborado por estudios recientes, muestra que las máquinas estudiadas y promovidas por Betancourt, eran más eficientes y robustas que las de simple efecto.

No menos importante es el trabajo técnico, adelantado a su tiempo, de los experimentos y el análisis de resultados de la fuerza del vapor que demuestra un enfoque ingenieril claro, y en el que los resultados siguen siendo válidos tras mayor conocimiento y experimentación, como hemos puesto de manifiesto con las revisiones bibliográficas en este trabajo.

Las contribuciones de Betancourt son también notables, como hemos reflejado en este trabajo, por el análisis de instalaciones como Yndrid, y por su contribución, o influencia, en instalaciones como los molinos harineros en la isla de los Cisnes, la fábrica de cañones de Tula, así como en las instalaciones en Seybabo (Cuba) y Barcelona; en las que las máquinas de vapor eran equipos vitales.

Teniendo en cuenta las notables aportaciones de Betancourt en su tiempo, en los aspectos de minería, metalurgia y en las máquinas de vapor, cabría sugerir un análisis crítico, que desborda el alcance de este trabajo, sobre la relación de estos logros con el desarrollo industrial y minero en la España de la segunda parte del siglo XVIII y en las primeras décadas del XIX.

8. Bibliografía

- Adaro Ruiz-Falcó, L. (1981). “Datos y documentos para una historia minera e industrial de Asturias I”. Gijón. Suministros Adaro.
- “Agustín de Betancourt 1758-1824. Fundador de la Escuela de Caminos y Canales ingeniero cosmopolita”. (2024). Catalogo Exposición. Biblioteca Nacional de España.
- “Betancourt y los inicios de la ingeniería en Europa”. Textos de los paneles. Madrid. Ministerio de Fomento. (1996).
- “Betancourt (1758-1824) y los inicios de la ingeniería moderna en Europa”. Catálogo de la exposición. Exposición organizada por el Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo (CEHOPU) del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas O.A. y M.P. (CEDEX) y por el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (CICCP). Comisaría de la exposición y textos originales Ignacio González Tascón. Madrid, (2024). Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas O.A. y M.P. (CEDEX). Centro de Publicaciones: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (CICCP). (2024).
- “Betancourt (1758-1824) y los inicios de la ingeniería moderna en Europa”. Textos de la exposición. Exposición organizada por el Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo (CEHOPU) del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas O.A. y M.P. (CEDEX) y por el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (CICCP). Comisaría de la exposición y textos originales Ignacio González Tascón. (2024).
- Betancourt, A. (1990). “Memorias de las Reales Minas del Almadén,1783”. Edición facsímil. Madrid. Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología.
- Betancourt, A. (1789). “Mémoire sur une Machine à vapeur à double effet”. Academie of Sciences. Paris. Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia. Documento cedido para su digitalización por la Escuela Nacional de Puentes y Caminos. Universidad ParisTech.
- Betancourt, A. (1790). “Mémoire sur la Force Expansive de la Vapeur de l’eau, lu a l’Academie Royale des Sciences; par M. de Betancourt”. Paris. Che Laurent. Biblioteca Nacional de España.
- Betancourt, A. d. (2008). “Descripción del establecimiento de Yndrid: donde se funden y barrenan los cañones de hierro para la Marina Real de Francia

- (1791): Manuscrito de la Biblioteca del Palacio Real de Madrid. Patrimonio Nacional”. (Ed. facs.). Madrid. CEDEX-CEHOPU-Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo: Patrimonio Nacional.
- Bonet, A. (1988). “Un manuscrito inédito de Agustín de Betancourt sobre la purificación del carbón”. Universidad de La Laguna, <https://fundacionorotava.org./pynakes/lise/bonetfragm.es> 01 1988.
 - Calderón Herrera, D. (2017). “La tecnología de vapor aplicada en las minas de Almadén. Desde su origen hasta el consejo de Administración”. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba.
 - Cepeda Gómez, J. (2004). “Carlos III (1759-1788)”. En “Historia de España en la edad moderna”. Floristán, A. (Coord.). Madrid. Ed. Ariel.
 - Crabiffosse, Cuesta F. (1996). “El horno de Agustín de Betancourt: ciencia, técnica y carbón en la Asturias del siglo XVIII”. En González, I. (dir). “Betancourt, los inicios de la ingeniería moderna en Europa”. Madrid, CEHOPU, pp. 71-77.
 - Dickinson, H. W. (2010). “A short history of the steam engine”. New York. Cambridge University Press. La edición original es de 1939.
 - Dobado González, R. (1997). “Las Minas de Almadén y el monopolio del azogue y la producción de plata en Nueva España en el siglo XVIII”. En “La Savia del Imperio, tres estudios de economía colonial”. Universidad de Salamanca, Salamanca, pp. 403-495.
 - Egórova, O. V. (2011). “En pos de las huellas de Betancourt: la primera máquina de vapor en Cuba”. Revista de Obras Públicas N° 3.517.
 - Egorova, O. y Moiséyev, A. (2008). La primera máquina de vapor en Cuba y Agustín de Betancourt”. Cuba. Revista de la Biblioteca Nacional José Martí.
 - Fernández Pérez, J. y González Tascón, I. (1990), “Las Minas de Almadén y las Técnicas de amalgamación en la metalurgia hispanoamericana”. En “Betancourt y Molina, A. Memorias de las Reales Minas de Almadén (1783)”. Edición facsímil. Madrid. Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, pp. 30-41.
 - Fernández Pérez, J. y González Tascón, I. (1991). “Descripción de las máquinas del Real Gabinete”. Madrid. Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología.
 - Fundación Juanelo Turriano. (2024). “Máquina de vapor de doble efecto (hacia 1788). Agustín de Betancourt”. Vídeo.

- García Diego, J. A. (1985). “En busca de Betancourt y Lanz”. Madrid. Castalia.
- García Tapia, N. (1992). “Del dios del fuego a la máquina de vapor. Introducción de la técnica en Hispanoamérica”. Valladolid. Ámbito Ediciones.
- González Pumariiega Solís, P. González Prieto, L.A. y González Palomares, D. (2023). “El Real Horno de carbonización construido por el ingeniero de marina Fernando Casado de Torres en La Riera (Langreo, Asturias), un proyecto de tecnología puntera en la España de las luces”. En “Revista de Historia Naval”. Suplemento número 37. Instituto de historia y cultura naval, Armada Española.
- Gouzévitch, I. (2009). “Le cabinet des machines de Betancourt: À l’origine d’une culture technique de l’ingénieur des lumières”. *Quaderns d’Història de l’Enginyeria*. Volum X.
- Gouzévitch, I. (2024) “Agustín de Betancourt (1758-1824): prototipo de ingeniero europeo”. En “Agustín de Betancourt 1758-1824. Fundador de la Escuela de Caminos y Canales. Ingeniero cosmopolita”. Catálogo de la Exposición de la Biblioteca Nacional de España, pp. 29-119.
- Gouzévitch, M. (2009). “Aux sources de la thermodynamique ou la loi de Prony/Betancourt”. *Quaderns d’Història de l’Enginyeria*. Volum X.
- Gouzévitch, I. y Gouzévitch, D. (2022). “La machine à vapeur de Betancourt pour l’industrie sucrière cubaine: un épisode inédit de l’histoire du machinisme (fin XVIIIe siècle). *Cuadernos dieciochistas*, 23, pp. 59-86.
- Gouzévitch, I. y Gouzévitch, D. (2023). “Un machine à vapeur compound pour l’industrie sucrière cubaine (fin XVIIIe siècle): Entre science européenne et transfert transocéanique, ou le sort d’une invention d’avant l’heure”. En Boulat, R. y Heyberger, L. (eds.) “Industrie coloniales en context imperial: Fin XVIIIe-XXe siècles. Belfort-Montbéliard. Université de technologie de Belfort-Montbéliard, pp. 27-50.
- Hernández Sobrino, A. y Fernández Aparicio J. (2005). “La bomba de fuego de Almadén. Instalación de la máquina de vapor para el desagüe de la mina de Almadén. Años 1785-1805”. Fundación Almadén-Francisco Javier de Villegas.
- Lanza, C. (2024). “Agustín de Betancourt y las máquinas”. En “Agustín de Betancourt 1758-1824. Fundador de la Escuela de Caminos y Canales. Ingeniero cosmopolita”. Catálogo Exposición Biblioteca Nacional de España.

- Mansilla, L. (2000). “La metalurgia del mercurio en Almadén durante la época colonial”. En “Hombres, Técnicas, Plata. Minería y Sociedad en Europa y América. Siglos XVI-XIX”. Aconcagua libros, pp. 63-75.
- Mansilla, L. e Iraizoz, J.M. (2012). “Aproximación al laboreo de minas y a la metalurgia en las Minas de Almadén (Ciudad Real)”. En “De Re Metallica”, n° 19, pp. 79-93. Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero (SEDPGYM)
- Martin, A. (2019). “Biografías de científicos canarios. Agustín de Betancourt y Molina”, pp. 109-113.
- Martín Medina, A. Martínez Navarro, F. y Repetto Jiménez, E. (s.f.). Agustín de Betancourt y Molina”. Oficina de Ciencia, Tecnología e Innovación. Gobierno de Canarias. Ed. Dykinson.
- Martín Pereda, J. A. (2024). “Agustín de Betancourt. Un ingeniero entre dos revoluciones”. Homenaje de la Real Academia de Ingeniería de España en el bicentenario de su muerte. Madrid. Real Academia de Ingeniería.
- Matilla Tascón, A. (1987). “Historia de las Minas de Almadén”. Vol. II.
- Menéndez Navarro, A. (1990). “El Real Hospital de Mineros de Almadén: Génesis y florecimiento de un proyecto asistencial, 1752- 1809”. En “DYNAMIS. Acta Hispanica ad Medicinæ Scientiarumque Historiam Illustrandam.” Vol. 10, 1990, pp. 93-130.
- “Mercurio de España.” (1790). Madrid en la Imprenta Real. Diciembre. Descargado de la Biblioteca Nacional de España.
- Montava Gadea, M. y Roca Rosell, A. (2024). “Francesc Santponç I Roca (1756-1821): una máquina de vapor de inspiración Betancouriana”. En “Agustín de Betancourt 1758-1824. Fundador de la Escuela de Caminos y Canales. Ingeniero cosmopolita”. Catalogo Exposición. Biblioteca Nacional de España.
- Moreno Friginals, M. (1964). “El ingenio, el complejo económico y social cubano del azúcar, 1760-1860”, t.1, La Habana: Comisión Nacional Cubana de la Unesco.
- Morete de Varela, J. (1803). “Atlas o colección de planos de las Reales Minas de Almadén”.
- Payen, M.J. (1967). “Betancourt et l'introduction en France de la machine à vapeur à double effet (1789)”. Revue d'histoire des sciences et de leurs applications, tome 20, n° 2, pp. 187-198.

- Roca Rosell, A. (2005). “Técnica, ciencia e industria en tiempo de revoluciones. La química y la mecánica en Barcelona en el cambio de siglo XVIII al XIX”. En “Técnica e Ingeniería en España. III. El siglo de las luces. De la industria al ámbito agroforestal”. Silva Suárez, M., ed. Real Academia de Ingeniería, Institución Fernando el Católico y Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Rojas-Sola, J.I. y De la Morena-De la Fuente, E. (2018). “Agustín de Betancourt’s Double-Acting Steam Engine: Analysis through Computer-Aided Engineering”. Applied Sciences. November.
- Sáenz Ridruejo, F. (2024). “Miscelánea betancouriana”. Revista de Obras Públicas. Número 365.
- Sevilla Hurtado, L. (2022). “Aproximación a la revolución tecnológica de la máquina de vapor en explotaciones mineras”. En “Minería y metalurgia históricas en el sudoeste europeo. Geología, minería y sociedad”. Ayarzagüena Sanz, M. López Ciudad, J.F. y Sebastián Pérez, M.A., Editores Científicos. Ayuntamiento de Ciempozuelos.
- Turvey, P. (2012). “Steaming through the centuries”. <https://blog.science-museum.org.uk/steaming-through-the-centuries>.

Permisos solicitados, autorizaciones y agradecimientos

Se ha solicitado autorización para la incorporación en ese trabajo de las láminas que se citan en las distintas figuras, y deseamos agradecer expresamente, las autorizaciones de la Fundación Juanelo Turriano, CEDEX y CEHOPU, Patrimonio Nacional (Real Biblioteca, Dirección de Colecciones Reales) , CEDEX y CICCIP, Museo de Ciencias de Londres, Museo Nacional de Ciencia y Tecnología de España, Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia, École Nationale des Ponts et Chaussées - IP París, y Gouzévich, I. Agradecemos también a la Biblioteca Nacional de España las facilidades para consultar los documentos y reproducir las imágenes procedentes de sus fondos.

Igualmente deseamos agradecer a Isabel Rábano Gutiérrez del Arroyo y a Octavio Puche Riart la revisión del texto de este trabajo y sus comentarios. Los errores que pueda haber son responsabilidad de los autores.

Anexo 1

Tabla n° 3. Máquinas de vapor instaladas en las minas de Almadén.

FECHA	UBICACIÓN TIPO DE MÁQUINA	EMPLEO	OBSERVACIONES
1805	Pozo de San Teodoro	DESAGÜE	1ª Máquina de las Minas de Almadén. Estuvo funcionando hasta 1879 y permaneció en las minas hasta 1919.
	Máquina de Simple Efecto de Watt, y 40 CV, con algunas modificaciones introducidas por Tomás Pérez Estala.		
1848	Pozo de San Teodoro	DESAGÜE Y EXTRACCIÓN	Nunca llegó a funcionar, y fue vendida en 1870 por 26.259 pesetas en subasta pública.
	Máquina de 40 CV, un cilindro vertical y de doble efecto tipo Watt, tranaja a baja presión, con condensación y sin expansión.		
1872	Pozo de San Miguel	DESAGÜE Y VENTILACIÓN (Extracción e Introducción)	Daba movimiento a un ventilador Guibal de 3,00 x 0,80 m.
	Máquina de 20 CV de un cilindro horizontal con freno de mano para las bobinas, freno de pie para el árbol motor, de expansión tipo Mayer y con condensación.		
1873	Pozo de San Aquilino	SUBIDA Y BAJADA MINEROS (Extracción e Introducción)	La jaula tenía una capacidad para 18 trabajadores equipada con paracaídas sistema Libotte.
	Máquina de 30 CV de un cilindro vertical de expansión Guinotte con condensación. Y tres calderas sistemas Cornualles.		
1874	Taller de Preparación Mecánica	VENTILACIÓN SEPARACIÓN MINERAL	También disponía de un montacargas de vapor para trasladar vagones de estéril hasta las escombreras.
	Máquina de vapor de 12 CV. Máquina de vapor de 15 CV sistemas Corliss.		
1875	Pozo de San Teodoro	DESAGÜE Y EXTRACCIÓN	Sustituyo a la 1ª máquina de vapor para el desagüe y al malacate de caballerías para la extracción de minerales.
	Máquina de 40 CV con dos cilindros conjugados verticales con expansión Audhemar, freno de vapor y máquina especial a 6 CV para la condensación. Con dos calderas sistemas Cornualles.		
1909	Pozo de San Aquilino	SUBIDA Y BAJADA MINEROS (Extracción e Introducción de herramientas)	A partir de 1923 esta máquina sería sustituida por una máquina eléctrica.
	Máquina horizontal y de acción directa, con dos cilindros conjugados y distribución por corredera Stephanson, con servomotor para el cambio de marcha. Potencia de 200 CV si trabaja a alta presión y de 50 CV si trabaja a baja presión. También consta de freno de pie y de mano que actúa sobre las bobinas, y freno de vapor sobre el volante.		

FECHA	UBICACIÓN TIPO DE MÁQUINA	EMPLEO	OBSERVACIONES
1916	Central Alumbrado Eléctrico	ALUMBRADO	Daba movimiento a los dinamos: una con potencia de 13 Kw e intensidad de 104 A; y la segunda con potencia de Kw e intensidad de 61 A.
	La máquina en cuestión, era una semifuja de 8 CV, de media presión y monocilíndrica lo que daba lugar a frecuentes oscilaciones de la luz.		
1916	Compresor Perforación	PERFORACIÓN	Alimentaba 8 martillos neumáticos tipo Flottman con aparato para aspirar el polvo.
	Máquina de 60 CV, de tipo horizontal y de dos cilindros conjugados de baja presión		

Fuente: Calderón Herrera, D. (2017), p. 281.

ELOY ÁLVAREZ PELEGRY
DR. INGENIERO DE MINAS.

LUIS MANSILLA PLAZA
PROFESOR TITULAR DE UNIVERSIDAD (UCLM).

Lo bueno, si sencillo, dos veces bueno. El telégrafo óptico de Betancourt.

D. Antonio Moreno Calvo, Ingeniero de Telecomunicación.

1. Presentación

Entre las ponencias que se desarrollaron en la Jornada celebrada el 9 de Octubre de 2025 en el Salón de Actos del Instituto de la Ingeniería de España, cabe decir que de las cuatro ramas de la Ingeniería allí representadas (la de Caminos, Canales y Puertos, la Industrial-ICAI, la de Minas y la de Telecomunicación), a esta última le correspondió desarrollar el tema del Telégrafo Óptico que inventó Agustín de Betancourt y Molina..

La idea general que animaba a la realización de esa jornada no era solamente recordar la figura de Agustín de Betancourt como ingeniero universal, sino más bien como la persona que, a partir de sus sólidos conocimientos científicos, fue capaz de ir más allá de lo que cualquier científico o ingeniero pudiera conseguir. Jornadas generalistas ha habido muchas el pasado año 2024, en conmemoración del segundo centenario del fallecimiento de nuestro personaje.

Plasmar en un documento escrito lo que fue esa jornada no es sencillo y evidentemente se pierde el contacto con el público asistente. Por otra parte, tampoco parece oportuno elaborar un documento formal o académico, porque eso no sería una reseña de aquella memorable jornada.

Centrándonos ya en el desarrollo del Telégrafo Óptico, su invención no se puede considerar como algo nuevo u original de Betancourt, ya que telégrafos ópticos había muchos y muy variados. Y es que, en efecto, la Telegrafía Óptica no es, en sí misma, un invento de Betancourt.

Había soluciones que permitían la transmisión de mensajes usando estaciones de repetición situadas en cerros desde los que se podían otear con facilidad las estaciones anterior y siguiente de la cadena de transmisión. Lo que ocurría es que esos telégrafos eran tan complicados de manejar como difíciles de interpretar, de tal modo que el resultado (transcripción del mensaje que llegaba a destino) estaba plagado de errores.

Los telégrafos precedentes disponían, en unos casos, de múltiples banderas rectangulares o elementos, que se movían vertical u horizontalmente, y en otros, las banderas se colocaban de tal manera que eran visibles o no. De esta forma se generaban códigos distintos para cada letra o símbolo.

Las soluciones existentes eran obviamente de complicado uso y mecánicamente poco robustas y expuestas a las inclemencias del tiempo. Como su manejo era propenso a errores, muy probablemente los operadores (telegrafistas) se verían obligados a escribir el texto en papel antes de repetirlo a la estación siguiente, es decir, se enteraban del contenido.

A fin de simplificar el manejo y mejorar la comunicación, Agustín de Betancourt concibió sustituir todos esos elementos por un simple puntal vertical, en cuyo extremo se colocaba un segmento (con extremos diferenciados, llamados punta y base, es decir, configurando una flecha), y que podía girar (apoyado en su centro de masas, consiguiendo asimismo un equilibrio indiferente) en un plano vertical.

La solución de Betancourt era de mucho más fácil manejo, y no era necesario que el operador se enterara de su contenido. En dos palabras, mejora de la rapidez y posible secreto.

Más aún, si hubiera habido algún hipotético inventor precedente que hubiera concebido un telégrafo similar al de Betancourt, habría sido consciente de que, si las estaciones de repetición anterior y siguiente a la estación intermedia no estaban alineadas, entonces se observaría el plano de giro de la flecha de esa estación intermedia según una perspectiva lateral torcida. Consecuencia de ello es que el ángulo real en que estaba situada la flecha en esa estación intermedia sería observado según un ángulo que no correspondería a la realidad, y eso le supondría un problema insoluble. Por lo tanto, abandonaría el proyecto.

¿Cómo, a partir de una visión torcida, era posible deducir la correcta posición de la flecha intermedia? Muy sencillo –debió pensar Betancourt– basta con incorporar un computador analógico que devuelva la posición correcta de la flecha a partir de la posición torcida observada remotamente.

Betancourt, sin lugar a dudas, fue consciente de ese problema. Solo a los grandes hombres les es factible encontrar relaciones entre soluciones en campos totalmente diferentes y obtener ventaja de ello.

Incorporar un computador analógico (en este caso, un mecanismo), sólo es posible a quien posee un conocimiento profundo de mecanismos, como era el caso de Agustín de Betancourt.

La tesis que se intenta transmitir (o demostrar) en esta colaboración es que el telégrafo óptico concebido por Betancourt era mucho más sencillo que los otros que ya había, pero presentaba una serie de problemas propios (específicos) de la solución elegida.

Solucionar esos problemas solamente era posible a partir de conocimientos mecánicos, cuyo tratamiento matemático fuera equivalente al que ha de aplicarse a la imagen (posición de la flecha) vista desde muy lejos es decir, desde el telégrafo óptico de la estación anterior o siguiente.

Cuando un ingeniero se enfrenta a un problema, puede que sepa resolverlo o no.

- Si sabe resolverlo, empleará todos los conocimientos a su alcance, ya sean de la propia materia que está intentando resolver o de otras que él conozca y que tengan un comportamiento similar.
- Si eso no ocurre, pero está relacionado con amigos que sí saben resolver lo que ese ingeniero no sabe, entonces es un buen camino, ya que le ayudarán y entre todos conseguirán el resultado perseguido. Es, por ejemplo, el caso de Einstein, que tenía unas ideas geniales respecto a la concepción de la relatividad tanto en su aspecto especial o restringido o en su aspecto general (la llamada relatividad general). Einstein, a pesar de sus conocimientos y de sus geniales ideas, carecía del bagaje matemático necesario para desarrollarlo, pero sabía que tenía amigos (quizá el más importante fue Grossmann) que sí podían ayudarlo (y de hecho le ayudaron) y entre todos salieron adelante.

En el caso de Betancourt no fue necesario contactar con ningún amigo, ya que él sí que poseía conocimientos matemáticos, científicos y mecánicos, que pudo aplicar al telégrafo que estaba diseñando.

En este artículo se va a procurar seguir el orden en el que se desarrolló la jornada, reproduciendo las transparencias que fueron proyectadas en su momento (que se han convertido en viñetas, a tono con el estilo del libro). Cuando una transparencia (viñeta) se considere que sin texto adicional sería difícil su comprensión, en esos casos (y nada más que en ellos), se añadirá (antes o después de la misma) un comentario que ayude al lector y le facilite la comprensión.

Debo expresar mi agradecimiento a los amigos que me han ayudado con valiosas sugerencias respecto a las ideas vertidas y la confección de los gráficos, entre ellos Manuel A G, Marcelo D C, José F-V A, Manuel F F, Jaime G V, Aránzazu R C y Manuel S S.

Tras esta presentación, se deja al lector la misión de explorar (en las páginas que siguen), la profunda visión de nuestro Ingeniero, en la confianza de que comparta la tesis que se quiso demostrar ese día 9 de octubre de 2025, en el Salón de Actos del Instituto de la Ingeniería de España, en recuerdo, agradecimiento y homenaje a un español natural de Tenerife, que había sido capaz de desarrollar algo bueno y sencillo, es decir, dos veces bueno.

Madrid, abril de 2026.



**LO BUENO, SI SENCILLO,
DOS VECES BUENO.**

**MUCHAS GRACIAS
AMIGO BALTASAR**

**ORÁCULO MANUAL Y
ARTE DE PRUDENCIA
(SIGLO XVIII)**

**PARAFRASEANDO A
"LO BUENO, SI BREVE..."**

Comentario:

Puede considerarse un abuso parafrasear el muy conocido dicho de Baltasar Gracián y usarlo como título.

Pero es que, como se intentará demostrar, Betancourt hizo sencillo lo difícil, y el manejo de su invento era rápido, por así decirlo, breve.

La frase de Gracián, completa, parece ser que es:

Lo bueno, si breve, dos veces bueno; y aún lo malo, si poco, no tan malo.

Como apunte histórico, Gracián era natural de Belmonte de Gracián (8 de enero de 1601), y falleció el 6 de diciembre de 1658 en Tarazona.

Belmonte de Gracián (tal vez sólo Belmonte en aquellos tiempos) es un pueblo muy cercano a Calatayud.

Esta presentación, al estilo de la faena de toros, se va a dividir en tres partes o tercios.

2/45

En la fiesta de toros, la faena se divide en tres tercios.

De la misma manera, mi intervención va a constar de tres tercios.

El primero es el tercio de varas, en el que se “ahorma” al toro y se mide su bravura, y aquí y ahora voy a “ahormar” la cuestión de cómo conseguir que la transmisión de mensajes pueda llegar a su destino a mayor velocidad que la que puede desarrollar un jinete montado en su caballo portando un mensaje escrito.

3/45

- Para transmitir ideas, usamos frases.
- Para transmitir frases, usamos palabras.
- Para transmitir palabras, usamos letras,
- Para transmitir letras, se puede asociar cada una de ellas a un símbolo (o combinación de símbolos).

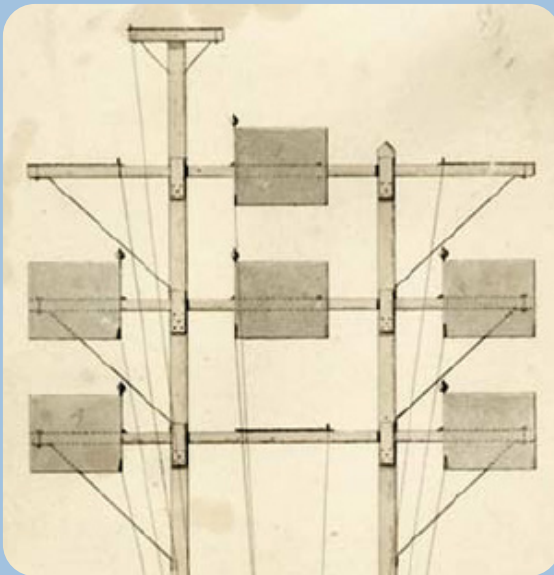
4/45

- La siguiente transparencia es un ejemplo de telégrafo óptico.
- Hay una serie de banderolas que pueden girar según un eje horizontal.
- Si la banderola está situada verticalmente, se ve completa.
- Y si está situada horizontalmente, no se ve.
- Cada combinación posible de la situación de esas banderolas se interpreta como una letra, un número, un signo de puntuación...

5/45

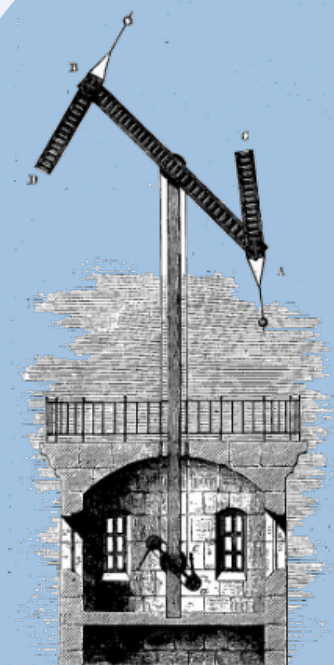
TAL VEZ, COMPLICADO...

Fuente: researchgate.net.



Lo bueno, si sencillo, dos veces bueno.
El telégrafo óptico de Betancourt.

6/45



- Claude Chappe inventó otro sistema, consistente en un mástil vertical en cuyo extremo superior una articulación de eje horizontal permitía girar a un segmento en torno a su punto medio.
- En cada uno de los dos extremos de este segmento había sendos segmentos pequeños, articulados, por lo que también podían girar.

Fuente: wikipedia.org.

7/45



Probablemente, este podría ser el alfabeto del telégrafo de Chappe.

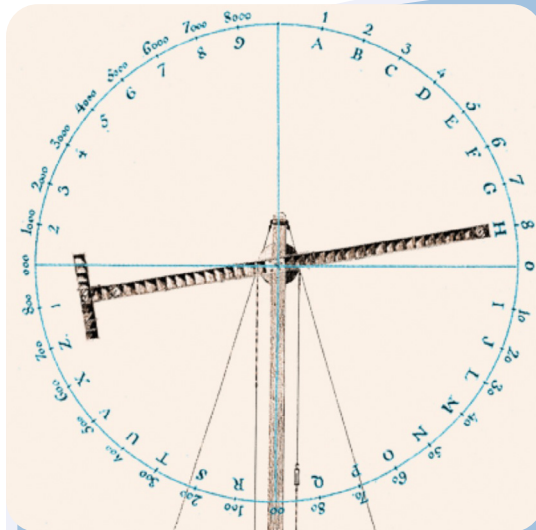
Fuente: Pinterest.

Comentario:

Recordar (para luego repetir en la propia estación) la combinación de banderolas para un único símbolo o letra, o recordar la posición de la flecha principal y de los dos segmentos en sus extremos (igualmente para un único símbolo), es tarea repetitiva y que conduce a errores. Y en cuanto a la rapidez, está claro que debería ser muy lento (aunque no tan lento como enviar a un mensajero en veloz caballo). La consecuencia es que estos tipos de telégrafos existían, simplemente, porque eran lo mejor de que se disponía.

8/45

- Todos estos sistemas obligaban a interpretar la combinación, probablemente escribirla en papel, y luego retransmitirla hacia la estación siguiente.
- A nuestro genial Betancourt le bastó con un mástil vertical y una “flecha” situada en el extremo superior del mástil, donde, estando articulada, podía girar 360° (en un plano vertical) según un eje horizontal.



6/45

Fotograma del vídeo disponible en:

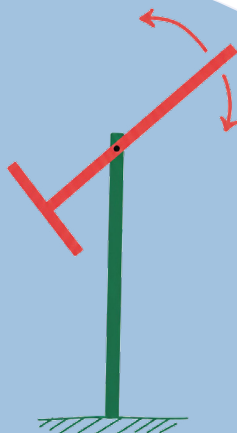


fundacionnorotava.org/betancourt/machines/1/operation

Lo bueno, si sencillo, dos veces bueno.
El telégrafo óptico de Betancourt.

10/45

- La flecha, al no ser simétrica, apuntaba claramente en una dirección.
- Y las masas podían compensarse para que en cualquier posición gozara de un equilibrio indiferente, minimizando el esfuerzo físico para mover la flecha.



Fuente: Elaboración propia.

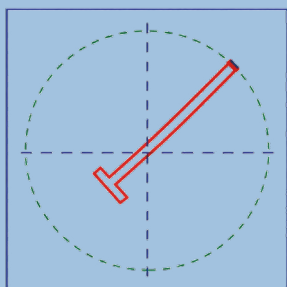
11/45

Sencillo y bonito.
¿Estamos de acuerdo?

Pues ahora empiezan los

PROBLEMAS

12/45



El extremo de la flecha describe una circunferencia que se puede inscribir en un cuadrado.

Todos pueden ver un cuadrado,

¿DE ACUERDO?

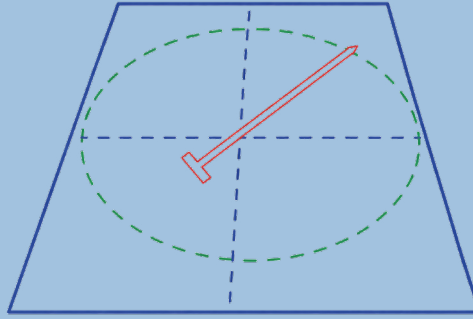
Comentario:

Se advierte al amable lector que las transparencias iban dirigidas a los espectadores en el Salón de Actos.

¡PUES NO!

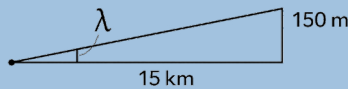
13/45

Porque los que están en las butacas del salón lo ven desde abajo, más o menos así:



14/45

Teniendo en cuenta que la distancia entre estaciones de repetición varía entre 10 y 20 km, y que la diferencia de alturas se elige inferior a 150 m, el ángulo de visión será pequeño.



$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{150}{15000} = 0,01$$

$$\operatorname{sen} \lambda \approx 0,01$$

$$\lambda \approx 0,01 \text{ rad} \equiv \frac{180^\circ}{\pi \text{ rad}} \cdot 0,01 \text{ rad} \approx \frac{180}{3} \cdot 0,01^\circ = 0,6^\circ$$

$$\lambda \approx 0,6^\circ \equiv \frac{0,6^\circ}{360^\circ} = \frac{6}{3600} = \frac{1}{600} \text{ de circunferencia}$$

Comentario:

Al observar desde cerca y desde abajo un cuadrado, el efecto de perspectiva hace que su visión se deforme.

Lo bueno, si sencillo, dos veces bueno.
El telégrafo óptico de Betancourt.

El hecho de que nuestro cerebro lo interprete como cuadrado, no significa que visto a través de un instrumento se interprete correctamente, más aún cuando estos aparatos se inventaron hace más de 200 años. Esta circunstancia podría dar lugar a que los símbolos se interpretaran erróneamente.

Es fácil hacer una estimación grosera del efecto de distorsión. Si la distancia entre un repetidor y el siguiente es de aproximadamente 15 km, y la distancia vertical entre ellos del orden de 150 m, el ángulo de visión (en el plano vertical) es pequeño.

En la siguiente viñeta se llega a la conclusión de que ese ángulo, respecto a la vertical, desde el que se observa el cuadrado es del orden de la décima parte del ángulo que ocupa un minuto de un reloj.

Y si el ángulo de visión es pequeño, la distorsión también lo será.

15/45

Decir, como se afirmaba en la transparencia anterior, $1/600$ y no decir nada es casi lo mismo.

En este reloj un minuto ocupa $360^\circ/60=6^\circ$.

Luego $0,6^\circ$ es la décima parte del ángulo OCUPADO por 1 minuto.

MUY POCO.

Fuente: watchmakinglife.com



16/45

Hemos dicho: $\alpha=0,6^\circ$, cuyo seno es 0,01047178.

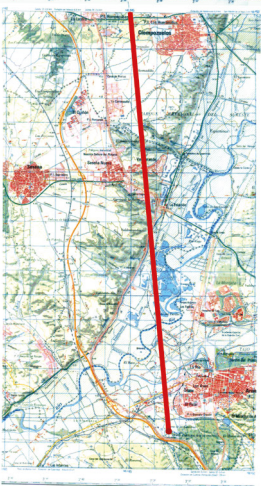
Y su tangente 0,1047236.

¿Y el coseno? $0,999945 \approx 1$.

Esto no es una exhibición de trigonometría,
es que el coseno lo vamos a utilizar luego

Comentario:

Afortunadamente, se trata del coseno, cuyo valor es muy próximo a la unidad cuando el ángulo es muy pequeño.



A partir de tres planos topográficos, se ha hecho la composición para presentar la trayectoria entre las dos estaciones terminales (Retiro y Aranjuez) y las dos intermedias (Getafe y Valdemoro). O sea, los tres tramos de la conexión.

Como se puede apreciar en la imagen, el conjunto de los tramos (destacados en rojo) son casi una línea recta, o, dicho de otro modo, los ángulos entre los segmentos contiguos son muy próximos a 180° .

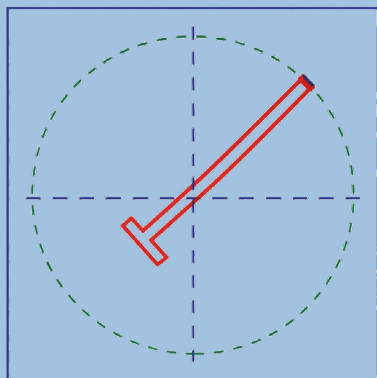
Comentario:

Esta imagen se ha elaborado a partir de 3 planos topográficos de la trayectoria Madrid – Getafe – Valdemoro – Aranjuez (esto es, los únicos tramos construidos y que prestaron servicio de la proyectada línea telegráfica Madrid – Cádiz) y sobre ellos se ha dibujado la probable trayectoria de la visión desde la estación de origen (en el RETIRO de Madrid), pasando por el primer repetidor (Cerro de los Ángeles), el segundo en Valdemoro (allí hay un cerro, denominado Cerro del Telégrafo) y el último en Aranjuez (donde también hay un “Cerro de la Linterna”).

El ilustrado lector habrá caído en la cuenta de que hasta ahora se ha hablado de perspectivas deformadas por la visión desde abajo, y los planos topográficos ofrecen información de ángulos sobre la superficie terrestre.

Y ello es cierto, pero sirve para poner de manifiesto lo importante que para este tipo de inventos era encontrar trayectorias casi rectas, como queda reflejado en dicha imagen.

18/45



Recuperamos una transparencia previa.

Para visiones no muy lejanas, las líneas verticales se apreciarán como verticales. Y las horizontales como horizontales.

¿Todos de acuerdo?

Pues otra vez, NO

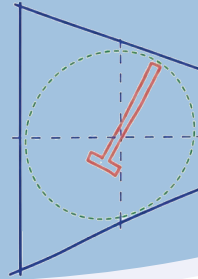
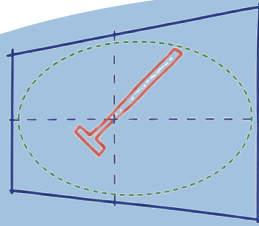
Comentario:

Se vuelve a recordar al lector que las imágenes iban destinadas a ser vistas por los espectadores situados en el Salón de Actos.

19/45

Y los que están sentados a la izquierda, lo verán de este otro modo

Los sentados a la derecha (o sea, a mi izquierda), verán el cuadro deformado tal como aparece aquí al lado



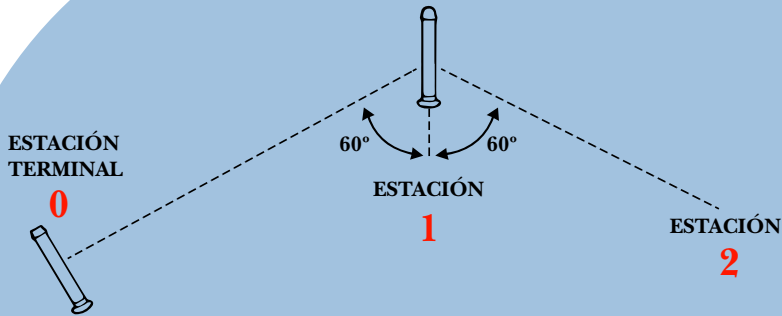
20/45

Antes se presentó un mapa del enlace telegráfico Retiro – Aranjuez, y como los quiebros de la trayectoria eran mínimos.

Pero en un diseño que se precie, hay que tener en cuenta el caso peor.

Es lo que se va a intentar explicar en la transparencia a continuación.

Vamos a estudiar el caso peor.



La imagen representa un caso (el peor) en el que los haces luminosos quiebran $60^\circ + 60^\circ = 120^\circ$.

El plano de giro de la flecha en la estación 0 se posiciona perpendicular al rayo $0 \rightarrow 1$.

Pero el plano de giro de la flecha de la estación 1 no puede situarse perpendicular al rayo $0 \rightarrow 1$, porque desde la estación 2 el poste telegráfico de la estación 1 se vería muy torcido.

Por lo tanto, el plano de giro de la flecha en la estación 1 se sitúa en la bisectriz de los rayos $0 \rightarrow 1$ y el $1 \rightarrow 2$.

Y lo malo de esta distorsión es que no puede despreciarse

El operador de la estación 0 (en modo emisión) tiene que observar a la estación 1, y no emitir el siguiente símbolo hasta comprobar que éste lo ha recibido bien, Y en modo recepción, con mayor razón.

Betancourt asignó 36 posiciones a la flecha, separadas 10° entre sí. Su “alfabeto” consistía en 36 símbolos (entre letras, números...).

¿Cómo ve el telegrafista en 0 la posición de la flecha en 1?

23/45

Antes de estudiar cual es la distorsión que se aprecia al observar la flecha de la estación contigua, permítaseme una digresión propia de los **Ingenieros de Telecomunicación**.

Cuando se emiten señales de radiofrecuencia se ocupa una parte del espectro, que forzosamente ha de ser pequeña, ya que la disponible ha de repartirse entre muchos operadores.

24/45

De alguna manera se puede considerar que la frecuencia central del espectro asignado corresponde a una senoide.

El problema de la senoide es que, per se, no transmite información, simplemente allí está.

Entonces hay que “modularla”.

La senoide responde a la fórmula: $A \cdot \sin[2\pi ft + \varphi(t)]$

En ella se puede variar A f o $\varphi(t)$

25/45

Actuando sobre f o φ , variamos el argumento de la función seno, por lo que esencialmente ambos procesos son iguales. Lo llamamos modulación angular.

Volviendo al telégrafo, la flecha lejana se observa mucho más pequeña (lo que sería equivalente a variar la “A” en la fórmula anterior – modulación en amplitud).

Pero esa “modulación” no representa un problema, porque con un buen anteojo la imagen resulta ampliada y todo queda resuelto.

De aquí se deduce que la información contenida en la posición de la flecha está justamente en el ángulo.

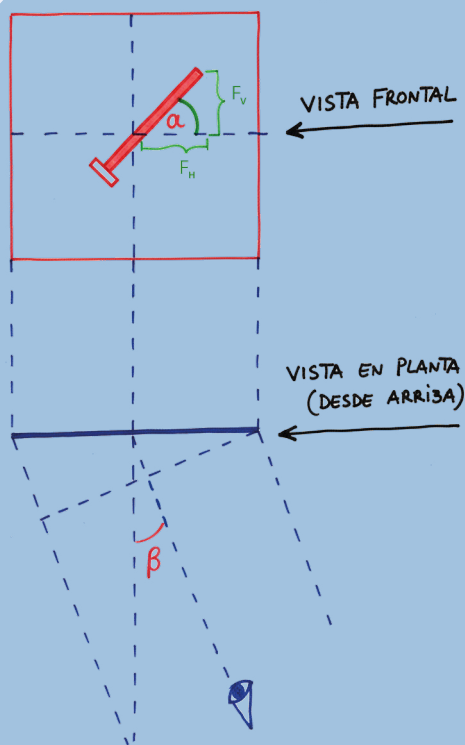
26/45

Pero ese ángulo α' bajo el que se observa la flecha lejana, si el plano de rotación de la flecha en la estación de origen no es perpendicular a la dirección de observación, no coincide con el que realmente tiene en su propia estación de origen, α .

Por lo tanto, procede calcular el ángulo α' con el que se ve la flecha desde lejos.

Sea β el ángulo formado por la perpendicular al plano de rotación de la flecha y la dirección de observación.

27/45



Visto desde arriba, las dimensiones horizontales se contraen según $\cos \beta$.

Si la flecha, en su posición real, tiene las componentes horizontal (F_H) y vertical (F_V) su ángulo será:

$$\alpha = \arctg \frac{F_V}{F_H}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_V}{F_H}$$

28/45

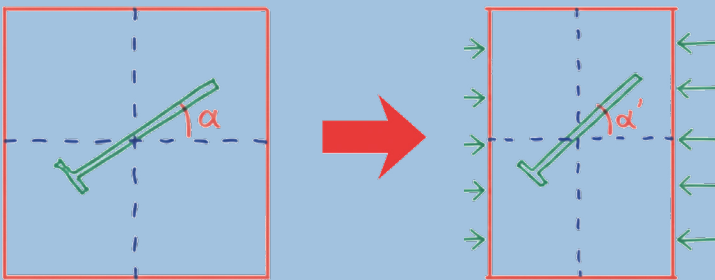
La flecha situada en un ángulo α en la estación lejana se puede considerar como un vector con componentes vertical y horizontal.

Desde el punto de vista del observador, esa flecha es un vector con tamaño equivalente en la componente vertical, pero la componente horizontal se ve contraída.

¿CUÁNTO?

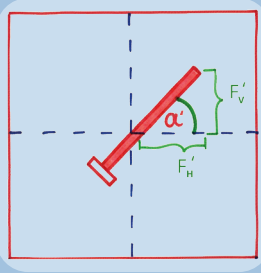
29/45

Volviendo a nuestro esquema, y sabiendo que (debido a la gran distancia), las líneas verticales se observarán como verticales, y las horizontales se observarán como horizontales, el efecto de perspectiva dará origen a una contracción aparente del cuadro en sentido horizontal.



Lo bueno, si sencillo, dos veces bueno.
El telégrafo óptico de Betancourt.

30/45



Es decir, el observador lejano verá la flecha compuesta por F'_H y F'_V , cuya inclinación resulta ser distinta a la de origen.

Como $F'_V = F_V$ y $F'_H = F_H \cdot \cos \beta$, para él el ángulo de visión será:

$$\alpha' = \arctg \frac{F'_V}{F'_H} = \arctg \frac{F_V}{F_H \cdot \cos \beta}$$

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{F'_V}{F'_H} = \frac{F_V}{F_H \cdot \cos \beta} = \frac{1}{\cos \beta} \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

Calculando:

$$\operatorname{tg} \alpha = \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha'$$

Esto es correcto, pero poco “amigable”.

31/45

Y ya ha aparecido el coseno al que me referí al principio. Y volverá a aparecer. Aquí está la clave.

Con esto acabamos el tercio de varas y debemos pasar al de banderillas. En él hay que “avivar” al toro para aumentar su fiereza y fuerza.

En este tercio, Betancourt nos va a “avivar” demostrándonos su preciosa inteligencia.

32/45

Se ha llegado a expresar el ángulo con el que se observa la flecha desde lejos como una expresión matemática.

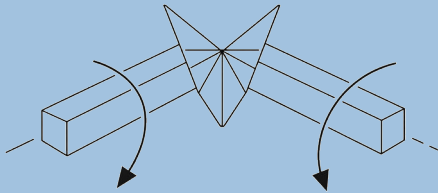
¿Hay que resolver ecuaciones trascendentes para conocer cuál era el símbolo enviado?

No, y ésta y no otra es la genialidad de Betancourt.

33/45

Como hemos cambiado de tercio, vamos a abordar algo que, en principio, no tiene nada que ver con el telégrafo de Betancourt.

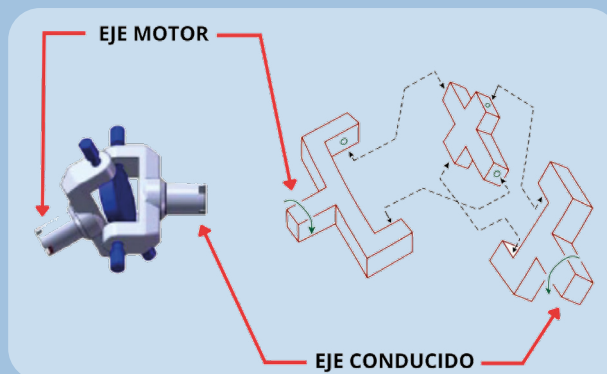
Cuando se ha de transmitir un movimiento de giro de una dirección a otra **no fija sino variable***, no se puede acudir a un engranaje cónico.



*Variable, porque no es lógico diseñar y tallar un engranaje especial adaptado a las características geométricas de cada estación.

34/45

Se atribuye a Cardano (de ahí el nombre de “articulación cardan”) una solución que permite transferir el movimiento giratorio entre dos ejes no alineados.



Como se verá, esa junta no es homocinética, y en este caso, **no solo no es un inconveniente, sino una ventaja.**

Lo bueno, si sencillo, dos veces bueno.
El telégrafo óptico de Betancourt.

Comentario:

El funcionamiento de la articulación cardan se puede apreciar en un gif animado al que conduce el siguiente código QR:



commons.wikimedia.org

35/45

Si el eje “motor” gira un ángulo α , ¿cuánto gira el eje “conducido” α' , en función del ángulo β que forman entre sí ambos ejes?

He visto estudios complicadísimos, pero lo más elegante que he conocido aplica trigonometría esférica.

Se justifica porque los extremos de la horquilla izquierda describen un círculo máximo, e igualmente los extremos de la otra horquilla. Ambos círculos máximos pertenecen a la misma esfera.

Comentario:

En las dos viñetas que siguen se aborda el estudio matemático de la función que relaciona los ángulos girados por los ejes motor (α) y conducido (α') de una articulación cardan.

En la viñeta anterior se ha aludido a la existencia de estudios considerados “complicadísimos”. Como ejemplo, pueden mencionarse los trabajos ‘Agustín de Betancourt’s telegraph: Study and virtual reconstruction’ o el ‘Capítulo 2. Mecanismos. División 3: Juntas articuladas universales’, cuyos detalles completos se encuentran en el apartado de referencias bibliográficas al final del capítulo.

Todo edificio matemático se construye a partir de definiciones y axiomas, y mediante demostraciones se va incrementando el conocimiento. La teoría de la trigonometría esférica ofrece la fórmula del coseno de Bessel, cuya aplicación a la junta cardan es inmediata. Es lo que se desarrolla en las páginas 246 a 248 del tomo IV (MECANISMOS) de la serie “Mecánica”, cuyo autor es Enrique Belda Villena, de Editorial Vizcaína, Bilbao 1959, también mencionado en la bibliografía.

A continuación se va a perfilar el tratamiento matemático de la solución mecánica adoptada por Betancourt.

Tal como ha quedado dicho, en los tratados de Geometría Esférica se estudian los Triángulos Esféricos, y en nuestro caso es de especial interés la fórmula del “Coseno” (por algunos atribuido a Bessel), cuya expresión general es:

$$\cos a = \cos b \cdot \cos c + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A$$

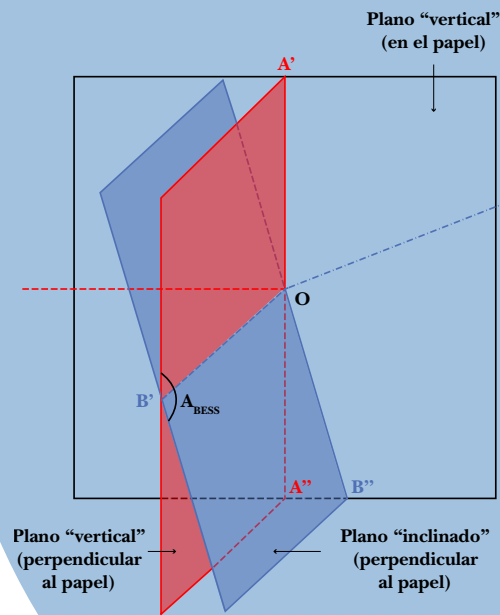
donde la variable en mayúscula (A) se refiere al ángulo opuesto al lado “a” (en minúscula), flanqueado por los lados “b” y “c”. En trigonometría esférica, tanto los lados como los ángulos se miden como ángulos.

En palabras, la fórmula “dice” que el coseno de un lado es igual al producto de los cosenos de lados adyacentes más el producto del coseno del ángulo opuesto por el producto de los senos de los lados adyacentes.

36/45

El objeto es calcular cómo varía el ángulo α' girado por el eje conducido cuando el eje motor gira α . Ello se conseguirá aplicando la fórmula del coseno de BESSEL al triángulo esférico verde-rojo-azul (a-B'-b, o lo que es lo mismo C_{BESS} - A_{BESS} - B_{BESS}). Pero previamente ha de evaluarse el Ángulo A_{BESS} .

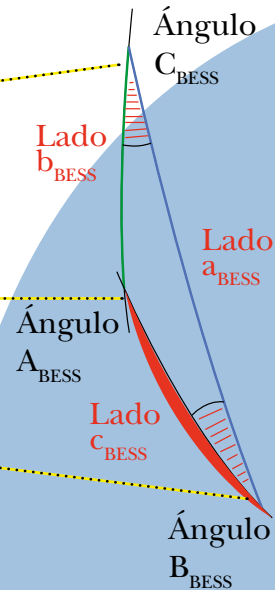
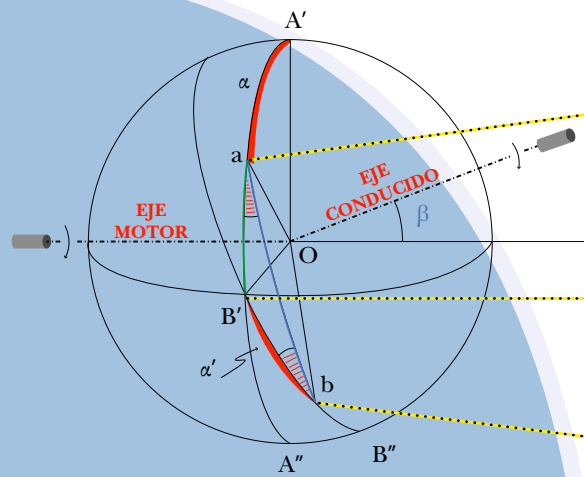
El eje motor y el eje conducido se cortan en un punto, por lo que definen un plano. La perspectiva de la figura es tal que ese plano es el del papel, en otras palabras, "vertical" y "frontal".



El segmento OB' es perpendicular al eje conducido, ya que B' es uno de los dos puntos de anclaje sobre la cruceta de la horquilla conducida.

El ángulo A_{BESS} es justamente el ángulo diedro formado por los planos - en los que se alojan las trayectorias descritas por los extremos de la horquilla motriz (plano rojo) y conducida (plano azul), es decir, $A_{\text{BESS}} = 180^\circ - \beta$.

En el triángulo esférico a-B'-b se observa que:



37/45

$$aB' = 90^\circ - \alpha \text{ (lado verde)}$$

$$B'b = \alpha' \text{ (lado rojo)}$$

$$ab = 90^\circ \text{ (por la construcción de la cruceta) (lado azul)}$$

$$aB'b = 180^\circ - \beta \text{ (viñeta anterior)}$$

es decir:

$$90^\circ - \alpha = b_{\text{BESS}} \text{ (lado verde)}$$

$$\alpha' = c_{\text{BESS}} \text{ (lado rojo)}$$

$$90^\circ = a_{\text{BESS}} \text{ (lado azul)}$$

$$180^\circ - \beta = A_{\text{BESS}}$$

Recordando la fórmula del coseno reflejada en el comentario anterior, y como $\cos(180^\circ - \beta) = -\cos \beta$, por sustituciones múltiples:

$$\cos 90^\circ = \cos(90^\circ - \alpha) \cdot \cos \alpha' + \sin(90^\circ - \alpha) \cdot \sin \alpha' \cdot \cos(180^\circ - \beta);$$

$$0 = \sin \alpha \cdot \cos \alpha' + \cos \alpha \cdot \sin \alpha' \cdot (-\cos \beta);$$

$$\sin \alpha \cdot \cos \alpha' = \cos \beta \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha';$$

Dividiendo ambos miembros entre $\cos \alpha \cdot \cos \alpha'$:

$$\frac{\sin \alpha \cdot \cos \alpha'}{\cos \alpha \cdot \cos \alpha'} = \frac{\cos \alpha \cdot \sin \alpha'}{\cos \alpha \cdot \cos \alpha'} \cdot \cos \beta$$

Manipulando:

$$\frac{\sin \alpha \cdot \cos \alpha'}{\cos \alpha \cdot \cos \alpha'} = \cos \beta \cdot \frac{\cos \alpha \cdot \sin \alpha'}{\cos \alpha \cdot \cos \alpha'}$$

$$\boxed{\text{tg } \alpha = \cos \beta \cdot \text{tg } \alpha'}$$

38/45

Ha vuelto a aparecer el coseno. ¡Albricias!, o quizá ¡Eureka!, que debió exclamar Betancourt.

Si dos procesos absolutamente independientes responden a la misma ley, entonces uno de ellos puede aplicarse como computadora analógica con respecto al otro.

Y así, Betancourt, usando la articulación cardan “computaba” cual era en realidad el ángulo real en la estación de origen α mediante la observación del ángulo α' con el que se veía de lejos.

39/45

Ya acabamos de completar el segundo tercio, aventurándonos por un camino aparentemente muy alejado de nuestro tema.

Ahora procede comenzar el tercer y último tercio, el de la muerte, en el que el diestro se luce en la faena de muleta, adaptando sus habilidades al comportamiento del toro.

Betancourt, conociendo el problema que planteaba su solución para el telégrafo, e igualmente conociendo cómo funciona una junta cardan, hace uso de sus conocimientos para alcanzar una solución genial.

Comentario:

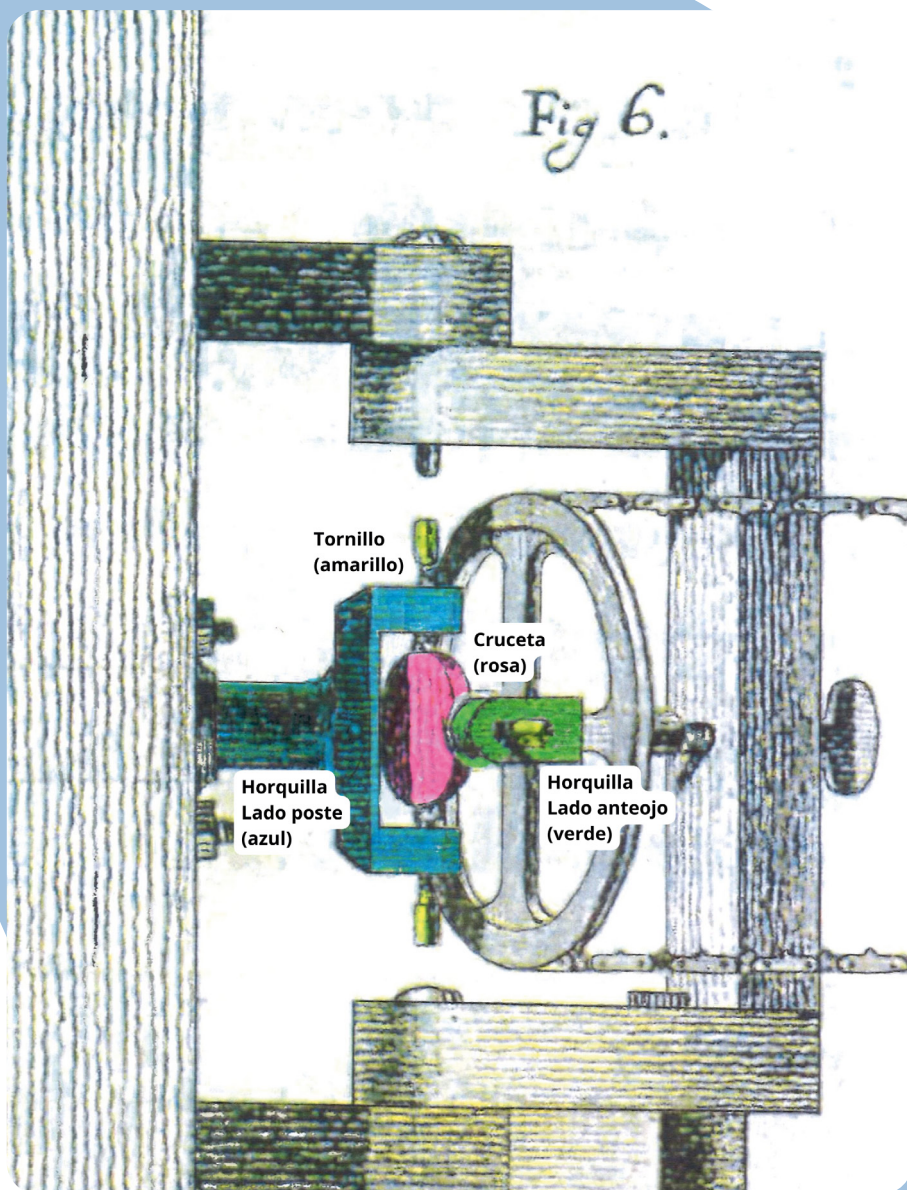
La figura que se inserta a continuación (que es la junta o articulación Cardan) no se proyectó en la Jornada del 9 de octubre. No obstante, se ha considerado interesante incluirla en este documento, por dos razones:

- a. porque es un detalle constructivo muy bien delineado en la lámina original de Betancourt, en el que aparecen muy claramente las distintas partes que la componen (que aquí han sido resaltadas con distintos colores), y

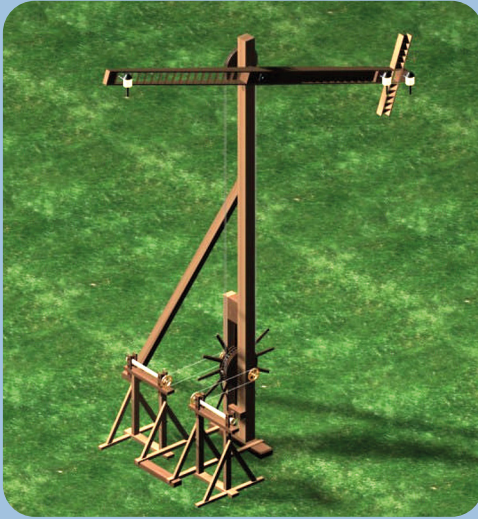
Lo bueno, si sencillo, dos veces bueno.
El telégrafo óptico de Betancourt.

- b. porque el hecho de que Betancourt le dedique nada menos que una figura permite interpretar esa decisión en el sentido de lo importante que para nuestro inventor era esa pieza. Sin ella la “transcripción” de las posiciones de las flechas de las estaciones contiguas hubieran dado lugar a multitud de errores.

40/45



Fuente: fundacionorotava.org



En esta imagen se representa el poste repetidor, y abajo dos anteojos.

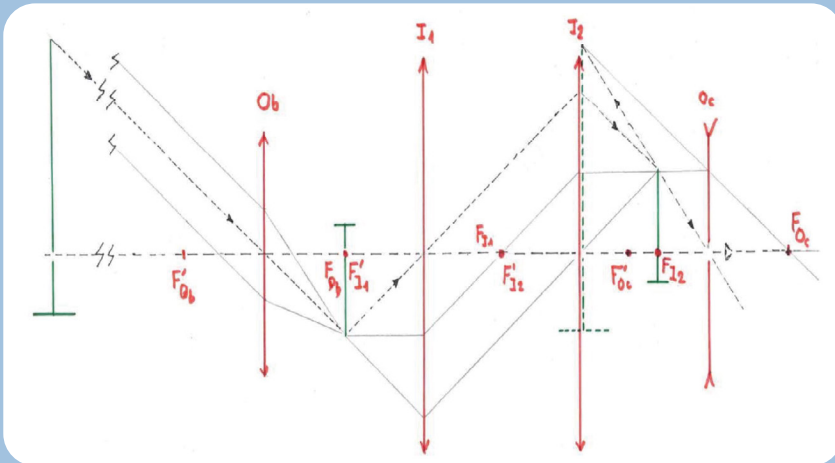
Los anteojos se dirigen a las estaciones anterior y siguiente.

Por lo tanto, si las estaciones contiguas no están alineadas, esta imagen representa un caso hipotético que nunca se da.

Comentario:

- Dentro de cada anteojo se sitúa una retícula que puede girar, ya que está unida mecánicamente (por una cadena) con la posición de la flecha).
- Al observar a través del telescopio se ve la flecha lejana y la posición (retícula) de la flecha local. Si coinciden, la recepción es correcta. De lo contrario, hay que girar la flecha local hasta que coincidan.

42/45



Anteojo terrestre, con lente objetivo (Ob), par de lentes inversoras (I_1 e I_2), y lente divergente ocular (Oc).

Comentario:

Este es el camino óptico que siguen los rayos luminosos en un anteojo terrestre.

Como la imagen quedaría invertida, se introduce un par “inversor” consistente en dos lentes convergentes dentro del anteojo.

Esto aumenta el tamaño del anteojo, pero en esta aplicación no constituye problema, al revés, permite un mejor anclaje en la mesa de observación.

La imagen precedente no es un invento de Betancourt. Era una aplicación ya conocida.

Resumendo: La retícula de cada anteojo debe estar movido por el eje de salida de la cardan, con lo cual resulta que no está dirigido a la estación a la que se supone debe apuntar.

Pero el uso de la cardan es absolutamente necesario para compensar el efecto (distorsión) de perspectiva, y no confundir un símbolo con otro.

En la información estudiada no se aborda este problema, pero es fácil aventurar que la solución está en añadir, entre la salida de la cardan y la entrada del anteojo, una junta homocinética.

Es de sospechar que Betancourt debió de ser consciente de que con una junta cardan se compensaba el efecto de distorsión de la perspectiva, pero como con esa compensación el anteojo quedaba orientado en una dirección que no apuntaba al repetidor deseado, era necesario introducir una junta homocinética adicional.

De nuevo, la junta cardan viene al rescate.

Porque, mediante dos juntas cardan, una detrás de otra y adecuadamente acopladas, el efecto de una queda compensado por el de la otra, y el conjunto funciona como una junta homocinética.

En definitiva, acudiendo a las juntas cardan, se puede compensar el efecto de perspectiva y apuntar correctamente al telégrafo en cuestión.

¿Se puede pedir más?

Acabamos de comprobar cómo Betancourt,

- Conociendo los problemas a los que se enfrentaba con la solución de una única flecha de su telégrafo, y
- Conociendo también las características especiales de cómo se transmite un movimiento giratorio en una junta cardan,
- Supo combinar ambos conocimientos y utilizar esa junta como un computador analógico que le resolvía el problema.

Pero mejor que mis palabras es acudir a lo que Silva Suárez expresa en un libro publicado en la Universidad de Zaragoza en 2013, y que dice algo así como:

La idea genial “surge del uso intensivo de la síntesis mediante el entrelazamiento operativo de diferentes partes, que pueden ser de naturaleza muy diversa, empleando conocimientos de disciplinas complementarias”.

BIBLIOGRAFÍA

- ‘Agustín de Betancourt’s Optical Telegraph: Geometric Modeling and Virtual Reconstruction’ (págs. 1–12, figura 3). José Ignacio Rojas-Sola y Eduardo De la Morena-De la Fuente, 9 March 2020. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/5/1857>.
- ‘Capítulo 2.3 - Mecanismos: Juntas Articuladas y Análisis Cinético’ (versión 2014, pág. 7, ecuación 2.3.4). Profesor Dr. Ing. Marcelo Tulio Piovan. Disponible en: <https://www.studocu.com/bo/document/facultad-nacional-de-ingenieria/mantenimiento/capitulo-23-mecanismos-juntas-articuladas-cap02-03/90031200>.
- ‘Betancourt: los inicios de la ingeniería moderna en Europa. Texto de los paneles’ (pág. 15, ilustración 4). Alarcón Marca Armando, 1996. Editorial Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. ISBN: 978-84-7790-250-8.

- ‘Cardan joint intermediate shaft, top view’ (GIF animado). Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cardan-joint_intermediate-shaft_topview_animated.gif.
- ‘Agustín de Betancourt’s machine operation’ (GIF animado). Disponible en: <https://fundacionorotava.org/betancourt/machines/1/operation#:~:text=El%2520principio%2520de%2520esta%2520m%C3%A1quina%2520consiste%2520en,%20conduce%2520a%2520la%2520lectura%2520del%2520mensaje%2520transmitido>.
- ‘Agustín de Betancourt’s telegraph: Study and virtual reconstruction’ (págs. 8–9, fórmula final de la pág. 8). Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/server/api/core/bitstreams/fbc65920-a839-41fa-9036-c348ead82082/content>.
- ‘Capítulo 2. Mecanismos. División 3: Juntas articuladas universales’ (pág. 4, fórmula 2.58). Disponible en: <https://studylib.es/doc/5741283/cap%C3%ADtulo-2-tercera-parte>.
- Colección “Mecánica”, Belda Villena, E., tomo IV (MECANISMOS), páginas 246 a 248, Editorial Vizcaína, Bilbao, 1959.

ANTONIO MORENO CALVO
INGENIERO DE TELECOMUNICACIÓN

El tiempo de Agustín de Betancourt y Napoleón Bonaparte: ideas, máquinas y revoluciones.

Dr. María A. Sáenz-Nuño

Dpto. Ing. Mecánica

IIT – Universidad Pontificia Comillas Madrid

Contenido

1. Introducción	122
2. Tenerife (1758 – 1778) [2] hasta los 19 años de edad.....	125
3. Madrid: formación (1778-1784) [2] de los 19 a los 25 años de edad...	137
4. París: primera estancia (1784- noviembre de 1788) [2] de los 25 a los 29 años de edad.....	144
5. Inglaterra: primer viaje (11 de noviembre a 10 de diciembre de 1788) [2] a los 29 años de edad.....	149
6. París: segunda estancia (diciembre 1788-1791) [2] de los 29 a los 32 años de edad.....	150
7. Madrid: segunda estancia (1791-octubre 1793) [2] de los 32 a los 34 años de edad.....	155
8. Inglaterra: estancia (octubre 1793- octubre 1796) [2] de los 34 a los 37 años de edad.....	159
9. París: tercera estancia (octubre 1796 – febrero 1797) [2] de los 37 a los 38 años de edad.....	164
10. Madrid: tercera estancia en Madrid (febrero a agosto 1797) [2] a los 38 años de edad.....	165

11. París: cuarta estancia (septiembre 1797 – noviembre 1798)	
[2] de los 38 a los 39 años	166
12. Madrid: cuarta estancia (diciembre 1798 – mayo 1807)	
[2] de los 39 a los 48 años de edad.....	167
13. París: quinta estancia (mayo 1807 – octubre 1807)	
[2] a los 48 años de edad.....	177
14. Rusia: primer viaje (octubre 1807 – mayo 1808)	
[2] de los 48 a los 49 años de edad.....	178
15. París: sexta estancia (mayo 1808 – septiembre 1808)	
[2] a los 49 años de edad.....	179
16. Rusia: estancia final (octubre 1808-julio 1824)	
[2] de los 49 a los 66 años de edad.....	180
17. Conclusiones	199
18. Anexo A: Eventos “napoleónicos” en Europa	
en tiempos de Agustín de Betancourt	200
19. Anexo B: Cronología de Napoleón Bonaparte	205
20. Anexo C: Eventos históricos en la Europa Napoleónica	206
21. Bibliografía	221

Introducción

Este capítulo no solo mostrará la biografía de la gran figura de Agustín de Betancourt, que tantas veces ha sido recogida en mucha de la bibliografía que aquí mismo se cita, sino que el texto se centra también en el amplio y complejo escenario histórico en el que desarrolló su vida y su obra. Más que un retrato biográfico aislado, lo que se propone es una mirada panorámica al mundo que Betancourt habitó: un periodo marcado por la Ilustración, la Revolución Francesa, el ascenso de Napoleón Bonaparte y el avance acelerado de la Revolución Industrial. Estos procesos no solo influyeron decisivamente en su formación y en su carrera como ingeniero, sino que definieron las coordenadas culturales, científicas, políticas e incluso geográficas que hicieron posible su pensamiento técnico.

Así, el capítulo examina cómo las ideas ilustradas sobre el progreso, la razón y la utilidad pública configuraron una nueva cultura de la ingeniería, cómo la ines-

tabilidad política y militar de la Europa revolucionaria —especialmente bajo el dominio napoleónico— abrió espacios inéditos para la modernización científica y tecnológica y cómo la revolución industrial transformó las infraestructuras, los oficios y las expectativas sociales respecto al papel de los ingenieros. Betancourt, lejos de ser una excepción, se convierte aquí en una referencia privilegiada para comprender un momento de profundas transformaciones, en el que la técnica, la política y la ciencia avanzaron entrelazadas.

En este sentido, hablar de Betancourt es hablar también de su tiempo: de las instituciones que impulsaron el saber técnico, de los debates que rodearon el proyecto ilustrado, de las tensiones entre tradición y modernidad, y de la construcción de un nuevo mundo industrial que redefinió la vida cotidiana en Europa. El capítulo invita, por tanto, a situar al ingeniero dentro de una trama más amplia, donde las ideas, las máquinas y las revoluciones se encuentran para dar forma al nacimiento de la modernidad.

Quisiera expresar mi especial agradecimiento a Antonio Moreno Calvo, cuya generosidad en la revisión de este capítulo ha sido fundamental. No puedo, ni debo ni quiero olvidar a mis compañeros en esta publicación, Francisco González Posada, Eloy Álvarez Pelegrý y Luis Mansilla así como al coordinador, Manuel Avendaño Gascón, por su apoyo incondicional.

El tiempo de Agustín de Betancourt y Napoleón Bonaparte: ideas, máquinas y revoluciones desde la Ilustración hasta la Revolución Industrial

Agustín de Betancourt forma parte de la pléyade de científicos que en el siglo XVIII y XIX dieron gran impulso a las Ciencias de la Naturaleza y Experimentales: matemáticas, física y química. Un hijo ilustre de Canarias, incansable trabajador por las ciencias, ingeniero e inventor destacado de todos los tiempos y países, fue una de las grandes figuras de la ciencia española y universal que llevó el fruto de su ingenio a España, Francia y Rusia [1].

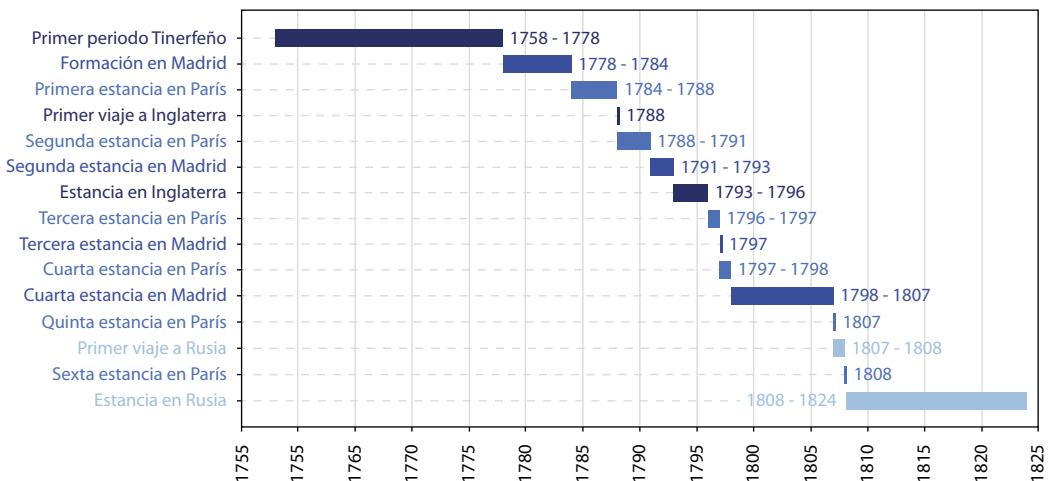
Agustín destacó por sus firmes convicciones en el progreso y la educación, junto con su pasión por las máquinas y la técnica y su enorme proyección en obras públicas [2]. Y no hay que olvidar que España, gracias a él, estuvo presente en los albores

de la nueva ciencia de la ingeniería, que posteriormente se ha conocido como la Teoría de Máquinas y Mecanismos [3]. Hay que lamentar la poca aplicación práctica, en aquel momento, de aquellos conocimientos incipientes. Ello se debió a la situación histórica que atravesaba España, que incluso llevó a Betancourt a seguir desarrollando su carrera profesional en otros países. En 1808, el mismo año de publicación del *Essai*, a la vista de la evolución de los acontecimientos en España, Betancourt decidió entrar al servicio del emperador ruso. Así, contribuyó de manera muy especial al nacimiento de la importante Escuela Mecánica Rusa, que, años más tarde, pasaría a ser uno de los pilares fundamentales del desarrollo de la Teoría de Mecanismos y Máquinas. La obra recopilada con tanto esfuerzo para el Real Gabinete de Máquinas en España –planos y maquetas–, tras diversos avatares, desapareció sin dejar rastro y sin cumplir la función de difusión de las tecnologías de máquinas, para la que había sido coleccionada y de la que tanta necesidad había en España [3].

En Rusia demostró las habilidades y los conocimientos adquiridos y los aplicó al diseño y construcción de numerosos dispositivos [3]. En la tierra de los zares descansan sus restos y aún se conservan muchas de sus obras [1].

Una vida tan intensa, larga y fructífera como la de Agustín de Betancourt, resulta difícil de describir. Por ello, sirva como esquema una cronología resumida de la misma que se utilizará como hilo conductor el resto del documento:

Figura 1: Cronología de la vida de Agustín de Betancourt partir de [2] (elaboración propia).



Pero para hablar de Agustín de Betancourt, su itinerario vital es inseparable de dos situaciones que confluyeron históricamente. Por un lado la Ilustración. Esta época constituyó posiblemente el movimiento espiritual y científico/cultural eu-

ropeo más importante desde la Reforma, influyendo sobre el desarrollo político del siglo XVIII (siglo de las luces). Sus raíces profundas entroncaron con el humanismo renacentista. Sus antecedentes inmediatos fueron el racionalismo del siglo XVII y el auge alcanzado por las ciencias de la naturaleza, la investigación y la técnica [5]. El ideal de la Ilustración era la Naturaleza dominada por la razón. Los grandes núcleos urbanos, las Academias y las Universidades constituyeron los centros difusores de la Ilustración [5]. Por otro lado es inevitable hablar de la convulsión de Napoleón Bonaparte en toda Europa. Así, en este trabajo se presentan sucintamente la biografía de Agustín de Betancourt, sus aportaciones científicas dentro de esa gran explosión científica y cultural que fueron los siglos XVIII y XIX y todo ello enmarcado en una sociedad políticamente convulsa zarandeada por las numerosas batallas que Napoleón protagonizó esparcidas por la Europa de la época.

Tenerife (1758 – 1778) [2] hasta los 19 años de edad

En casi estos primeros 20 años de vida, las Colonias españolas comenzaron a cambiar significativamente, pero es la vida cultural y científica las que marcaron el panorama internacional.

En febrero de 1758 nació Agustín de Betancourt [4] en la Orotava [1], bajo el reinado de Fernando VI [5]. En 1758 también nació Maximilien Robespierre abogado, escritor, orador y político francés apodado “el incorruptible” [28], figura clave en la Revolución Francesa. Robespierre creyó que el evangelio proclamado por la Revolución era el verdadero evangelio del cristianismo y en vano intentó detener la anarquía y dar forma a la sociedad mediante sus convicciones [104].

La Orotava era el núcleo de esplendor cultural y comercial de la época en Canarias [1]. Agustín fue el segundo de once hermanos [6], hijo de un Teniente Coronel de Infantería y Caballero profeso de la Orden de Calatrava e hijo de una de las hijas de los cuartos Marqueses de Villafuerte [59]. Atendiendo a su nivel social, su madre le introdujo a él y a sus hermanos en el mundo de las primeras letras, les enseñó a leer, escribir, música, artes y francés, sin olvidar los valores, los modales y las reglas sociales que requerían las personas de su clase [4].

En París, en 1751 comenzó a publicarse la Enciclopedia, editada por d'Alambert y Diderot. La *Encyclopédie, ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers* [98] tuvo por propósito reunir y difundir, en un texto claro y accesible, los frutos del conocimiento y del saber acumulados hasta entonces a la luz de la razón. De esta manera, exponía la ideología laicista, pragmática, materialista y burguesa de la Ilustración [5] y [27].

La escuela de *De l'Épée*, fundada en 1755 en Francia, fue la primera que mediante un sistema de señas *metódicas*, una combinación del lenguaje de señas de sus alumnos sordos y de la gramática francesa por señas, permitió al estudiante sordo entender lo que se le decía a través de un intérprete que hablaba por señas. Demostró ser un método tan fructífero que permitió por primera vez que los alumnos sordos corrientes pudiesen leer y escribir el francés y adquirir así una educación. De l'Épée formó a gran número de maestros de sordos, que, cuando él murió, en 1789, habían fundado ya veintiuna escuelas para sordos en Francia y en el resto de Europa. El futuro de la propia escuela de De l'Épée, incierto durante la vorágine de la Revolución, quedó asegurado al convertirse en 1791 en el Instituto Nacional de Sordomudos de París, dirigido por el distinguido gramático Sicard. El libro de De l'Épée, tan revolucionario en su campo como el de Copérnico, no se publicó hasta 1776 [140]. Uno de esos discípulos, José Miguel Alea, que visitó a De l'Épée en sus últimos años, fundó el primer colegio de señas para sordos de España (el Colegio Real de Sordomudos) en Madrid en el año 1805 [140].

Pero no solo en Europa la Ilustración se manifestaba, también cruzó el Atlántico y en Estados Unidos, en 1752, Franklin inventó el pararrayos [5].

En 1753, en la esfera política en España, se firmó el Concordato con la Santa Sede que satisfizo a las corrientes regalistas, suprimió los expolios y vacantes y concedió al rey de España el patronato regio [5].

En Europa, entre 1756 y 1763 se desarrolló la *Guerra de los Siete Años*, en la que España mantuvo su neutralidad. El resultado favoreció a Inglaterra y para Francia fue el derrumbamiento de su primer imperio colonial [5].

En España en 1758 se firmaron las primeras medidas contra los privilegios de la Mesta, y a partir de 1771 se elaboraron continuos informes y proyectos para la reforma agraria [5].

En 1755, en Rusia, se había fundado la Universidad de Moscú y se elaboró un proyecto de escuelas primarias y medias que no llegó a realizarse [5]. Desde 1762 Catalina II la Grande difundió la Ilustración y dio lugar a partir de 1763 a un gran auge político [5].

En Europa, en 1758, Carlos Linneo publicó su décima edición del *Systema naturæ*, punto de partida para la nomenclatura zoológica [9] y Strutt inventó una máquina de canalé para fabricar medias [139].

En 1759, “Capability” Brown mejoró el diseño de jardines [139] y Brindley construyó un acueducto de canal sobre el río Isewell, ambos en Inglaterra [139]. También allí, en 1759, Harrison desarrolló su cronómetro marino H3 y en 1761 el H4 [10] y [139]. El reloj de Harrison H5 dejó impresionado a Jorge III de Bretaña, en 1772, pues tras un período de diez semanas en la mar el reloj solo había perdido la tercera parte de un segundo por día [41]. En ese mismo 1759 en Europa, Handel falleció, [12] y [139], y el cometa Halley hizo su aparición de nuevo [11] y [139].

Al morir Fernando VI en España sin descendencia en 1759, ocupó el trono su hermano Carlos III, confirmando los ministros anteriores, excepto al de Hacienda que sustituyó por Esquilache [5].

En España, Carlos III realizó importantes acciones de gran relevancia. A partir de 1762 algunas fueron restricciones a los derechos temporales del clero, licitaciones a la explotación directa de propiedades monacales, liberalización del comercio con las Antillas, entre otros. Los manteístas¹ comenzaron a ocupar cargos públicos en detrimento de los colegiales² [5]. Ese mismo año Bernardo Ward, irlandés afincado en España, en su *Proyecto económico* previó la pérdida de las colonias y propugnó una economía basada en la industria [5].

En 1759 se expulsó a los jesuitas de Portugal [17], en 1764 el Parlamento de París decretó el destierro de su jurisdicción, al igual que Rouenn, Pau y Toulouse [18]. Así, siguiendo esa tendencia, Carlos III, en 1767 también los expulsó de España [16]. A ellos se les debió la creación y los primeros años del Colegio Imperial de Madrid, que cambiaría su nombre por el de *Reales Estudios de San Isidro de Madrid* (primer centro de enseñanza dotado de un plan moderno) en el Real Decreto de 1770 y donde Agustín de Betancourt estudió posteriormente [5].

En España, si bien Felipe V fomentó la investigación y la cultura a través de las Academias, fue con Carlos III que proliferaron las Sociedades Económicas desde 1764, apoyadas por el Consejo de Castilla [5]. Las Academias, Sociedades Económicas y publicaciones periódicas constituyeron los instrumentos difusores de la

1 Estudiantes universitarios que no pertenecían a un Colegio Mayor y, por lo tanto, no vestían la beca (prenda de distinción), sino simplemente la capa o manto universitario.

2 Estudiantes de élite que controlaban el acceso a los altos cargos.

Ilustración frente a las Universidades (intelectual y estructuralmente anquilosadas) [5]. En 1762 apareció el diario *El pensador* de Clavijo y Fajardo [5]. En general los diarios fueron breves y con graves consecuencias para sus autores. Algunos se dedicaron a la divulgación científica, literaria y política de los principios ilustrados [5].

En Inglaterra, en 1760, comenzó a construirse *El Royal Crescent*³ en Bath y Campbell inventó un sextante para la medición de la latitud en los barcos, utilizándose por primera vez en navegación [139]. En la década de los 60, se fundó la colonia británica en Australia [139].

En 1761, Herschel descubrió el planeta Urano [139].

En 1762, Rousseau publicó *El contrato social* [139], Isabel I de Rusia construyó El Palacio de Invierno de San Petersburgo, Roebuck inventó un proceso para convertir el hierro colado en hierro maleable [139] y se descubrió la primera vacuna moderna [139] en Inglaterra.

En Europa en 1763 se publicó el tratado *Recueil de planches, sur les sciences, les arts libéraux, et les arts mécaniques, avec leur explication* de Denis Diderot (1713-1784) y Jean le Rond D'Alembert (1717-1783) [3], que como ya se había comentado eran los editores de la Enciclopedia y Lind demostró que los cítricos prevenían el escorbuto [139].

A pesar de la hostilidad entre Catalina de Rusia y Federico de Prusia, ambos países firmaron una alianza defensiva en 1764 [5].

Es España, se creó en 1765 *la Tertulia de Nava*, entidad que coadyuvó al conocimiento y difusión de las ideas ilustradas a través de conocidos ilustrados como fueron Tomás de Nava y Grimón, Lope Antonio de la Guerra, José de Viera y Clavijo y otros, como el padre de Agustín de Betancourt. Fue un foco de opinión y crítica, casi podría decirse itinerante, donde se recibían y discutían las nuevas ideas filosóficas, que llegaban en libros conseguidos, a menudo, de forma clandestina y donde Agustín de Betancourt expondría algunos de sus trabajos [6].

En Inglaterra, en 1764, se utilizaron las primeras máquinas hiladoras y se introdujeron los números de las casas en Londres. Al año siguiente, también en Inglaterra, se imprimieron por primera vez peniques con una máquina [139].

³ Conjunto residencial de 30 casas adosadas en forma de media luna que es uno de los máximos ejemplos de arquitectura georgiana en el Reino Unido, reconocido por su fachada monumental de 150 metros con 114 columnas jónicas frente al parque Royal Victoria.

En España, en 1765 el Secretario de Estado marqués de Grimaldi contrató al franco-suizo Jean Maritz para introducir en las fábricas de artillería españolas el nuevo procedimiento de fundición en sólido [46].

En 1765 en Londres, el Parlamento Británico publicó la *Stamp Act*, la *ley del sello*, ley del timbre que suponía un impuesto directo y específico para las trece colonias americanas, que requería que la mayoría de los materiales impresos en las colonias se publicaran en papel sellado y producido en Londres (Inglaterra), timbrados con un sello fiscal en relieve. Estos materiales impresos eran documentos legales, revistas, periódicos y muchos otros tipos de papel utilizados en todas las colonias. Al igual que los impuestos anteriores, el impuesto a los sellos tenía que ser pagado en moneda británica vigente, no en papel moneda colonial. El objetivo del impuesto era ayudar a pagar a las tropas ubicadas en América del Norte después de la victoria británica en la *Guerra de los Siete Años* y controlar la creciente libertad de prensa de dichas colonias [29].

En 1765 Niebuhr realizó su viaje y expedición científica a Arabia Central [5].

En el ámbito de la química se descubrieron en 1766 el Hidrógeno por Cavendish [139], en 1772 el azoe (nitrógeno) por Rutherford y en 1774 el oxígeno por Scheele y Priesley [5].

En España en 1766 estallaron los *motines populares de Esquilache* como reacción a la Real Orden sobre indumentaria [21]. También este año se iniciaron en España los planes de reforma universitaria, que no desmontaban el sistema ni anulaban el espíritu de casta de los Colegios Mayores [5]. En 1768 las universidades pasaron a la jurisdicción real y se reorganizó el ejército, anulándose en 1771 la validez universitaria a los cursos de conventos y seminarios [5].

Ya en 1766, Cavallo experimentó con la electricidad y Marie inventó una salida de incendios utilizando una cesta con polea y cadenas [139].

Entre 1766 y 1768 Bougainville arribó a Polinesia y Melanesia. El inglés James Cook, gran geógrafo científico, comenzó en 1768 sus viajes científicos y recorrió la costa oriental de Australia circunvalando el globo terráqueo [5], [139] hasta 1771 [23].

En España en 1767 en Sierra Morena se llevó a cabo el primer ensayo de colectivismo agrario en España [5].

En el ámbito internacional, en 1767 se iniciaron *Las Guerras AngloMysore*, que fueron una serie de cuatro conflictos librados entre el Reino de Mysore y la Compañía Británica de las Indias Orientales, marcando un capítulo crucial en la histo-

ria colonial de la India. La guerra terminó sin un claro vencedor con el Tratado de Madrás, que mantuvo el *statu quo* pero que no evitó futuros conflictos [24].

En 1768, en Inglaterra se establecieron los Jardines Botánicos de Kew y se construyó el Primer Teatro de Drury Lane [139].

Las reducciones del Paraguay de los jesuitas pasaron a ser regidas por los franciscanos desde 1768 [5].

En el ámbito de las máquinas y aparatos, puede decirse que esta época fue la gran Primera Revolución Industrial. A modo de ejemplo, en 1764 se desarrolló la máquina de hilar de Hargreaves, revolucionando la industria textil [5] que patentó en 1770. En 1769 Watt perfeccionó la máquina de vapor [5], a partir de diseños de Newcomen y Smeaton [22] y obtuvo la patente de su máquina de vapor mejorada [139].

John Smeaton (1724-1792) analizó el comportamiento de las máquinas de Newcomen, estudió las dimensiones de los cilindros y mejoró la eficiencia al aumentar la carrera del pistón en relación con su diámetro. Diseñó una máquina herramienta para mejorar el acabado superficial del interior del cilindro y, con ello, el ajuste entre el pistón y el cilindro. Con todas estas modificaciones logró incrementar notablemente la eficiencia y obtuvo un ahorro importante de combustible. La máquina que implantó en Cornualles en 1775 tenía una potencia de 7.7 CV y disponía de un cilindro de 18 cm de diámetro con una carrera de 27 cm. Sin embargo, la eficacia térmica global era tan solo del 1 %.

La máquina de Watt tuvo un papel relevante para mover máquinas y aparatos tan diversos como bombas, locomotoras, motores marinos, entre otros. También en 1769 Richard Arkwright inventó la hiladora hidráulica [105] (diseño basado en parte en una máquina de hilado construida por Thomas High, quien fue contratado por Arkwright). Dicha hiladora fue conocida como *water-frame* y ayudó a impulsar la Revolución Industrial. La máquina de Arkwright era mucho más rápida que otras máquinas y podía funcionar por sí sola. Se construyeron nuevas fábricas para alojar estas máquinas y muchas personas que hilaban a mano en casa se vieron obligadas a dejar su trabajo. En 1771 Richard Arkwright fundó la primera factoría de algodón hidráulica del mundo en Cromford, Derbyshire, siendo uno de los precursores de la Revolución Industrial [26] y [139].

Entre 1768 y 1774 se desarrolló la primera guerra ruso-turca y como consecuencia se produjo la primera partición de Polonia en 1772. Los federados de Bar quedaron impotentes ante las tres potencias y Rusia pudo centrarse en la guerra contra Turquía en el mar negro [5]. Las armas rusas vencieron en gran medida al

Imperio Otomano. La victoria de Rusia introdujo a Kabardia, parte de Moldavia, el Yedisán entre los ríos Bug y Dniéper, y Crimea a la esfera de influencia rusa [76].

En 1768 Jean Jacques Rousseau publicó *Emilio*, un tratado filosófico sobre la naturaleza del hombre [8].

En 1769 nació Napoleón Bonaparte [34], que tanta influencia tuvo sobre la política europea.

A partir de 1769, España inició la construcción de una serie de 21 misiones a lo largo de *Alta California*, desde San Diego hasta Sonoma, como una forma de asentarse en la nueva frontera. La época de las misiones en California terminó en 1834 [35].

En Francia, entre 1768 y 1774 el ingeniero Jean-Rodolphe Perronet construyó el puente de Neuilly-sur-Seine, conocido por sus múltiples diseños de puentes entre otros el Pont-Sainte-Maxence (1774-1785) y su obra maestra el puente de Luis XVI (1786-1791) (actualmente puente de la Concordia de París) [30].

En 1769, Cugnot inventó la carreta de vapor (el primer vehículo automóvil real) por ser movido por una máquina de vapor [139].

En España en 1770 se inauguraron los *Reales Estudios de San Isidro* de Madrid, en el antiguo *Colegio Imperial* de los jesuitas [25]. Fue el primer centro de enseñanza dotado de un plan moderno [5]. Jorge Juan, otro gran ilustre español, fue nombrado director del Real Seminario de Nobles (institución dentro de los Reales Estudios [25]) y Diego Rostriga pasó a ser maestro *instrumentario* del Gabinete de Física de esa institución. Muy posiblemente colaboraron ambos estrechamente en el diseño y elaboración de las piezas de las dos máquinas de vapor terminándose la primera en 1772 con la ayuda de Sánchez Bort y siendo funcional en 1773 [47].

En el Real Decreto de 1770 se estableció el sistema de oposición para la provisión de las cátedras y pasantías vacantes para los *Reales Estudios de San Isidro*. El nombramiento en último término correspondía al Rey a propuesta del Consejo de Castilla. El sistema y procedimiento establecidos ofrecían una cierta semejanza con el tradicionalmente seguido en las cátedras universitarias, objeto de reformas en aquellos años en busca de uniformidad y control sobre la actuación de los tribunales. Nada se decía en el Real Decreto de 1770 de los *Reales Estudios de San Isidro* sobre la orientación y objetivos de la *Física Experimental*, pero la inclusión de este último adjetivo y la dotación posterior de dos ayudantes para el cuidado y manejo del gabinete de máquinas existente, indican una clara ruptura con la física escolástica, de índole más filosófico-teórica, que se enseñaba en las facultades de Artes [25].

Así se realizaban oposiciones a tres disciplinas: Derecho Natural y de Gentes, Física Experimental y Matemáticas. La creación de los *Reales Estudios* supuso la configuración de un nuevo espacio social y académico a ocupar por aquellos titulados y profesionales (juristas y teólogos; filósofos y médicos; profesores y militares) que se creían más capacitados para ocupar las cátedras y pasantías que llevaban en germen la génesis de una red de relaciones con otros establecimientos docentes de carácter público o semipúblico y, en consecuencia, de un sistema educativo nacional con unos planes de estudio uniformes [25]. Se estaba llevando a cabo una profesionalización de los docentes o de quienes aspiraban a serlo y configurando las disciplinas como espacios sociales acotados por unos profesionales determinados. Las escasas referencias al linaje, honor o méritos familiares -a diferencia de lo que era usual para otros empleos públicos- prueban el predominio, en este ámbito profesional, del ideal meritocrático [25]. A esta institución acudiría Agustín de Betancourt pensionado.

En 1770, en Hispanoamérica, el abate Raynal y Diderot publicaron una voluminosa obra destinada a *contaminar* a los criollos hispanoamericanos con turbias luces de la falsa ilustración anglofrancesa. Adulando astutamente a sus élites, lograron devastadores resultados, sobre todo en Caracas [127] .

En Europa, principalmente los años 70 y 80 de ese siglo XVIII puede decirse que fueron testigos del desarrollo del análisis y la síntesis cinemática de mecanismos [3].

En 1770 nació Ludwig van Beethoven en Bonn, compositor, director de orquesta, pianista y profesor de piano alemán. Su legado musical abarca, cronológicamente, desde el Clasicismo hasta los inicios del Romanticismo pasando obviamente por la Ilustración. Es considerado uno de los compositores más importantes de la historia de la música y su legado ha influido de forma decisiva en la evolución posterior de este arte [38] .

En 1770 tuvo lugar la masacre norteamericana de Boston contra patriotas. La tensión ocasionada por la ocupación militar de Boston, se incrementó tras los disparos que un grupo de soldados realizaron contra un disturbio que protestaba contra la subida de impuestos por parte de Inglaterra para así recuperarse de las pérdidas económicas tras la Guerra de los Siete Años. John Adams diría más tarde que, tras la noche de la Masacre de Boston, comenzó el deseo de independencia de los Estados Unidos de América [39].

En las colonias americanas, en 1773 en el *Motín del té* en Boston, Massachusetts, se lanzaron al mar tres cargamentos de té. Fue un acto de protesta de los colonos

estadounidenses contra Gran Bretaña y se considera otro precedente de la guerra de independencia de los Estados Unidos [42] .

La epidemia de peste rusa de entre 1770 y 1772, también conocida como la peste de Moscú de 1771, fue el último gran brote de peste bubónica en Rusia, con un balance de entre 52 000 y 100 000 muertos solo en Moscú. Surgió en el teatro de operaciones moldavo durante la guerra ruso-turca, en enero de 1770 y se propagó hacia el norte a través de Ucrania y Rusia central, con un pico en Moscú el mes de septiembre de 1771, donde desencadenó severos disturbios [40] .

En España en 1771 se fundó la *Orden de Carlos III* para premiar el celo por el real servicio [5].

En 1772 James Cook inició su segundo viaje con la intención de descubrir la *tierra austral incógnita* llegando más allá del Círculo Polar Antártico. Regresó a Inglaterra en 1775 [23].

Entre 1773 y 1775, en Rusia, el *Levantamiento de Pugachov* (*Guerra de los Campesinos o Rebelión de los Cosacos*) fue el principal levantamiento de una serie de rebeliones populares que tuvieron lugar en el Imperio ruso después de que Catalina II de Rusia tomara el poder en 1762. Comenzó como una insurrección organizada por los cosacos del Ural encabezada por Yemelián Pugachov, un antiguo teniente desafecto del Ejército Imperial Ruso, en un contexto de profundo malestar campesino y por la guerra con el Imperio otomano. Tras el éxito inicial, Pugachov asumió el liderazgo de un gobierno alternativo en nombre del zar asesinado Pedro III, y proclamó el fin de la servidumbre. Este liderazgo organizado presentó un desafío a la administración imperial [43] .En 1775 se creó un gobierno autocrático en Rusia, se revitalizó el Senado y se fundó el Consejo Imperial, organismo asesor de la Emperatriz que difundió la Ilustración [5].

En 1773 el Papa Clemente XIV, de la Santa Sede, suprimió la Compañía de Jesús bajo la influencia del embajador español Floridablanca, solo tolerada en aquel momento en Rusia y Prusia [5].

En España en la obra *La falsa filosofía* de fray Ferando de Cevallos, erudito jerónimo, publicada entre 1774 y 1776, se perfilaron las líneas del conservadurismo radical de épocas posteriores [5].

A la vez, Carlos III fundó *La Sociedad Económica Matritense de Amigos del País*, Sociedad benéfico-cultural sin ánimo de lucro que desde su inicio se ha ocupado y ocupa en la actualidad del desarrollo de la economía, la beneficencia, la enseñanza y cultura en España [51].

Watt se puso en contacto con Matthew Boulton (1728-1809), dueño de una fábrica en Soho y, en 1775, ambos constituyeron la compañía Boulton & Watt, primera empresa dedicada a fabricar motores a escala industrial. Ese mismo año lograron la prolongación de su patente hasta 1800 [3].

En 1775 comenzó *La guerra de Independencia* de los Estados Unidos de América, conflicto armado que formó parte de la Revolución de las Trece Colonias, en la que las fuerzas independentistas estadounidenses organizadas como el Ejército Continental y comandadas por George Washington derrotaron al Ejército británico del Reino Unido. El conflicto se libró en América del Norte, el Caribe y el océano Atlántico. La guerra terminó con el Tratado de París, que dio como resultado que el Reino Unido finalmente reconociera la independencia de los Estados Unidos [53].

En 1776 el Conde de Aranda jugó un papel crucial en las relaciones de España con las colonias americanas y Francia [44] .

En noviembre de 1776, José de Betancourt, que era el más interesado de los hermanos de Agustín por las ciencias de la naturaleza, exploró, acompañado por Agustín, José de Monteverde y otros, la Cueva del Viento. Esta cueva es, en Icod de los Vinos, el quinto tubo volcánico más largo del mundo. De dicha excursión surgió una memoria que incluía la descripción de la cavidad, el plano y un gran número de observaciones [6]. Este informe *Descripción de la Caverna que se halla al norte de la villa de Icod* fue, posteriormente, presentado en la Tertulia de Nava [4], [56] y [97]. La Cueva del Viento era ya conocida por los Guanches hacía más de 2.000 años, pues se han encontrado restos de enterramientos en la cavidad, pero hasta el año 1776 no se tenía ninguna referencia de la misma [56].

En 1776 James Cook inició su tercer y último viaje para descubrir un pasaje septentrional entre el Pacífico y el Atlántico. Visitó Tasmania, Nueva Zelanda, Tonga, Tahití, descubrió las islas Sandwich (Hawai) y exploró el extremo norte, muriendo en 1779 [23].

En 1776 se publicó la obra más célebre de Adam Smith *La riqueza de las naciones*, una investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones [14] y [54].

En 1776 se firmó la *Declaración de Independencia* de los Estados Unidos de América, redactada por el segundo Congreso Continental —en la Cámara Estatal de Pensilvania en Filadelfia— que proclamó que las Trece Colonias norteamericanas se habían autodefinido como trece nuevos Estados soberanos e independientes y ya no reconocían el dominio británico. En su lugar, formaron una nueva nación: los Estados Unidos. John Adams fue uno de los políticos que emprendió el

proceso de independencia, aprobado el 2 de julio por el Congreso en pleno sin oposición. Un comité (el Comité de los Cinco) se encargó de redactar la declaración formal, la cual se presentó cuando el Congreso votó sobre la misma dos días después [14] y [55].

En 1776 en China y hasta 1796, estuvieron prohibidas las misiones cristianas [5].

El 1 de mayo de 1776, Johann Adam Weishaupt fundó los *Illuminati*, adoptando el nombre de *Hermano Espartaco* dentro de la orden. Incluso las referencias de diversas enciclopedias varían en cuanto al objetivo de la orden, como *New Advent* que dice que la Orden no era igualitaria ni democrática internamente, sino que buscaba promover las doctrinas de igualdad y libertad en toda la sociedad; mientras que otros como *Collier's* señalan que el objetivo era combatir la religión y fomentar el racionalismo en su lugar [57].

En 1777, España reconoció las nuevas fronteras con Portugal en el tratado de San Ildefonso [5] y se fundó en 1777 la *Real Sociedad Económica de Amigos del País de Tenerife*, bajo el deseo común de incentivar el progreso en todos los ámbitos de la vida pública y con la intención de abarcar todas las áreas de conocimiento, desde las Ciencias Sociales o Experimentales hasta la Música o la Literatura [58]. A esta sociedad se vinculó Agustín de Betancourt como fundador junto con su hermano José. Así, con 19 años, Agustín se convirtió en todo un erudito en la sociedad tinerfeña, siéndole reconocido en varias ocasiones su inventiva en los campos más diversos. Fueron constantes las apariciones de ambos hermanos, presentando diversos trabajos en dicha institución [4]. Un miembro de la *Sociedad Económica lagunera* y del entorno de amigos de los Betancourt en aquellos años fue Matías de Gálvez, que más tarde sería virrey de México. Conocedor de las habilidades de Agustín, lo recomendó a su hermano, el marqués de la Sonora, ministro de Indias, para que fuera pensionado a estudiar en Madrid, en concreto a los *Reales Estudios de San Isidro* de Madrid [6].

Siguiendo con la tradición familiar, el 1 de julio de 1777, Agustín de Betancourt ingresó como Cadete en el *Regimiento de Infantería de la Orotava* [4] y [59].

En 1777 comenzó la construcción del primer puente de hierro fundido en Coalbrookdale (Inglaterra). El Iron Bridge o puente de Hierro es un puente de hierro inglés que cruza el río Severn a la altura de la garganta de Ironbridge, cerca de Coalbrookdale, en Shropshire y fue diseñado por Thomas Farnolls Pritchard, considerado por muchos el inventor del puente de hierro fundido. Así, este puente se hizo famoso durante la Revolución Industrial al convertirse en el primer puente

en arco fabricado utilizando hierro fundido, que anteriormente era demasiado costoso como para usarlo en grandes estructuras, no llegó a verlo construido por fallecer antes [60].

El desarrollo de mejores telescopios permitió avanzar en el conocimiento astronómico del universo. Charles Messier publicó su primera lista de objetos celestes en 1771, con 45 de ellos. La segunda publicación, de 1780, incluía los objetos del 1 al 68. La tercera y “definitiva” edición del catálogo de “objetos nebulosos” de Charles Messier (del 1 al 103), se publicó en *La Connaissance des temps, ou connaissance des mouvements célestes, pour l'année bissextile 1784*, [36]. Se comenzó a postular sobre la formación del sistema solar (Kant, Laplace,...)

Madrid: formación (1778-1784) [2] de los 19 a los 25 años de edad

Los últimos años del siglo XVIII y los primeros del XIX, señalaron la transición de la edad moderna a la contemporánea. Caracterizó este nuevo periodo el extraordinario progreso alcanzado por el desarrollo científico y técnico, cuyos fundamentos eran: el racionalismo (toda realidad puede ser científicamente analizada según principios racionales), el empirismo (la experiencia de los hechos produce su conocimiento) y el pragmatismo (el grado de verdad de una teoría reside en su valor práctico). Se generalizaron la fe en el progreso y el utilitarismo y surgieron nuevas condiciones económico-políticas que hicieron posible la formación de los grandes imperios capitalistas y la europeización del mundo (imperialismo). Valores y formas de vida burguesa se consolidaron, al tiempo que se acentuó el moderno centralismo administrativo (burocratismo). Al mundo anunciado en el plano teórico por la Ilustración, se llegó gracias a las revoluciones políticas, que derribaron el absolutismo y dieron lugar a nuevas formas de gobierno basadas en la voluntad de la mayoría, la igualdad ante la ley, la libertad individual y un derecho natural racionalista. A consecuencia de ellas, la sociedad estamental (feudalismo) se transformó en una sociedad de clases burguesa (capitalismo) [14].

La creciente industria del algodón animó la Revolución Industrial en Inglaterra [139], transformando los métodos tradicionales de producción (artesanía, manufacturas, trabajo a domicilio) en formas de producción industrial masiva. En el mercado mundial, la supremacía comercial dio paso progresivamente a la supremacía industrial. En Inglaterra, el capital invertido en la industria procedía de las

colonias, la deuda pública, el sistema tributario y el proteccionismo. La oposición entre las clases configuradas por la nueva sociedad industrial —empresarios privados (capitalistas) y obreros asalariados (proletarios)—, así como sus contradicciones, fueron posteriormente denunciadas por el socialismo [14].

Se proclamó la Ordenanza de Libre Comercio de 1778, en la que España realizaba amplios cambios en su reglamentación del comercio colonial, abriendo nuevos puertos de entrada en España y en las colonias, y permitiendo el comercio indirecto entre las naciones extranjeras y las colonias españolas, vía España [59].

En 1778 Smeaton desarrolló la campana de inmersión [5] y en 1779 Samuel Crompton desarrolló la mula de hilar [105]. El francés Jean Perronet dio un paso adelante en el concepto hacia la ingeniería industrial, mediante la optimización de los procesos industriales a través de la asignación sistemática en la distribución de horas [13].

En 1782, las fábricas Soho de Boulton fueron las primeras en funcionar con un motor rotativo de Watt [139].

A su vez en estos años se realizaron expediciones naturalistas por todo el mundo, dando inicio al naturalismo moderno, el hombre occidental afianzó su conocimiento geográfico y natural del mundo, llegando a los lugares más recónditos [14].

El pensador más importante de esta época fue Immanuel Kant, filósofo y fundador de un criticismo que completaba y superaba el de la Ilustración. Publicó *Crítica de la razón pura* en 1781 [5] y [70].

La hermana de Agustín, María del Carmen Betancourt y Molina era también aficionada a la investigación desde niña, llegando a elaborar junto con sus hermanos, Agustín y José, la máquina epicilíndrica, que presentaron ante la *Real Sociedad Económica de Amigos del País de Tenerife*, en 1778 [59].

Siguiendo la tradición familiar, el seis de marzo de 1778, Agustín ascendió a Subteniente y el 13 de mayo de 1778, fue promovido a Teniente [4], [15] y [59] en la Orotava.

El ambiente de trabajo y las inquietudes intelectuales de la familia de Agustín, su aptitud y su predisposición para el estudio científico, así como su habilidad técnica y artística, fueron las circunstancias propicias para que el joven Agustín comenzara a plantearse ampliar sus conocimientos en otros sitios [4], [15], [2], [6] y [48]. Así, el Marqués de Sonora, conocedor de la capacidad intelectual y de los anhelos de saber de Agustín de Betancourt, le llamó a la Corte para que

perfeccionase sus estudios [1], mediando en esto la influencia de don Estanislao Lugo Molina, primo de Agustín y director de los *Reales Estudios de San Isidro*. Por tal motivo, la familia decidió afrontar el esfuerzo económico que ello representaba, a pesar de obtener una pensión por Carlos III y ser recomendado al ministro de Indias con certificados de hidalguía y nobleza de la familia. Así, de Tenerife viajó a Gran Canaria y desde allí, el 19 de octubre de 1778, salió para la Península, llegando a Cádiz el 21 de noviembre [4], para no regresar nunca más a su tierra natal. Fue una travesía de 33 días de duración, que da cuenta del esfuerzo y el riesgo que suponían los viajes del archipiélago a la Península [6], para estudiar en los *Reales Estudios de San Isidro* y en la *Real Academia de Bellas Artes de San Fernando de Madrid* [4], [15] , [2], [6] y [48].

En los *Reales Estudios de San Isidro* inició sus tareas escolares el 7 de enero de 1779. Durante el curso académico de 1779 estudió Aritmética, Álgebra, Geometría y Trigonometría y realizó ejercicios públicos de Matemáticas [59].

En la *Real Academia de Bellas Artes de San Fernando* recibió clases sobre dibujo, pintura, escultura, grabado, arquitectura, perspectiva y matemáticas elementales. Eran clases nocturnas para poder compaginarlo con los estudios en el *San Isidro*. Consiguió una asombrosa habilidad de dibujo que fue una gran ayuda para él como mecánico [1].

Mientras, en Europa, no solo había cambios políticos, así, en 1778 nació el vals a partir de un simple baile popular austro-germano denominado *ländler*, caracterizándose por la serie de giros que realizaban el hombre y la mujer que formaban la pareja [61].

Y en 1779, Napoleón Bonaparte entró al colegio de Autun [139].

Entre 1779 y 1782 se sitió Gibraltar, pero a pesar de los esfuerzos hispano-franceses, los ingleses lograron mantenerse en la roca [5] y [14]. Este asedio se conoce como *El Gran Asedio*. Al margen de la guarnición británica, en el territorio se fue estableciendo población de origen diverso (fundamentalmente genovesa, pero también maltesa, portuguesa, judía y norteafricana) y finalmente recibió en 1830 el estatus de Colonia Británica [62].

En 1780 España firmó el tratado de paz con Marruecos con privilegios comerciales, importación de grano y garantía de neutralidad [5].

Entre 1780 y 1781, en el Perú tuvo lugar la rebelión indigenista manipulada por la Masonería de signo anglosajón pero fue doblegada por la Corona [127].

Y la naturaleza también comenzó a sorprender, el 19 de mayo de 1780 sucedió el *Día oscuro en Nueva Inglaterra*, evento en el que se observó un inusual oscurecimiento del cielo a pleno mediodía en la región de Nueva Inglaterra, Estados Unidos [63].

Mientras tanto, Agustín de Betancourt, en 1780, en su segundo curso en los *Reales Estudios de San Isidro*, prosiguió con clases de análisis matemático, cálculo, teoría de las curvas y mecánica analítica. Al igual que en el año anterior realizó sus exámenes públicos sobre estas materias [99]. También envió muestras de sus dibujos de la Academia de San Fernando a su familia, en concreto una figura de cuerpo entero y dos cabezas que optaron al premio de dicha Academia [2] y [59]. Después se consagró al estudio de la Física [59]. Este año de 1780 vio la luz la primera edición del Diccionario de la lengua española editado y elaborado por la Real Academia Española [64] y se fundó la Universidad de Múnster [65].

A la par y desde 1780, Agustín de Betancourt trabajó para el Ministerio del Conde de Floridablanca [1].

En 1780 Antoine Lavoiser había enunciado su teoría de la combustión en el ámbito de la Química [5]. Lavoisier (al que Agustín cita en una de sus memorias), un año antes de la llegada de Betancourt a París había publicado su célebre *Traité élémentaire de Chimie* [48] en el que volvió a los fundamentos de la química e inventó la forma moderna de definir los elementos químicos. También escribió un “Gran Tratado” sobre química e incluso ayudó a introducir el sistema métrico, estudió la composición del aire y demostró que se trataba de una reacción química que involucraba un gas al que llamó oxígeno. Además demostró la importancia del oxígeno en la combustión y descubrió su papel esencial en la respiración. Aunque Lavoisier trabajó para la Revolución Francesa, era un hombre rico y privilegiado, lo que le valió el desprecio de los líderes revolucionarios, pues había sido recaudador de impuestos [85].

En 1781 la Corona Española reconquistó Menorca que estaba en manos de los ingleses [5] , aunque no fue reconocido por Inglaterra hasta 1783 [14].

En 1781, Agustín de Betancourt hizo una exposición de sus pinturas y terminó sus estudios artísticos en la *Academia de San Fernando*, se ejercitó con el francés y al mismo tiempo asistía a los cursos de física que explicaba el profesor Antonio Fernández Solano en los *Reales Estudios*, director del 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 [1] y [2].

Por su parte los hermanos de Agustín, José y María, siguieron presentando memorias a la *Real Sociedad de Amigos del País* tinerfeña: el primero sobre la implantación de una imprenta, y la segunda sobre tejidos y tintes. Precisamente al propio Agustín le encomendaron, después de nombrarle apoderado en Madrid de la Sociedad, la adquisición de caracteres de imprenta para la Sociedad lagunera tal y como había propuesto su hermano José [2]. El director don Pascual Mena de la Academia de Bellas Artes de San Fernando le nombró socio honorario de dicha institución en 1783 según [59] ó 1784 según [1].

En 1781 un pequeño grupo de pobladores fundó la ciudad de Los Ángeles con el propósito de establecer colonias agrícolas que abastecieran a los soldados del presidio [68].

Entre 1781 y 1782, en Hispanoamérica surgió el Complejo *Movimiento Comunero* en el Nuevo Reino de Granada. En aras de sus “fueros”, la Corona española reconsideró algunas medidas, aunque otras fueron mantenidas para poner freno a ambiciones particulares impulsadas por sectores criollos precapitalistas [127].

Charles-Augustin de Coulomb desarrolló una teoría generalizada de la fricción y una serie de fórmulas empíricas que pronto se convirtieron en el trabajo estándar en el campo y permanecieron así durante un siglo. Coulomb completó el trabajo y lo presentó a la Academia francesa durante 1780, en un concurso de 1781 del que fue nombrado ganador [71] y [72].

En 1782 se publicó *La Mécanique appliquée aux arts, aux manufactures, à l'agriculture et à la guerre* de Claude François Berthelot [3] y el semáforo mecánico de Chappe transmitió mensajes [139].

A finales del siglo XVIII y como consecuencia del aumento de producción de hierro se produjo un nuevo avance en el sector minero. Entre otras mejoras, se sustituyeron las piezas de madera de las máquinas por otras metálicas mejorando notablemente sus prestaciones [66].

En junio de 1783, los hermanos Mongolfier, Joseph y Jacques Étienne, habían asombrado al mundo con el lanzamiento del primer globo [66]. En presencia del rey Luis XVI, en Versalles, los hermanos enviaron a los primeros pasajeros: un gallo, un pato y una oveja, suspendidos en una jaula bajo el globo. Los primeros humanos en elevarse fueron Pilâtre de Rozier y el marqués d'Arlandes que suspendidos en una barquilla bajo el globo, ascendieron sobre el Bosque de Boulogne y derivaron más de 8 kilómetros a través de París en un vuelo de veinticinco minutos. El globo Montgolfier, hecho de lino y forrado con papel, medía 15 metros

de altura. Cuando el globo estaba listo para volar, se encendía una mezcla de lana y paja en su interior tal que a medida que el aire se calentaba, el globo se elevaba hacia el cielo [139].

El 29 de noviembre del mismo año, según las memorias del cronista y regidor lagunero Lope Antonio de la Guerra y Peña [1], se produjo el primer lanzamiento de un globo por Agustín de Betancourt en presencia del rey Carlos III y su Corte [15] y realizó el primer vuelo aerostático en España, en la Casa de Campo del infante don Gabriel en Aranjuez. El evento tuvo una importante repercusión, fue documentado por el embajador austriaco y su importancia se refleja en la obra de Antonio Carnicero, cuadro expuesto en el Museo del Prado [75]. El globo tenía, según algunas fuentes, dos metros de diámetro aproximadamente y estaba realizado en tafetán barnizado. Viera y Clavijo lanzaría otro globo pocos días después desde los jardines del Marqués de Santa Cruz, también en Madrid [15].

En 1783 Lenormand inventó un paracaídas hecho de dos paraguas [139].

Así en 1783 Agustín empezó a ser conocido en la Corte, se entrevistó con Ventura Rodríguez e hizo gestiones para la *Sociedad Económica de la Laguna* cerca del ministro Campomanes [6] al haber aceptado el nombramiento de apoderado en la Corte. En 1784 dejó el asunto de la Sociedad en manos de don Agustín Ricardo Madan por tener que partir para Francia según [59] aunque según [1] se lo impide su destino a Almadén.

En 1783 se firmó la paz de Versalles en la que Gran Bretaña reconoció la India, Francia recuperó Tobago, Santa Lucía y el Senegal, España recobró Menorca, Florida y algunos territorios en Honduras, pero no consiguió la devolución de Gibraltar [14]. Así España experimentó un nuevo empuje militar y económico, pero su apoyo a los Estados Unidos facilitó la propagación de ideas independentistas en sus dominios ultramarinos [14].

Entre 1780 y 1784 tuvo lugar la Segunda Guerra anglo Mysore, en la que Hyder Ali aprovechó las distracciones británicas durante la Guerra de Independencia de los Estados Unidos, obteniendo importantes victorias antes de su muerte en 1782. Tipu Sultan asumió el liderazgo y continuó la lucha hasta que el Tratado de Mangalore restableció la paz sin cambios territoriales importantes [24].

Pierre Méchain en 1782 fue admitido en la *Academia de Ciencias de Francia*. Allí se le encargó del reconocimiento del tiempo en 1788 y de varias expediciones geodésicas entre 1792 y 1795, año en el que entró en el *Bureau des Longitudes* encargado de establecer el Sistema Métrico Decimal [69]. En 1787 Méchain cola-

boró con Legendre en la medida precisa de la longitud entre París y Greenwich. Estos dos científicos visitaron en numerosas ocasiones a William Herschel en su observatorio astronómico en Slough (Inglaterra) en el mismo año [69] y que fue el descubridor del planeta Urano [139]. Así, Méchain fue destinado a España para precisar las medidas de este meridiano. Durante una breve estancia en Barcelona notó un pequeño desvío de tres segundos en un arco del meridiano de Dunkerque-Barcelona. A su llegada a Castellón, se incorporó a un gabinete local liderado por Fausto Vallés encargado de fijar el meridiano 0° de la Tierra, a partir del cual nacería el metro como unidad de medida [69].

En 1783 Rusia ocupó el territorio de Crimea, hasta entonces bajo el control del Kanato homónimo [76].

En 1783 nació Agustín Cosme Damián de Iturbide y Arámburu, que fue un militar novohispano de origen vasco que consumó la independencia de México con el Plan de Iguala y los Tratados de Córdoba, creando la bandera y el ejército nacional, quien tras ser proclamado como Emperador de México por el Congreso Constituyente, gobernó entre el 19 de mayo de 1822 y el 19 de marzo de 1823 bajo el título de Agustín I de México [73].

En 1783 nació también Simón José Antonio de la Santísima Trinidad Bolívar Ponte y Palacios Blanco, también conocido como el Libertador. Fue un militar, estratega y político venezolano, líder fundamental de la independencia de lo que son hoy Venezuela, Colombia, Ecuador y Panamá. Ayudó también a consolidar la independencia de Perú, y aprobó el reconocimiento de Bolivia como república. Fue una figura destacada en los procesos de emancipación hispanoamericana frente al Imperio español, y por sus actos, se le otorgó el título de *Libertador* [74].

Mientras tanto, Napoleón Bonaparte entró en la École Militaire [134].

En abril de 1784 Agustín abandonó España con destino a Francia en compañía de Alonso de Nava y Grimón, marqués de Villanueva del Prado, para estudiar “geometría y arquitectura subterránea”, denominación de la época para la minería. De paso por Zaragoza inspeccionaron el Canal Imperial de Aragón tras la ruptura de la presa de Brocal [15] por encargo del Conde de Floridablanca. Debían informar sobre los daños producidos por la riada del año anterior, estudiar el estado de las obras y, particularmente, evaluar la pericia y aptitud de Ramón de Pignatelli, puesta por entonces en tela de juicio [79]. Ya desde París enviaron al conde de Floridablanca un enjundioso informe, *Noticias de la Acequia Imperial o Canal Real de Aragón*, que no dejaba dudas sobre la buena dirección de las obras [15]. Este informe, que

representó el primer contacto de Betancourt con la ingeniería hidráulica y civil, fue fundamental para restablecer la confianza en el protector del Canal, Ramón de Pignatelli [6]. Culminado con éxito este encargo Betancourt fue requerido por Floridablanca para inspeccionar las minas de Almadén, que funcionaban desde la época del Imperio Romano [2]. La mina de Almadén resultaba fundamental por su producción de mercurio para la amalgama en frío del oro y la plata traídos del Nuevo Mundo [15]. La inspección que Betancourt realizó en Almadén acabó concretándose en varias propuestas de mejora que se llevarían a cabo con éxito, lo que debió impresionar al Secretario de Estado. Este trabajo quedó plasmado en tres memorias. La *Primera Memoria* estaba dedicada al agua de las minas y a su extracción [100], la *Segunda Memoria* al estudio de la maquinaria empleada en los trabajos de extracción del mineral [101] y la *Tercera Memoria* a los trabajos sobre la fundición del mineral y su empacado [102]. Las tres están fechadas en 1783 [48]. Estas memorias constituyen hoy una de las principales fuentes para el conocimiento de la tecnología minera y metalúrgica (los hornos de *aludeles* constituyen una joya del patrimonio industrial) que se empleaba por entonces [6] y [67]. Tanto por la calidad técnica como por la belleza de los dibujos de las memorias, éstas le sirvieron para obtener otra “pensión” [48] en 1783 por recomendación de Floridablanca al ministro de Indias, José Gálvez para estudiar en París y poder así ampliar sus conocimientos en el campo de la minería [15]. Se conservan, asimismo, unas notas (incompletas) sobre el viaje que hizo Betancourt de camino a Ciudad Real en el que saliendo de Aranjuez pasó por Toledo, Fernán Caballero y otros pueblos [2].

En 1784, Bramah inventó una nueva cerradura de seguridad con combinación, Meikle la máquina trilladora y ya se usaban lámparas de gas en las calles de París [139].

París: primera estancia (1784- noviembre de 1788) [2] de los 25 a los 29 años de edad

Desde aproximadamente 1750 era relativamente habitual que el gobierno español destinase a marinos, militares, ingenieros o estudiosos a realizar algo similar al *espionaje industrial* en las principales potencias europeas, como podían ser Francia o Inglaterra. El objetivo fundamental era la modernización de los distintos sectores del país y así fue como Agustín de Betancourt comenzó a desempeñar este papel en el Madrid de la época [47].

En Madrid gobernaban Carlos III y su corte de ministros ilustrados. En la Corte, Agustín, bien relacionado, se formó, se le promocionó y se le acabó concediendo otra beca para ir a estudiar a París en 1784 y así ampliar sus estudios de Química [1] y Física y Geología [59].

Agustín de Betancourt llegó a París en 1784 para estudiar en *L'École des Ponts et Chaussées* y que le serviría posteriormente de modelo para fundar la Escuela de Caminos y Canales en España. De inmediato fue consciente de haber llegado a otro mundo donde la ciencia se ejercía con rigor y excelencia y alternó con científicos que influirían decisivamente en su futura orientación [48]. En L'École conoció a los ingenieros Jean Rodolphe Perronet, director de la Escuela, Gaspard de Prony y Gaspard Monge, fundador de la Geometría Descriptiva [2] y [48].

En 1784 nació Fernando VII de España, llamado *el Deseado* ó el *rey Felón*, que reinó en 1808 y luego, nuevamente, desde 1813 hasta su muerte en 1833. Su reinado se vio opacado por la invasión francesa que colocó en el trono de España a José Bonaparte, hermano de Napoleón, entre mayo de 1808 y diciembre de 1813. Durante ese tiempo, la Junta Suprema Central primero y el Consejo de Regencia después, gobernaron en su nombre en la zona controlada por los españoles entre 1808 y 1813 [77].

Henry Cort, después de haber logrado producir nuevo hierro en barras a partir de material reutilizado mediante técnicas de laminado, obtuvo hierro forjado a partir del *ballast*, una forma tosca de hierro colado utilizada en la marina. Sus experimentos tuvieron éxito y el 12 de junio de 1784 obtuvo la patente nº 1420 como resultado de este logro. Para ello empleó un horno de reverbero alimentado con carbón en bruto [78]. Cort desarrolló así el procedimiento de pudelación [5]. .

En 1785 Edmund Cartwright presentó la patente para su telar mecánico, siendo el primero en aplicar con éxito la fuerza motriz al trabajo de tejer. Sin duda abrieron el camino a muchas de esas ingeniosas adiciones mediante las cuales los mecánicos posteriores han llevado el telar mecánico a su estado actual de excelencia [105].

Los contactos y el ambiente en L'École convencieron a Betancourt para reorientar sus estudios hacia el prometedor mundo de las máquinas y la hidráulica [48]. A partir de 1785 consiguió que Floridablanca le permitiera reorientar su misión hacia el estudio de dichas técnicas, volviendo a París como director del Equipo de pensionados que se conocería como el *equipo hidráulico* [15] . En julio de 1785 llegó a París su hermano José y ambos colaboraron durante tres años en la búsqueda de máquinas y en la tutela del grupo de pensionados españoles que Agustín

coordinaba. Los pensionados, y los propios hermanos Betancourt, realizaron varios viajes de inspección a diversas regiones y lugares de Francia [2]. Discutió con el conde de Floridablanca sobre la posible creación de una Escuela de Puentes y Calzadas en España que tomaría como modelo la francesa [6]. Probablemente colaboró también con el químico Louis Proust, que entonces trabajaba en España, en un método de blanqueo de la seda y escribió una memoria perdida titulada *Memoria sobre el mejor modo de blanquear la seda* [2]. A partir de entonces y de regreso a Francia se dedicó a la confección y diseño de máquinas, así como a la recopilación de planos, memorias y maquetas relativas a la maquinaria y construcción de puentes, caminos y canales que servirían para crear en Madrid el Real Gabinete de Máquinas, una hermosa colección hoy desaparecida [48] y [67].

En 1785 Agustín de Betancourt 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 se sabe si esta fábrica ideada y organizada por él llegó a instalarse y funcionar [1] y [67].

Su trabajo en Almadén no fue el único relacionado con la minería, pues en noviembre de 1785 presentaría a la Academia Francesa una memoria sobre la purificación del carbón de piedra [48] *Memoria sobre la purificación del carbón de piedra y modo de aprovechar las materias que contiene* tras un estudio que realizó en los hornos del parisino *Jardin des Plantes*, donde se extraía el betún de la hulla. Se la dedicó a Carlos III proponiendo un nuevo modelo de horno cerrado para fabricar el cok [2].

En 1785 Colomb publicó su atracción y repulsión de cargas eléctricas y masas magnéticas, en el ámbito de la Física [5].

En 1785, Napoleón Bonaparte fue comisionado en la Artillería Real Francesa y murió Carlo Bonaparte [134]. (Véase el Anexo C).

A principios de 1786 Agustín se dedicó ya oficialmente a la hidráulica y a la mecánica, reuniendo planos de máquinas útiles y mandando libros a España sobre esta temática. Puede ser de esta fecha una memoria perdida, [6], titulada *Memoria sobre el método de construir y usar los hornos para extraer el betún que tiene el carbón de piedra, quedando éste purificado al mismo tiempo, que se mandó a la Real Sociedad Económica de Amigos del País de Asturias*, sociedad de la que Betancourt fue nombrado socio de mérito y honorario (los hornos, no obstante, no dieron buen resultado, por algún defecto de fabricación). Agustín diseñó un telar para hacer cintas anchas de raso liso y tafetán (modelo luego incorporado al Gabinete de Máquinas) [2].

En 1785 en Londres, se elevó el globo aerostático de Lunardi y De Rozier realizó el primer intento de vuelo en globo [139].

En febrero de 1786 el Rey Carlos III, en premio a la laboriosidad de Agustín de Betancourt, le concedió una pensión mensual de 1 500 reales de vellón para que en París se dedicara al estudio de la Hidráulica y Mecánica [59].

En 1786 en el Canal Imperial de Aragón se instaló una máquina para el desagüe de las presas, de reciente invención de Betancourt, en línea con su continua preocupación por los canales y las comunicaciones del país [1] y [6].

En 1786 se firmó el Tratado comercial de Francia con Inglaterra y que dio lugar a una crisis industrial producida por la competencia de los productos ingleses. Hubo carestía debida a las malas cosechas y por consiguiente hambre y posiblemente fue una de las causas de los levantamientos populares en Francia [14].

En junio de 1786 Napoleón se incorporó a la Escuela de Entrenamiento de Auxonne [134] y disfrutó de su primer permiso en Córcega [134]. Mientras en Estados Unidos, Thomas Jefferson diseñaba su casa “Monticello” [139].

En 1787 el Real Gabinete de Máquinas inicialmente constaba solo de un modesto laboratorio de hidráulica, la especialidad de Agustín, pero luego se extendió 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. Realizó una gran colección de piezas y él mismo ejecutaba los dibujos de los planos que acompañaba de una memoria manuscrita que en algunas ocasiones representó en modelos prototipo de proporciones reducidas, sobre todo de las obras de su invención [1].

En 1787, Garnerin realizó el primer descenso público en paracaídas desde un globo y Maudslay diseñó un tornillo universal, permitiendo fabricar tornillos con gran precisión [139].

También en 1787 se acuñaron las primeras monedas de dólar de Estados Unidos y los primeros peniques de cobre del Reino Unido [139].

Se publicó en 1787 *Architecture Hydraulique* de Bernard Forest de Bélidor (1693-1761) [3] .

Agustín gozó de la protección del nuevo embajador conde Fernán Núñez, llegado a París en octubre de 1787, y entabló una amistad duradera con Leandro Fernández de Moratín, que viajó a la capital francesa en calidad de secretario del conde de Cabarrús [6].

En 1787 estrechó su amistad con el relojero suizo-francés Abraham Louis Breguet [6], con el que se asoció comercialmente en la venta de relojes. Este año se hizo oficial la creación del *Real Gabinete de Máquinas* del que Agustín sería nombrado director en diciembre aunque no tomaría posesión del cargo hasta abril de 1792. Durante este año Agustín y sus colaboradores se habían dedicado en París a buscar todo tipo de máquinas, artefactos y construcciones, muchas hidráulicas o para obras públicas pero también de metalurgia destinadas a la industria textil, para incorporar al Real Gabinete [2]. Agustín asumió después la representación de la casa Breguet para la venta de sus relojes en Francia, Inglaterra, España y Rusia. Juntos proyectarían el nuevo sistema de telegrafía óptica que Betancourt pondría en práctica en España [6].

En 1787 Lavoiser elaboró su ley de la conservación de la materia, en el ámbito de la Físico-química [5] y el aeronauta Jacques Charles formuló la Ley de Charles: *“Si un gas se mantiene a presión constante, su volumen es directamente proporcional a su temperatura absoluta”* [139].

La Real Cédula de creación de la expedición filantrópica a Nueva España fue de abril de 1787, por la que se encomendó su diseño y ejecución a José Antonio de México y que estaba destinado a renovar los estudios sanitarios y cambiar el dispositivo de cartografía de las riquezas naturales del Virreinato [80].

Entre 1787 y 1807, España acabaría convirtiéndose en el principal país importador de las máquinas de vapor más modernas: las de Watt de efecto simple con condensador independiente y las de doble efecto [45].

Entre 1787 y 1792 tuvo lugar la segunda guerra ruso-turca debida al intento frustrado del Imperio otomano por reconquistar territorios cedidos a Rusia en el curso de la guerra de 1768 a 1774. Se saldó con el Tratado de Iasi de 1792, por el cual el Imperio otomano reconoció la anexión del Kanato de Crimea y cedió Yedisán. El río Dniéster se convirtió en una nueva frontera internacional entre ambos países [5].

En Francia en 1788 hubo una bancarrota nacional. El rey recurrió de nuevo a Necker, que logró duplicar el número de representantes del Tercer Estado en los Estados Generales, convocados por el monarca, tras la campaña electoral, del 5 de mayo de 1789. La corriente de oposición a la monarquía absoluta fue en aumento [14].

En marzo de 1788 Agustín de Betancourt realizó una excursión con su hermano José a Bretaña para reconocer los puertos de la región [49]. De su hermano José se conserva una carta escrita desde Madrid a su padre donde cuenta algo sobre las misiones especiales para las que lo destinaron en Francia e Inglaterra como hom-

bre de confianza del conde de Floridablanca. En ella se habla de secretos de Estado y del más puro espionaje industrial por conseguir planos de máquinas —en este caso para navíos de guerra— y del dinero pagado por estos servicios [50], [2] y [6].

En 1788 Agustín inventó una máquina para fabricar cintas para adorno de mujeres [2].

Immanuel Kant publicó su *Crítica de la razón práctica* en 1788 [5].

Joseph-Louis de Lagrange en 1788 publicó *La mecánica lagrangiana*, una reformulación y extensión de la mecánica clásica newtoniana [81].

En 1788 el barco de ruedas de vapor de Miller navegó a 5 nudos y Henry Cavendish descubrió la densidad media de la Tierra. Se fundó en Londres el periódico *The Times* y Gran Bretaña estableció un asentamiento de convictos en Australia [139].

Inglaterra: primer viaje (11 de noviembre a 10 de diciembre de 1788) [2] a los 29 años de edad

Cuando Agustín llegó a Inglaterra en noviembre de 1788 el país disfrutaba de una gran prosperidad por el auge del comercio exterior, la potencia de la Marina británica y un adelanto indiscutible en el campo de la tecnología industrial. La revolución del vapor estaba en auge y el breve viaje a Inglaterra emprendido por Betancourt tenía como objetivo un sueño perseguido infructuosamente por muchos: descubrir el funcionamiento de la máquina de vapor de Watt o *máquina de fuego*, que aseguraba la supremacía industrial de Inglaterra sobre el resto de Europa.

James Watt, ingeniero escocés, inventó la primera máquina de vapor verdaderamente eficiente en un momento en que las nuevas fábricas de la Revolución Industrial la necesitaban urgentemente. Watt comenzó a mejorar las máquinas junto con Matthew Boulton. Casi todas las máquinas Watt/Boulton incorporaban mejoras. Además del vapor, las máquinas utilizaban aire comprimido en el cilindro para hacer trabajar mejor el pistón, y engranajes tipo *planetario* para hacer girar las ruedas o accionar un eje que movía maquinaria. Los motores rotativos de Watt permitieron que las fábricas se establecieran lejos de corrientes de agua y ríos, así como accionar bombas y molinos de viento. Watt también inventó un regulador para asegurar que los motores rotativos trabajaran a la velocidad constante necesaria para impulsar la maquinaria. Cuando Watt necesitó describir la potencia de sus motores rotativos,

acuñó la palabra *horsepower* (caballo de fuerza). Un motor de 15 caballos de fuerza tenía la misma potencia que quince caballos. James Watt dio su nombre a la unidad de potencia eléctrica: el *watt* [139]. En el viaje a Inglaterra de Betancourt, a caballo entre la investigación científica y el espionaje industrial, se entrevistó en Birmingham con Watt y su socio financiero Boulton que se negaron cortésmente a comentar las características de la máquina. De regreso a Londres y en el puente de Blackfriars observó una máquina de Watt en pleno funcionamiento, analizó sus características externas y dibujó un esquema pensando en el doble efecto del vapor por ambos lados del pistón. A su regreso a Francia consiguió, con solo haber visto funcionar la máquina externamente, diseñar un prototipo para construir en 1790 la primera máquina de vapor de doble efecto en el continente, comercializada rápidamente por los hermanos Perier ante el desconcierto del consorcio Watt & Boulton [1], [15], [48] y [66].

En este periodo conoció a una joven inglesa, Ana Jourdain, con la que se casó algunos años más tarde [48].

París: segunda estancia (diciembre 1788-1791) [2] de los 29 a los 32 años de edad

En 1788, a la muerte de Carlos III, España había empezado a adquirir los perfiles actuales (en los símbolos, incluso bandera en himnos nacionales) [5]. Heredó la corona su hijo Carlos IV, casado con María Luisa de Parma. El nuevo rey inició una política parecida a la de su antecesor, manteniendo a Floridablanca como primer ministro, sin embargo, su reinado estuvo marcado por el estallido de la Revolución Francesa y sus consecuencias. Al no poderse aislar en una posición neutral, Carlos IV se vio obligado a escoger entre los imperativos estratégicos y las motivaciones ideológicas (entre Inglaterra y Francia). Este dilema caracterizará las vacilaciones del reinado [14].

Poco después de su viaje a Inglaterra, Agustín presentaría en 1789 a la Academia de Ciencias de París su *Mémoire sur la force expansive de la vapeur de l'eau* ante un comité de la Academia Francesa, integrado por Borda, Brisson y Monge [1]. Es uno de los trabajos de Agustín de Betancourt con más carga teórica que, en su estudio de la relación entre la presión y la temperatura, avanzó futuras leyes termodinámicas [2], [15], [59] y [66]. Hasta entonces las máquinas de vapor eran de simple efecto, en las que se calentaba agua en un cilindro que servía de caldera. El

vapor producido empujaba el pistón del cilindro verticalmente, tras lo cual cesaba el calentamiento y el vapor se condensaba. Entonces actuaba la presión exterior empujando el pistón hacia abajo. La máquina, pues, utilizaba la presión atmosférica para producir trabajo, no la fuerza del vapor, que solamente se empleaba para elevar el cilindro. Era, en definitiva, una máquina atmosférica. Se convirtió así en el introductor de ésta en el Continente europeo [3], una máquina distinta a la inglesa dado que tuvo que reconstruir partes de ésta que no había podido ver en Inglaterra. Puede que Betancourt también consiguiera averiguar (o copiar) el funcionamiento de un telar secreto de los ingleses que haría construir en Francia a su vuelta, y que figuraría más tarde en el Gabinete de Máquinas [2], [48] y [66].

La *Mémoire sur une machine à vapeur à double effet* incluye un estudio de las dimensiones del paralelogramo articulado, utilizado en el guiado rectilíneo del eje del pistón, que puede ser considerado uno de los primeros planteamientos del problema de síntesis dimensional de mecanismos [3]. Se afirma que el primer estudio teórico del mecanismo de Watt, que trataba de determinar la desviación respecto a la trayectoria rectilínea, es el que efectuó Prony en el segundo volumen de su *Architecture Hydraulique*, publicado en 1796. Sin embargo, [3] asevera que fue Betancourt quien lo realizó en la memoria presentada en 1789.

El Caballero de Borda y Gaspard Monge, comisionados por la Academia de Ciencias de Francia, informaron favorablemente, en febrero de 1790, sobre dicha memoria. En marzo del año anterior 1789 ya Betancourt había acordado con los hermanos Périer la construcción de una fábrica de harina con molinos accionados por una máquina de vapor de doble efecto, que en noviembre de 1790 funcionaba con éxito en las Isla de Los Cisnes [3]. Era la primera máquina de vapor que funcionaba fuera de Inglaterra [2].

En enero de 1789 comunicó a su familia el invento de una máquina eólica para desaguar terrenos pantanosos (que figuró en la colección del Gabinete). En esta misma misiva hablaba de los dibujos exactos de máquinas que hizo en Inglaterra, así como de su creciente influencia sobre el Ministro de Estado, Floridablanca, y de cómo éste había puesto a su cargo a los pensionados [2] y [82].

En 1789 en otra carta Agustín escribía que se estaba ocupando de una colección de instrumentos de física y que estaba ejecutando “la colección de modelos hidráulicos” con cuatro ebanistas, siete cerrajeros y tres dibujantes. En la carta se mostraba orgulloso de estar realizando “el mejor Gabinete de máquinas que habrá en Europa” [2]. Así el embajador español Fernán Núñez envió a Madrid el Índice de los *Modelos y Memorias de don Agustín de Betancourt*, que era un anticipo del Catálogo del Gabinete [2].

Entre 1789 y 1792 se produjo la Revolución Francesa estando Agustín de Betancourt en Francia. En Versalles se crearon los Estados Generales que, a iniciativa del Tercer Estado, se constituyeron en Asamblea Nacional. Gran parte del clero y la nobleza se unieron al Tercer Estado, hubo concentración de tropas en Versalles y París y la familia real intentó huir [14] y [139].

En Francia, el 14 julio 1789, el pueblo de París asaltó la Bastilla (prisión de Estado) para hacerse con las armas de la fortaleza. El ejército fue disuelto y Lafayette asumió el mando de la recién creada Guardia Nacional (milicia ciudadana). Hubo levantamientos campesinos y creación de ayuntamientos revolucionarios (comunas) que rompían la estructura administrativa centralista monárquica [14] y [139].

El 16 de julio de 1789 el rey concedió a Agustín el hábito de la Orden de Santiago, en consideración al mérito y servicios [59], [1] y [2].

Mientras en Francia, se produjo el *Gran Miedo*, movimiento de miedo colectivo del campesinado que se desarrolló en Francia entre el 20 de julio y el 6 de agosto de 1789. La constante penuria de «granos» (cereales) y la hambruna del invierno de 1788, que se prolongó durante la primavera y hasta el verano de 1789, habían reactivado la tradicional preocupación por la subsistencia tanto en las ciudades como en el campo [83] y [139]. Así en Francia el 4 agosto 1789 aconteció la abolición del régimen feudal: supresión de los diezmos y privilegios fiscales y de los derechos señoriales sobre las personas y restitución de la propiedad agraria. El 26 agosto 1789 se firmó la *Declaración de los Derechos del Hombre*, uno de muchos de los documentos fundamentales de la Revolución francesa, en el que se reconoce la propiedad como inviolable y sagrada, el derecho de resistencia a la opresión, la seguridad e igualdad jurídica (restringida por la “utilidad común”) y la libertad personal legalizada. Estaba influida por la doctrina de los derechos naturales y los derechos del hombre se entendían como universales [14].

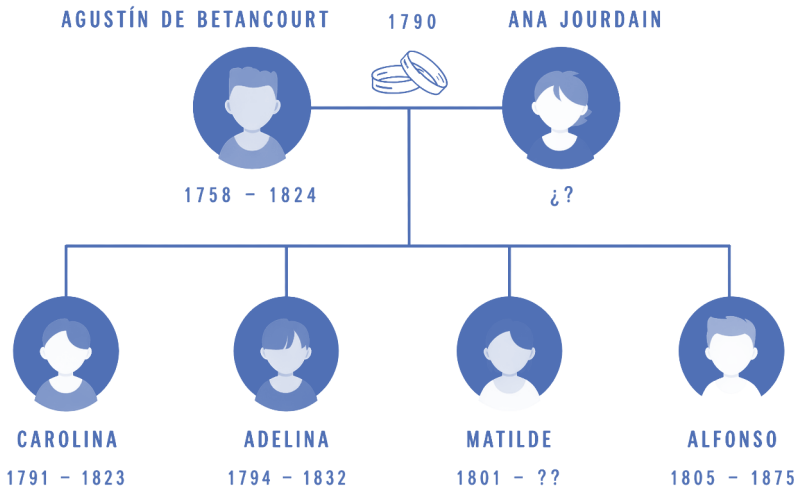
En Francia, el 3 octubre 1789 mujeres del pueblo marcharon sobre Versalles y obligaron al rey a firmar los decretos de agosto, la Corte y la Asamblea se trasladaron a París [14]. El 10 octubre de 1789 se nacionalizaron los bienes de la Iglesia, de la Corona y de los nobles emigrados para atajar la crisis financiera. Mientras la emisión de asignados produjo la inflación, la venta de bienes hizo posible la formación de una nueva clase de burgueses propietarios [14].

En 1787 George Washington presidió la Convención de Filadelfia que esbozó la Constitución de los Estados Unidos de América y en 1789, fue elegido de manera unánime como el primer presidente de los Estados Unidos [84] y [139].

En agosto de 1789 comenzó la Revolución de Lieja y supuso la desaparición del principado episcopal Lieja después de ocho siglos de existencia [86].

En 1790 Agustín se casó con la inglesa Ana Jourdan, con quien tuvo tres hijas y un hijo: Carolina, Adelina, Matilde y Alfonso [1], tal y como se muestra a continuación:

Figura 3: Árbol genealógico de la familia de Agustín de Betancourt según [2] (fechas aproximadas) (Imagen generada con Canva).



En 1790 en España Floridablanca emprendió una campaña represiva contra la propaganda revolucionaria francesa. Se prohibió la **Enciclopedia** y cursar estudios en el extranjero sin permiso especial [14].

En 1790 Leblanc obtuvo Sosa Artificial, en el ámbito de la Química [5].

La Tercera Guerra anglo-Mysore (1790–1792) involucró una coalición de fuerzas británicas, los marathas y el Nizam de Hyderabad contra Mysore. Tipu Sultan sufrió graves pérdidas y fue obligado a ceder la mitad de su reino y enviar a sus hijos como rehenes. La caída de Seringapatam, donde Tipu Sultan fue asesinado, puso fin a la independencia de Mysore [24]. Las Guerras anglo-Mysore destacaron la innovación militar de Mysore, especialmente el uso de cohetes, y mostraron la feroz resistencia de los gobernantes indios frente a la dominación colonial británica [24].

En 1790 murió Benjamin Franklin, político, polímata, científico e inventor estadounidense. Se le considera uno de los padres fundadores de los Estados Unidos [87] y ese mismo año se fundó la ciudad de Washington D. C. [139].

Se publicó el 1 de noviembre de 1790 *Reflexiones sobre la Revolución francesa*, crítica política de Edmund Burke. Este hecho constituyó uno de los ataques más conocidos a la Revolución francesa, que se encontraba entonces en sus primeros años. En el siglo XX esta obra de Burke ejerció una importante influencia en los círculos intelectuales conservadores y liberales clásicos, donde sus argumentaciones fueron convertidas en una crítica del comunismo y otros programas políticos revolucionarios socialistas [88].

Agustín llegó al grado de capitán en 1790 de las milicias insulares del Regimiento de la Orotava, pero no llegó a figurar en el escalafón de los Reales Ejércitos [59], algunas fuentes lo fijan en 1791 [2].

En 1790, Thomas Saint inventó una máquina de coser (aunque nunca se llegó a fabricar) [139].

En Francia el 12 julio 1790 el clero pasó a ser funcionario del Estado, hubo supresión de conventos y órdenes religiosas. Gran parte del clero se negó a prestar juramento de fidelidad a la Constitución [14]. A continuación, el 17 julio hubo una concentración popular en París pidiendo el destronamiento del rey. El ayuntamiento controlado por Lafayette estableció la ley marcial y las tropas dispararon sobre los peticionarios (matanza del Campo de Marte) [14]. El 3 de septiembre se proclamó la nueva Constitución con una monarquía parlamentaria con poder ejecutivo débil y Asamblea indisoluble electiva: el rey, que nombró a los ministros, dispuso de veto suspensivo por dos legislaturas. Se reformó la justicia y se abolió totalmente la tortura. [14]. Finalmente los miembros de la familia real francesa fueron capturados y devueltos a París.

En 1791 Joseph Haydn compuso la Sinfonía Sorpresa, Galvani experimentó con la electricidad animal y el Barón Axel Cronstedt aisló el níquel [139].

El éxito de la excursión inglesa de Agustín, unido a la cualificada formación científica que había llegado a adquirir, le valió la confianza de la administración francesa para intervenir en la fábrica de cañones que se había instalado en Yndrid, la factoría más moderna del país. Así las nuevas máquinas de vapor se pudieron aplicar a la construcción de artillería [15]. En aquella sede puso a disposición de Delamotte todo el caudal de sus averiguaciones, incluida la relativa a la máquina de vapor de doble efecto inventada por él, cuyas ventajas se aplicaron la construcción de cañones. Ya en 1791 acaba Betancourt uno de sus últimos trabajos en París: su *Descripción del Real Establecimiento de Yndrid donde se funden y barrenan los cañones de hierro para la Marina Real de Francia* [2] y [15]. De ella deriva la memoria que presentó a la Marina española en 1791, un documento ilustrado con unas acuarelas soberbias y con descripciones detalladas de las instalaciones [90].

Madrid: segunda estancia (1791-octubre 1793) [2] de los 32 a los 34 años de edad

En 1791 posiblemente nació la primera hija de Agustín de Betancourt, Carolina [2].

En febrero de 1791 Agustín y su equipo recibieron la orden de su traslado a España en vista del cariz de los acontecimientos en la Francia revolucionaria. Entre marzo y mayo embalaron todo el material de lo que sería el Real Gabinete de Máquinas y a partir de julio, empezando por los planos, fue llegando a Madrid la colección de máquinas [2] y [89]. Sin embargo la realidad política española había cambiado mucho: Carlos III había fallecido, y su heredero, Carlos IV, era débil y muy influenciado. El temor al contagio de los movimientos revolucionarios que llegaban desde Francia había acabado con el Reformismo Ilustrado y su impulsor, Floridablanca, había caído en desgracia [48]. En España, en febrero 1792 Aranda sustituyó a Floridablanca y logró su encarcelamiento [14].

El 20 de julio, Betancourt y Peñalver subscribieron la *Memoria sobre los medios para facilitar el comercio interior*, redactada en París siete años después de su llegada. En ella se incluyeron múltiples consideraciones sobre la construcción y mejora de los caminos y canales españoles [2]. Agustín acumulaba ya una notable experiencia en el ramo de las navegaciones interiores que habían empezado a interesarle vivamente en la ida. Se había informado sobre los planes de construcción de canales en Francia, donde residía, pero también de los que se hacían en Prusia, Holanda e Italia. Por otra parte, los años de formación en París le permitieron apreciar el funcionamiento de una administración eficaz que daba salida, mediante grandes proyectos de obra pública, al talento de los ingenieros y a las innovaciones derivadas de sus estudios. El viaje por Inglaterra le permitió conocer una ingeniería eminentemente práctica basada en la experimentación y en contacto estrecho con los materiales de construcción y la industria. Todo ello le llevó a afinar sus percepciones y a concebir un modo de diseñar los canales y las redes de comercio vinculadas con ellos que en ningún país alcanzaba la solvencia con la que se ejercía en Inglaterra. Betancourt planteó entonces la posibilidad de aplicar en España esas maneras y las últimas páginas del informe incluyen una propuesta didáctica para afianzar la competencia de quienes diseñan las obras garantizando su formación: “Convendría establecer la enseñanza de la Mecánica y la Hidráulica con sus aplicaciones a la práctica de la delineación y los cortes de piedras y enmaderaciones, cuya instrucción hace suma falta en España” [90]. Así nació la necesidad de establecer una escuela para formar futuros ingenieros que las realicen, una futura Escuela de Caminos y Canales que ya se había propuesto meses antes a Floridablanca [2].

Agustín aprovechó a su regreso a España para hacer escala en Lyon y examinar sus manufacturas. Valoró también la posibilidad de instalar en Barcelona una draga de su invención [48], que más tarde utilizó en el puerto ruso de Kronstadt. Fue presentada por Betancourt para limpiar también los puertos de Cádiz y Cartagena, pero se desestimó por ser demasiado potente [2]. También realizó un reconocimiento de las industrias y caminos de Valencia [2].

En 1789, Napoleón Bonaparte regresó al servicio de su regimiento en Auxonne (mil.) y en abril fue ascendido a teniente primero [134]. (Véase el Anexo C).

En España en 1791, pese a las medidas adoptadas se difundieron clandestinamente ejemplares de la Constitución francesa. Finalmente se prohibió la publicación de todos los periódicos con excepción del “Diario de Madrid de pérdidas y hallazgos” [14].

En 1791 falleció Mozart [91], que a lo largo de sus obras incluyó temas hispanos, reflejando su interés por la cultura española.

En 1792 Agustín fue promovido a capitán agregado [59] del Regimiento de Garchico y empezó a asistir asiduamente a las sesiones de la *Real Academia de Bellas Artes de San Fernando* [2] como miembro de la misma, habiendo sido elegido en una comisión para tratar de mejorar las enseñanzas, conjuntamente con otros miembros, uno de los cuales era Goya [1] y que le hizo un retrato.

Se abrió el 1 de abril de 1792 al público el Real Gabinete de Máquinas del Buen Retiro de Madrid y Betancourt presentó su *Catálogo de la Colección de Modelos, Planos y Manuscritos que de orden del Primer Secretario de Estado ha recogido en Francia Don Agustín de Betancourt y Molina* [2] que incluía 270 modelos de máquinas, 359 planos y 99 memorias con 92 gráficos [67], todos los cuales había recogido o diseñado durante su estancia en París, en colaboración con Juan López Peñalver, el que será su director durante las ausencias de Agustín. Agustín había sido nombrado director por orden de Carlos IV de 1788 [2] y [15].

La gran capacidad artística de Agustín se potenció aún más con la colaboración del joven mallorquín Bartolomé Sureda, a quien pagó de su bolsillo para que le acompañara en ese segundo viaje a Inglaterra y que aprendió la técnica para grabar láminas de la “aguatinta”, método más sencillo y fácil de rectificar que el grabado tradicional. Sureda puso en práctica la nueva técnica al representar diversas máquinas en el libro ilustrado *Descripción de las Máquinas de más general utilidad que hay en el Real Gabinete* (publicado en 1798) [67]. De regreso a España, Betancourt y Sureda enseñaron la nueva técnica (hasta entonces desconocida en España) a

Goya, de modo que el aragonés la incorporó en su colección de grabados, los Caprichos, realizados entre 1789 y 1799 [2] y [15] .

El Romanticismo surgió en Alemania influido por el idealismo y como reacción a la cultura racionalista de la Ilustración [14]. La Ilustración dio paso así poco a poco a un nuevo movimiento.

En 1792, Bonaparte fue ascendido a ‘capitaine en second’ (con fecha retroactiva), tuvo lugar el sitio de Seringapatam y posteriormente Bonaparte fue ascendido a teniente coronel del 2º Batallón de Voluntarios de Ajaccio [134]. (Véase el Anexo C).

En agosto de 1792, se le encargó a Agustín la segunda 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 [1].

En España el 5 noviembre 1792 Manuel Godoy y Alvarez de Faría, protegido de la reina, sustituyó a Aranda. Tras vanos intentos por liberar al rey francés y una vez éste ejecutado, Godoy decretó la expulsión de los súbditos franceses residentes en España [14].

En 1792 comenzaron las campañas italianas de las guerras revolucionarias francesas y que fueron una serie de acciones bélicas ocurridas mayormente en el norte de Italia, entre las fuerzas del ejército revolucionario francés y una coalición de estados enemigos que constaban por Austria, Rusia, el reino de Cerdeña y el resto de otros Estados italianos [14] y [123].

Entre 1767 y 1792 James Burnett (Lord Monboddo) postuló la idea de que el hombre había derivado de los primates, y que los animales, ante un medio cambiante, amoldarían sus características a lo largo del tiempo en respuesta a dicho cambio, con base a la variedad de sus características. Sus principales trabajos se centraron sobre todo en el estudio de la evolución del lenguaje, donde explicaba su surgimiento y desarrollo con ideas que anticipan al principio de selección natural. Fue el primero en señalar la ventaja selectiva que daba el lenguaje al ser humano. Parece ser que influyó en los trabajos de Darwin [93].

Puede decirse que la bolsa de Nueva York se formalizó en 1792, cuando un grupo de corredores de bolsa se organizó formando un comité llamado *New York Stock and Exchange Board* (NYS&EB) con la finalidad de poder controlar el flujo de acciones que, en aquellos tiempos, era negociado libre y principalmente en la acera de Wall Street [92].

En 1792 Galvani enunció su electricidad animal [5].

Euler publicó su *Institutiones calculi integralis* en 1792 en tres volúmenes y contiene muchos de los descubrimientos de Euler sobre ecuaciones diferenciales [31]. Fue escrito después de *Institutiones calculi differentialis* (1755) [32] e *Introductio in analysin infinitorum* (1748) [33].

En 1792, en París una turba invadió los Jardines de las Tullerías, el radical británico Thomas Paine escribió *Los derechos del hombre*, James Hoban comenzó la construcción de la Casa Blanca en EE. UU, Mary Wollstonecraft publicó su obra *Vindicación de los derechos de la mujer*, un científico británico demostró que los gases se dispersan lentamente, Murdoch produjo gas metano a partir del carbón calentado y Larrey diseñó la primera “ambulancia” para transportar heridos [139].

Mientras, en ese mismo 1792, el 20 de abril la Asamblea Francesa declaró la guerra al Rey de Bohemia y el 26 de junio nació la *Primera Coalición* que fue el primer esfuerzo coordinado de las monarquías europeas para contener la Revolución francesa. Las campañas bélicas se extendieron por Europa Occidental y el Caribe, convirtiéndola en una guerra a gran escala [14] y [123]

El 15 de septiembre se produjeron las Masacres de Septiembre en París y comenzó el “Terror”, el 20 de septiembre tuvo lugar la batalla de Valmy, el 21 de septiembre se estableció la Convención Nacional en París, el 22 de septiembre se abolió la monarquía francesa y se inició el Calendario Revolucionario y el 6 de noviembre tuvo lugar la batalla de Jemappes [134]. (Véase el Anexo C).

En 1793, Marat, el líder revolucionario francés, fue asesinado y se encontró un mamut preservado en Siberia [139].

En 1793, el 21 de enero se ejecutó al rey de Francia Luis XVI, el 1 de febrero Francia le declaró la guerra a Gran Bretaña y Holanda, el 22 de febrero fracasó el ataque a *La Magdalena* y hubo una evacuación francesa al avistarse al enemigo, el 3 de marzo Bonaparte rompió con Paoli, el 9 de marzo Francia declaró la guerra a España, el 18 de marzo tuvo lugar la batalla de Neerwinden en Bélgica, el 5 de abril el general Dumouriez se pasó a los Aliados, el 6 de abril se creó el Comité de Salvación Pública, el 2 de junio el partido girondino fue derrocado por los jacobinos, el 13 de junio Bonaparte llegó a Francia con su familia desde Córcega, el 7 de septiembre las fuerzas francesas comenzaron el asedio de Tolón y el 16 de septiembre Bonaparte recibió el mando de la artillería ante Tolón [134]. (Véase el Anexo C).

Inglaterra: estancia (octubre 1793- octubre 1796) [2] de los 34 a los 37 años de edad

En 1793 Gran Bretaña intervino en la primera Guerra de Coalición impulsada por el dualismo colonial anglo-francés, la amenaza de ruptura del equilibrio europeo y la ocupación francesa del delta del Rhin [14].

En marzo de 1793 Betancourt presentó a la Academia de San Fernando unos modelos hechos de madera e hilos para explicar algunos teoremas y leyes matemáticas de la perspectiva, también llevó a cabo demostraciones con un aparato de su invención para dibujar paisajes y objetos con un ocular sincronizado con un lápiz. Sin embargo, a pesar de todo, después de más de un año Godoy aún no había visitado la colección y cuando lo hizo, Betancourt intuyó su desinterés y hostilidad. Agustín no acababa de encontrarse a gusto en España por lo que decidió marcharse a Inglaterra, dado que Francia aún estaba en plena Revolución. Mandó a su mujer e hijas a Londres en agosto y él se fue en octubre. Recibió una pensión añadida a su cargo gracias a Godoy, el nuevo hombre fuerte de Carlos IV para reunir máquinas para el Gabinete, desarrollar sus inventos y proseguir sus estudios [1] y [2]. Se trasladó a Inglaterra porque era un país que le había impactado profundamente por su avanzada industrialización y su gran estabilidad política [48] y [89]. Investigó sobre la teoría de las máquinas. En 1794 se consideró terminado el Gabinete [1]. Los modelos se hallaban distribuidos por secciones tituladas: Montes, Enmaderaciones, Carruajes, Máquinas para elevar agua, máquinas para sacar arena de los ríos y puertos, puentes y cimbras, esclusas 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.

En Inglaterra Agustín realizó estudios sobre la máquina de Watt y la aplicación del vapor a diferentes industrias – el ingeniero escocés llegaría a poner sobre aviso a las autoridades británicas sobre las actividades del español, acusándolo de espionaje. Agustín también profundizó en sus investigaciones sobre el telégrafo óptico [89]. En 1795, a pesar de las reticencias iniciales hacia la persona que había redescubierto la máquina de Watt, los ingleses se rindieron al genio de Betancourt y fue premiado por la *Society for the Encouragement of Arts, Manufactures and Commerce* por una máquina de cortar hierba que se utilizó con notable éxito [2] y [48].

En 1793 [94] ó 1794 [105], Eli Whitney fue famoso por dos innovaciones que tuvieron un impacto significativo en los Estados Unidos a mediados del siglo XIX: la desmotadora de algodón (1793) y su defensa de las piezas intercambiables. La

desmotadora de algodón es un dispositivo mecánico que elimina las semillas del algodón, un proceso que anteriormente requería mucha mano de obra [94].

Entre el 15 y 16 de octubre de 1793, tuvo lugar la batalla de Wattignies en Holanda, el 18 de octubre Bonaparte fue ascendido a ‘chef de bataillon’ en Tolón y el 19 de diciembre cayó Tolón [134]. (Véase el Anexo C).

En 1794, posiblemente nació la segunda hija de Agustín de Betancourt, Adeline [2].

En 1794, en la estancia de Agustín en Londres, coincidió con dos *amigos de la América española*, como los describe él mismo a través de una carta que dirigió desde la capital británica a su amigo, Abraham-Louis Breguet. Betancourt les propuso sus servicios como ingeniero inventor para aplicar la fuerza del vapor a los trapiques azucareros, con objeto de sustituir la tracción animal en el movimiento de los mismos [95]. Los *dos amigos de la América Española* eran Ignacio Montalvo y Ambudol, conde de Casa Montalvo, y Francisco de Arango y Parreño. El encuentro de Betancourt con ellos contribuyó así a la utilización de las máquinas de vapor en los ingenios azucareros [2] y [95].

En 1794, en Santa Fé de Bogotá, Antonio Nariño hizo aparecer limitada y clandestinamente una traducción de principios de la Revolución Francesa [127].

En 1794 la Convención francesa tomó la decisión de crear una única escuela destinada a la formación de los ingenieros, que primero se llamó *École Centrale des Travaux Publics* y que en 1795 pasó a denominarse *École Polytechnique* [3].

En 1794 Francia *zarandeaba* Europa, el 6 de febrero Bonaparte recibió el mando de la Artillería en el Ejército de Italia, entre el 13 y 14 de marzo tuvo lugar la batalla de Homan y Martin, el 5 de abril se ejecutó a Danton en París, el 24 de abril se desarrolló la actuación de Villers-en-Cauches en Países Bajos, el 1 de junio se produjo la batalla naval del Primero de Junio, el 26 de junio tuvo lugar la batalla de Fleurus en los Países Bajos, el 27 de julio se desarrolló el Golpe de Estado del 9 de Termidor, con la caída y muerte de Robespierre y se puso punto y final al *Terror*, entre el 9 y 20 de agosto Bonaparte fue encarcelado en Antibes y el 15 de septiembre tuvo lugar la actuación de Boxtel en los Países Bajos [134]. (Véase el Anexo C).

El padre de Betancourt murió en febrero de 1795 en La Orotava [2].

En 1795 Brahma patentó su prensa hidráulica [5] y [139]. Esta prensa, aprovechando la fuerza de los fluidos y utilizando la ley de Pascal, amplificaba la fuerza y revolucionó las industrias dependientes de maquinaria pesada. La prensa hidráulica permitió aplicar una presión inmensa con un esfuerzo mínimo, agilizando

la producción de una amplia variedad de materiales y bienes. Esta innovación mejoró significativamente la eficiencia en las fábricas, resultando en ritmos de producción acelerados y una menor dependencia del trabajo manual. La prensa hidráulica de Bramah desempeñó un papel fundamental en la fabricación de diversos artículos, desde textiles hasta monedas, transformando de manera decisiva el panorama industrial [5].

En 1795, el 1 de abril tuvo lugar un Golpe de Estado en Francia, el 16 de mayo se firmó la Paz de Basilea, el 20 de mayo se dio otro Golpe de Estado en Francia, el 21 de junio los aliados y los emigrados desembarcaron en Quiberon, el 19 de agosto se firmó la Paz con España, el 21 de agosto Bonaparte fue nombrado para la Oficina Topográfica en París, entre el 4 y 5 de octubre hubo otro Golpe de Estado en Francia que sofocó Bonaparte, el 16 de octubre Bonaparte fue ascendido a ‘général de division’, el 26 de octubre fue nombrado comandante del Ejército del Interior, el 27 de octubre se creó formalmente el Directorio y se publicó la Constitución en Francia y entre el 22 y 24 de noviembre tuvo lugar la batalla de Loano en Italia [14] y [134]. (Véase el Anexo C).

En marzo de 1796 Agustín de Betancourt terminó su memoria *Explication des principales parties du moulin pour moudre le silex*, con un plano del molino, pensado para construir entre la esclusa del plano inclinado del que hizo un plano y que fue premiado por la *Royal Board of Agriculture de Whitehall* [2] y [48]. Al año siguiente se le propuso a Betancourt un viaje a Cuba para aplicar estas máquinas así como para construir canales y caminos en la Isla. Betancourt aceptó, en principio, la propuesta [2] y [95]. Pero en 1796, Inglaterra y España se declararon la guerra, un largo enfrentamiento que no acabaría hasta la década siguiente con la mítica batalla de Trafalgar. Betancourt tuvo que abandonar Inglaterra donde su colaboración con Bréguet para el perfeccionamiento del telégrafo óptico, hicieron que Betancourt se demorara en París. Ambos presentaron el prototipo y los planos, *Memoria sobre un nuevo telégrafo y algunas ideas sobre la lengua telegráfica*, en la que venían trabajando desde 1787, con una buena acogida por parte de Prony. Comenzó una polémica con Claude Chappe el inventor del primer telégrafo, ya en funcionamiento en Francia- que vio peligrar el uso de su invento [2]. La Academia de Ciencias elogió la precisión, rapidez en la transmisión de mensajes y economía del invento de Agustín [67].

Se habían disputado a Betancourt desde Cuba el Consulado de la Isla, a través de su gobernador, y el conde Mopox, subinspector de las tropas de ésta. Es este último quien recibió la aprobación real para montar la expedición a Cuba, y para

la que Betancourt compró, en Inglaterra, todos los materiales necesarios para trabajar como técnico de la empresa de Mopox. También se reclamó a Lanz para la explotación de la bahía de Guantánamo, y, asimismo, a Sureda, que iba a acompañar a Betancourt como técnico en dibujo de planos y nivelaciones [2] y [15] .

Las máquinas de vapor de Betancourt, llegaron a Cuba en 1796, una que estaba en funcionamiento en enero de 1797 en un ingenio azucarero tras las gestiones del Conde de Casa Montalvo, que asimismo viajaba por Inglaterra de incógnito, con nombre falso y a la búsqueda de avances tecnológicos. Betancourt le propuso su empleo para moler la caña de azúcar [15] . En el retrato del Conde de Casa Montalvo se aprecia una máquina de vapor cuyas características responden al prototipo diseñado por Betancourt [95].

En 1796 [5]. ó 1798 [139], Aloys Senefelder inventó la litografía o Grabado. Dramaturgo y músico, escribió la lista de ropa que iba llevarse la lavandera, sobre lo único que tenía a mano, una piedra pulida, con un lápiz graso. Senefelder, quien buscaba un método barato de impresión comercial para difundir sus obras de teatro y sus partituras, experimentó a partir de entonces con aquella y otras piedras, basándose en la sabida falta de afinidad entre el agua y la grasa y en la técnica del grabado al aguafuerte. Este es el proceso llamado printing o Grabado o litografía [108] y [5].

En 1796, el médico inglés Edward Jenner administró la primera vacuna para prevenir la viruela, una enfermedad que en ese tiempo causaba la muerte de muchas personas. Quienes sobrevivían solían quedar terriblemente marcados por cicatrices conocidas como *pockmarks*. Como médico rural, Jenner había observado que el antiguo dicho popular era cierto: las ordeñadoras de vacas, que contraían una forma leve de enfermedad procedente de las ubres de las vacas, llamada *cowpox* (viruela vacuna), nunca parecían contraer la forma más grave, la viruela humana. Para poner a prueba esta teoría, Jenner tomó fluido de las lesiones de una mujer infectada con *cowpox*, Sarah Nemes, e insertó ese fluido en unos pequeños rasguños hechos en el brazo de un niño de ocho años, James Philipps, hijo del jardinero. El niño contrajo rápidamente *cowpox* y se recuperó. Posteriormente, se le aplicó una dosis de viruela humana en el brazo, del mismo modo, pero no contrajo la enfermedad. El experimento fue un éxito y Jenner se convirtió en el “padre” de la inmunología [139]. Philipps fue el decimoséptimo caso descrito en el primer artículo de Jenner sobre vacunación [107].

En 1796, Georges Cuvier publicó sus descubrimientos sobre las diferencias entre los elefantes vivos y los que aparecían en el registro fósil. Sus análisis demostraron que los mamuts y los mastodontes eran especies diferentes de cualquier animal

viviente, poniendo fin así a un largo debate sobre la posibilidad de que se extinguieran las especies [109].

En 1796 Gaspard de Prony publicó *Nouvelle architecture hydraulique: Seconde partie, contenant la description détaillée des machines à feu* [111]. Y entre 1796 y 1800, publicó su *Mémoire sur un moyen de convertir les mouvements circulaires continus en mouvements rectilignes alternatifs* [110].

En 1796, Bradley construyó una máquina para fabricar clavos en Inglaterra [139], el francés Joseph Michel Montgolfier inventó y desarrolló la primera bomba de ariete [112] y Parker elaboró el cemento, en el ámbito de la Química [5].

En 1796 Alessandro Volta había comenzado sus experimentos para construir su famosa *pila*, o columna de elementos generadores de electricidad. Estos elementos estaban formados por placas de plata y zinc en contacto, separadas por una almohadilla húmeda de otra pareja similar—alternando cada pareja y almohadilla hasta apilar ocho o diez unidades combinadas de este tipo. Un conductor que tocara la parte inferior y superior de una pila así mostraba la indicación más intensa de fuerza eléctrica. Cuando Volta tocaba cada extremo de la pila, recibía una descarga: cuanto más grande era la pila, mayor era la descarga [139]. Cuando Volta dominó la técnica de crear fuerzas eléctricas a partir de una nueva combinación de elementos desconocida para cualquier investigador anterior, envió una carta a Sir Joseph Banks, entonces presidente de la Royal Society en Londres, escrita el 20 de marzo de 1800 y titulada *On the Electricity excited by the mere Contact of conducting Substances of different kinds*. La carta tendría que cruzar Francia en una época en que ese país estaba en guerra con Inglaterra. Por ello dividió su comunicación en dos partes, retrasando la segunda parte durante varios meses y posponiendo así la lectura de toda la carta ante la Royal Society hasta el 26 de junio de 1800—un lapso de tres meses desde la fecha de la primera parte. La carta de Volta, publicada más tarde en las *Transactions of the Royal Society*, es uno de los documentos más importantes en la historia de la ciencia porque introdujo una nueva manera de generar corrientes eléctricas. Los experimentos ya no estaban limitados a lo *dramático*, como las chispas, ruedas eléctricas y otras descargas que duraban solo unos segundos [115]. Volta mostró su pila a Napoleón en 1801 [139]. Más tarde, Volta mejoró la pila utilizando una *corona de copas* [139].

En 1796, el 2 de marzo Bonaparte fue nombrado comandante del Ejército de Italia, el 9 de marzo se casó con Josefina de Beauharnais, el 26 de marzo tomó el mando en Niza, el 10 de abril tuvo lugar el Combate de Voltri en el Norte de Italia, el 12 de abril se produjo la batalla de Montenotte en el norte de Italia, el

13 de abril se desarrolló la batalla de Millesimo en el norte de Italia, el 14 y 15 de abril tuvieron lugar la primera y segunda batallas de Dego en el Norte de Italia, el 21 de abril se desarrolló la batalla de Mondovì en el Norte de Italia, el 28 de abril se firmó el Armisticio de Cherasco, el 7 de mayo tuvo lugar el paso del río Po en el Norte de Italia, el 8 de mayo se produjo el combate de Fombio en el Norte de Italia, el 10 de mayo se desarrolló la batalla de Lodi en el norte de Italia, el 15 de mayo tuvo lugar la Ocupación de Milán en el Norte de Italia, el 30 de mayo se produjo la batalla de Borghetto en el Norte de Italia, el 4 de junio se desarrolló el primer sitio de Mantua hasta el 31 de julio en el Norte de Italia, el 23 de junio se firmó el armisticio de Bolonia con los Estados Pontificios, el 2 de agosto tuvo lugar la primera batalla de Lonato en el Norte de Italia, el 5 de agosto se produjo la segunda batalla de Lonato y batalla de Castiglione en el Norte de Italia, el 19 de agosto Francia firmó el Tratado de San Ildefonso con España, el 4 de septiembre se desarrolló la batalla de Roveredo en el Norte de Italia y el 8 de septiembre tuvo lugar la batalla de Bassano en el Norte de Italia [134]. (Véase el Anexo C).

París: tercera estancia (octubre 1796 – febrero 1797) [2] de los 37 a los 38 años de edad

En noviembre de 1796 Peñalver en España recibió una partida económica para una publicación sobre el Gabinete de Máquinas, cuyo primer volumen se intentó imprimir en 1798 sin llegar a término, se hizo en forma de láminas sueltas, y solo se editaron unas pocas [2].

A finales de 1796, entre el 15 y 17 de noviembre tuvo lugar la batalla de Arcola en el norte de Italia, el 16 de noviembre accedió al trono el Zar Pablo, el 16 de diciembre el general francés Hoche zarpó hacia Irlanda y entre el 21 y 27 de diciembre hubo un intento de desembarco en la bahía de Bantry que fracasó [134]. (Véase el Anexo C).

En enero de 1797 el Directorio archivó el expediente sobre el telégrafo óptico y el nuevo invento de Betancourt y Breguet no salió adelante [2].

A finales de enero de 1797 Betancourt y el industrial Périer obtuvieron la patente de explotación de una prensa hidráulica, invento del primero, que no era otra cosa que una máquina mejorada basada en la prensa de Bramah que Betancourt había visto en Inglaterra. [103]. La incorporó al Gabinete de Máquinas (como en

el caso de la máquina de doble efecto y el telar mecánico). Este mismo año regresó a España, donde fue nombrado inspector general de Puertos y Caminos [2]. Antes de abandonar Francia Betancourt dejó como apoderado para sus asuntos económicos en el país a Breguet [1] y [2].

En 1797, el 14 de enero tuvo lugar la batalla de Rivoli en el norte de Italia, el 2 de febrero Mantua se rindió al Norte de Italia, el 14 de febrero se desarrolló la batalla naval del Cabo de San Vicente, el 19 de febrero se firmó el tratado de Tolentino y entre el 22 y 24 de febrero hubo un Intento de desembarco en Fishguard [134]. (Véase el Anexo C).

Madrid: tercera estancia en Madrid (febrero a agosto 1797) [2] a los 38 años de edad

En 1797 Betancourt regresó a Madrid y se dedicó a la construcción de la línea telegráfica Madrid-Cádiz, ambicioso proyecto que quedaría limitado a cuatro estaciones entre Madrid y Aranjuez [15] , siéndole encomendado el proyecto finalmente en 1798 según [2].

En 1797 Agustín formalizó su matrimonio en España [106].

En 1797, Lazare Carnot publicó su *Essai sur les machines en général* siguiendo las ideas de Euler. Esta obra constituye el primer tratado de dinámica del movimiento de una máquina. La importancia del análisis del movimiento en las máquinas se vio reflejada en la propuesta que Monge presentó a la Convención francesa en 1794 [3] y [5].

En 1797 se liberalizó completamente el monopolio del comercio americano, iniciándose el gran proceso capitalista [5].

En 1797 se instaló en Londres la logia matriz masónica *Gran Reunión Americana*, con patrocinio del gobierno inglés. A su cabeza estuvo el mercenario venezolano Francisco Miranda que coordinó insurrecciones hispanoamericanas [127].

En este periodo de 1797, el 16 de abril comenzó el motín naval de Spithead que terminó el 15 de mayo, el 18 de abril se firmó la paz preliminar de Leoben, el 12 de mayo comenzó el motín naval del Nore que terminó el 13 de junio, el 16 de mayo Bonaparte ocupó Venecia, el 27 mayo 1797 François Noël Baboeuf, jefe de los iguales (comunistas primitivos) fue guillotinado [14] y el 28 de junio Francia ocupó las Islas Jónicas [134]. (Véase el Anexo C)

Finalmente Betancourt decidió embarcarse hacia La Habana en los muelles de La Coruña, el 8 de junio de 1797, pero un imprevisto cambió su destino: el bergantín correo en el que viajaba fue atacado por una fragata británica cerca de Portugal, los tripulantes fueron apresados y, aunque liberados días después en Lisboa, sus pertenencias fueron incautadas a título de botín de guerra. Se perdió todo el instrumental científico que Agustín había adquirido especialmente para la expedición a Guantánamo y, lo que es peor, su biblioteca entera [95]. Agustín de Betancourt nunca llegó a la Isla, pero sería injusto no considerarlo como un pionero de la industrialización de este país, pues sí influyó de forma indirecta. Betancourt renunció al viaje finalmente y se instaló en Madrid [2], [15], [89], [95] y [5].

París: cuarta estancia (septiembre 1797 – noviembre 1798) [2] de los 38 a los 39 años

A finales de 1797, el 4 de septiembre se produjo un golpe de Estado en Francia, el 11 de octubre tuvo lugar la batalla naval de Camperdown, el 16 de octubre Bonaparte fue nombrado comandante del Ejército de Inglaterra y el 17 de octubre se firmó el Tratado de Paz de Campo Formio [134]. (Véase el Anexo C)

Thomas Robert Malthus publicó en 1798 el *Ensayo sobre el principio de población*, en el que desarrolló la influyente teoría de que la población crece más rápidamente que los recursos, conduciendo a una progresiva pobreza de la población [113].

En 1798, el 20 de febrero el papa Pío VI fue deportado a Francia, el 5 de marzo Francia abandonó los planes de invasión de Inglaterra, el 12 de abril Bonaparte fue nombrado comandante del Ejército de Oriente, el 26 de abril Francia se anexionó Ginebra y se creó la República Helvética, el 19 de mayo Bonaparte zarpó de Tolón rumbo a Egipto y hubo un nuevo Golpe de Estado, el 19 de junio Francia ocupó Malta, el 1 de julio el Ejército de Oriente francés desembarcó en Embabeh en Egipto, el 2 de julio tuvo lugar el asalto francés de Alejandría en Egipto, el 13 de julio se produjo la batalla de Shubra Khit en Egipto, el 21 de julio se desarrolló la batalla de las Pirámides en Egipto, el 1 de agosto se produjo la batalla naval del Nilo, el 2 de septiembre el sultán declaró la guerra a Francia, el 5 de septiembre Francia introdujo el servicio militar obligatorio y el 21 de octubre se reprimió la revuelta de El Cairo [134]. (Véase el Anexo C)

Madrid: cuarta estancia (diciembre 1798 – mayo 1807) [2] de los 39 a los 48 años de edad

El regreso de Agustín de Betancourt a Madrid quedó recogido en una nota de prensa enviada por el corresponsal a la Gazeta francesa *La Chronica Universal* en enero de 1799, señalando su popularidad internacional en Europa [2].

En 1798 Agustín se ocupó de la organización en España de un cuerpo de ingenieros ferroviarios [2].

Entre 1798 y 1799 se desarrolló la campaña de Egipto de Napoleón [14], cuyo objetivo era conquistar Egipto para cerrar a los británicos el camino a la India en el marco de la lucha contra Gran Bretaña, única potencia hostil a la Francia revolucionaria. La expedición terminó siendo un fracaso, pero gracias a ella Europa pudo redescubrir las maravillas de la antigüedad faraónica de la civilización egipcia [14].

Francia siguió ocasionando continuos enfrentamientos bélicos, por lo que a finales de 1798, el 29 de diciembre se formó la Segunda Coalición contra Francia [134]. (Véase el Anexo C) Esta fue el segundo esfuerzo combinado de múltiples países europeos, liderados por la Monarquía de los Habsburgo y los imperios ruso y otomano, para contener a la Revolución francesa. Cierta número de enemigos de Francia prepararon una nueva alianza con Inglaterra para deshacer las anteriores conquistas francesas. Austria y Rusia movilizaron ejércitos de refresco para las campañas de Alemania e Italia en 1799 [14].

En 1799 finalizó la Revolución francesa con el golpe de estado de Napoleón Bonaparte [14].

En Francia entre 1799 y 1804 se reorganizó la enseñanza (escuelas primarias, medias y superiores) controlada por el Estado. Latín, matemáticas y Ciencias Naturales aplicadas centraron la atención de los nuevos métodos educativos. Napoleón consideraba la educación como un medio de control moral y político. Se crearon los Liceos (Institutos de enseñanza) [14].

En 1799 murió George Washington, el primer presidente de los Estados Unidos entre 1789 y 1797 y comandante en jefe del Ejército Continental revolucionario en la guerra de la Independencia de los Estados Unidos (1775-1783). Se le considera uno de los Padres Fundadores de los Estados Unidos [114].

En 1799 Agustín probó a convertirse en empresario en España y en la primavera de 1799 recibió la cesión de la Real Fábrica de Algodón de Ávila [15], que venía

de una gestión pública desastrosa, lastrada por la obligación de usar algodón americano, un exceso de plantilla en general poco cualificada y una gestión errática de los anteriores administradores. Se hizo oficialmente cargo de ella en 1800. Inyectó mucho dinero en modernizarla con la intención de explotar comercialmente las máquinas textiles de su invención [2] y [15] .

Johann Wilhelm Ritter fue un físico y filósofo alemán que entre 1798 y 1799 publicó la explicación correcta del galvanismo en términos de química mediante novedosos experimentos con ranas. Durante su período más fructífero, de 1796 a 1804 en Jena, descubrió además:

- la relación entre la serie de voltajes y la oxidación de los metales (1798),
- la electrólisis cuantitativa del agua (1800),
- la radiación ultravioleta de onda corta en la luz solar (1801),
- el movimiento del mercurio en un capilar en forma de U mediante polarización (1801),
- la influencia sobre sus órganos sensoriales dependiendo del voltaje (1801/02),
- la construcción de un acumulador simple (1802),
- la determinación de diferentes corrientes en cables ramificados (1804) (anticipando las leyes descubiertas por G. Ohm y G. Kirchhoff).

En 1799 se encontró en los bosques de Aveyron, Francia, a Víctor, conocido posteriormente como el *niño salvaje*. Andaba a cuatro patas, comía bellotas y vivía como un animal. Cuando lo llevaron a París, en 1800, despertó una enorme curiosidad pedagógica y filosófica: ¿*Cómo pensaba?*. Se le pidió a su eminente profesor Jean-Marc Itard, que intentara enseñar al niño salvaje a hablar e instruirse [140].

Durante los años 1799 y 1800 Betancourt estuvo trabajando de lleno en el proyecto de la línea telegráfica de Madrid a Cádiz, para lo que se adelantaron varias sumas de dinero en los primeros meses de 1799. Su hermano Marcos colaboró con él en Madrid. Se calculaba que había que instalar entre 60 y 70 telégrafos y que se iba a tardar veinte meses en realizar la obra. En 1799 se inauguró la primera línea española de telegrafía óptica entre Madrid y Aranjuez, donde residía la Corte en verano, aunque tenía el proyecto de continuarla hasta Cádiz. La línea Madrid-Aranjuez estaba compuesta por cuatro puestos telegráficos: Palacio del Buen Retiro, ermita de los Ángeles (Getafe), cerro Espartinas (Valdemoro) y monte Parnaso de Aranjuez. Hay varios testimonios escritos de la época sobre estos telégrafos ópticos de los que no han quedado otros rastros [2]. Así, el telégrafo

Betancourt-Breguet no se estableció en Francia, pero sí en España, funcionando ya en 1800 [67].

El 12 de junio de 1799 se estableció la Inspección General de Caminos y Canales, como órgano técnico para la dirección de las obras públicas, dependiente de la Superintendencia General de Correos y Caminos que desempeñaba el secretario de Estado. Betancourt rechazó el cargo de director de la Inspección, ocupado de lleno en el asunto del telégrafo, y este recayó en José Nadín y Guzmán, conde de Guzmán [2] y [59].

En 1799 Agustín sucedió a Peñalver como director del Gabinete, tras la caída en desgracia de éste último ante Godoy [15] .

En 1799, Francia siguió con su política bélica, el 8 de febrero tuvo lugar el sitio de El-Arish en Siria que cayó el día 19, el 1 de marzo estalló la guerra entre la Segunda Coalición y Francia, el 3 de marzo tuvo lugar el primer ataque contra Jaffa en Siria, el 11 de marzo Bonaparte visitó los Pestiferies en Jaffa, el 19 de marzo se inició el sitio de Acre en Siria, el 25 de marzo tuvo lugar la batalla de Stockach en el Norte de Italia, el 16 de abril se desarrolló la batalla del monte Tabor, el 20 de mayo comenzó la retirada francesa de Siria, entre el 4 y 7 de junio tuvo lugar la primera batalla de Zúrich, el 14 de junio Bonaparte llegó a El Cairo en Egipto, el 18 de junio fue el Golpe de Estado, el 25 de julio se produjo la Batalla de Abuqir en Egipto, el 15 de agosto tuvo lugar la batalla de Novi en el Norte de Italia, el 23 de agosto Bonaparte zarpó hacia Francia, el 27 de agosto se produjo el desembarco aliado del duque de York en Holanda, entre el 26 y 30 de septiembre se desarrolló la segunda batalla de Zúrich en Suiza, el 9 de octubre Bonaparte desembarcó en Francia, entre el 9 y 10 de noviembre tuvo lugar el Golpe de Estado de Brumario y la abolición del Directorio francés, el 10 de noviembre se estableció el Consulado provisional, el 19 de noviembre el duque de York evacuó Holanda, el 14 de diciembre Bonaparte fue nombrado Primer Cónsul y el 26 de diciembre se formó el Consejo de Estado [134]. (Véase el Anexo C)

En octubre de 1800, por decisión del secretario de Hacienda español, Cayetano Soler, se paralizaron las obras del telégrafo por problemas económicos. Solo se llegaron a construir cuatro torres telegráficas entre Madrid y Aranjuez, que se habían puesto en servicio meses atrás. Betancourt devolvió escrupulosamente el dinero sobrante de lo presupuestado, práctica tan llamativa como poco habitual entonces [2] y [15] .

En 1800, el 20 de enero Carolina Bonaparte se casó con Murat, el 28 de enero se celebró la Convención de El-Arish en Egipto, el 14 de marzo se eligió al papa Pío

VII, el 20 de marzo tuvo lugar la batalla de Heliópolis en Egipto y Kléber derrotó a los turcos, el 5 de abril comenzó la ofensiva austríaca en el noroeste de Italia, el 20 de abril se inició el sitio de Génova en Italia, el 3 de mayo tuvo lugar la segunda batalla de Stockach en Alemania, el 15 de mayo comenzó el cruce de los Alpes por el Ejército de Reserva en Suiza, el 21 de mayo se inició el sitio del Fuerte Bard en Italia, el 4 de junio tuvo lugar la caída de Génova en Italia, el 6 de junio cayó el Fuerte Bard en Italia, el 9 de junio se produjo la batalla de Montebello en Italia, el 14 de junio se desarrolló la batalla de Marengo y murió Desaix en Italia, el 15 de junio se celebró la convención de Alessandria, el 19 de junio tuvo lugar la batalla de Höchstädt en Baviera, el 28 de julio se realizaron los preliminares de paz austro-franceses, el 5 de septiembre cayó Malta, el 7 de octubre se firmó el segundo Tratado de San Ildefonso en el que España cedió Luisiana a Francia, el 5 de noviembre se reanudaron las hostilidades austro-francesas, el 3 de diciembre tuvo lugar la batalla de Hohenlinden, el 18 de diciembre se formó la Segunda Neutralidad Armada en el Báltico y el 24 de diciembre el primer Cónsul sufrió un atentado con bomba en París [134]. (Véase el Anexo C)

En 1801 posiblemente nació la tercera hija de Agustín de Betancourt, Matilde [2].

En 1801 Agustín publicó su *Medio para que de un acueducto no salga más agua que la necesaria para mantener lleno un pilón en el Semanario de Agricultura*, sistema que se utilizó para abastecer la fundición del Buen Retiro [2]. También asumió la dirección de la Inspección General de Caminos y Canales, reorganizando el Cuerpo. Más tarde fue nombrado intendente de Carlos IV [67]. Se encargó de rehabilitar obras hidráulicas, como el Canal de Castilla; inspeccionó vías de comunicación y proyectó nuevas obras. La memoria titulada *Noticia del estado actual de los caminos y canales de España, causa de sus atrasos y defectos, y medios de remediarlos en adelante* reflejó su labor en ese tiempo [48] y que según [2] entregó al ministro Cevallos en 1803 [1].

En 1801, España presionada por Francia, rompió relaciones con Portugal ante la negativa portuguesa a cerrar sus puertos al comercio británico. La guerra finalizó con el tratado de Badajoz, en el que España obtuvo la plaza de Olivenza. Godoy fue nombrado generalísimo de los ejércitos de mar y tierra [14].

Desde 1801 y hasta 1809 Thomas Jefferson fue el tercer presidente de los Estados Unidos, periodo en el que los Estados Unidos compraron la Louisiana a Francia. A Jefferson se le considera uno de los padres fundadores de la nación [119].

Entre 1801 y 1804 se construyó un puente peatonal de nueve arcos de hierro fundido en el emplazamiento del actual Pont des Arts, que fue el primer puente metálico de París. Esta innovación se debió a Napoleón Bonaparte, que quería

levantar una estructura de tipo metálica en la ciudad como símbolo de modernidad, frente a los puentes de piedra de la época monárquica. Así, los ingenieros Louis-Alexandre de Cessart y Dillon Jacques concibieron un puente-jardín en cuyo tablero existían árboles, bancos y arriates con flores [116].

En 1801 Piazzi descubrió lo que se pensó inicialmente que era un planeta, Ceres. Se catalogó como asteroide en la década de 1850 cuando se empezaron a descubrir otros objetos en órbitas similares [120] y [139]. Jacquard inventó un telar capaz de tejer diseños complejos. Este telar usaba tarjetas perforadas que permitían que se formaran los diseños [139].

En 1801 Ritter descubrió que los rayos invisibles situados justo detrás del extremo violeta del espectro visible eran especialmente efectivos oscureciendo el papel impregnado con cloruro de plata. Denominó a estos rayos “rayos desoxidantes” para enfatizar su reactividad química y para distinguirlos de los “rayos calóricos” (descubiertos por William Herschel) que se encontraban al otro lado del espectro visible. Poco después se adoptó el término “rayos químicos”. Estos dos términos, “rayos calóricos” y “rayos químicos” permanecieron siendo bastante populares a lo largo del siglo XIX. Finalmente estos términos fueron dando paso a los más modernos de radiación infrarroja y ultravioleta respectivamente [117].

En 1801, el 15 de enero se firmó el armisticio franco-austriaco de Treviso, el 9 de febrero se firmó la Paz de Lunéville, el 22 de marzo tuvo lugar la batalla nocturna de Abuqir en Egipto, el 23 de marzo fue asesinado el zar Pablo I y accedió al trono ruso el zar Alejandro I, el 2 de abril se desarrolló la batalla naval de Copenhague, entre el 6 y 13 de julio tuvieron lugar las Batallas navales de Algeciras, el 15 de julio se firmó el Concordato con Roma, el 14 de septiembre los franceses evacuaron Egipto, el 1 de octubre se firmaron los Preliminares de Amiens y el 14 de diciembre Leclerc zarpó de Brest hacia Santo Domingo en las Indias Occidentales [134]. (Véase el Anexo C)

En 1802, entre las obras que supervisaba Betancourt como inspector destacó la rotura de la segunda presa de Puentes de Lorca (Murcia) en abril, que provocó 608 víctimas. *El Informe dado por D. Agustín de Betancourt sobre los Pantanos y Reparos que deben hacerse en Lorca* se considera el desencadenante de la creación de la Escuela de Caminos y Canales [66]. En 19 octubre de 1802 se convocaron los primeros exámenes de ingreso para los Estudios de la Inspección General de Caminos y Canales y que en 1803 pasó a llamarse Escuela de Caminos y Canales [15] (nombre que mantuvo hasta 1835) [2] y [67]. En estos Estudios se abogaba por la necesidad de formar a técnicos para la construcción de las obras públicas del Estado. La Escuela de Caminos promovida por Betancourt fue dirigida por

él los primeros años, integrándose en ésta el Real Gabinete de Máquinas. Betancourt diseñó los dos primeros años de estudios y reclamó como profesores a José María de Lanz, Juan López de Peñalver, José Chaix y otros, que formaron la primera hornada de profesores de la Escuela. Esta escuela tomó como modelo a la *École des Ponts et Chaussées* de París [2]. Aquella se instaló en el Palacio del Buen Retiro, y duró hasta el dos de mayo, en que fue destruida por la metralla francesa [59], [2] y [67].

Su discípulo Rafael Bauzá acabó ocupándose de la presa de Lorca tras su rotura. En este año Betancourt examinó varios puentes en Valencia y otros lugares, y arregló o construyó unos 140 puentes en la carretera de Madrid a Barcelona, y en la zona de Zaragoza y Valencia, debido al recorrido del Príncipe de Asturias y su hermana, ambos celebrando sus enlaces matrimoniales en idéntica fecha: el 4 de octubre [2].

Si bien Richard Trevithick ya había experimentado con modelos de máquinas accionadas por vapor desde 1796 al menos, no fue hasta 1802 cuando presentó su patente, revolucionando el sector. Así, construyó una máquina de alta presión para una planta siderúrgica en Merthyr Tydfil, Gales. La sujetó a un bastidor e hizo de ella una locomotora. La patente la vendió en 1803 a Samuel Homfray, el propietario de la ferrería, quien estaba tan impresionado que hizo una apuesta con otro industrial de que la locomotora podía arrastrar diez toneladas de hierro por unas vías hasta Abercynon, a una distancia de 15.7 km [121] y [139].

En 1802, el 5 de febrero Leclerc llegó a Santo Domingo en las Indias Occidentales y el 25 de marzo se firmó la Paz de Amiens [134]. El Tratado de Amiens o Paz de Amiens fue un acuerdo que puso fin a la guerra entre el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda y la Primera República francesa más sus aliados, entre ellos España. España e Inglaterra permutaron las islas de Trinidad y Menorca [14].

En 1802, entre el 8 y 14 de mayo se estableció el plebiscito sobre el Consulado Vitalicio proclamado el 2 de agosto, el 19 de mayo se constituyó la *Légion d'honneur*, el 2 de agosto Francia se anexó Elba, el 2 de septiembre Francia se anexó Piamonte al norte de Italia y el 15 de octubre Francia invadió Suiza [134]. (Véase el Anexo C)

En 1803 Agustín fue nombrado intendente del Ejército [2].

En diciembre de 1803 la Imprenta Real dio a la stampa una lámina que reproduce la máquina de cortar hierba de Betancourt en ríos y canales premiada en Londres en 1795 y dedicada a Godoy [2].

Entre junio de 1803 y octubre de 1805 Godoy encargó a Betancourt la regulación de las aguas del río Genil a su paso por Granada, para evitar que se inundara el Soto de Roma, la extensa y fértil finca de regadío que le había donado Carlos IV en 1795 [67]. Ese mismo año Betancourt realizó un reconocimiento del río y redactó un informe técnico que constituye un paradigma de la ingeniería respetuosa con la naturaleza. Recomendaba prohibir los cultivos en el curso alto del Genil (para evitar deforestaciones que agravaran la erosión), plantar franjas de arbolado paralelo a las orillas y construir el sifón de Jotá, eliminando azudes rústicos que obstaculizaban el flujo de las aguas. Estas obras de corrección de las márgenes del río Genil, que hubieran dado su fruto a largo plazo, exasperaron a Godoy (que buscaba evitar la inundación de su finca inmediatamente) hasta el punto de retirar su confianza a Betancourt (en octubre de 1805) poniendo al frente de las obras a ingenieros militares, más dóciles y disciplinados. El deterioro de las relaciones entre Betancourt y el poderoso valido Godoy y el cariz sombrío que tomaban los acontecimientos políticos en el ámbito internacional, hicieron que Agustín de Betancourt madurara la idea de abandonar definitivamente España [2] y [67].

En 1803 se tradujeron para la Escuela de Caminos los libros *Geometría Descriptiva* de Gaspard Monge y *Mecánica Elemental* de Francoeur [2].

En 1803, el 19 de febrero se firmó el acta francesa de Mediación en Suiza, el 11 de marzo se ordenó a la flota francesa prepararse para la invasión de Inglaterra, el 3 de mayo Francia vendió Luisiana a los EE. UU., el 16 de mayo Gran Bretaña declaró la guerra a Francia, el 5 de junio Mortier ocupó Hannover en Alemania, el 15 de junio se guarneció el campamento de Boulogne en Francia, el 23 de agosto se formaron los campamentos de Saint-Omer y Brujas y se reunieron las flotillas de invasión, el 9 de octubre se firmó la alianza franco-española y el 29 de noviembre tuvo lugar la batalla de Argau en la India [134]. (Véase el Anexo C)

En 1804 finalizaron sus estudios la primera promoción de ingenieros de caminos y canales, de la que formaba parte, entre otros, Rafael Bauzá [2].

En 1804, Thomas Young publicó su artículo *Experimental Demonstration of the General Law of the Interference of Light*, que no era otra cosa que el experimento de la doble rendija. Con él demostró la interferencia de la luz. Más adelante, este experimento se utilizaría para demostrar que la luz y la materia pueden mostrar características tanto de ondas como de partículas definidas clásicamente; además, muestra la naturaleza fundamentalmente probabilística de los fenómenos de la mecánica cuántica [118].

En 1804, el periódico *Morning Post* enarboló en Inglaterra una consigna programática: *A España hay que vencerla en América, no en Europa* [127].

En 1804 en Francia, el 13 de febrero se descubrió la conspiración de Cadoudal, entre el 19 y 28 de febrero se realizaron los arrestos de Moreau y Pichegru, el 21 de marzo el duque de Enghien fue secuestrado y ejecutado, el 24 de marzo se promulgó el Código Civil, el 18 de mayo Napoleón fue proclamado emperador, el 19 de mayo se creó el Mariscalato y el 2 de diciembre se coronó a Napoleón en Notre Dame de París. Marcó la instauración del “imperio moderno” y fue una muestra de propaganda moderna [122] y [134]. (Véase el Anexo C)

En 1804, el 14 de diciembre España declaró la guerra a Gran Bretaña [134]. (Véase el Anexo C)

En 1804, Beethoven dedicó su Tercera Sinfonía, la Heroica, a Napoleón y Sir William Congreve desarrolló cohetes militares [139]

En 1805 posiblemente nació el cuarto hijo de Agustín, Alfonso, el único hijo varón [2].

En 1805 la relación de Agustín de Betancourt con Joseph Lanz fue especialmente fructífera, pues durante el magisterio del matemático mexicano, desde 1802 a 1805, ambos redactaron gran parte del *Essai sur la composition des machines*, el primer libro con un enfoque moderno sobre máquinas que llevaba escribiendo desde 1803. Se convirtió en un libro de texto de gran difusión en toda Europa [1] y [48]. En ella se exponía un dispositivo que permitiera ahorrar tiempo y economizar agua en el paso de las embarcaciones por la esclusa del émbolo buzo [48]. La innovación y el mérito de Betancourt residen en el diseño del mecanismo, que reviste una gran sencillez y que puede ser manejado por una sola persona [67].

A principios de 1805 Betancourt estaba atravesando una difícil situación económica en gran parte por la fábrica de Ávila, que no marchaba bien, y de la que intentaba deshacerse [2]. En julio de 1806 el gobierno español aceptó cancelar el contrato de la fábrica de Ávila y admitir así que Betancourt la devolviera al Estado [2].

En 1805, el 11 de abril se firmó la alianza anglo-rusa, el 26 de mayo Napoleón se coronó a sí mismo Rey de Italia, el 4 de junio Francia se anexó Génova, el 7 de junio Eugène Beauharnais fue nombrado virrey de Italia, el 22 de julio tuvo lugar la acción naval de Ferrol, el 9 de agosto Austria se unió a la Tercera Coalición, el 3 de septiembre las últimas grandes formaciones dejaron el campamento de Boulogne, el 10 de septiembre los austríacos del general Mack invadieron Baviera, el 25 de septiembre la Grande Armée cruzó el Rin, el 7 de octubre las primeras unidades francesas cruzaron el Danubio

en Baviera, el 8 de octubre tuvo lugar el Combate de Wertingen en Baviera, el 11 de octubre se desarrolló el Combate de Haslach en Baviera, el 14 de octubre se produjo la acción de Elchingen en Baviera, el 17 de octubre tuvo lugar la Convención de Ulm, el 20 de octubre se desarrolló la Capitulación de Ulm en Baviera y el 21 de octubre se produjo la batalla naval de Trafalgar y la muerte de Nelson [134]. (Véase el Anexo C)

La batalla de Trafalgar fue una batalla naval en el marco de la Tercera Coalición iniciada por Reino Unido, Austria, Rusia, Nápoles y Suecia para intentar derrocar a Napoleón Bonaparte del trono imperial y disolver la influencia militar francesa existente en Europa. La batalla de Trafalgar se produjo frente a la costa española del cabo de Trafalgar, en Los Caños de Meca, localidad del municipio gaditano de Barbate, en aquella época perteneciente a Vejer de la Frontera. Dicha batalla naval se considera una de las más importantes del siglo XIX, en ella se enfrentaron los aliados Francia y España (al mando del vicealmirante francés Pierre Villeneuve, bajo cuyo mando estaba por parte española el teniente general del mar Federico Gravina) contra la Armada británica al mando del vicealmirante Horatio Nelson, quien obtuvo la victoria [1] y [14].

En 1805, entre el 28 y 31 de octubre tuvo lugar la Segunda batalla de Caldiero en el norte de Italia, el 3 de noviembre se firmó el Tratado de Potsdam, el 8 de noviembre tuvo lugar la batalla de Maria Zell en el Danubio, el 11 de noviembre se desarrolló la acción de Dürnstein en el Danubio, el 14 de noviembre Napoleón entró en Viena, el 16 de noviembre se produjo la Batalla de Hollabrunn en el Danubio, el 2 de diciembre tuvo lugar la batalla de Austerlitz y el 26 de diciembre se firmó la Paz de Pressburg [134]. (Véase el Anexo C)

En 1805 la batalla de Austerlitz, también conocida como la batalla de los Tres Emperadores, enfrentó el 2 de diciembre de 1805 a un ejército francés encabezado por el emperador Napoleón I contra las fuerzas combinadas ruso-austríacas del zar ruso Alejandro I y el emperador austríaco Francisco I. Fue una de las mayores victorias de Napoleón, que le concedió la hegemonía indiscutible en Europa occidental y central, donde, por medio de la persuasión y de presiones, se aseguró la cooperación activa de los principales Estados del sur de Alemania (Baviera, Baden y Wurtemberg). Las demás potencias europeas estaban asombradas por la escala y la celeridad de sus victorias. La campaña demostró la incapacidad de las potencias para formar y liderar una alianza con fuerza suficiente para derrotar a la resurgente Francia. Igual que en 1798-1801, la cooperación militar y política anglo-rusa estuvo sometida a muchas tensiones y las relaciones entre San Petersburgo y Viena, ya muy deterioradas, alcanzaron un punto más bajo aún, en el que cada parte hacía a la otra responsable de la derrota [123].

En enero de 1806 murió el hermano de Agustín de Betancourt, Marcos, teniente de fragata de la Real Armada [2].

Desde abril de 1806 Betancourt se planteaba abandonar España, dado el cariz de los acontecimientos políticos y sus desavenencias con Godoy [1] y, de hecho, su mujer ya estaba instalada en París [48]. Agustín ya había dado por entonces un poder a José Sureda para administrar sus bienes en España [2].

Entre julio y septiembre de 1806 se aprobaron y comenzaron las obras en Lorca, según el informe de Betancourt, trabajos dirigidos por Rafael Bauzá y un ingeniero murciano [2].

Entre 1806 y 1807, la población del virreinato del Río de la Plata (Argentina) expulsó dramáticamente a los ingleses. En adelante, en Hispanoamérica, Gran Bretaña substituyó sus fuerzas de ocupación por empréstitos, de tal manera que alguien llegó a expresar que en vez de estar liberándolos, estaban hipotecándolos [127].

En 1806 en Francia, el 23 de enero murió William Pitt, el 15 de febrero Francia obligó a Prusia a aceptar concesiones, el 1 de abril José Bonaparte fue proclamado rey de Nápoles, el 1 de Abril Murat fue nombrado gran duque de Berg y de Cleves, el 16 de mayo comenzó el bloqueo británico de los puertos franceses, el 20 de junio Luis Bonaparte fue proclamado rey de Holanda, el 4 de julio el general Stuart venció en la batalla de Maida en Italia, el 12 de julio se creó la Confederación del Rin, el 18 de julio Masséna capturó Gaeta en Nápoles, el 20 de julio se firmó el Tratado de paz franco-ruso, el 6 de agosto se disolvió el Sacro Imperio Romano Germánico, el 9 de agosto el ejército prusiano se movilizó, el 24 de agosto el zar Alejandro I se negó a ratificar la paz con Francia, el 1 de octubre Prusia emitió un ultimátum a Francia, el 6 de octubre se formó la Cuarta Coalición, el 7 de octubre las tropas francesas invadieron Sajonia, el 9 de octubre tuvo lugar la Actuación de Schleiz en Sajonia, el 10 de octubre se desarrolló la batalla de Saalfeld en Sajonia, el 14 de octubre se produjo la batalla de Jena-Auers-tädt en Sajonia, el 20 de octubre comenzó el sitio de Magdeburgo en Prusia, el 27 de octubre Napoleón entró en Berlín, el 28 de octubre Hohenlohe se rindió a Lasalle en Prenzlau en Prusia, el 7 de noviembre Blücher se rindió a Bernadotte en Lübeck en Prusia, el 11 de noviembre Magdeburgo se rindió ante Ney en Prusia, el 21 de noviembre se promulgaron los Decretos de Berlín y se inauguró el Sistema Continental, el 10 de diciembre Sajonia firmó el Tratado de Posen con Francia y su elector fue proclamado rey, el 18 de diciembre Napoleón entró en Varsovia (Polonia) y el 26 de diciembre tuvieron lugar las batallas de Golymin y Pultusk en Polonia [134]. (Véase el Anexo C)

En 1807 Agustín de Betancourt asistió por última vez a una reunión del consejo de la *Real Academia de Bellas Artes de San Fernando* [1].

Como la salud financiera de la Real Fábrica de Algodón de Ávila no era mala, el nuevo administrador Binns solicitó hacerse cargo de la cesión, lo que se aceptó en febrero de 1807 quedando Betancourt liberado de la explotación abulense y con una indemnización acorde al beneficio registrado [15] . Cuando consiguió vender la fábrica de Ávila, abandonó España definitivamente y se instaló en Francia [48].

La Fenomenología del espíritu es una de las obras más importantes (y discutidas) del filósofo alemán Georg Wilhelm Friedrich Hegel, en la que este fundamenta su sistema, el idealismo absoluto. Se publicó en 1807 y se considera como una de las obras conceptuales más difíciles de la filosofía occidental [124].

En 1807 el Clermont de Fulton fue el primer barco de vapor de pasajeros que navegó por el río Hudson en Estados Unidos [139].

En 1807 en Francia, el 1 de enero Napoleón conoció a Maria Walewska en Varsovia, el 7 de enero se dictaron órdenes británicas contra el contrabando naval, el 30 de enero comenzó el sitio de Stralsund en Polonia, el 7 y 8 de febrero tuvo lugar la batalla de Eylau en Polonia, el 19 de febrero un escuadrón británico forzó los Dardanelos, el 18 de marzo comenzó el sitio de Danzig en Prusia, el 26 de abril tuvo lugar la convención franco-rusa de Bartenstein y el 29 de abril Stralsund en Polonia se rindió [134]. (Véase el Anexo C)

Poco después, con motivo de las revueltas y el estado de incertidumbre con la invasión de las tropas francesas de Napoleón en España - que daría origen a la Guerra de la Independencia- Agustín de Betancourt abandonó definitivamente España al cual ya no volvería nunca.

París: quinta estancia (mayo 1807 – octubre 1807) [2] a los 48 años de edad

En 1807, una vez instalado en París, Betancourt fue nombrado corresponsal de la Academia de Ciencias de París. Allí presentó su *Memoria sobre un nuevo sistema de navegación interior*, en la cual describió la esclusa de émbolo que había inventado en 1801. En esta época también inventó con Breguet el termómetro metálico [2] y [66], aunque la autoría, no obstante, se atribuye a Breguet y fue éste quien lo fabricó después en serie para comercializarlo [2].

En 1807 en Francia, el 27 de mayo fue la Caída de Danzig en Prusia, el 10 de junio tuvo lugar la batalla de Heilsberg en Polonia, el 14 de junio se desarrolló la

batalla de Friedland en Polonia, el 25 de junio se produjo el encuentro en el río Niemen, el 5 de julio tuvo lugar el fiasco británico ante Montevideo en Sudamérica y entre el 7 y 9 de julio se firmaron La Paz y los Tratados de Tilsit. La Paz de Tilsit fue segundo éxito de la política napoleónica, pues la intervención del zar Alejandro I ante Napoleón permitió que Prusia conservara los territorios al este del Elba, únicos que poseía. Rusos y franceses dividieron Europa en dos zonas de influencia y Rusia se unió al bloqueo continental [14] y [134]. (Véase el Anexo C)

El 16 de agosto las fuerzas británicas bombardearon y desembarcaron en Copenhague (Dinamarca), el 7 de septiembre las fuerzas británicas se apoderaron de la flota danesa, el 13 de octubre se publicó el Decreto de Fontainebleau y el 27 de octubre se firmó el tratado secreto de Fontainebleau con España [134]. (Véase el Anexo C)

En 1807, Francia y España (unidas por el tratado de Fontainebleau firmado el 27 de octubre) decidieron repartirse Portugal y reconociendo a Carlos IV emperador de las Américas. Tropas franco-españolas invadieron el país y la familia real huyó a Brais. Se constituyeron Juntas revolucionarias de resistencia en Oporto, Faro y Braga, comenzando la guerra Peninsular a la que después se unió España con la guerra de la Independencia [14].

Rusia: primer viaje (octubre 1807 – mayo 1808) [2] de los 48 a los 49 años de edad

A finales de 1807 Agustín de Betancourt viajó a San Petersburgo invitado por el zar Alejandro I de Rusia y permaneció allí durante seis meses hasta 1808, regresando posteriormente a París [2].

En el ámbito político, en 1807, el 7 de noviembre el zar retiró a su embajador de Londres, el 23 de noviembre se hizo público el Primer Decreto de Milán, el 27 de noviembre el regente Juan de Portugal zarpó hacia Brasil, el 30 de noviembre el general Junot francés ocupó Lisboa en Portugal y el 17 de diciembre se publicó el Segundo Decreto de Milán [134]. (Véase el Anexo C)

La madre de Betancourt falleció en La Orotava el 17 de enero de 1808 [2].

En el mes de enero de 1808 Betancourt había remitido al gobierno francés los planos de su draga portuaria, pues está en negociaciones sobre su aceptación por éste en un intento por quedarse en Francia [2].

En 1808 en el ámbito de la física Malus descubrió la polarización de la luz [14].

En 1808, el 20 de febrero Murat fue nombrado “lugarteniente” de Napoleón en España, el 29 de febrero los franceses se apoderaron de Barcelona, el 16 de abril comenzó la Conferencia de Bayona y el 2 de mayo se reprimió la revuelta de Madrid [134]. (Véase el Anexo C)

En marzo de 1808, el Conde de Montijo, masón, con el *Motín de Aranjuez*, frustró el desplazamiento de Carlos IV y su Corte a México [127].

París: sexta estancia (mayo 1808 – septiembre 1808) [2] a los 49 años de edad

En 1808 Carlos IV de España abdicó en favor de su hijo, Fernando VII. El 6 de mayo del mismo año el ya rey Fernando VII devolvió el Trono a su padre aunque éste, a su vez, había cedido sus derechos de la Corona a Napoleón Bonaparte, el día anterior, en lo que se conocería como las abdicaciones de Bayona [125].

El pueblo español, apoyado por Inglaterra opuso resistencia a Napoleón [14]. La guerra de la Independencia española fue un conflicto bélico que se dio entre 1808 y 1814 dentro del contexto de las guerras napoleónicas, que enfrentó a las potencias aliadas de España, Reino Unido y Portugal contra Napoleón Bonaparte, cuya pretensión era, tras las abdicaciones de Bayona, instalar en el trono español a su hermano, José Bonaparte y constituir España como Estado satélite del Primer Imperio francés [14].

Así, en 1808 se interrumpieron las clases en la Escuela de Caminos y Canales de Madrid por la invasión francesa [15]. Los soldados napoleónicos asaltaron el palacio del Buen Retiro produciendo pérdidas en las colecciones del Gabinete de Máquinas, que se trasladaron al palacio de Buenavista hasta 1813 [2], pues sus dependencias se utilizaron como cuarteles para el alojamiento de las tropas napoleónicas, hasta que se liberó Madrid y volvieron al Buen Retiro [2].

En 1808 Johann Wolfgang von Goethe publicó la primera parte del drama *Fausto*. La segunda parte se publicó posteriormente en 1832 [126].

En 1808 se publicó el *Essai sur la composition des machines et mécanismes* unánimemente reconocido como primer tratado moderno de máquinas y primer libro que contiene una propuesta de clasificación de mecanismos basada en criterios de trans-

formación de movimiento [3] y fijó el análisis no tanto en la máquina sino en sus mecanismos. El libro iba acompañado del primer programa del Curso Elemental de Máquinas, desarrollado en la École Polytechnique y que impartió Jean Nicolas Pierre Hachette (1769-1834), discípulo de Monge. En ese programa se informaba de los pasos iniciales que se dieron en la creación del curso de máquinas. Monge propuso dedicar dos meses del primer año de estudios a la descripción de elementos de máquinas, introduciendo un nuevo planteamiento en su estudio: *las máquinas son combinaciones de elementos que tienen por finalidad transformar los movimientos* [3].

En 1808 Dalton enumeró los elementos, asignando un símbolo y un peso a cada uno: Hidrógeno 1, Azoe 5, Carbón 5, Oxígeno 7, Fósforo 9, Azufre 13, Magnesia 20, Cal 23, Sosa 28, Potasa 42, Estroncia 44, Barita 68, Hierro 41, Zinc 56, Cobre 56, Plomo 95, Plata 100, Oro 140, Platino 190 y Mercurio 167 [139].

En 1808, el 6 de junio José Bonaparte fue proclamado rey de España, el 9 de junio el general Dupont tomó Córdoba, el 15 de junio tuvo lugar un intento de asalto de Zaragoza, el 16 de junio comenzó el primer sitio de Zaragoza, el 14 de julio tuvo lugar la batalla de Medina del Río Seco, el 20 de julio fue el Fin de la Conferencia de Bayona, el 21 de julio fue la Capitulación de Bailén, el 25 de julio fue la masacre de Évora en España, entre el 1 y 8 de agosto Wellesley desembarcó en la bahía de Mondego en Portugal, el 14 de agosto tuvo lugar el levantamiento del sitio de Zaragoza, el 16 de agosto se produjo la actuación de Obidos en Portugal, el 17 de agosto tuvo lugar la acción de Roliça en Portugal, el 21 de agosto se desarrolló la batalla de Vimeiro en Portugal, el 30 de agosto se celebró la Convención de Cintra en Portugal y el 27 de septiembre fue el comienzo del Congreso de Erfurt [134]. (Véase el Anexo C)

En 1808 Agustín de Betancourt rechazó las ofertas de Napoleón Bonaparte por patriotismo y abandonó París para instalarse y trabajar definitivamente en San Petersburgo, capital del Imperio ruso [48] y [67].

Rusia: estancia final (octubre 1808- julio 1824) [2] de los 49 a los 66 años de edad

Agustín, invitado por el zar, se instaló en Rusia y ya no volvió a salir de allí [2] y [48]. Ingresó en el ejército ruso con el grado de Mayor General adscrito al Departamento de Vías de Comunicación, del que fue nombrado Inspector General,

para misiones especiales de su Majestad Imperial en dicho Departamento y apenas un año después fue nombrado teniente general [2]. Consciente de la necesidad de un centro que formara ingenieros bien cualificados, consiguió que se creara el Cuerpo de Ingenieros de Vías de Comunicación, inspirado en *L'École des Ponts* parisina y en la Escuela de Caminos madrileña [1], [15] y [48]. En 1809 el príncipe Jorge Oldenburg (cuñado del zar) fue designado director general del Departamento de Vías de comunicación. Betancourt fue designado Inspector-jefe para fijar sus bases, siendo su plan docente muy progresista y el Instituto se convirtió en uno de los mejores centros docentes de Europa [1].

En diciembre de 1808 salió a la luz el manifiesto fundacional del Instituto, en el que se fijaba el número de alumnos, asignaturas, sistema de exámenes, talleres, etc. Por otro lado, el 5 de diciembre Agustín fue nombrado académico del Instituto de Francia (clase de Ciencias Físicas y Matemáticas) [15] .

Se llevaron profesores e ingenieros franceses, los libros y aparatos se compraron en París, siendo la mayoría del antiguo Departamento de Comunicaciones por agua. Las diferencias con el de Madrid era que los estudios en San Petersburgo eran íntegramente impartidos en francés, tenían una duración de cuatro años frente a los dos que tenía su equivalente español [15] .

En 1808 en Francia, el 14 de octubre fue el fin del Congreso de Erfurty de la convención ruso-francesa, el 27 de octubre el general Moore salió de Lisboa hacia España, el 31 de octubre tuvo lugar el Combate de Pancorbo en España, el 5 de noviembre se desarrolló el Combate de Valmaseda en España y Napoleón asumió el mando del Ejército de España, el 14 de noviembre se produjo la actuación de Reynosa en España, el 23 de noviembre se desarrolló la batalla de Tudela en España, el 30 de noviembre se produjo la batalla de Somosierra en España), el 2 de diciembre Napoleón ocupó Madrid, el 4 de diciembre comenzó el segundo sitio de Zaragoza, el 21 de diciembre tuvo lugar la actuación de Sahagún, el 22 de diciembre Napoleón cruzó el puerto de Guadarrama, el 24 de diciembre Moore inició la retirada de España, el 26 de diciembre tuvo lugar la actuación de Benavente y Moore capturó a Lefebvre en España [134]. (Véase el Anexo C)

En 1809, en Hispanoamérica, aparece el clandestino *Memorial de Agravios* que el neogranadino Camilo Torres presuntamente debía dirigir a la Suprema Junta Central de España [127].

En 1809 Jean-Baptiste-Pierre-Antoine de Monet, caballero de Lamarck publicó su *Filosofía zoológica*, en la que desarrolló sus ideas evolucionistas convirtiéndose en la primera teoría sobre la evolución de la vida [128].

En 1809 nació Charles Robert Darwin, naturalista inglés, reconocido por ser el científico más influyente de los que plantearon la idea de la evolución biológica a través de la selección natural, justificándola en su obra *El origen de las especies* (1859) con numerosos ejemplos extraídos de la observación de la naturaleza. Los primeros borradores de ese trabajo comenzó a elaborarlos en 1844 [129].

En 1809 nació Abraham Lincoln, político y abogado estadounidense que ejerció como decimosexto presidente de los Estados Unidos de América, desde el 4 de marzo de 1861 hasta su asesinato en 1865. Lincoln lideró los Estados Unidos durante la guerra de Secesión, derrotando a los Estados Confederados y desempeñando un papel importante en la abolición de la esclavitud en su país antes de ser asesinado [130].

En 1809 nació Edgar Allan Poe, escritor, poeta, crítico y periodista romántico estadounidense, generalmente reconocido como uno de los maestros universales del relato corto, del cual fue uno de los primeros practicantes en su país. Fue un renovador de la novela gótica, recordado especialmente por sus cuentos de terror. Se le considera por algunos el inventor del relato detectivesco, contribuyendo asimismo con varias obras al género emergente de la ciencia ficción. Así, sus obras profundizaron en los rincones más oscuros de la mente humana, abriendo camino al terror moderno y al simbolismo [131].

Durante este año de 1809 Betancourt visitó la fábrica de armas de Tula con vistas a su modernización [1]. La fábrica, en lo que había sido uno de los principales centros del imperio ruso, se había quedado anticuada y de ahí que Agustín encargase una potente máquina de vapor y tornos para el acabado de los fusiles, que se instalarían en los años subsiguientes [1] y [2].

En 1809, el 3 de enero tuvo lugar la acción de Villafranca en España, el 9 de enero se produjo el Combate de Lugo, el 16 de enero se desarrolló la batalla de La Coruña y murió Moore, el 24 de enero Napoleón salió de Valladolid rumbo a París, el 24 de febrero los británicos capturaron Martinica en las Indias Occidentales, el 29 de marzo Soult capturó Oporto en Portugal y tuvo lugar la batalla de Medellín en España, el 9 de abril se creó la Quinta Coalición y Austria atacó Baviera, el 20 de abril tuvo lugar la batalla de Abensberg en Baviera, el 21 de abril se produjo el asalto de Landshut en Baviera, el 22 de abril se desarrolló la batalla de Eckmühl en Baviera, el 23 de abril tuvo lugar el Asalto de Ratisbona en Baviera, el 26 de abril Wellesley desembarcó en Lisboa, el 3 de mayo se produjo el Combate de Ebelsberg en Austria, el 12 de mayo se desarrolló la batalla de Oporto en Portugal, el 13 de mayo Napoleón entró en Viena, el 21 y 22 de mayo se produjo la batalla de Aspern-Essling, el 4 de junio comenzó el sitio de Girona en España, el 14 de junio tuvo lugar

la batalla del Raab en Alemania, el 5 y 6 de julio se desarrolló la batalla de Wagram en Austria, el 10 de julio se produjo la Acción de Znaim en Austria, el 12 de julio se firmó el Armisticio de Znaim, el 28 de julio tuvo lugar la batalla de Talavera en España, el 29 de julio se produjo el desembarco británico en Walcheren en Holanda, el 4 de agosto se desarrolló el combate de Puente del Arzobispo en España, el 16 de agosto tuvo lugar la batalla de Flushing en Holanda, el 19 de octubre se firmó el Tratado de Viena y la Paz de Schönbrunn, el 19 de noviembre tuvo lugar La batalla de Ocaña en España, el 11 de diciembre fue la rendición de Gerona en España y el 15 de diciembre Napoleón se divorció de Josefina [134]. (Véase el Anexo C)

En 1810 Betancourt propuso para la limpieza del puerto de Kronstadt (una pequeña isla fortificada en el golfo de Finlandia) una potente draga de vapor que el Ministerio ruso de la Marina de Guerra comenzó a financiar. Kronsstadt era una isla fortificada que defendía la entrada por mar de San Petersburgo. Entró en funcionamiento en 1812, su éxito fue tal que funcionó sin problemas hasta 1820, año en el que se le hicieron algunas reparaciones [2], [48] y [133].

Asimismo, este año y los dos siguientes Agustín ejerció como ingeniero constructor de puentes: sobre el río Izhora y el Slavianka en la carretera de Moscú, uno de arco en el parque de Catalina, y los de Ijor, Petergot y Tula. Betancourt solicitó ese año varios ingenieros franceses para el Cuerpo de Vías de Comunicación: Alexandre Fabre, Charles Potier, Maurice Destrem y Dominique Bazaine. Los dos primeros se incorporaron a labores docentes en el Instituto, los dos últimos a labores de ingeniería. Se hicieron exámenes de ingreso para el Instituto en octubre y las clases comenzaron en noviembre, organizándolo todo Betancourt y haciendo también de profesor de la institución [2]. A finales de 1810 simultaneaba la tarea de inspección con la de profesor, además de emprender una importante y eficaz labor de constructor de puentes [48]. Las clases fueron suspendidas durante la guerra contra Napoleón [67].

En 1810 aparecieron proclamas de Independencia en Sudamérica: en abril en Caracas, en mayo en Buenos Aires y en julio en Santa Fé de Bogotá. Solamente muchos meses después fueron declaraciones formales de separación absoluta [127]. Algunos autores fijan en el verano de 1810 el comienzo de la Independencia de Colombia o de Nueva Granada. Dicho proceso se libró en medio de un conflicto militar desarrollado entre 1810 y 1819 [132].

En México, Agustín de Iturbide, con su Plan de Iguala, inauguró la Independencia mexicana [127]. La independencia de México fue la consecuencia de un proceso político y social resuelto por las armas, que puso fin al dominio español.

Tuvo lugar en la mayor parte de los territorios del Reino de México de Nueva España, y dio como resultado el surgimiento del Primer Imperio mexicano, del que Agustín de Iturbide se declaró emperador. La pérdida de esta posesión tuvo una importancia decisiva para la economía de España, ya que los ingresos mexicanos representaban el ochenta por ciento del total de los caudales americanos al final del periodo colonial. La guerra por la independencia mexicana comenzó el día 16 de septiembre de 1810, y terminó con la entrada del Ejército Trigarante a la Ciudad de México, el día 27 de septiembre de 1821 [127].

En 1810 Appert ganó un premio por demostrar cómo la esterilización por calor puede conservar los alimentos embotellados [139].

En 1810, el 5 de enero comenzó el sitio de Cádiz en España, el 11 de febrero se inició el bloqueo de Ciudad Rodrigo en España, el 2 de abril Napoleón se casó con María Luisa, el 17 de abril Masséna fue nombrado comandante en Portugal, el 16 de junio comenzó el sitio de Ciudad Rodrigo en España, el 9 de julio Napoleón anexó Holanda y cayó Ciudad Rodrigo, el 16 de agosto se inició el sitio de Almeida en Portugal, el 21 de agosto Bernadotte fue elegido príncipe heredero de Suecia, el 28 de agosto cayó Almeida en Portugal, el 27 de septiembre tuvo lugar la batalla de Bussaco en Portugal, el 10 de octubre Masséna fue detenido por las Líneas de Torres Vedras en Portugal, el 18 de octubre se publicaron los Decretos de Fontainebleau y el 15 de octubre tuvo lugar la actuación de Fuengirola en España [134]. (Véase el Anexo C)

En mayo de 1811 salió la primera hornada de ingenieros del Instituto ruso que después de superar sus exámenes realizaron prácticas en San Petersburgo y alrededores. En noviembre se propuso un segundo plan de estudios *Distribución de los cursos de estudio en el Instituto de Vías de comunicación* [1]. La enseñanza teórica, acompañada del trabajo práctico en los talleres y de muchas horas de trabajo lineal, eran una novedad no solo en Rusia [2].

En el verano de 1811, Betancourt había sido condecorado con la Orden rusa de San Alejandro Nevsky [48] y [95]. Durante el transcurso del año proyectó el primer gran puente permanente de arco en Rusia: el puente de madera sobre el pequeño Neva, entre las islas Kámenni y Aptéarski, conocido como el puente Kamennostrovski [1] y [2]. Constaba de siete arcos rebajados de madera, el mayor de los cuales tenía unos veinticinco metros de luz. Betancourt diseñó incluso la maquinaria para la elaboración de los elementos necesarios para la construcción del puente, montado los arcos entre 1812 y principios de 1813. Constaba de 7 tramos, el mayor de ellos de 24.70 metros de largo por cuatro de alto. Formaban el arco 4 vigas compuestas por troncos de 44 centímetros de diámetro. Los estribos eran de piedra y los pilares de madera [67].

En 1811, el 26 de enero comenzó el primer sitio de Badajoz, el 5 de marzo tuvo lugar la batalla de Barrosa en España y Masséna se retiró de las Líneas de Torres Vedras en Portugal, el 11 de marzo cayó Badajoz, el 3 de abril tuvo lugar la actuación de Sabugal, entre el 3 y 5 de mayo se desarrolló la batalla de Fuentes de Oñoro en Portugal, el 7 de mayo comenzó el segundo sitio de Badajoz, el 12 de mayo tuvo lugar el Levantamiento del sitio de Badajoz, el 16 de mayo se produjo la batalla de Albuera en España, el 24 de mayo comenzó el sitio de Tarragona y se reanudó el sitio de Badajoz, el 25 de mayo se desarrolló la actuación de Usagre en España, el 19 de junio se abandonó el sitio de Badajoz, el 28 de junio cayó Tarragona, el 25 de septiembre se produjo la batalla del Bodón en Portugal, el 18 de octubre tuvo lugar la batalla de Arroyomolinos en España, el 19 de diciembre comenzó el sitio de Tarifa en España, el 23 de diciembre Napoleón inició preparativos militares contra Rusia y el 31 de diciembre el zar Alejandro I se pronunció contra el comercio francés [134]. (Véase el Anexo C)

En 1811 Mary Anning, con 12 años, descubrió un fósil de ictiosaurio [139].

El 19 de marzo de 1812 se aprobó la Constitución de Cádiz, conocida como la Pepa. Es la primera Constitución propiamente española, ya que el Estatuto de Bayona de 1808 no dejó de ser una Carta otorgada marcada por el sello napoleónico. La Constitución se aprobó en el marco de la Guerra de la Independencia (1808 a 1814) y fue la respuesta del pueblo español a las intenciones invasoras de Napoleón Bonaparte que, aprovechando los problemas dinásticos entre Carlos IV y Fernando VII, aspiraba a constituir en España una monarquía satélite del Imperio, como ya había hecho con Holanda, Alemania e Italia, destronando a los Borbones y coronando a su hermano José Bonaparte [136].

En 1812 en el ámbito de la técnica tipográfica Koenigba dio cuenta de la prensa rápida [14].

En 1812 Pierre-Simon Laplace publicó su *Teoría analítica de las probabilidades*, una de sus obras más relevantes. La obra se publicó por primera vez en París en 1812 con un total de 464 páginas, divididas en dos libros. Esta obra se amplió posteriormente dando lugar dos años después a la segunda edición con 506 páginas, que incluye a modo de introducción el *Ensayo filosófico sobre las probabilidades*, y a la tercera edición que se publicó en 1820 con las mismas páginas que la segunda. En 1818 apareció un suplemento a esta obra con 34 páginas. Posteriormente a su muerte, acaecida en 1827, se publicaron sus obras completas, donde volvió a aparecer este texto en el séptimo volumen. Con un total de 961 páginas Laplace rompió con la epistemología científica existente hasta ese momento con sus hallazgos y demostraciones [135].

En 1813 el *Museo Central del Transporte Ferroviario de la Federación Rusa* surgió de la colección del Instituto del Cuerpo de Ingenieros Ferroviarios, que, en su inauguración, incluía una sala especial para guardar maquetas. Las primeras maquetas llegaron a esta sala ubicada en el palacio del príncipe Yusúpov (actualmente en el n.º 115 del malecón del río Fontanka). La adquisición y creación de modelos, instrumentos y herramientas se financió con una asignación anual de 5 000 rublos. Inicialmente, la colección se amplió con modelos y maquetas adquiridos en Europa Occidental, posteriormente, en Rusia. Varios modelos se produjeron en el Taller del Instituto. El diseño de algunos de estos modelos fue obra del director del Instituto, Agustín de Betancourt. Así el Museo le recordaría el Real Gabinete de Máquinas madrileño [2] y [48].

Mientras tanto 1812 y 1813 fueron unos años convulsos para Napoleón Bonaparte. El 5 de enero cayó Tarifa en España, el 8 de enero comenzó el segundo sitio de Ciudad Rodrigo en España, el 10 de enero Francia ocupó la Pomerania sueca, el 19 de enero cayó Ciudad Rodrigo en España, el 26 de febrero se firmó la Alianza entre Francia y Prusia, el 10 de marzo se firmó la Alianza entre Francia y Austria, el 16 de marzo comenzó el tercer sitio de Badajoz en España, el 24 de marzo se firmó el acuerdo secreto franco-ruso-sueco, el 6 de abril tuvo lugar el asalto de Badajoz en España, entre el 17 y 28 de mayo se celebró la Conferencia de Dresde, el 28 de mayo se firmó la Paz de Bucarest, el 18 de junio EE. UU. declaró la guerra a Gran Bretaña, el 23 de junio se formó la Sexta Coalición, el 24 de junio los franceses cruzaron el río Niemen, el 28 de junio tuvo lugar la batalla de Vilna en Polonia, el 21 de julio se produjo la Actuación de Alba de Tormes en España, el 22 de julio se desarrolló la batalla de Salamanca en España, el 23 de julio tuvo lugar la actuación de García Hernández en España, el 25 y 26 de julio combatió en Ostronovo en Rusia, el 28 de julio se produjo la batalla de Vitebsk en Rusia, el 8 de agosto tuvo lugar la actuación de Inkovo en Rusia, el 13 de agosto Wellington entró en Madrid, entre el 17 y 19 de agosto tuvieron lugar las batallas de Smolensk y Valutino en Rusia, el 17 y 18 de agosto se produjo la Primera batalla de Polotsk en Rusia, el 24 de agosto se abandonó el sitio de Cádiz en España, el 7 de septiembre se desarrolló la batalla de Borodín en Rusia, el 14 de septiembre Napoleón entró en Moscú y el 15 de septiembre estalló el gran incendio de Moscú [134]. (Véase el Anexo C)

Cuando las tropas de Napoleón cruzaron la frontera rusa, 33 de los 133 hombres salidos del Instituto de Vías de Comunicación son llamados al ejército. Los ingenieros franceses fueron deportados a Siberia. El 15 de septiembre Napoleón entró en Moscú y los moscovitas incendiaron la ciudad y se retiraron. Los franceses comenzaron a falsificar billetes rusos de forma alarmante. El ejército francés inició la retirada el 19 de octubre [2]. La invasión napoleónica de Rusia redujo

a las fuerzas de invasión francesas y aliadas a menos del veinte por ciento de su capacidad inicial [134]. (Véase el Anexo C)

Agustín de Betancourt consiguió superar el viejo problema de Rusia con su papel moneda, utilizando un nuevo tipo de papel y un elaborado diseño que dificultaba enormemente su falsificación. En 1814 se instaló la máquina de vapor en Tula. También dirigió la construcción de la Casa de la Moneda en Varsovia y empleó la primera máquina de vapor en Polonia, por entonces anexionada al Imperio ruso. Tras la victoria sobre los ejércitos de Napoleón en 1812, el entusiasmo se desbordó en Rusia y esto se plasmó en la construcción de obras públicas y monumentos. Betancourt recibió el encargo de Alejandro I para organizar un *Comité de Construcciones y Obras Hidráulicas* que pusiera orden en la ciudad de San Petersburgo, cuidando el trazado de las calles, la urbanización de los suburbios, la construcción de puentes, el cuidado de canales, etc. El Real Decreto de creación de dicho Comité se publicó a mediados de 1816. A Betancourt se debe, en parte, la singular belleza de la ciudad del Nevá, una de las más hermosas del mundo [1], [2] y [48].

El 19 de septiembre comenzó el primer sitio de Burgos en España, el 13 de octubre tuvo lugar la batalla de Queenstown Heights en Canadá, el 18 de octubre se desarrolló la batalla de Tarutino en Rusia, el 19 de octubre los franceses comenzaron a abandonar Moscú, el 22 de octubre se abandonó el sitio de Burgos en España, el 23 de octubre tuvo lugar la actuación de Venta del Pozo en España y la conspiración del general Malet en París, el 24 y 25 de octubre se desarrolló la batalla de Maloyaroslávets en Rusia, el 2 de noviembre los franceses reocuparon Madrid, el 3 de noviembre tuvo lugar la batalla de Fiódorovski en Rusia, el 14 de noviembre se produjo la segunda batalla de Polotsk en Rusia, el 17 de noviembre tuvo lugar la batalla de Krasnoe en Rusia, entre el 27 y 29 de noviembre se desarrolló la batalla del río Beresina en Rusia, el 5 de diciembre Napoleón abandonó la Grande Armée en Smorgoni, entre el 9 y 15 de diciembre tuvieron lugar acciones de Alba de Tormes en España, el 14 de diciembre la retaguardia francesa alcanzó el río Niemen en Rusia, el 18 de diciembre Napoleón llegó a París, el 29 de diciembre se produjo la actuación de Pleschenitz en Polonia y el 30 de diciembre se celebró la Convención de Tauroggen [134]. (Véase el Anexo C)

En 1813, el 25 de enero Napoleón y Pío VII firmaron el segundo Concordato, el 26 de febrero se celebró la Convención secreta de Kalisch, el 10 de marzo comenzó el primer sitio de Tarragona, el 16 de marzo Prusia declaró la guerra a Francia, el 1 de mayo tuvo lugar la acción de Poserna en Alemania y murió Bessières, el 2 de mayo se produjo la Batalla de Lützen en Alemania, el 11 de mayo cayó Torgau en

Alemania, el 18 de mayo Bernadotte desembarcó tropas suecas, entre el 20 y 21 de mayo se desarrolló la batalla de Bautzen en Alemania, el 26 de mayo tuvo lugar la actuación de Hanau en Alemania, el 28 y 29 de mayo se produjo la Batalla de Sacketts Harbor en EE. UU., el 30 de mayo comenzó el sitio de Hamburgo, entre el 31 de mayo y 2 de junio se cruzó el río Esla en España, el 2 de junio se firmó el Armisticio de 1813, el 8 de junio se cruzó el río Ebro, el 12 de junio los franceses evacuaron Madrid y Suchet rechazó el desembarco de Murray en Alicante, el 21 de junio tuvo lugar la batalla de Vitoria, el 22 de junio comenzó el sitio de Pamplona, el 27 de junio comenzó el sitio de San Sebastián y se celebró la Convención secreta de Reichenbach, el 25 de julio tuvieron lugar las Batallas de Maya y Roncesvalles en España y fue un fracaso el asalto a San Sebastián, entre el 27 y 30 de julio tuvo lugar la Batalla de Sorauren en España, el 2 de agosto Masséna abandonó la ofensiva en España, el 12 de agosto Austria declaró la guerra a Francia, el 17 de agosto se reanudaron las hostilidades en Alemania, el 23 de agosto se desarrolló la Batalla de Grossbeeren en Alemania, el 25 de agosto Suchet evacuó Tarragona, el 26 de agosto tuvieron lugar las acciones de Katzbach y Pirmasens en Alemania, entre el 26 y 27 de agosto se produjo la batalla de Dresde en Alemania, el 30 de agosto tuvo lugar la batalla de Kulm en Alemania, el 31 de agosto se desarrolló la acción de San Marcial y la caída de San Sebastián, el 1 de septiembre se produjo la batalla de Vera, el 6 de septiembre tuvo lugar la batalla de Dennewitz en Alemania, el 10 de septiembre se produjo la batalla del lago Erie (naval), el 12 de septiembre se desarrolló la batalla de Ordal en España, el 13 de septiembre tuvo lugar la batalla de Villafranca en España, el 3 de octubre Blücher derrotó a Bertrand en Wartenberg en Alemania, el 4 de octubre comenzó el segundo sitio de Torgau en Alemania, el 7 de octubre se cruzó el río Bidasoa en España y tuvo lugar la Segunda batalla de Vera en España, el 12 de octubre se produjo la actuación de Colditz en Alemania, el 14 de octubre se desarrolló la actuación de Liebertwolkwitz en Alemania, el 16 de octubre tuvieron lugar las Batallas de Lindenau y Möckern en Alemania, entre el 16 y 19 de octubre se produjo la batalla de Leipzig en Alemania, el 18 de octubre Baviera y Sajonia se unieron a los Aliados, el 30 de octubre se desarrolló la actuación de Hanau en Alemania y la Caída de Torgau en Alemania, el 9 de noviembre tuvo lugar la Acción de Saint-Jean-de-Luz en Francia, el 10 de noviembre se produjo la batalla de la Nivelle en Francia, entre el 9 y 12 de noviembre se desarrolló la batalla del Nive en Francia, el 11 de diciembre se firmó el Tratado de Valençay y el 13 de diciembre tuvo lugar la batalla de Saint-Pierre en Francia [134]. (Véase el Anexo C)

En 1813 se produjo la liberación y vuelta al trono de Fernando VII, que entró en España en 1814. Fernando VII revocó la Constitución de 1812 [127].

En 1814 en el ámbito de la biología Kolleker dio cuenta del origen celular del espermatozoide [14] y el papa Pío VII restauró la Compañía de Jesús en todo el mundo [96]. Las fuerzas británicas incendiaron Washington D. C. y Maelzel inventó un metrónomo para marcar el tiempo musical [139].

En 1814, el 11 de enero Murat firmó la paz con los Aliados, el 29 de enero tuvo lugar la batalla de Brienne en Francia, el 1 de febrero se produjo la batalla de La Rothière en Francia, el 5 de febrero se celebró la Conferencia de Châtillon-sur-Seine, el 10 de febrero se desarrolló la batalla de Champaubert en Francia y se suspendió la conferencia de Châtillon, el 11 de febrero tuvo lugar la batalla de Montmirail en Francia, el 14 de febrero se produjo la batalla de Vauchamps en Francia, el 17 de febrero se reanudó la conferencia de Châtillon, el 22 de febrero se firmó el tratado de Troyes, el 23 de febrero se cruzó el río Adour en Francia, el 25 de febrero se celebró la Conferencia en Bar-sur-Aube, el 27 de febrero se desarrolló la batalla de Orthez en Francia, el 1 de marzo tuvo lugar el Combate de Aire en Francia, el 7 de marzo se produjo la actuación de Craonne en Francia, el 9 de marzo se firmó el tratado de Chaumont, entre el 9 y 10 de marzo se desarrolló la batalla de Laon en Francia, el 13 de marzo tuvo lugar la batalla de Reims en Francia, el 17 de marzo se produjo la batalla de Fismes en Francia, el 19 de marzo fue el Fin de la conferencia de Châtillon, el 20 de marzo se desarrolló la batalla de Tarbes en Francia, entre el 20 y 21 de marzo tuvo lugar la batalla de Arcis-sur-Aube en Francia, el 24 de marzo se celebró la Conferencia de Somme puis, el 25 de marzo Marmont y Mortier fueron derrotados en La Fère Champenoise en Francia, el 30 de marzo se produjo la Acción de Montmartre en Francia, el 31 de marzo los Aliados entraron en París, el 6 de abril fue la primera abdicación de Napoleón en Fontainebleau, el 10 de abril se desarrolló la batalla de Toulouse en Francia, el 11 de abril se firmó el Tratado de Fontainebleau, el 14 de abril fue la Salida de Bayona en Francia, el 16 de abril se firmó el Segundo tratado de Fontainebleau, el 3 de mayo — Luis XVIII entró en París, el 4 de mayo Napoleón desembarcó en Elba, el 27 de mayo fue el Fin del sitio de Hamburgo en Alemania, el 29 de mayo murió Josefina, el 30 de mayo se firmó el Primer tratado de París, el 25 de julio tuvo lugar la batalla de Lundy's Lane en Canadá, el 24 de agosto se desarrolló la batalla de Bladensburg en EE. UU., el 1 de noviembre fue la Apertura del Congreso de Viena y el 24 de diciembre se firmó el Tratado de Gante [134]. (Véase el Anexo C)

En 1815 retornaron a San Petersburgo los ingenieros franceses deportados a Siberia y se incorporaron como profesores de enseñanza superior en matemáticas. Mientras tanto en España las colecciones del Real Gabinete abandonaron el palacio de Buenavista y se llevaron a los locales de la Real Sociedad Económica de Madrid, en la calle del Turco [2].

Entre 1815 y 1820 se recuperó Venezuela y Nueva Granada. Morillo, desobediendo órdenes, instauró el *Régimen de Terror* como réplica a *Guerra a Muerte*. Liberó casi todo el territorio con apoyo de poblaciones, pero cometió un *Error Estratégico Capital*, lo que decidió militarmente el conflicto: dejó libres las bocas del río Orinoco, por donde afluyó ayuda inglesa [127].

En 1815, Smith fue el primero en identificar rocas por tipos fósiles, una erupción volcánica en Indonesia mató a miles de personas y el polvo volcánico redujo las temperaturas globales y Davy inventó una lámpara de seguridad para usar en minas de carbón [139] y en el ámbito de la física Fresnell desarrolló la teoría ondulatoria de la luz [14].

En 1815, el 8 de enero tuvo lugar la batalla de Nueva Orleans en EE. UU., el 26 de febrero Napoleón escapó de Elba, el 1 de marzo Napoleón desembarcó cerca de Fréjus en Francia, el 7 de marzo tuvo lugar el suceso del desfiladero de Laffrey en Francia, el 13 de marzo los Aliados reunidos en Viena proscribieron a Napoleón, el 20 de marzo Napoleón llegó a París, el 25 de marzo se formó la Séptima Coalición, el 31 de marzo Murat declaró la guerra a Austria, el 4 de abril Wellington llegó a Bruselas, el 3 de mayo Murat fue derrotado en Tolentino en Nápoles, el 9 de junio finalizó el Primer Congreso de Viena, el 12 de junio Napoleón salió de París hacia la frontera norte, el 15 de junio se cruzó el Sambre y tuvo lugar la acción de Frasnes en Bélgica, el 16 de junio tuvieron lugar las Batallas de Quatre Bras y de Ligny en Bélgica y el 18 de junio tuvo lugar la batalla de Wavre en Bélgica y la batalla de Waterloo. En la Batalla de Waterloo, Blücher y Wellington derrotaron a Napoleón. El 22 de junio se produjo la Segunda abdicación de Napoleón, el 7 de julio los Aliados volvieron a entrar en París, el 15 de julio Napoleón se embarcó en el H.M.S. Bellerophon, el 7 de agosto Napoleón zarpó en el H.M.S. Northumberland rumbo a Santa Elena, el 13 de octubre Murat fue sometido a consejo de guerra y fusilado, el 17 de octubre Napoleón desembarcó en Santa Elena, el 20 de noviembre se firmó el Segundo Tratado de París y el 7 de diciembre se ejecutó al mariscal Ney [134]. (Véase el Anexo C)

El 26 de abril de 1816 murió en La Orotava el hermano de Agustín, José de Betancourt y Molina [2].

En 1816 el zar continuó encargándole a Agustín obras monumentales, especialmente en San Petersburgo, y Betancourt atrajo a Rusia a técnicos destacados, franceses en su mayoría. Uno de ellos, el joven Augusto Montferrand, sería el encargado de construir la catedral de San Isaac, supervisando Betancourt toda la obra. El templo no se habría podido construir en los pantanosos terrenos de San Petersburgo sin los concienzudos estudios de cimentación de Agustín. Tampoco

se hubiesen podido elevar las grandes columnas de la catedral sin los complejos artilugios mecánicos ideados por Betancourt, que fueron legados a Montferrand a su muerte. Con esas máquinas se instaló en la plaza del Palacio de Invierno una columna de granito para perpetuar la memoria de Alejandro I, obra proyectada también por Betancourt [2], [48] y [67].

En 1816 en reconocimiento al heroico comportamiento del pueblo de Moscú, que incendió y abandonó su ciudad, dejando a los ocupantes franceses sin abrigo ni alimentos ante el terrible frío invernal que se avecinaba—, Alejandro I decidió pasar varios meses de 1817 y 1818 en Moscú, acompañado de su familia y la Corte. Con el fin de poder contar con una Sala de Ejercicios Ecuestres, el Zar encargó a Betancourt la rápida construcción de un nuevo edificio en la ciudad. Éste diseñó una construcción rectangular muy sencilla, de gusto neoclásico, que el Zar aprobó de inmediato. La Sala de Ejercicios Ecuestres fue construida con rapidez con la colaboración del ingeniero Charbonnier, de modo que el Zar pudo disfrutar de las nuevas instalaciones el 2 de diciembre de 1818. Lo más notable del edificio y la contribución más importante de Betancourt fue la gran cercha de madera que salvaba sin apoyos una luz de 160 pies (alrededor de 45 metros), la mayor construida hasta entonces en todo el imperio ruso [67] y [2].

En octubre de 1816 se incorporó al *Cuerpo de Vías de Comunicación* con el grado de teniente coronel el colaborador de Betancourt en España, Rafael Bauzá. Este, a las órdenes de Agustín, fue destinado en primera instancia a las obras de la nueva fábrica de Moneda en Varsovia, edificio que se construyó entre 1816 y 1818 y donde se instaló una innovadora máquina de vapor [2].

Durante 1816 el profesor del Instituto Dominique Bazaine trabajó en el desarrollo de navegación a vapor en Rusia, a instancias de Betancourt. Al año siguiente publicó una memoria sobre teoría del movimiento del barco de vapor y su aplicación a canales, ríos y afluentes, que sentó las bases en Rusia de este tipo de locomoción a vapor con ruedas de paletas [2].

En 1816 Betancourt ya había diseñado un elegante edificio neoclásico a orillas del canal Fontanka (en San Petersburgo), ocupándose al mismo tiempo de organizar los departamentos de fabricación de papel, de la imprenta (con sus correspondientes prensas) y de la maquinaria complementaria para papel moneda. La probada competencia de Betancourt hizo que en tan solo tres años de funcionamiento (entre 1818 y 1820) se imprimieran seiscientos millones de rublos, lo que permitió sustituir todos los viejos billetes por otros nuevos diseñados por Agustín y fabricados en la nueva fábrica de papel de Goznak [2], [67] y [95].

En 1816, el francés Joseph Nicéphore Niépce tomó una fotografía (con una cámara oscura) desde la ventana de su taller que fue la primera imagen fotográfica en positivo del mundo. La imagen se desvaneció rápidamente. Diez años más tarde, Niépce produjo una imagen fotográfica permanente o “fija”. Esta fue la primera fotografía del mundo, nuevamente mostraba una vista de los tejados desde la ventana de su ático. La exposición tomó muchas horas y la fotografía resultante era oscura y borrosa. Unos años después de su muerte, su amigo y socio Louis Daguerre descubrió cómo obtener fotografías nítidas y claras, con un tiempo de exposición de solo unos pocos minutos [139].

También en 1816 Brewster inventó el caleidoscopio y Laennec el estetoscopio de tubo único para escuchar el corazón, los pulmones y los vasos sanguíneos [139].

En 1819 Laennec publicó su obra maestra, *De l'Auscultation Médiate*, en ella describió detalladamente el uso del estetoscopio y sus aplicaciones clínicas. Asimismo, en este libro clasificó los diferentes sonidos pulmonares y cardiacos, donde introdujo términos como “soplos”, “estertores” y “roncus”, que a día de hoy siguen utilizándose en la práctica médica [138].

En 1817 el Gabinete de Ministros ruso encargó a Betancourt la construcción de la Feria de Nijni Novgorod, quien ese mismo año presentó un proyecto para su realización. El proyecto fue aceptado y en él se incluían los planos de los edificios comerciales y administrativos, el esquema urbanístico y el diseño de un canal en forma de herradura partiendo del lago Mescherski. Fue éste, seguramente, el proyecto cumbre de Betancourt en Rusia. Una vez realizado el complejo constaba de un gran edificio central, dos edificios administrativos, ocho centros comerciales, cuarenta y ocho tiendas y una iglesia, los accesos por el canal y un puente móvil sobre el río Oka [2] y [66]. En 1818 se le concedieron a Betancourt 1000 rublos mensuales para la construcción de la feria de Nijni Novgorod, proyecto al que se unió el español Joaquín Espejo que se acababa de incorporar al Cuerpo de Vías de Comunicación en enero. Otro español, Joaquín Viadó, también miembro de este cuerpo, fue comisionado para la construcción de caminos en los alrededores de San Petersburgo y en las regiones centrales rusas [2].

En 1817, David Ricardo enunció en *Principios de economía política* sus dos teorías fundamentales: la ley del salario y la teoría de la renta [14].

En julio de 1818, un tercer español llegó a Rusia. Se trataba del colaborador de Betancourt José Sureda, que permaneció en el país hasta la primavera siguiente [2] y en septiembre Betancourt proyectó nuevas barcas para el puente de San Isaac sobre el Gran Neva [2].

En 1818 en el ámbito de la química Berzelius definió el peso atómico [14].

En Rusia tras las guerras napoleónicas se intensificó la europeización de la nobleza (oficiales del ejército). El romanticismo inspiró a los poetas y frente al creciente conservadurismo despótico surgieron Sociedades secretas [14].

En 1819 se publicó en San Petersburgo la *Description de la Salle d'Exercice de Moscou* escrita por Betancourt y del que remitió una copia a sus hermanos en 1820. Mientras, en París, se publicaba una segunda edición, con varios añadidos obra de Lanz, del *Essai sur la composition des machines*, pero ya sin el programa de Hachette de la primera edición [2].

En abril de 1819 Agustín de Betancourt fue designado director general del Departamento de Vías de Comunicación conservando el cargo de Inspector y pudiendo estar presente en las sesiones del Consejo de Ministros. En junio fue nombrado, asimismo, miembro de la Sociedad Imperial de Mineralogía Rusa [1] y [2].

En el verano de 1819 se colocaron los cimientos de las principales edificaciones del recinto de la feria de Nijni Novgorod: los edificios administrativos, la Catedral y los puestos chinos [2].

El 19 de noviembre de 1819, el Museo del Prado de Madrid, con la denominación inicial de *Museo Real de Pintura*, abrió sus puertas. A finales del siglo XVIII, Carlos IV patrocinó lo que aparentemente fue un intento de crear un museo de pintura en Madrid. El 1 de septiembre de 1800, el Primer Secretario de Estado ordenó que se hicieran copias de una serie de pinturas de Murillo en el Hospital de la Caridad de Sevilla para que los originales pudieran enviarse a la Corte “como es la práctica observada en todas las naciones cultas de Europa. Allí se hacen esfuerzos por formar en la Corte escuelas y museos que no pueden mantenerse en las provincias”. Tras la invasión napoleónica y la destitución de Carlos IV, el autoproclamado emperador francés situó a su hermano José Bonaparte en el trono español. Durante su reinado, el nuevo rey disfrutó de amplios poderes, que no dudó en utilizar. Así, uno de los primeros decretos que firmó, el 20 de agosto de 1809, promulgó la supresión de todas las órdenes religiosas y prescribió la confiscación de sus bienes, incluidas pinturas y otros objets d'art. Unos meses más tarde, el 20 de diciembre de 1809, usando el título de Rey de España, José Bonaparte firmó un decreto refrendado por su ministro Mariano Luis de Urquijo mediante el cual se fundaba un museo de pintura, al menos sobre el papel [137]. Al finalizar la Guerra de la Independencia y con la restauración de Fernando VII en el trono español, el monarca regresó a Madrid. El proyecto de crear un museo público, basado en los fondos de pinturas procedentes de los conventos y monasterios suprimidos y completado con una selección de lien-

zos pertenecientes a los palacios reales, estaba muy presente en la mente del rey. La idea de vincular el museo con la *Real Academia de San Fernando de Bellas Artes* surgió casi automáticamente, ya que uno de los principales propósitos previstos para la galería era, como en el proyecto Josefino, el de perfeccionar la formación de los jóvenes artistas. Así, en 1819, el Museo ya había tomado forma y abría sus puertas [137].

En 1819, Beethoven se quedó prácticamente sordo [139].

Karl von Drais von Sauerbronn patentó la primera bicicleta moderna reconocible en 1817. Lanzó su máquina para correr sin pedales, de madera, llamada *Draisienne*, en Frankfurt y en París. La *Draisienne* se hizo especialmente popular en Inglaterra, donde una versión mejorada, el *hobbyhorse*, fue introducida en 1819. También fue copiada en Estados Unidos. La *Draisienne* se creó realmente como un medio de diversión y nunca fue un medio serio de transporte. A diferencia de la bicicleta moderna, avanzaba sentándose en el sillín y “caminando” con los pies a lo largo del camino [139].

En enero de 1820 el ingeniero español Joaquín Espejo, oficial de artillería, se casó con la hija mayor de Betancourt, Carolina [2]. Joaquín era un exiliado en Rusia por haber servido en los ejércitos de José I Bonaparte [106].

En 1820 se inauguraron en San Petersburgo, siguiendo el proyecto de Betancourt, dos escuelas de formación de personal técnico ayudante [1]: la Militar en Construcciones y la de Maquinistas. En aquel momento bajo su dirección estaban todos los caminos y canales del Imperio, la navegación de todos los ríos y todos los edificios de la ciudad de San Petersburgo [2] y [15] .

En junio de 1820 Agustín pidió a su hermana Catalina y su esposo que le enviaran dos o tres piedras para *destilar el agua*⁴. Además entregó a su cuñado Antonio de Monteverde un poder sin límites, legalizado por el cónsul español, para la administración de sus bienes [2].

El 27 de agosto de 1820 Betancourt se trasladó, como hacía durante los veranos, con su familia a Nijni Novgorod y emprendió un largo viaje Volga abajo para conocer el estado de las vías de comunicación del interior de Rusia [2] y [48]. El viaje duró cuatro meses, comenzó en la capital tártara, Kazán, a través del río Volga, buscó posibles formas de abastecimientos de agua a la población, además de mejorar los

4 Destiladera, pila o “piedra de destilar”, es un gran recipiente de piedra volcánica o piedra arenisca porosa y forma semiesférica, que hace de filtro para el agua de lluvia recogida, convirtiéndola en agua potable. El agua se recoge en una talla o bernegal de cerámica colocado debajo. [141]

muelles y desecar los pantanos. Desde allí, remontando el río Kama llegó a Laíshevo, donde se construyó una máquina de arbolar los palos de los barcos propuesta por él. Se dirigió luego a los puertos fluviales de Seratov y Astrajan, en los que propuso reformas y mejoras. Atravesando el Cáucaso llegó a Georgia, donde visitó diversas industrias en su capital Tiflis, y desde allí continuó su viaje hacia los puertos del Mar Negro. En Sebastopol propuso la construcción de un astillero y en Crimea proyectó un dique para encauzar las aguas del Dnóper. En Odessa aprobó varios proyectos portuarios, de pavimentación y de abastecimiento de agua. Y después de inspeccionar varios ríos, siguiendo el curso del Oka volvió a San Petersburgo. El contraste entre la moderna y con buenos servicios ciudad de San Petersburgo y la Rusia profunda que acababa de visitar era muy notable e impresionó a Betancourt [2] y [48].

Así, a la vuelta de este viaje, en diciembre de 1820, Betancourt presentó al zar un informe bastante crítico sobre las vías de comunicación rusas y se quejó de la poca asignación dedicada a las obras públicas. Al parecer este informe de Betancourt molestó al zar [2], cayendo en desgracia su relación con él [15], que unido a las simpatías de Betancourt hacia el gobierno liberal de Riego llevó a que por orden imperial se redujeron las obras encargadas al departamento de Betancourt, al que se negó a recibir durante meses [2], [15] y [48].

En 1820 el *pronunciamiento de Riego* fue un alzamiento militar encabezado por el teniente coronel Rafael del Riego que tuvo lugar en España, durante el reinado de Fernando VII, y que fue el detonante de la Revolución de 1820 y de la pérdida definitiva del Imperio español en América, por la disolución de la flota [127].

Aún así, mientras Agustín continuó como director del Departamento de Vías de Comunicación en 1820 se hicieron varias obras importantes en diversos canales –el de Tíjvinka, el Mariinsky o el Vyshni Volochok –, se construyó el canal del Norte [2].

En 1820 apareció la primera edición en inglés del ensayo sobre las máquinas de Betancourt con el título *An Analytical Essay on the Construction of Machines* y en España se restableció en noviembre la Escuela de Caminos y Canales [2].

En 1820 Betancourt proyectó y construyó un nuevo puente flotante rígido sobre el Gran Nevka, mucho más funcional y fácil de maniobrar que el existente, pues era necesario desmontarlo al llegar el otoño (cuando los hielos amenazaban con arruinarlo) para volver a montarlo una vez que el río estaba completamente helado, realizando la misma operación cuando llegaba la primavera [2] y [67].

Finalmente a lo largo de los años 20, los países sudamericanos lograron su independencia de España y Portugal [139].

En 1820 Ørsted descubrió que una corriente eléctrica que fluía a través de un cable desviaba la aguja de una brújula y Nobili desarrolló el galvanómetro, un instrumento para medir la corriente eléctrica en un circuito [139].

En 1821 se incorporaron al Cuerpo de Ingenieros de Vías de Comunicación dos españoles. El primero de ellos era el sobrino de Betancourt, Agustín de Monteverde y Betancourt, destinado a la construcción de caminos en San Petersburgo y Moscú, y, más tarde al abastecimiento de agua en Odessa y el segundo Miguel Espejo, hermano menor de Joaquín, destinado también a la construcción de caminos y puentes [2].

En 1821 un científico afirmó que la mayor parte de Europa estuvo cubierta por glaciares y la Iglesia Católica eliminó su prohibición de enseñar el sistema copernicano [139].

Betancourt comunicó al zar en 1821 que los ingenieros franceses Charles Potier, Alexandre Fabre, Dominique Bazaine y Maurice Destrem, colaboradores suyos son condecorados por el rey de Francia con la Orden de la Legión de Honor [2].

En 1821 bajo la supervisión de Betancourt dos ingenieros rusos reconstruyeron el acueducto Moskovsky en Rostopchín. Y a Agustín se deben también los abastecimientos de agua del palacio de verano de Tzsárkoe Seló y el de la población de Kazán a orillas del Volga [2].

Buen conocedor de las grandes aplicaciones de la máquina de vapor. Agustín fue también el impulsor de la construcción de los primeros barcos vapores de paletas, encargando en 1816 al ingeniero Bazaine que fomentase la navegación a vapor por el Volga. El empeño rindió sus frutos y en 1821 Betancourt pudo informar al Zar de que los primeros vapores navegaban ya por el Volga [67].

El 5 mayo de 1821 murió Napoleón Bonaparte en Santa Elena [134]. (Véase el Anexo C)

En 1822 Fresnel perfeccionó lentes para proyectar una luz más intensa y eficaz, Schubert comenzó su Sinfonía Inconclusa, Bullock exploró las ruinas aztecas de México y regresó con reliquias aztecas, Champollion realizó la primera traducción de jeroglíficos egipcios utilizando la famosa Piedra de Rosetta [139] y Richard Robers desarrolló su telar [105].

A finales 1823, a falta de municiones los Ejércitos comandados por los generales Morales y De la Calzada se ven obligados a capitular. Sus guerrillas resistieron hasta 1830 [127].

En España reabrió sus puertas la Escuela de Caminos y Canales, bajo el gobierno de Riego, para ser clausurada por la reacción absolutista en 1823 [15] . Hasta 1834, tras la muerte de Fernando VII, la Escuela no inició su andadura definitiva [2] y [67].

En 1823 se construyó el Pabellón Real de Brighton para el Príncipe Regente Inglés, Turquino descubrió que cada persona tiene un patrón único de huellas dactilares y Walter Oudney se convirtió en el primer europeo en ver el lago Chad, en África [139].

En enero de 1822 la carrera de Betancourt entró en franco declive cuando fue llamado por el zar para ser reprendido por los elevados gastos de la feria de Nijni Novgorod y ciertas irregularidades financieras cometidas por uno de sus subordinados. Posiblemente Betancourt había dejado la administración en manos de otras personas y esta vez le costó muy caro [48]. El zar ordenó dos meses después reducir de nuevo las obras encargadas al Departamento de Vías de Comunicación y se negó a recibir a Betancourt durante meses. En agosto fue recibido para comunicarle que el pariente del zar el duque Alejandro de Württemberg sería su jefe, lo que supuso la destitución de hecho de Agustín de Betancourt. El duque, por lo demás, intentó humillar a Betancourt y mostró desprecio hacia su obra [2].

El 27 de julio de 1822 se inauguraron las instalaciones de la Feria de Nijni Novgorod a falta de algunas obras por concluir al año siguiente. La feria llevó a la ciudad en agosto a más de 200.000 mercaderes, obteniéndose más de 500.000 rublos de beneficios [2] y [67].

En enero de 1823 el hijo de Betancourt, Alfonso, ingresó como alumno en el Primer Regimiento de Caballería de la Guardia Imperial Rusa. Betancourt viajó en el verano de ese año por última vez a Nijni Novgorod, donde trabajó con Geste en un proyecto para la reconstrucción de la ciudad [2] y [48].

En el verano de 1823 se produjo la muerte de la hija mayor de Agustín de Betancourt, Carolina, por un malogrado parto. Betancourt se vería muy abatido por este hecho [2], [48] y [106].

En febrero de 1824 Betancourt envió al director del Instituto de Vías de Comunicación Dominique Bazaine, el programa de una revista *literaria científica del imperio ruso sobre vías de comunicación* que fue editada por la Dirección General a la muerte de Agustín [2].

El día 16 de febrero de 1824, después de una última entrevista con el zar, Betancourt presentó la dimisión de todos sus cargos, justo al cumplir 66 años. En abril el zar Alejandro I le concedió una pensión de 6000 rublos. Esto hizo que pasara sus últimos meses viviendo en un barrio humilde de la ciudad, interesándose por la pintura y recordando sus primeros tiempos en Tenerife [2] y [15].

En julio de 1824 Betancourt, ya enfermo, de nuevo solicitó al zar protección para su familia, petición que fue bien recibida [2].

El 26 de julio de 1824 murió a los 66 años, Agustín de Betancourt y Molina, en San Petersburgo, siendo enterrado en el cementerio luterano de Smolenski [1]. A su entierro asistieron, por orden del Zar, todos los generales, jefes y oficiales de San Petersburgo. Su mujer, Ana Jourdain, recibió del emperador la concesión del sueldo de su marido. El propio zar Alejandro I moriría pocos meses después [2], [48] y [67].

Mientras en España, en 1824, Fernando VII creó en *Madrid el Real Conservatorio de Artes* donde se ubicaron las colecciones del Real Gabinete de Máquinas, en la calle del Turco. Juan López de Peñalver fue nombrado su director hasta su muerte en 1835 [2].

El ingeniero británico George Stephenson, en 1825, vio funcionar su *Locomotora N° 1* en el primer ferrocarril público. Cuatro años más tarde, en 1829, Stephenson y su hijo Robert construyeron la famosa Rocket, que era más rápida que cualquier otra locomotora de la época. Los ferrocarriles fueron una gran invención del siglo XIX [139]. George Stephenson fue el primer ingeniero mecánico e ingeniero civil británico que construyó la primera línea ferroviaria pública del mundo que utilizó locomotoras a vapor (Stockton-Darlington, 1825) [1] y la primera línea ferroviaria con transporte de pasajeros que utilizó locomotoras a vapor (Canterbury-Withstable, 1830). Conocido como el “padre de los ferrocarriles”, diseñó por completo la primera línea ferroviaria moderna [2], así como su material rodante y locomotoras. También fue el creador del ancho de vía de 1435 mm [3], conocido como “ancho de vía estándar” [4]. Sus primeros trabajos en el diseño de la locomotora se limitaron a la construcción de máquinas para transportar cargas en las minas de carbón.

La segunda hija de Agustín de Betancourt, Adelaida, murió soltera en Bruselas en 1832, después de padecer una larga y cruel enfermedad [106].

La tercera hija de Agustín de Betancourt, Matilde, se casó en 1833 en Bruselas, con un oficial del Estado Mayor francés, el conde Gardanne. Se establecieron en Versalles junto con Ana Jourdain, la viuda de Betancourt [106].

El hijo varón de Agustín de Betancourt, Alfonso, siguió la carrera militar en Rusia, llegando a alcanzar el grado de teniente general dentro de los ejércitos del Zar. Se mantuvo siempre soltero y habiéndose refugiado en París, después de la edad del retiro murió a los setenta años el 14 de diciembre de 1875 [106].

Conclusiones

El recorrido vital y profesional de Agustín de Betancourt y Molina revela hasta qué punto un individuo excepcional puede convertirse en eje articulador de un periodo histórico convulso, marcado por revoluciones políticas, transformaciones científicas y mutaciones profundas en la técnica y la industria. Su biografía demuestra que la historia de la ingeniería no puede entenderse al margen del contexto intelectual, político y militar que le dio forma.

Betancourt como figura central de la modernidad técnico científica, actuó como un auténtico mediador de la modernidad: absorbió conocimientos en España, Francia e Inglaterra y los transfirió allí donde trabajó, desde el Real Gabinete de Máquinas hasta la Escuela de Caminos española y, finalmente, la ingeniería imperial rusa. Fue una pieza clave en la introducción del pensamiento científico ilustrado, de la cultura del experimento y de la sistematización técnica en países cuyas instituciones aún no estaban plenamente adaptadas a los desafíos de la Revolución Industrial.

La vida de Betancourt muestra cómo la Ilustración, con su fe en la razón, el progreso y la utilidad pública, generó las condiciones para el nacimiento de una nueva forma de ingeniería: profesionalizada, científica y meritocrática.

Simultáneamente, la Revolución Francesa, la crisis del Antiguo Régimen y el ascenso de Napoleón Bonaparte reconfiguraron Europa, abriendo espacios inesperados para la modernización y la movilidad técnica. Betancourt se movió precisamente en estas fisuras históricas, aprovechando las oportunidades y padeciendo también sus riesgos políticos.

Las aportaciones de Agustín de Betancourt a las máquinas y mecanismos —desde la primera máquina de vapor de doble efecto del continente, hasta los sistemas de telegrafía óptica, dragas, puentes, esclusas y máquinas textiles— confirma su extraordinaria capacidad inventiva. Pero su importancia no radica solo en sus invenciones, sino en su habilidad para organizar, documentar, enseñar y difundir la técnica mediante gabinetes, escuelas e instituciones que sobrevivieron a su tiempo.

Betancourt entendió antes que muchos la necesidad de un sistema de instrucción técnica moderno. La creación del Real Gabinete de Máquinas y la Escuela de Caminos y Canales en España —inspirada en la *École des Ponts* francesa— así como la fundación del Instituto de Ingenieros de Vías de Comunicación en Rusia, son prueba de ello. Su visión integraba teoría, práctica y modelos, sentando las bases de la futura ingeniería civil europea.

El traslado definitivo de Betancourt a Rusia y su servicio al zar Alejandro I consolidaron su reputación como uno de los ingenieros más influyentes de su tiempo. Allí diseñó puentes, canales, mecanismos constructivos y sistemas de navegación fluvial, y estableció una formación técnica que sería determinante para el desarrollo industrial del imperio ruso durante el siglo XIX.

Las guerras napoleónicas, la inestabilidad española y la caída del reformismo ilustrado condicionaron su trayectoria. Las tensiones políticas —especialmente con Godoy— explican su salida definitiva de España. Aun así, su legado se mantuvo en instituciones, infraestructuras y textos fundamentales, especialmente el *Essai sur la composition des machines*, piedra angular de la ingeniería moderna.

Agustín de Betancourt encarna la transición entre dos mundos: el de la Europa ilustrada, confiada en el progreso racional, y el de la Europa industrial, sustentada en máquinas, infraestructuras y cuerpos técnicos especializados.

Su figura permite entender cómo las ideas, las máquinas y las revoluciones se entrelazaron para dar forma al inicio de la modernidad. Fue, en definitiva, un ingeniero universal, un adelantado a su tiempo y un puente vivo entre tres realidades políticas y científicas —España, Francia y Rusia—.

Anexo A: Eventos “napoleónicos” en Europa en tiempos de Agustín de Betancourt

A modo de referencia se esquematizan aquí los eventos más significativos que Napoleón Bonaparte desencadenó en Europa y durante la vida de Betancourt. En este anexo se presentan clasificados por tipo de evento, a saber:

- Batallas
- Sitios / asedios
- Campañas / maniobras / teatros
- Otros eventos no clasificados

Figura 4: Batallas de Napoleón clasificadas por tipo de evento (elaboración propia basada en [134])



Y de forma gráfica por países, la clasificación podría ser:

Figura 5: Batallas de Napoleón clasificadas por lugares del evento (elaboración propia basada en [134])

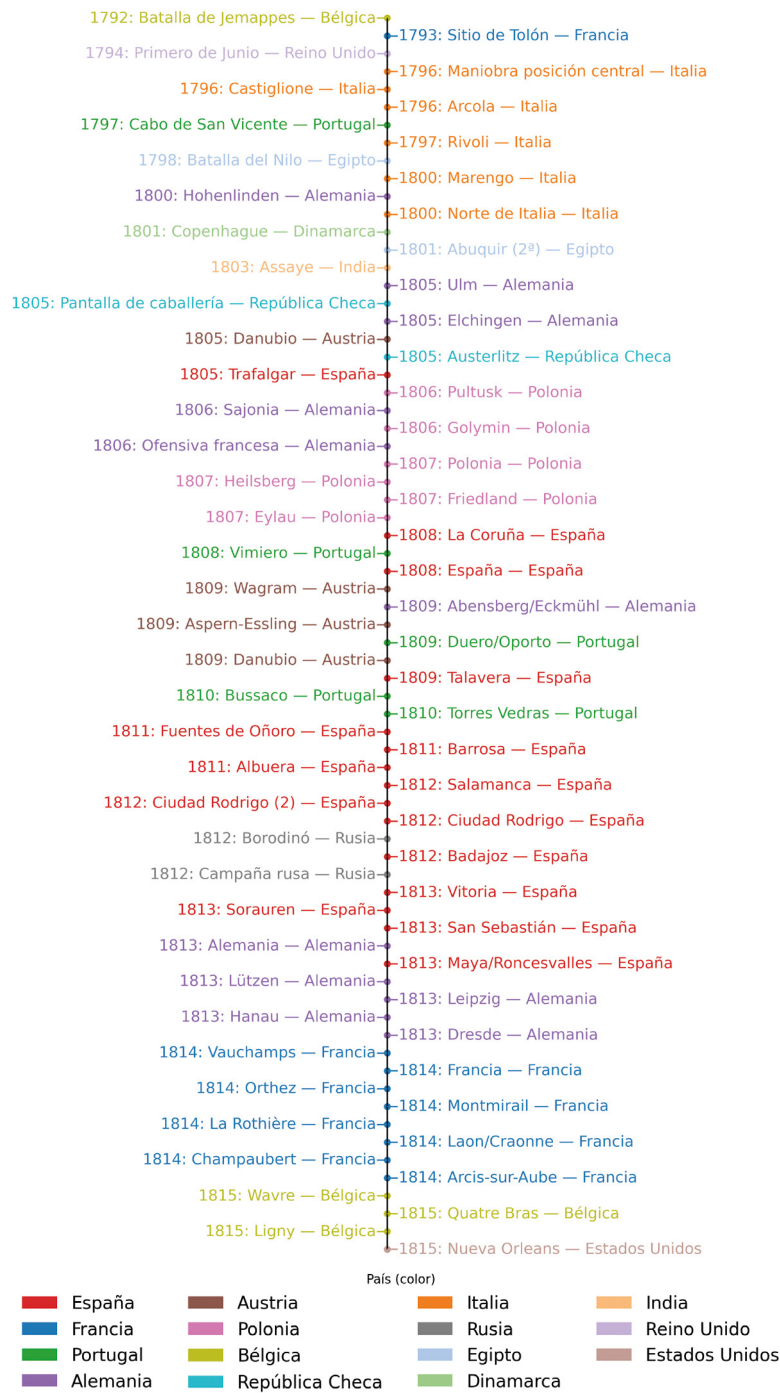


Tabla 1: Listado de eventos “napoleónicos” (elaboración propia basada en [134])

1792	Batalla de Jemappes de Napoleón [134]
1793	Sitio de Tolón de Napoleón [134]
1794	Batalla del Primero de Junio de Napoleón [134]
1796	Batalla de Arcola de Napoleón [134]
1796	Batalla de Castiglione de Napoleón [134]
1796	Estrategia: Maniobra de la posición central—El ataque en Piamonte de Napoleón [134]
1797	Batalla de Rivoli de Napoleón [134]
1797	Batalla del Cabo de San Vicente de Napoleón [134]
1798	Batalla del Nilo de Napoleón [134]
1800	Norte de Italia de Napoleón [134]
1800	Batalla de Hohenlinden de Napoleón [134]
1800	Batalla de Marengo de Napoleón [134]
1801	Batalla nocturna (o segunda) de Abuquir de Napoleón [134]
1801	Batalla de Copenhague de Napoleón [134]
1803	Batalla de Assaye de Napoleón [134]
1805	Batalla de Austerlitz de Napoleón [134]
1805	Teatro del Danubio de Napoleón [134]
1805	Batalla de Elchingen de Napoleón [134]
1805	Gran táctica: Pantalla de caballería ocultando la marcha de Davout hacia Austerlitz de Napoleón [134]
1805	Estrategia: Envolvimiento—El avance francés hacia el Danubio en Ulm de Napoleón [134]
1805	Ataque en Trafalgar, 21 de octubre de 1805 de Napoleón [134]
1806	Estrategia: La ofensiva francesa de Napoleón [134]
1806	Batalla de Golymin de Napoleón [134]
1806	Sajonia de Napoleón [134]
1806	Batalla de Pultusk de Napoleón [134]
1807	Batalla de Eylau de Napoleón [134]
1807	Batalla de Friedland de Napoleón [134]
1807	Batalla de Heilsberg de Napoleón [134]
1807	Polonia de Napoleón [134]
1808	Batalla de Vimiero de Napoleón [134]
1808	Batalla de La Coruña de Napoleón [134]
1808 09	España de Napoleón [134]
1809	El Danubio de Napoleón [134]
1809	Cruce del Duero en Oporto de Napoleón [134]
1809	Batalla de Aspern-Essling de Napoleón [134]
1809	Batallas de Abensberg y Eckmühl de Napoleón [134]
1809	Batalla de Wagram de Napoleón [134]

1809	Batalla de Talavera, 28 de junio de 1809 de Napoleón [134]
1810	Líneas de Torres Vedras de Napoleón [134]
1810	Batalla de Bussaco de Napoleón [134]
1811	Batalla de Albuera de Napoleón [134]
1811	Batalla de Barrosa de Napoleón [134]
1811	Batalla de Fuentes de Oñoro de Napoleón [134]
1812	Campana rusa de Napoleón [134]
1812	Sitio de Badajoz de Napoleón [134]
1812	Batalla de Borodinó, de Napoleón [134]
1812	Sitio de Ciudad Rodrigo de Napoleón [134]
1812	Sitio de Ciudad Rodrigo de Napoleón [134]
1812	Batalla de Salamanca de Napoleón [134]
1813	Batalla de Dresde de Napoleón [134]
1813	Batalla de Hanau de Napoleón [134]
1813	Batalla de Leipzig de Napoleón [134]
1813	Batalla de Lützen de Napoleón [134]
1813	Batallas de Maya y Roncesvalles de Napoleón [134]
1813	Alemania de Napoleón [134]
1813	Sitio de San Sebastián de Napoleón [134]
1813	Batallas de Sorauren de Napoleón [134]
1813	Batalla de Vitoria de Napoleón [134]
1814	Batalla de Arcis-sur-Aube de Napoleón [134]
1814	Batalla de Champaubert de Napoleón [134]
1814	Batallas de Laon y Craonne de Napoleón [134]
1814	Batalla de La Rothière de Napoleón [134]
1814	Batalla de Montmirail de Napoleón [134]
1814	Batalla de Orthez de Napoleón [134]
1814	Francia de Napoleón [134]
1814	Batalla de Vauchamps de Napoleón [134]
1815	Batalla de Ligny de Napoleón [134]
1815	Batalla de Quatre Bras de Napoleón [134]
1815	Batalla de Nueva Orleans, 8 de enero.
1815	Batalla de Wavre de Napoleón [134]

Anexo B: Cronología de Napoleón Bonaparte

La vida de Napoleón Bonaparte podría resumirse, según [134], de la siguiente forma:

Figura 6: Cronología personal de Napoleón Bonaparte (elaboración propia) a partir de [134]



Anexo C: Eventos históricos en la Europa Napoleónica

Según [134], podrían resumirse los eventos históricos más relevantes en Europa en las siguientes líneas temporales, durante el periodo napoleónico.

Estas gráficas, se encuentran recogidas en forma de texto en los párrafos principales.

Figura 7: Cronología de los eventos relacionados con Napoleón Bonaparte entre 1769 y 1789 (elaboración propia) a partir de [134] En este periodo, Betancourt estuvo en la Orotava, para luego ir a estudiar a Madrid en 1778, realizar una primera estancia en París entre 1784 y 1788, visitar Inglaterra y volver finalmente a Madrid.



Figura 8: Cronología de los eventos relacionados con Napoleón Bonaparte entre 1790 y 1791 (elaboración propia) a partir de [134] En este periodo, Betancourt residió en París.

Cronología 1790–1791 (español · paleta oscura)

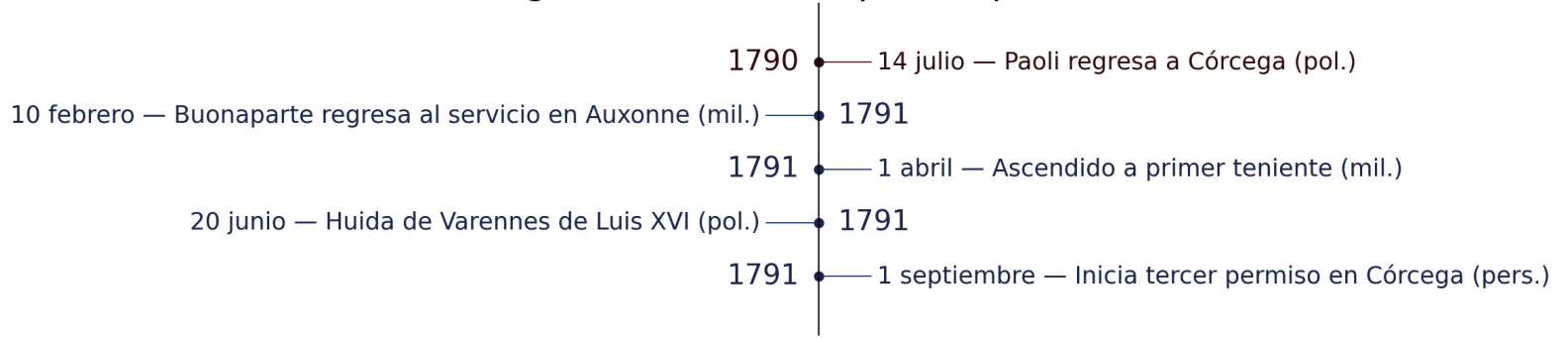


Figura 9: Cronología de los eventos relacionados con Napoleón Bonaparte entre 1792 y 1795 (elaboración propia) a partir de [134]. En este periodo, Betancourt residió en Madrid hasta 1793 para luego desplazarse a Inglaterra.



Figura 10: Cronología de los eventos relacionados con Napoleón Bonaparte entre 1796 y 1797 (elaboración propia) a partir de [134]. En este periodo, Betancourt estaba en Inglaterra y en febrero de 1797 se trasladó a Madrid hasta agosto de ese mismo año. Posteriormente se fue a vivir a París.



Figura 11: Cronología de los eventos relacionados con Napoleón Bonaparte entre 1798 y 1799 (elaboración propia) a partir de [134]. En este periodo, Betancourt residía en Madrid.



Figura 12: Cronología de los eventos relacionados con Napoleón Bonaparte entre 1800 y 1804 (elaboración propia) a partir de [134]. En este periodo, Betancourt residía en Madrid.



Figura 13: Cronología de los eventos relacionados con Napoleón Bonaparte entre 1805 y 1806 (elaboración propia) a partir de [134] . En este periodo, Betancourt residía en Madrid.



Figura 14: Cronología de los eventos relacionados con Napoleón Bonaparte entre 1807 y 1808 (elaboración propia) a partir de [134] . En este periodo, Betancourt residió en Madrid hasta mayo de 1807, para luego realizar una breve estancia en París entre mayo y octubre de 1807. Realizó su primer viaje a Rusia entre octubre de 1807 y mayo de 1808, volvió a París, y en octubre de 1808 se fue a residir definitivamente en Rusia.



Figura 15: Cronología de los eventos relacionados con Napoleón Bonaparte en 1809 (elaboración propia) a partir de [134]. En este periodo, Betancourt residía en Rusia.



Figura 16: Cronología de los eventos relacionados con Napoleón Bonaparte en 1810 (elaboración propia) a partir de [134]. En este periodo, Betancourt residía en Rusia.



Figura 17: Cronología de los eventos relacionados con Napoleón Bonaparte en 1811 (elaboración propia) a partir de [134]. En este periodo, Betancourt residía en Rusia.

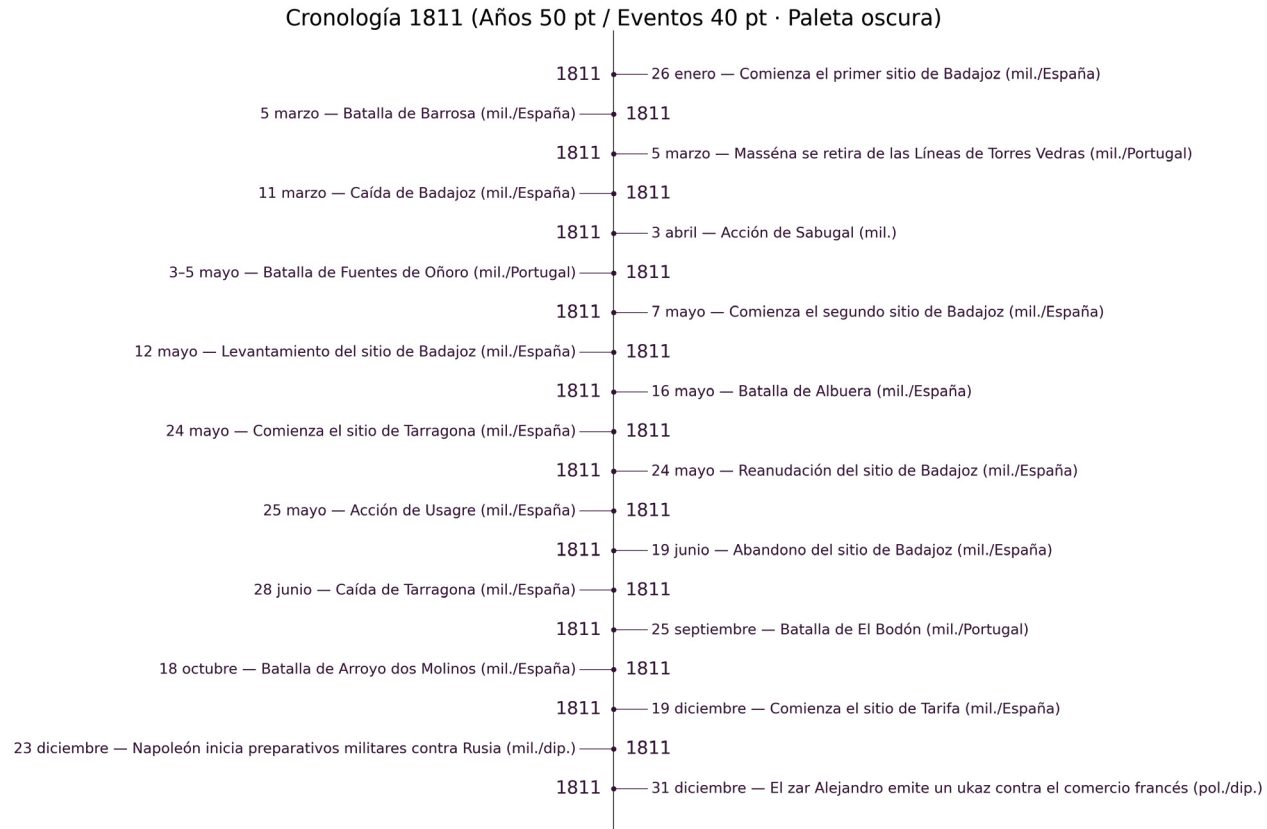


Figura 18: Cronología de los eventos relacionados con Napoleón Bonaparte en 1812 (elaboración propia) a partir de [134]. En este periodo, Betancourt residía en Rusia.



Figura 19: Cronología de los eventos relacionados con Napoleón Bonaparte en 1813 (elaboración propia) a partir de [134] . En este periodo, Betancourt residía en Rusia.

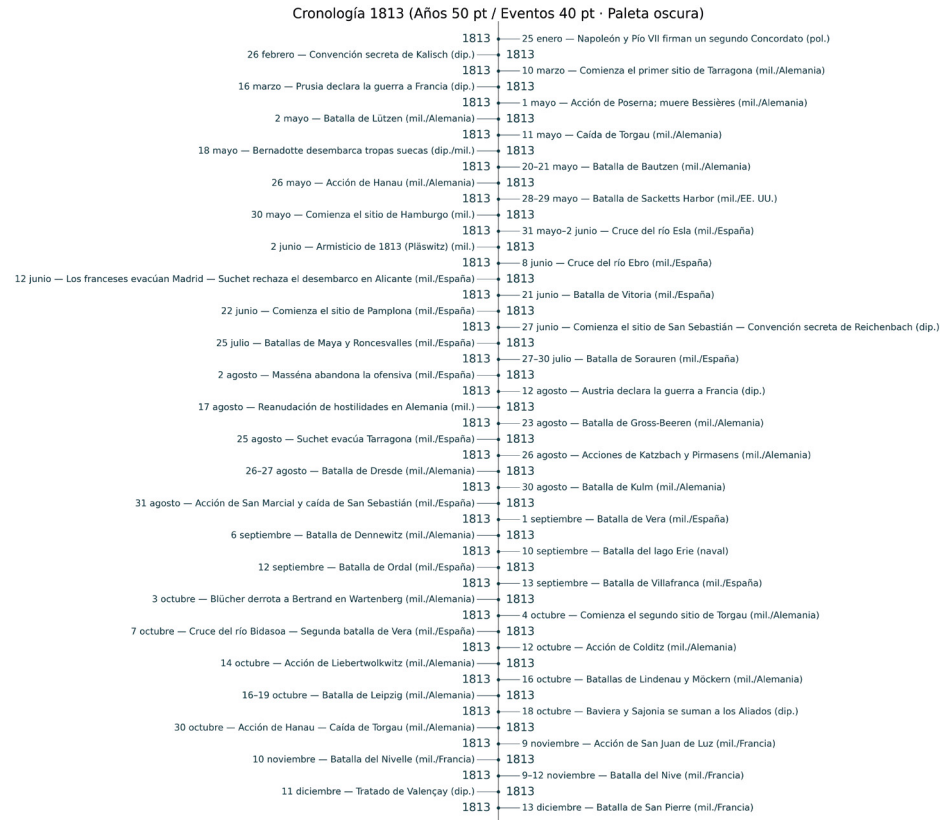


Figura 20: Cronología de los eventos relacionados con Napoleón Bonaparte entre 1814 y 1815 (elaboración propia) a partir de [134] .
En este periodo, Betancourt residía en Rusia.

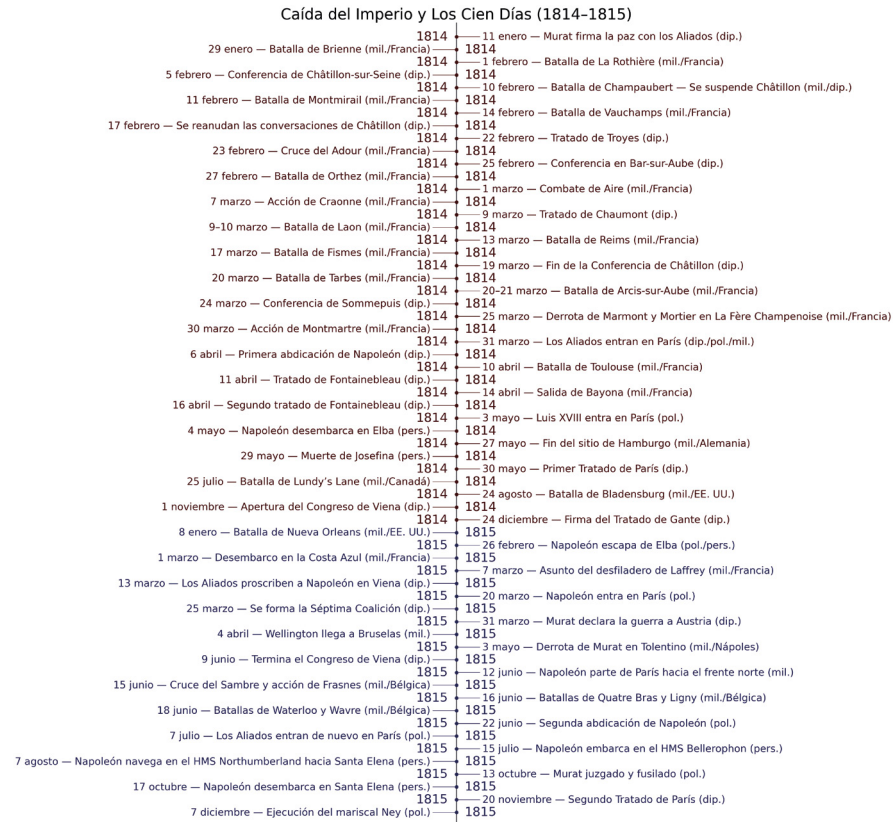
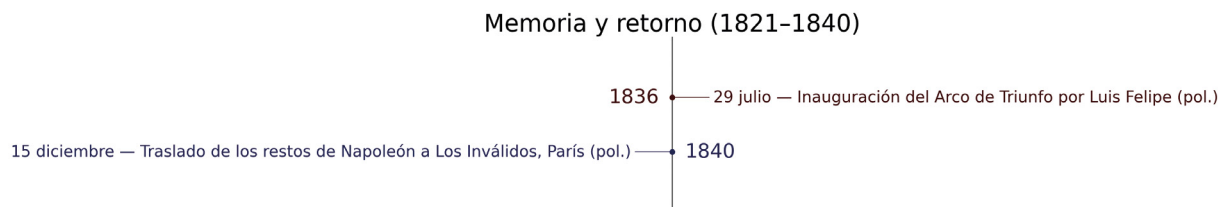


Figura 21: Cronología de los eventos relacionados con Napoleón Bonaparte entre 1815 y 1821 (elaboración propia) a partir de [134] . En este periodo, Betancourt residía en Rusia.



Figura 22: Cronología de los eventos relacionados con Napoleón Bonaparte entre 1821 y 1840 (elaboración propia) a partir de [134] . En este periodo, Betancourt residía en Rusia.



Bibliografía

- [1] Fernández González, J., Cabrera González, A., & Curbelo Cruz, J. A. (2006). *Agustín de Betancourt en la historia de la ciencia*. IES Agustín de Bethencourt.
- [2] <https://fundacionorotava.org/betancourt/biography/>
- [3] Cuadrado Iglesias, J. I., & Ceccarelli, M. (2005). *El nacimiento de la Teoría de Máquinas y Betancourt*. En M. Silva Suárez (Ed.), *Técnica e ingeniería en España, III. El Siglo de las Luces: De la industria al ámbito agroforestal* (pp. 131–181). Real Academia de Ingeniería; Institución “Fernando el Católico”; Pressas Universitarias de Zaragoza.
- [4] Quintana González de Chaves, C. (2024). Vida en Tenerife de Agustín de Betancourt. *Cimbra: Revista de la Construcción*, (425), 13-14. Recuperado de <https://www.yumpu.com/xx/document/read/68726163/cimbra-revista-425-abr-24-v13> (última consulta enero 2026)
- [5]. Kinder, H., & Hilgemann, W. (1982). *Atlas histórico mundial. Vol. 1: De los orígenes a la Revolución Francesa*. Madrid: Ediciones Istmo (Edición española basada en *DTV–Atlas zur Weltgeschichte*.)
- [6] Sáenz Ridruejo, F. (s.f.). *Agustín de Betancourt, en España, Francia, Inglaterra y Rusia*. En «Libros, caminos y días». El viaje del ingeniero (pp. 95–123). Fundación Juanelo Turriano.
- [7] Padrón Acosta, S. (s. f.). *El ingeniero Agustín de Béthencourt Molina (1758–1824)*. Manuscrito.
- [8] Rousseau, J.-J. (1985). *Emilio o de la educación* (L. Aguirre Prado, Trad.). Madrid: Editorial EDAF.
- [9] Linnaeus, C. (1758). *Systema Naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis* (10.^a ed., Vol. 1). Holmiae: Laurentii Salvii.
- [10] Macey, Samuel L. (19 March 1994). *Encyclopedia of Time*. Taylor & Francis. ISBN 9780815306153. Consultado Enero 2026– via Google Books.
- [11] Emerson, E. (1910). Comet lore: *Halley's Comet in history and astronomy*. New York: The Schilling Press.
- [12] Simon, Jacob (1985). National Portrait Gallery, ed. *Handel. A Celebration of his Life and Times 1685–1759*.

- [13] Arradi, J. (s.f.). *Ingeniería: los inicios de nuestra Escuela* (Nuestra Historia). Industriales UNED. <https://www.uned.es/universidad/facultades/dam/jcr:-5d7f0291-03a3-4805-b75c-c87564367670/NuestraHistoria.pdf>
- [14] Kinder, H., & Hilgemann, W. (1982). *Atlas histórico mundial. Vol. 2: De la Revolución Francesa a nuestros días*. Madrid: Ediciones Istmo. (Edición española basada en *DTV–Atlas zur Weltgeschichte*.)
- [15] Pérez Jiménez, R. (2024). Homenaje a Agustín de Betancourt, un ingeniero politécnico. *Anuario de Estudios Atlánticos*, (71), 071-021. <https://doi.org/10.36980/11131/aea>
- [16] López-Guadalupe Muñoz, M. L. (2019). La expulsión de los jesuitas de España: 250 años de trayectoria historiográfica. *eLegal History Review*, 30.
- [17] Vivanco Díaz, B. (2014). “La expulsión de los jesuitas de Portugal en la “era pombalina””. *Arbor*, 190 (766): a110. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/arbor.2014.766n2002>
- [18] Mestre Sanchis, A. (1996). Reacciones en España ante la expulsión de los jesuitas de Francia. *Revista de Historia Moderna*, 15, 101–128.
- [19] École nationale des ponts et chaussées. (2024). *Ficha de identidad: Escuela de ingeniería*. Campus France Forum. <https://www.enpc.fr/en>
- [20] Cartwright, M. (2023, 1 de marzo). *La industria textil en la Revolución Industrial británica*. Enciclopedia de la Historia del Mundo. <https://www.world-history.org/trans/es/2-2183/la-industria-textil-en-la-revolucion-industrial-br/>
- [21] Ferrer Benimeli, J. A. (Año no indicado en el PDF). *El motín de Madrid de 1766 en los Archivos Diplomáticos de París*. Universidad de Zaragoza.
- [22] Ayres, R. U. (1989). *Technological transformations and long waves* (Research Report RR-89-1). International Institute for Applied Systems Analysis.
- [23] Quilici, F. (1969). *Cook* (fascículo N° 71 de la serie *Los Hombres de la Historia*) Centro Editor de América Latina, Buenos Aires.
- [24] Revanasiddappa, S. (2024). *The Anglo-Mysore Wars: Strategy, Diplomacy, and Resistance*. ShodhKosh: Journal of Visual and Performing Arts, 5(2), 1309–1314. <https://doi.org/10.29121/shodhkosh.v5.i2.2024.5525>
- [25] Viñao Frago, A. (s. f.). *Disciplinas académicas y profesionalización docente: los Reales Estudios de San Isidro (17701808)*. En *L’Université en Espagne et en Amérique Latine du Moyen Âge à nos jours* (pp. 303–323). Presses universitaires FrançoisRabelais. <https://books.openedition.org/pufr/5982>

- [26] Arkwright, R., & Arkwright and Co. (1782). *The case of Mr. Richard Arkwright and Co. in relation to Mr. Arkwright's invention of an engine for spinning cotton, &c. into yarn*. [Folleto]. Great Britain.
- [27] Darnton, R. (2006). *El negocio de la Ilustración: historia editorial de la Encyclopédie, 1775–1800*. Fondo de Cultura Económica.
- [28] Rudé, G. F. E. (1967). *Robespierre*. Prentice-Hall.
- [29] Great Britain. Parliament. (1765). *The Stamp Act, 1765. In American history leaflets: Colonial and constitutional* (No. 21). A. Lovell & Company.
- [30] Perronet, J.-R. (2005). *La construcción de puentes en el siglo XVIII* (A. de las Casas Gómez & E. González Redondo, Eds.; A. de las Casas Gómez, P. Castro Rodríguez, I. Gómez Sánchez & E. González Redondo, Trans.). Instituto Juan de Herrera / CEDEX-CEHOPU. ISBN 84-7790-415-4 (tapa dura); ISBN 84-7790-419-7 (rústica).
- [31] Euler, L. (1792). *Institutionum calculi integralis. Volumen primum: In quo methodus integrandi a primis principiis usque ad integrationem aequationum differentialium primi gradus pertractatur*. Impensis Academiae Imperialis Scientiarum. https://archive.org/details/bub_gb_8nRpO2b2OCkC
- [32] Euler, L. (1755). *Institutiones calculi differentialis*. Petropolis.
- [33] Euler, L. (1748). *Introductio in analysin infinitorum*. Apud Marcum-Michaellem Bousquet & socios.
- [34] Granados, J. (2013). *Breve historia de Napoleón*. Ediciones Nowtilus.
- [35] Visit California. (s.f.). *Guía rápida de las 21 misiones españolas de California*. Visit California. <https://www.visitcalifornia.com/mx/experience/california-misiones/>
- [36] Messier, C. (1781). *Catalogue des nébuleuses et des amas d'étoiles*.
- [37] d'Alembert. (1744). *Traité de l'équilibre et du mouvement des fluides: Pour servir de suite au Traité de dynamique*. A Paris: Chez David l'aîné.
- [38] Hertrich, E. (2000). *Ludwig van Beethoven: An illustrated biography*. Verlag Beethoven-Haus.
- [39] Revolutionary War Bicentennial Commission. (1970). *Blood in the streets: The Boston Massacre, 5 March 1770*. Boston: Revolutionary War Bicentennial Commission.

- [40] An account of the plague which raged at Moscow 1771. (1979). *Medical History*, 23(2), 242. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1082449/>
- [41] El cronómetro marino de Harrison. (2024, 27 de agosto). *Blog Cátedra de Historia y Patrimonio Naval*. <https://blogcatedranaval.com/2024/08/27/el-cronometro-marino-de-harrison/>
- [42] Walker, I. (2008). *The Boston Tea Party*. ABDO Publishing.
- [43] Alexander, John T. (1969). *Autocratic politics in a national crisis: the Imperial Russian government and Pugachev's revolt, 1773-1775*. Indiana University Press.
- [44] Guerrero Acosta, J. M. (Ed.). (2018). *Recovered memories: Spain, New Orleans and the support for the American Revolution / Memorias recobradas: España, Nueva Orleans y la ayuda a la Revolución norteamericana*. Iberdrola; Editorial Nerea.
- [45] Tann, J. y Brecking, M.: «The International Difussion of the Watt Engine, 1775-1825» en *The Economic History Review*, XXXI (1978), pp. 541-564.
- [46] Helguera Quijada, J.: «La invención del procedimiento de fundición de artillería en sólido y su recepción en España a mediados del siglo xviii», en *Actas del I Congreso Internacional de Historia Militar*, Zaragoza (1986), tomo 1º, pp. 327-345
- [47] Helguera Quijada, J. (s. f.). *Jorge Juan y las transferencias de tecnología a mediados del siglo XVIII: La máquina de vapor* [Manuscrito no publicado]. <https://www.cervantesvirtual.com/research/jorge-juan-y-las-transferencias-de-tecnologia-a-mediados-del-siglo-xviii-la-maquina-de-vapor-849127/fc6396a3-a46b-4046-a33f-28423676b6ad.pdf>
- [48] <https://www.ull.es/eventos/betancourt/primera-estancia-en-inglaterra-1788/>
- [49] <https://fundacionorotava.org/portal/databases/digitisations/164/9/>
- [50] <https://fundacionorotava.org/portal/databases/digitisations/164/21/>
- [51] <https://www.congreso.es/es/cem/vidparl1837>
- [52] Whitaker, A. P. (1964). *Estados Unidos y la independencia de América Latina, 1800-1830*. Editorial Universitaria de Buenos Aires
- [53] Ludlow, J. M. F. (1876). *The war of American independence, 1775-1783*. Estes and Lauriat; Jansen, McClurg & Co.
- [54] Smith, A. (1970). *The wealth of nations*. Pelican Books.

- [55] Phelps, H., & Barritt. (1845). *The unanimous declaration of the thirteen United States of America. In Congress July 4th, 1776*. H. Phelps.
- [56] <https://cuevadelviento.net/cueva-del-viento/>
- [57] Engel, L. (1906). *Geschichte des Illuminaten-Ordens*. H. Bermühler Verlag.
- [58] Real Sociedad Económica de Amigos del País de Tenerife (RSEAPT). (2002). *La Real Sociedad Económica de Amigos del País: sus primeros pasos 1777-2002* (ISBN 84-607-6925-9). RSEAPT.
- [59] Padrón Acosta, S. (s. f.). *El ingeniero Agustín de Béthencourt Molina (1758–1824)*. Manuscrito.
- [60] Ionides, J. (1999). *Thomas Farnolls Pritchard of Shrewsbury: Architect and “inventor of cast iron bridges”*. Dog Rose Press.
- [61] Bottomer, P. (1999). *Vals*. Madrid: Susaeta Ediciones.
- [62] Chartrand, R., & Courcelle, P. (2006). *Gibraltar, 1779–1783: The Great Siege*. Osprey Publishing.
- [63] Christie, T. (1788). *The Analytical Review, or History of Literature, Domestic and Foreign, on an Enlarged Plan* (Vol. 2). J. Johnson. p. 519
- [64] *Diccionario de la lengua Castellana compuesto por la Real Academia Española reducido á un tomo para su más fácil uso*. Madrid: Joaquín Ibarra, 1780
- [65] <https://www.uni-muenster.de/de/>
- [66] Biblioteca Nacional de España. (n.d.). *Betancourt, Agustín de*. <https://www.bne.es/es/autores/betancourt-agustin>
- [67] Real Academia de la Historia. (2022). *Agustín de Betancourt y Molina*. Historia Hispánica. <https://historia-hispanica.rah.es/biografias/7209-agustin-de-betancourt-y-molina>
- [68] Warner, A. D. (1914). *The story of Los Angeles and Southern California*. The Jeffersonian Press.
- [69] Méchain, P. and Delambre, J.-B.: *Base du Syst`eme M`etrique D´ecimal, ou Mesure de l´Arc du M´eridien*. Paris Baudouin, Imprimeur de l´Institut National, Vol I 1806, Vol II 1807, Vol III 1810.
- [70] Kant, I. (2009). *Crítica de la razón pura* (M. Caimi, trad.; E. Amador, M. Paolucci y M. Thisted, índices; D. M. Granja, M. de J. Gallardo, E. Aguilar y

- Ó. Palancares, trads.; edición bilingüe alemán–español). Fondo de Cultura Económica; Universidad Autónoma Metropolitana; Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN: 978-607-16-0119-3
- [71] Coulomb, C.-A. (1785). *Théorie des machines simples. In Mémoires de mathématique et de physique, présentés à l'Académie Royale des Sciences, par divers savants* (Vol. 10, pp. 161–332). Paris.
 - [72] Coulomb, C.-A. (1821). *Théorie des machines simples*. Paris: Bachelier.
 - [73] Anna, T. E. (1991). El imperio de Iturbide (A. Sandoval, Trad.). Editorial Patria / Alianza Editorial / Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. (Obra original publicada en 1990). ISBN: 968-39-0369-X
 - [74] Madariaga, S. de. (1975). *Bolívar: Tomo I*. Espasa-Calpe. ISBN 84-239-4930-3
 - [75] Martínez Ibañez, M. A. (s.f.). *La pintura de Antonio Carnicero Mancio en el Prado*. Número, 29, 37–41.
 - [76] Anderson, M. S. (1996). *La Europa del siglo XVIII (1713 - 1789)* (R. Haas, Trad.). Fondo de Cultura Económica. (Obra original publicada en 1966)
 - [77] Voltes Bou, P. (1984). *Fernando VII: Vida y reinado* (Colección Grandes Biografías). Editorial Juventud.
 - [78] Mott, R. A., & Singer, P. (1983). *Henry Cort: The great finer — Creator of puddled iron*. The Metals Society.
 - [79] Las Casas Gómez, A., & Vázquez de la Cueva, A. (1999). *El Canal Imperial de Aragón* (Publicación núm. 8033). Zaragoza: Caja de Ahorros de la Inmaculada de Aragón. ISBN 8495306093
 - [80] González Bueno, A., & Rodríguez Nozal, R. (2000). La expedición botánica a Nueva España (1787–1803): un análisis de sus resultados. En P. Aceves Pastrana (Ed.), *Tradiciones e intercambios científicos: Materia médica, farmacia y medicina* (pp. 255–281). Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco / Sociedad Química de México.
 - [81] Lagrange, J.-L. (1788). *Mécanique analytique*. Desaint.
 - [82] RojasSola, J. I., & de la Morenade la Fuente, E. (2018). *La máquina eólica para desaguar terrenos pantanosos de Agustín de Betancourt y Molina: análisis de su construcción mediante ingeniería asistida por ordenador. Informes de la Construcción*, 70(549), e236. <https://doi.org/10.3989/id.54738>

- [83] Lefebvre, G. (1970). *La grande peur de 1789* (Nouvelle édition). Librairie Armand Colin.
- [84] Cunliffe, M. (1958). *George Washington, Man and Monument*. Little, Brown and Company.
- [85] Lavoisier, A.-L. (1789). *Traité élémentaire de chimie*. Cuchet.
- [86] Dohm, C. W. von. (1790). *Die Lütticher Revolution im Jahr 1789 und das Benehmen Sr. Königl. Majestät von Preussen bey derselben*. George Jacob Decker und Sohn.
- [87] Stewart, G. B. (1992). *The importance of Benjamin Franklin*. Lucent Books.
- [88] Burke, E. (1790). *Reflections on the revolution in France, and on the proceedings in certain societies in London relative to that event*. J. Dodsley.
- [89] Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. (2024). *Agustín de Bethancourt: precursor de la ingeniería moderna* [Folleto]. Centro de Publicaciones.
- [90] Escapa, P. A. (2024, 13 de mayo). *Dos manuscritos de la Real Biblioteca en la exposición “Agustín de Betancourt (1758-1824)”* de la Biblioteca Nacional. Real Biblioteca. <https://realbiblioteca.es/es/node/340>
- [91] Gutman, R. W. (1999). *Mozart: A cultural biography*. Harcourt Brace & Company.
- [92] Sobel, R. (1965). *The Big Board: A history of the New York Stock Market*. Free Press.
- [93] Lovejoy, Arthur. (2007). MONBODDO Y ROUSSEAU (1933). *Revista de filosofía*, 63, 171-194. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-43602007000100013>
- [94] Eli Whitney’s Cotton Gin Patent Drawing; 3/14/1794; Restored Patent Drawings, 1837 – 1847; Records of the Patent and Trademark Office, Record Group 241; National Archives at College Park, College Park, MD. [Online Version, <https://docsteach.org/document/whitney-cotton-gin-patent/>, February 5, 2026]
- [95] Egórova, O. V. (2011). *En pos de las huellas de Betancourt: la primera máquina de vapor en Cuba*. *Revista de Obras Públicas*, 158(3517), 31–48.
- [96] García, J. A. (2014). *La Restauración de la Compañía de Jesús*. Compañía de Jesús – Provincia de España. https://infosj.es/jdownloads/Documentos/Curia%20Provincial/folleto_restauracion.pdf

- [97] Betancourt y Castro, J., & Afonso, C. (1776, noviembre 14). *Descripción de la caverna que se halla al norte de la villa de Icod, examinada el 14 de noviembre de 1776...* [Manuscrito]. Copia del Archivo de Francisco de León Morales, nº 111.
- [98] Diderot, D., & d'Alembert, J. le R. (Dirs.). (1765). *Encyclopédie, ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers* (Tome 8). Samuel Fauche.
- [99] Betancourt y Molina, A. de. (1780). *Exercicio de matemáticas que ha de tener en los Estudios Reales de esta Corte*. En el acto presidido por A. Rosell Viciáno. Joaquín Ibarra.
- [100] Betancourt y Molina, A. de. (1783). *Primera memoria sobre las aguas existentes en las Reales Minas de Almadén, en el mes de julio de 1783, y sobre las máquinas y demás concerniente a su extracción* [Manuscrito]. Archivo de la Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia.
- [101] Betancourt y Molina, A. de. (1783). *Segunda memoria sobre las máquinas que usan en las Minas del Almadén, en que se expresan sus ventajas, y defectos, y algunos medios de remediarlos*. [Manuscrito]. Archivo de la Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia.
- [102] Betancourt y Molina, A. de. (1783). *Tercera memoria sobre todas las operaciones que se hacen dentro del cerco en que están los hornos de fundición del Almadén*. [Manuscrito]. Archivo de la Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia.
- [103] López Peñalver, J. *Descripción de las máquinas de más general utilidad que hay en el Real Gabinete de ellas, establecido en el Buen Retiro, hecha de orden de S. M.: Número I. Prensa hidráulica* (1798). Imprenta Real.
- [104] Lewes, G. H. (1849). *The life of Maximilien Robespierre: With extracts from his unpublished correspondence*. Carey and Hart.
- [105] (1843). *A memoir of the life, writings, and mechanical inventions of Edmund Cartwright, D.D., F.R.S., inventor of the power loom, etc. etc.* Saunders and Otley.
- [106] Rumeu de Armas, A. (1967). Agustín de Betancourt, fundador de la Escuela de Caminos y Canales: Nuevos datos biográficos. *Anuario de Estudios Atlánticos*, 13, 239–302.
- [107] Riedel, S. (2005). Edward Jenner and the history of smallpox and vaccination. *Baylor University Medical Center Proceedings*, 18(1), 21–25. <https://doi.org/10.1080/08998280.2005.11928028>
- [108] Elizalde, J. J. (Trad.). (1834). *Manual teórico y práctico de la litografía*. Cádiz: Imprenta de D. José Antonio Niel, hijo.

- [109] Cuvier G. *Mémoire sur la structure externe et interne et sur les affinités des animaux auxquels on a donné le nom de ver*. En *La Décade philosophique, littéraire et politique* 5 (40) (29 de mayo de 1795) 385–396
- [110] Prony, G. (1839). *Mémoire sur un moyen de convertir les mouvements circulaires continus en mouvements rectilignes alternatifs*. Paris: Bachelier, Imprimeur-Libraire.
- [111] Prony, R. (1796). *Nouvelle architecture hydraulique: Seconde partie, contenant la description détaillée des machines à feu*. Paris: Firmin Didot.p
- [112] de Montgolfier, J.M. (1803) *Note sur le béliet hydraulique, et sur la manière d'en calculer les effets*. *Journal des Mines*, 13 (73) . pp. 42-51.
- [113] Malthus, T. R. (1909). *Parallel chapters from the first and second editions of An essay on the principle of population (1798; 1803)*. The Macmillan Company.
- [114] Irving, W. (1976). *George Washington: A biography* (C. Neider, Ed.). Doubleday & Company, Inc.
- [115] Dibner, B. (1964). *Alessandro Volta and the electric battery*. Franklin Watts, Inc.
- [116] Plasencia, P. (2011, 22 de octubre). *Pont des Arts*. <http://www.puente-mania.com/90>
- [117] Berg, H. (2008). *Johann Wilhelm Ritter – The founder of scientific electrochemistry*. *Review of Polarography*, 54(2), 99–104.
- [118] Young, T. *Experimental Demonstration of the General Law of the Interference of Light*, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*”, vol 94, 2 (1804). El artículo puede encontrarse en Morris Shamos, ed., “Great Experiments in Physics” p96-101, Holt Reinhart and Winston, New York, 1959.
- [119] Gosman, G. (2011). *Thomas Jefferson*. PowerKids Press.
- [120] Piazzzi, G. (1802). *Della scoperta del nuovo pianeta Cerere Ferdinandea*. Stamperia Reale.
- [121] Trevithick, F. (1872). *Life of Richard Trevithick: With an account of his inventions* (Vol. 1). E. & F. N. Spon.
- [122] Del Rey Vicente, M. (2020). La coronación de Napoleón: La primera muestra de propaganda moderna. *Clío: Revista de historia*, (229), 24–31.
- [123] Mikaberidze, A. (2022). *Las guerras napoleónicas: Una historia global* (J. Mejía Alberdi, Trad.). Desperta Ferro Ediciones.

- [124] Hegel, G. W. F. (2002). *Fenomenología del espíritu* (J. A. Díaz, Trad.). Siglo del Hombre Editores.
- [125] Elorza, A. (2023). *Un juego de tronos castizo: Godoy y Napoleón, una agónica lucha por el poder*. Alianza Editorial.
- [126] Goethe, J. W. von. (1808). *Faust: Eine Tragödie*. Tübingen: J. G. Cotta'scher Verlag.
- [127] Corsi Otálora, L. (2007). *Cronología analítica motivacional del progreso independentista en Hispanoamérica*. Anales de la Fundación Francisco Elías de Tejada, (13), 135–139.
- [128] Lamarck, J.-B. P. A. (1809). *Philosophie zoologique*. Tome second. Dentu/ Chez l'Auteur.
- [129] Bowlby, J. (1991). *Charles Darwin: A new life*. W. W. Norton & Company.
- [130] Thomas, B. P. (1952). *Abraham Lincoln: A biography*. Alfred A. Knopf.
- [131] Streissguth, T. (2001). *Edgar Allan Poe*. Lerner Publications.
- [132] Henao, J. M., & Arrubla, G. (1958). *History of Colombia* (J. F. Rippy, Trans. & Ed.). The University of North Carolina Press.
- [133] Museo Virtual CEDEX. (n.d.). *Ficha de maqueta*. <https://museovirtual.cedex.es/detalle-maqueta-cedex.html?id=146> [museovirtu...l.cedex.es]
- [134] Chandler, D. G. (1979). *Dictionary of the Napoleonic Wars*. Arms and Armour Press. [archive.org], [openlibrary.org]
- [135] Franco Rodríguez Lázaro, A., Escribano Ródenas, M. C., & Ibar Alonso, R. (s.f.). *Bicentenario de la "Théorie analytique des probabilités" 1812-2012*. Departamento de Métodos Cuantitativos e Informáticos, Universidad CEU San Pablo.
- [136] Congreso de los Diputados. (s.f.). *Constitución de 1812*. (consultado por última vez enero 2026) <https://www.congreso.es/es/cem/const1812>
- [137] Alcolea Blanch, S. (s.f.). *The Prado* (R.-L. Rees & A. P. Hall, Trans.). Harry N. Abrams, Inc.
- [138] Laennec, R. T. H. (1819). *De l'auscultation médiate, ou Traité du diagnostic des maladies des poumons et du cœur, fondé principalement sur ce nouveau moyen d'exploration* (Tome second). J.-A. Brosson & J.-S. Chaudé.
- [139] Clements, G. (1990). *The picture history of great inventors*. Studio Editions.

- [140] Sacks, O. (2017). *Veo una voz: Viaje al mundo de los sordos* (J. M. Álvarez Flórez, Trad.). Editorial Anagrama. (Obra original publicada en 1989)
- [141] https://guanches.org/Destiladera#cite_ref-1

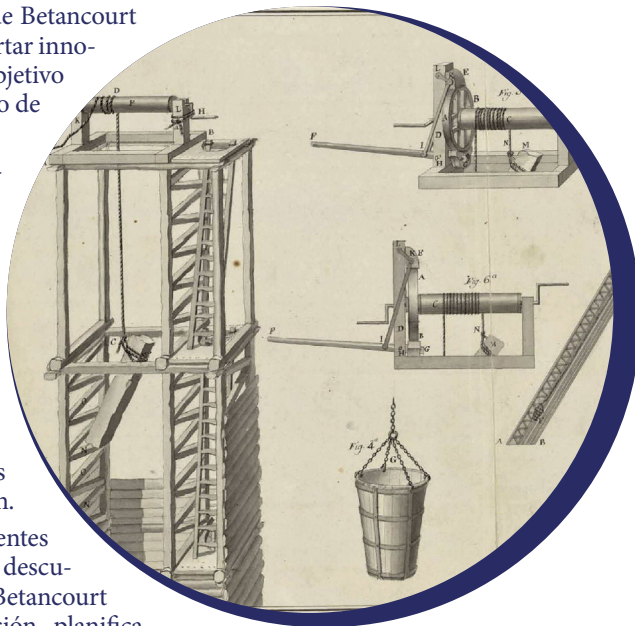
MARÍA A. SÁENZ-NUÑO
DPTO. ING. MECÁNICA

Persigue este libro exaltar el genio de Agustín de Betancourt como ingeniero completo y su capacidad de aportar innovaciones en distintas ramas de la ingeniería, objetivo incuestionablemente identificado con el Instituto de Ingeniería de España.

Al recoger las innovaciones técnicas de Betancourt, revelamos el espíritu de un ingeniero ilustrado que comprendió que la tecnología no es un fin en sí misma, sino un instrumento para transformar la sociedad.

Se ha estructurado este libro en dos bloques, en el primero, más tecnológico, los autores de sus tres capítulos nos invitan a descubrir las distintas facetas de la genialidad del ingeniero cosmopolita, centrándose en elementos diferenciales de su obra que evidencian la profundidad en sus proyectos durante el ejercicio de nuestra profesión.

Francisco González de Posada, presenta las 'Ingentes contribuciones pioneras en obras públicas'. Nos descubre la amplitud de los proyectos de Agustín de Betancourt como revolucionarias concepciones en educación, planificación territorial, urbanismo, canales, puentes, estructuras soportes para construcciones, etc.



Eloy Álvarez Pelegry y Luis Mansilla Plaza han contribuido a detallar y difundir las 'Contribuciones de Agustín de Betancourt a la minería, la metalurgia y a la máquina de vapor'. Se descubren sus memorias, de gran impacto, sobre la tecnología minera y metalúrgica de la época en Almadén.



Y dando testimonio de la genialidad de Agustín de Betancourt en la naciente Ingeniería de comunicaciones, Antonio Moreno, nos desvela con el método de hacer preguntas al auditorio y posteriormente al lector, que luego contesta, cómo el ingeniero completo fue capaz de simplificar el manejo y mejorar las comunicaciones ópticas con la introducción de un sencillo elemento.

Y en el segundo bloque, María A. Sáenz-Nuño propone una mirada panorámica al mundo que Betancourt habitó: un periodo marcado por la Ilustración, la Revolución Francesa, el ascenso de Napoleón Bonaparte y el avance acelerado de la Revolución Industrial.

Desearíamos, en fin, que la lectura de este libro permita al lector descubrir que Betancourt fue un ingeniero total: analítico y creativo, práctico y visionario. Ninguna de las nuevas ingenierías de su tiempo le resultó ajena. Y por ello se le considera, con justicia, fundador de la ingeniería moderna en España.