

TESIS DOCTORAL

AÑO 2020

**“ANÁLISIS DE LA FORMACIÓN REGLADA EN LA
INGENIERÍA DEL REINO DE ESPAÑA EN EL SIGLO XVIII”**

Autor: Francisco Luis García Ahumada

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES**

Directora: Cristina González Gaya

Director: Miguel Angel Sebastián Pérez

TESIS DOCTORAL

AÑO 2020

**“ANÁLISIS DE LA FORMACIÓN REGLADA EN LA
INGENIERÍA DEL REINO DE ESPAÑA EN EL SIGLO XVIII”**

Autor: Francisco Luis García Ahumada

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES**

Directora: Cristina González Gaya

Director: Miguel Angel Sebastián Pérez

DEPARTAMENTO INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN Y
FABRICACIÓN
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES-UNED

**“ANÁLISIS DE LA FORMACIÓN REGLADA EN LA
INGENIERÍA DEL REINO DE ESPAÑA EN EL SIGLO XVIII”**

FRANCISCO LUIS GARCÍA AHUMADA

LICENCIADO EN CIENCIAS FÍSICAS

INGENIERO TÉCNICO AERONAÚTICO

MÁSTER EN SOSTENIBILIDAD Y RESPONSABILIDAD SOCIAL
CORPORATIVA

DIRECTORA: Cristina González Gaya

DIRECTOR: Miguel Angel Sebastián Pérez

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis es un homenaje al conjunto de profesores de ingeniería que llevan trescientos años formando a generaciones de nuevos ingenieros, sin ellos la ingeniería que conocemos sería una cosa muy distinta, y en mi caso, debo de agradecerles haberme ayudado al desarrollo de mi vida profesional.

Una vez rendido el merecido homenaje quiero agradecer a aquellas personas que me ha acompañado y guiado a lo largo de este camino.

En primer lugar, a mis dos directores de tesis Cristina González Gaya y Miguel Angel Sebastián que orientaron mis pasos en la dirección correcta. Y me animaron cuando les expuse el tema de la Tesis.

Al profesor Santo Madrazo que me animó a desarrollar la idea, cuando se la expuse y me proporciono un mapa para orientarme en su desarrollo.

A mi profesor de matemáticas Manuel Abejón Adámez que pacientemente me escucho las ideas que iba elaborando, con una paciencia encomiable.

Al coronel de ingenieros Juan Carrillo de Albornoz que me ayudo, e indicó caminos correctos y me proporciono documentación impagable.

A mi mujer Martina, por los múltiples momentos robados, sin su apoyo y sin su sacrificio, esta tarea habría sido imposible.

A mi hijo Ruben y su mujer Ana por su apoyo.

Por último, esta tesis se ha desarrollado en pleno confinamiento del COVID19, y sin las infraestructuras de la biblioteca de la UNED hubiera sido muy difícil su desarrollo.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	4
1. INTRODUCCIÓN	8
1.1 Objetivo y razón de la Tesis.....	9
1.2 Planteamiento de la Tesis.....	10
1.3 Metodología de trabajo.....	15
1.4 Alcance del Análisis	16
1.5 Estructura de la Tesis.....	22
2. ALINEACIÓN ENTRE INGENIERO Y FORMACIÓN REGLADA.....	24
2.1 Alcance del concepto ingeniero.....	25
2.2 La alineación Formación Reglada Ingeniería	37
2.2.1 Alineación.....	38
2.2.2 Sobre el Alcance del concepto de ingeniero utilizado	40
2.3 El Ingenio.....	42
3. LOS ANTECEDENTES DE LA FORMACIÓN REGLADA	45
3.1 Introducción	46
3.2 ¿Por qué la palabra matemática está incluida dentro del título de las instituciones?46	
3.3 Reino de España	56
3.3.1 La “Institución de la Academia Real Matemática”	56
3.3.2 La formación en instituciones militares	69
3.3.3 La formación en instituciones religiosas	75
3.3.4 La formación en la Universidad.....	76
3.4 Países Bajos	76
3.5 Francia	79
3.5.1 El inicio del racionalismo	79
3.5.2 Le corps du Genie.....	81
3.5.3 L’Académie des Sciences.....	85
3.6 Inglaterra.....	85
3.6.1 Los Ingenieros bajo “The Board of Ordnance”	86
3.6.2 El Estatuto de Monopolios de 1623 “Statute of Monopolies”	87
3.6.3 La publicación, por parte de Francis Bacon del “Novum organum”	88
3.6.4 La Royal Society.....	92
3.7 Conclusiones	93

4.-LA DEMANDA DE FORMACIÓN DE INGENIEROS.....	95
4.1 Introducción	96
4.2 Tipo de demanda.....	96
4.2.1 Explícita	96
4.2.2. Implícita.....	99
4.3 Origen de la demanda.....	102
4.3.1 Infraestructuras.....	103
4.3.2 Defensa del territorio.....	108
4.3.3 La flota.....	114
4.3.4 Ordenación del territorio (Reino de España incluido ultramar).....	122
4.3.5 Reconocimiento del Territorio (Cartografía).....	126
4.3.6 La minería.....	135
4.3.7 La industria manufacturera como excepción.....	146
5.-LA OFERTA DE FORMACIÓN REGLADA	173
5.1 Introducción	174
5.2 Gran Bretaña	176
5.2.1 La Ingeniería militar.....	176
5.3 Francia.....	179
5.3.1 La Ingeniería Militar	180
5.3.2 La Ingeniería civil.....	184
5.3 El Reino de España	203
5.4.1 La Ingeniería militar.....	206
5.4.2 La Ingeniería civil.....	236
6.-COMPENDIO DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	276
6.1 Introducción	277
6.2 Compendio de resultados	277
7.-CONCLUSIONES	282
7.1 Introducción	283
7.2 Conclusiones generales	283
7.3 Conclusiones en el Reino de España.....	284
7.3 Futuras líneas de investigación	285
8.-A MODO DE EPÍLOGO.....	286
ANEXO 1 ÍNDICE DE FIGURAS.....	289

ANEXO 2-CRONOLOGÍA DE LA INGENIERÍA EN 1556-1824	293
BIBLIOGRAFÍA	315

..quel intéressant spectacle qui ne se sentira
heureux et ne se glorifiera pas d'avoir à
contribuer à l 'instruction, aux premiers essais.,
aux progrès , d'une jeunesse si chère à la
République par l'espoir qu'elle lui donne

Journal Polytechnique Premier cahier 1794

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivo y razón de la Tesis

Hace trescientos años, un día de octubre del año 1720, en la Ciudadela de Barcelona se ponía por primera vez en España y probablemente en Europa, un importante proyecto para el desarrollo de la ingeniería. El proyecto que se ponía en marcha era el de, formar de forma metódica y en base al diseño de un programa a futuros ingenieros. Aquellos que se iban a formarse eran ingenieros militares y el centro era la Real Academia de Matemáticas de Barcelona.

Este proyecto de formación, que era sucesor de otros proyectos, y que, como todo proyecto tenía una programación, objetivos, plazos, recursos calidad etc. El objetivo era de disponer de personal formado en ingeniería de fortificación e infraestructuras, entre otras materias, que eran necesarias para las tareas del Estado, con un nivel de conocimientos adecuado para poder llevar a término con éxito estas actividades. En relación con los plazos se puede hablar del diseño y puesta en marcha, en este caso se supone, que, por temas de apremio, se pone en marcha un programa, del que se tendrá testimonio escrito cuatro años de después en 1724¹, y con un número mínimo de profesores. Pero el proyecto se había puesto en marcha y como tal fue evolucionando y revisándose sus programas, la formación de sus profesores etc. En resumen, como todo proyecto de puesta en marcha de una institución en el cual hay que conjugar el día a día con una escasez de recursos.

Esta tesis tiene como objetivo analizar la puesta en marcha del proyecto de formación reglada de la ingeniería, y analizar si el proyecto que se pone en marcha va a estar alineado con las necesidades de la sociedad de la época.

Por tanto, se va a revisar cual era la demanda en los orígenes, y en este apartado se analizará como se va a ir ampliando el alcance del concepto de ingeniero. Para el análisis de modelo oferta demanda es importante resolver una cuestión ¿Qué entiende, en ese tiempo por ingeniero la sociedad que le rodea? La demanda analizada va a ir desde el inicio de la revolución industrial, la llamada protoindustrialización hasta el primer tercio del siglo XIX.

¹ Esta es la fecha que aparece en legajo de Secretaría de Guerra Legajo 2994

De otro lado se va a revisar cual va a ser la oferta de formación reglada, que incluirá las etapas de diseño, puesta en marcha y evolución de esta a lo largo del siglo XVIII.

Tanto para la oferta como la demanda se revisará el grado de alineación existente entre las dos, que va a implicar la perdurabilidad o no del proyecto.

Para lo cual, y dado la formación de la ingeniería se va a encontrar con distintos modelos se han seleccionado tres países que son Gran Bretaña, Francia y el Reino de España. La razón para esta selección es que al final del siglo XVIII van a coexistir dos modelos de ingeniería, que son el modelo inglés que va a hundir sus raíces en el empirismo de Bacon, y el modelo francés que va a hundirlas en el racionalismo de Descartes. El modelo español va a estar muy unido al modelo francés, entre otras razones por el cambio de gobierno que se da en el XVIII con el cambio de la dinastía reinante.

En estas tesis se hará hincapié en la puesta en marcha de la formación reglada en el Reino de España (se ha utilizado este vocablo debido a que en esa época España incluye los territorios de ultramar), en la que se da la circunstancia de que fue pionera en la formación de ingenieros.

1.2 Planteamiento de la Tesis

Para poder desarrollar esta Tesis ha sido necesario buscar en los textos de los siglos XVI, XVII XIX y principalmente el siglo XVIII.

La búsqueda bibliográfica se orientó al conocimiento de la oferta y la demanda de formación reglada en el siglo XVIII y comprobar su grado de alineación. Esta búsqueda se centró en el siglo XVIII, dado que es cuando aparecen las Escuelas de Ingeniería. Pero para analizar este siglo es necesario revisar sus antecedentes en concreto los siglos XVI y XVII.

En esta búsqueda el autor se ha encontrado con varias interrogantes, de entre ellas merecen destacar las siguientes:

- ¿Porque en ninguna publicación de las que ha examinado se le da la relevancia que merece; a la puesta en marcha de la formación de los ingenieros como enseñanza de nivel superior?
- ¿Porque la industria no necesita Ingenieros formados académicamente hasta el XIX?

- ¿Porque en el siglo XVIII se produce, en España, una cierta militarización de las Ciencias Útiles? [Giménez López, E. (2006)].
- ¿Porque, tanto en Francia como en España, el Ingeniero pasa a ser un funcionario, civil o militar, del estado y no así en Inglaterra?
- ¿Porque gran parte de la revolución industrial inglesa, así como su ingeniería ligada a las infraestructuras, se basa en el empirismo?
- ¿Como funciona la dualidad ciencia ingeniería?.

De todas estas preguntas hay una en concreto que es la de, porque no se considera como un hecho de gran relevancia la puesta en marcha de los centros de formación para los ingenieros, que representan una disrupción dado que a partir de ellos se va a irradiar el conocimiento de la ingeniería y se van a desarrollar e innovar procesos tanto para la ciencia como para la técnica. Pero si se mira se mira una historia de la ingeniería se habla de personajes, de inventos, de asociaciones, pero en una gran parte de la literatura no se da la importancia que merecen los centros de formación de ingenieros. Sin ellos personajes de la ingeniería moderna como Lagrange, Coulomb, Monge, Belidor, Cauchy, Carnot probablemente no hubieran tenido la relevancia que tuvieron, y sin ellos desarrollos de la ciencia tales como la termodinámica o la metalotecnia, entre otros, se habrían dilatado en el tiempo.

Una consecuencia de la formación de los ingenieros va a ser la permeabilidad, en los libros de ingeniería, de las matemáticas y las nuevas leyes de la mecánica. En el siglo XVIII, por primera vez aparecen libros de ingeniería que las van a incluir, y en el caso de la mecánica van a incluir básicamente la estática, la dinámica se incluirá a finales del XVIII, esto va a implicar en que los modelos de muros o los arcos, como ejemplo, ya no se estudiarán, únicamente, en base a la experiencia, sino que aparecerán criterios en base a razones mecánicas.

Los análisis realizados al respecto, con mínimas excepciones se han realizado desde un punto de vista que es el de la historia, pero no desde la óptica del ingeniero, que tratará de revisar todos los incidentes relevantes para la explicación de los hechos.

Este estudio, como se ha indicado, se va a centrar en el siglo XVIII y en concreto en la formación de los ingenieros militares, los de minas, los de caminos y canales, los de la marina, los ingenieros geógrafos y otros centros que fruto de la iniciativa del estado se pusieron en marcha, también hay centros que se vana a poner en marcha en base a iniciativas sociales

como aquellos que apadrinaron las Reales Sociedades de Amigos del País tanto en: Zaragoza como en Vergara así como la Junta de Comercio en Cataluña..

El reino de España es uno de los primeros de Europa en poner en marcha los procesos formativos para los ingenieros, pero desgraciadamente, este adelanto no se traducirá en un liderazgo de la formación en ingeniería por parte española.

Para realizar esta investigación se han revisado una parte relevante de los manuales que se utilizaron en esta época. Las materias que se revisará será las propias de la época que son las matemáticas, los tratados de construcción, de fortificación, los de hidráulica y los de geometría subterránea². Hay que advertir que la producción en el Reino de España de libros de texto de ingeniería fue muy pobre, en la enseñanza se utilizaba el proceso de toma de apuntes que tanto daño ha hecho. Se revisarán aquellos manuales que fueron relevantes a lo largo del siglo. También se han revisado los programas de formación de los que hay, no en todos los casos, información suficiente.

El autor ha tenido dudas a la posibilidad de la Arquitectura en este estudio, dado que en el siglo XVIII se la considera una de las bellas artes, mientras que la ingeniería se considera como un arte mecánico. Pero dado que, durante el siglo XVIII, hasta 1774 las infraestructuras eran responsabilidad de los Ingenieros militares, y que, a partir de esa fecha en base a la nueva Ordenanza para el cuerpo de ingenieros militares, se escinde en tres y uno de ellos es la rama de “Caminos, Puentes, Edificio de Arquitectura Civil y Canales de Riego y Navegación” bajo el mando de Francisco Sabatini [y Alberola Romá, A., & Pradells Nadal, J. (2010)] así continuará hasta 1799 en el que se crea la Inspección General de Caminos y Canales [Sánchez Miñana, J. (2019)]. Aunque una parte de las infraestructuras fueron proyectadas por profesionales salidos de Academia de Bellas Artes de San Fernando, se ha considerado que es una situación temporal y esta es la razón por la que no se van a analizar sus planes de estudio, que por cierto no aparecen de forma nítida hasta los inicios del XIX.

Cuando se va a analizar un concepto, como el de ingeniero, en un momento determinado de la historia es conveniente entender que se entendía en ese momento acerca del mismo. Dado

² En la actualidad este término se conoce como Topografía subterránea, [Heras Molinos, A.E. (2011)]
página 61

que se va a analizar la dualidad oferta-demanda. Es conveniente conocer que tenían en mente la ciudadanía del XVIII. Para el cual disponemos del libro editado en 1790 “Definiciones y elementos de todas las ciencias”. [Miguel Copin Editor 1790]. El libro está pensado para explicar conceptos mediante un proceso de pregunta respuesta. Dé este libro se van a recoger dos definiciones

- **De la Ciencia y de las Artes**

- *P. ¿Qué es Arte?*
- *R. Un conocimiento que nos da reglas para hacer con acierto cualquier cosa.*
- *P. ¿Como se dividen las Artes?*
- *R. En Artes Liberales y Mecánicas.*
- *P. ¿Cuáles son las Artes Liberales?*
- *R. Las respectivas a las Ciencias, como la Poesía, la Retórica, la Gramática, las Matemáticas, la Pintura, la Música, y la Escultura. Todas las demás se llaman Artes Mecánicas.*
- *P. ¿Por qué se llaman Artes Liberales?*
- *R. Porque antiguamente las ejercían solamente personas libres.*
- *P. ¿Cuántas Ciencias hay? R. Los Sabios varían en el número.*
- *Las principales son: La Teología, la Filosofía, la Jurisprudencia, y la Medicina*

- **De la Mecánica**

- *P. ¿Qué es mecánica?*
- *R. Una Ciencia que es parte de las Matemáticas, y enseña la naturaleza de las fuerzas movibles, y el Arte de hacer todo género de Máquinas, levantar toda especie de pesos por medio de la palanca, la cuña, la garrucha, &c [Sic]*

De esta conversación, se puede entender que la palabra ingeniero estaba incluida en el concepto de aquellos que trabajaban las “Arte mecánicas”. Es cierto que hay unas definiciones más claras, pero en el caso del Reino de España son aquellas que tiene su origen en diccionarios elaborados por profesionales, como se verá a lo largo del desarrollo de la tesis.

Otro apartado relevante del caso español es el que las llamadas “Ciencias útiles” quedan, de alguna manera militarizadas [Giménez López, E. (2006)] como una forma de *ciencia del estado*. De alguna forma recuerda los orígenes de la ingeniería en el imperio romano, en el que los ingenieros acompañan al desarrollo del imperio [Hamey, L. A., & Hamey, J. A. (1990)].

Para el desarrollo de la tesis el modelo francés será visitado con asiduidad. Porque en, en múltiples ocasiones será una referencia para el desarrollo del modelo español, con matices, como se verá a lo largo del estudio. Conviene recordar que la Escuela de Caminos tomará como referencia el modelo francés, en el que se había formado Agustín de Betancourt, así como otros pensionados como se verá en el capítulo 5

El modelo inglés es relevante porque representa otro camino distinto al elegido por la ingeniería francesa y española. Este modelo representa una singularidad y es que, en él, el desarrollo de la técnica, que será la base de la revolución industrial se hace al margen de la formación reglada de los ingenieros, pero cuando es, el estado el que necesita ingenieros para temas estratégicos de defensa si se recurre a la formación reglada caso de la Academia de Woolwich, [Jones, P. M. (2011)]. De la cual un tratado de construcción será muy utilizado en España, como se verá en 5.3.1.1.4.

Por su interés se analizará el impacto. en el caso de Reino de España de las iniciativas de algunas de las Reales Sociedades Económicas de Amigos del País, en concreto y a título de ejemplo la de Vergara y la de Zaragoza entre otras. De otro lado va a estar la Junta de Comercio en Cataluña. En ellas se experimentarán nuevos modelos de formación que se detallarán a lo largo del estudio.

En 1777 John Beckman definirá por primera vez la palabra tecnología y para revisarla se utilizará el texto de [Gekeler,O] página 149 en el cual se analiza la definición de la palabra así como su difusión en el mundo universitario " *Herein the word "technology" has been defined as "the science describing the processing of natural products or the knowledge of their manufacture". So, we consider Beckmann not only as the promotor of the word "Technology" but also as the person who created the object (or thing) and its form. After this publication many "chairs of technology" were introduced at several universities and "technological" literature appeared very quickly. It is out of doubt that the actual presence of technology in the wide range of realisations depends directly upon the publication of this technological standard book, wherein, for the first time, several products such as paper, beer, porcelain are treated and classified in the way how they can be produced*" [sic].

1.3 Metodología de trabajo.

El primer paso fue realizar una búsqueda bibliográfica de libros, manuscritos y artículos que podían tratar los distintos modelos de formación, así como los distintos modelos de demanda.

Esta búsqueda sirvió para descubrir una cantidad ingente de información que había al respecto. Aunque, no se ha encontrado la información que se generó en el reinado de Jose I, que importó una gran parte del modelo francés.

En el análisis realizado se ha buscado en todo momento conocer y entender cuál era la óptica del siglo a analizar para los cual se buscó documentación de la época que explicará, básicamente el lado de la demanda. Así como el de la oferta

Una vez establecido el horizonte de búsqueda, siglos XVI, XVII, XVIII y XIX, se diseñó un modelo de clasificación y ordenación de la documentación. Para lo cual se establecieron los siguientes apartados.

- Arquitectura
- Ciencia
- Construcción. En sus apartados de industria, militar y naval
- Diccionarios y Etimologías
- Economía
- Estudios de ingeniería
- Fabricación
- Formación
- Geografía
- Historia
- Historia de la ingeniería
- Industria
- Infraestructura
- Ingenieros y arquitectos anteriores al siglo XVIII
- Ingenieros y arquitectos del XVIII
- Ingenieros y sociedad
- Legislación

- Mecánica
- Minería
- Modelo de oferta y demanda
- Sobre el ejército y el cuerpo de ingenieros en el XVIII
- Sobre la Real Academia de Matemáticas de Barcelona
- Sobre Tecnología
- Sociedades Económicas de Amigos del País
- Tecnología y filosofía
- Tecnología y Religión

Una vez clasificados los manuscritos, libros y artículos y revisado su contenido, se han eliminado todos aquellos cuyo contenido quedaba fuera del alcance del estudio.

Todas las referencias se han clasificado utilizando la metodología APA, las figuras se identificará su fuente mediante la metodología APA indicando el título de la figura, que figura en la referencia y la página en la que está. De igual forma en el caso de las tablas. En el caso de que la figura sea la de una página del libro, se identificará el origen de su obtención.

Para el trabajo realizado no ha sido necesario visitar archivos, puesto que la documentación, que era necesaria, estaba disponible en las diferentes fuentes consultadas. En el caso de documentos específicos de archivo el autor ha contado con la ayuda de profesionales que disponían de ellos.

Se ha buscado, en todo momento, fundamentar cada apartado de la tesis en documentación contrastada. Se ha buscado las últimas referencias, en el tiempo, de cada tema y cada caso.

Es de justicia agradecer a la Biblioteca de la UNED su magnífico buscador, que ha permitido el poder acceder a artículos y libros que de otra forma hubiera sido imposible. A la biblioteca del Ministerio de Defensa. Al magnífico archivo de la Bibliothèque Nationale de France (BNF Gallica) y a la colección de libros digitalizados del Google Book entre otros.

1.4 Alcance del Análisis

Una de las referencias de la ingeniería en sus orígenes eran las fortificaciones, y un concepto básico en ellas era el uso de la geometría y determinar la geometría óptima para su cometido. Para establecer el alcance hemos hecho uso de un modelo de semejanzas y es el de suponer

que, el alcance del estudio es similar a un polígono en el que, su perímetro va a ser similar al alcance de un concepto. Para establecer los lados, de este polígono ideal, se ha utilizado la metodología de pregunta/respuesta:

Pregunta:

¿Qué se entiende por formación reglada?

Respuesta:

Para responder se ha buscado una definición al respecto, la única que se ha encontrado por parte de la RAE está en el Diccionario Jurídico que es "Enseñanza que se imparte en los centros de la estructura docente del Ministerio de defensa o en universidades, centros de formación profesional e instituciones educativas, civiles o militares, nacionales o extranjeras con los que se haya acordado su colaboración mediante el correspondiente convenio de forma presencial, a distancia o semipresencial de acuerdo con un currículo" [Española, R. A., & del Poder Judicial, C. G. (2016)]. Por tanto, el análisis va a consistir en la búsqueda de centros de formación de ingeniería en el Reino de España durante el periodo temporal del siglo XVIII. Que se pondrán en contexto con centros de Francia e Inglaterra.

Pregunta:

¿Qué periodo temporal va a contemplar esta tesis?

Respuesta:

El periodo temporal analizado es aquel en el que se establecen por primera vez y de forma continua procesos de formación de ingenieros, y esto se produce a lo largo de un siglo en concreto el siglo XVIII, tanto en el Reino de España como en el Francia, en el de la Gran Bretaña, etc. En el caso de esta tesis que va a revisar la formación en el Reino de España el periodo temporal va a estar comprendido entre:

- Origen en el año 1700, ya que en ese año el 22 de enero el Rey Carlos II firma el decreto para la creación de la nueva Academia de Matemáticas de Barcelona [Sáez, H. C., Sánchez, J. E., & Moncada, O. (1988) pag 105].

- Finalización en el año 1824 cuando Juan López de Peñalver establece, de nuevo, el Conservatorio de Artes, que será la semilla de los futuros Ingenieros Industriales [Aracil 2001].

Pero el objetivo se amplía en el apartado de antecedentes de la formación y se considerará el periodo que va desde el año 1582 en el cual el Rey Felipe II funda la Institución de la *Academia Real Matemática* en la que puso al frente a Juan de Herrera [Herrera, J. D. (1995)] hasta el año 1705 en el que se cierra la "*Academia Real y Militar del Exército de los Payses-Baxos*" [Loidi, J. N. (2004) pag 410]. La razón de elegir estas dos fechas es que: la primera es el primer intento de formación reglada para ingenieros, y la segunda porque es el cierre de una Academia en la que se daban cursos de formación para militares y en él cual, aparecen estudios de ingeniería como una especialidad.

Pregunta:

Que ámbito territorial se va a estudiar.

Respuesta:

El ámbito en el que va a realizar el estudio incluye, el Reino de España, que incluía los territorios de ultramar, y las plazas de Oran, en esta plaza se instaló una Academia de Matemáticas con la posterioridad de su conquista en 1732. También se va a estudiar Gran Bretaña y Francia. En el caso de antecedentes se revisará el caso Holandés por ser el primer país en el cual la universidad incorpora, temporalmente estudios de ingeniería.

Pregunta:

Que tipos de ingenierías se van a contemplar

Respuesta:

En el siglo XVIII la formación reglada en la ingeniería prácticamente se adscribe a lo que ahora podríamos a la ingeniería ligada a: infraestructuras (camino, canales y puertos), edificación, fortificación, arquitectura, marina y minas. Las ramas de la formación en ingeniería ligadas a las artes mecánicas, no se considerarán en este siglo,

ya que la única referencia al respecto estará en Francia a partir de 1794 cuando se crea "Le Conservatoire des Arts et Métiers" pero la misión de este organismo no era la de formar ingenieros, sino de propagar la innovación técnica entre los círculos empresariales [Grelon, 1996]. Como se verá en los apartados 5.2.2.3 y 5.3.2.3.

Pregunta:

Que modelos de oferta de formación se va a analizar

Respuesta:

Se van a tener en cuenta en el estudio los modelos de oferta de formación del Reino de España y de Francia e Inglaterra; se han seleccionado estos dos países porque, básicamente, en estos dos países van a existir los dos modelos de ingeniería que van a coexistir durante este siglo. Y el caso de Inglaterra, que es especialmente relevante, durante todo el siglo XVIII va a existir un desarrollo importante de la técnica y de la tecnología sin que en el lado de la oferta aparezca una oferta de formación de ingeniería relevante, esta oferta reglada de ingeniería al mundo de la industria no llegará hasta el siglo XIX.

Pregunta:

Que tipos de demanda de ingenieros formados se va a analizar

Respuesta:

Se va a analizar la demanda de ingenieros que va a necesitar el estado, así como la demanda que va a necesitar la sociedad civil, y se revisará la demanda tecnológica de la industria en el inicio de la revolución industrial. Dentro de este análisis se revisará los modelos de formación demandados por la industria³, que desgraciadamente no se planteó una necesidad de formación reglada. Como ya se ha indicado.

Pregunta:

³ Conservatorios de Artes en Francia y España

Como se va a estudiar la formación reglada ofertada

Respuesta:

Mediante los análisis de los planes de estudio de las distintas ramas de ingeniería, así como su evolución a lo largo del siglo. Así como el número de ingenieros que siguió estos tipos de formación.

Pregunta:

Que centros de formación se van a analizar

Respuesta:

Básicamente los centros ligados al estado tanto los militares como los no militares. También se analizarán la oferta académica de otros centros, básicamente en el caso de España, los ligados a las distintas Reales Sociedades Económicas de amigos del País. No se incluirá en el estudio una profesión que durante un tiempo estuvo unida a la ingeniería como es la Artillería.

Pregunta:

Como va a ir evolucionando la dualidad oferta de formación versus demandas de ingenieros

Respuesta:

La formación reglada, como el vaso de Jano, va a tener dos caras:

- De un lado va a ir creciendo una demanda de Ingenieros con determinados niveles de formación que permitan resolver distintos problemas con una mayor capacidad de éxito en base a unos niveles determinados de conocimiento. Como ejemplo puede ser el de la necesidad de ingenieros para desarrollar modelos de infraestructuras más eficientes.
- De otro van a aparecer un conjunto de instituciones, inicialmente las instituciones de formación serán de carácter estatal, dispuestas a formar a dichos ingenieros, y que van a permitir, en base a unos niveles de exigencia establecidos, asegurar la formación de profesionales con unos niveles

homogéneos de conocimiento. Estas instituciones serán heredera, en algunos casos del modelo de aprendizaje tradicional de maestro alumno, típico en la ingeniería en los siglos anteriores al XVIII y en otros de intentos de formación específica, normalmente militares.

- En la sociedad inglesa va a aparecer un fenómeno nuevo, que sustituirá durante un largo periodo a las instituciones de formación reglada que es el modelo asociacionista, a través de asociaciones civiles no ligadas al Estado, en el que ya se tenía experiencia como la Royal Society, como ejemplo será la Society for the Encouragement of Arts, Manufactures, and Commerce y la Smeatonian Society. Este modelo se analizará en el punto 4.1

Se va a estudiar el siglo XVIII y el primer tercio del siglo XIX. Dado que, por primera vez, aunque en los antecedentes se hayan visto diversos intentos, van a coexistir una demanda de ingenieros formados y unos centros de formación. Se va a analizar en un entorno geográfico determinado. Francia Reino Unido y con mayor detalle en el Reino de España. La razón de analizar la formación reglada en Gran Bretaña y Francia viene dada de que se van a dar dos modelos de ingeniería distintos.

En este análisis se podrá observar que la formación reglada en la ingeniería irá creciendo como un árbol en el cual se irán incorporando nuevas ramas conforme vayan siendo demandadas por la sociedad, a título de ejemplo lo que hoy se conoce como ingeniería industrial, habrá que esperar al primer tercio del siglo XIX en Francia y a la mitad del siglo XIX en España.

La demanda se analizará en el punto 4, y se verá cómo fue creciendo en número y alcance a lo largo del siglo XVIII. Se analizará también la excepción de la industria, en la que se verá que no aparece la palabra ingeniero durante este siglo, esta excepción tendrá consecuencias en el sentido de que gran parte del desarrollo va a estar en función de diversos inventores, pero los elementos mecánicos diseñados, en los sectores textiles, energéticos, siderúrgicos no se estudiarán en centros de formación técnica, lo que hace que los distintos inventos aparecen en modo isla. Como ejemplo se puede ver el Telar de Jacquard que

utiliza tarjetas perforadas para conseguir distintos dibujos en tejidos de seda, este invento es de 1801. (ver figura 1).

El uso de las tarjetas perforadas había comenzado en el sector textil en el año 1725 para el control de los telares mecánicos, pero es necesario esperar hasta 1842 año en el que Charles Babbage las utiliza para el cálculo analítico. Y esto, se puede intuir que se produce de esta manera porque los modelos industriales y los centros de formación se desarrollarán sin ningún tipo de conexión, solo así se puede explicar que un modelo de producción se automatizara, pero que este conocimiento se quedara únicamente, en este sector textil.



Fig. 1 Telar Jacquard Telar Jacquard en el Museo de la ciencia y la industria, en Mánchester [Originally from en.wikipedia]

Cuando en este trabajo se habla de demanda se refiere a la búsqueda de formación reglada para los ingenieros, y cuando se habla de oferta se refiere al conjunto de oferta de formación reglada de estudios de ingeniería

1.5 Estructura de la Tesis

La tesis se ha estructurado entorno a la identificación de la oferta y de la demanda de formación en el intervalo temporal estudiado. Para lo cual se ha establecido el siguiente desarrollo:

1. En primer lugar, se ha analizado el concepto de alineación para los cual previamente se pondrá el foco en conocer que concepto de ingeniero tiene tanto la sociedad como los profesionales de lo que es un ingeniero. Posteriormente se establecerá que concepto de alineación se va a aplicar para medir la alineación entre formación reglada y demanda de esta.
2. En el apartado de antecedentes se han analizado desde los dos puntos de vista de oferta y demanda. En este punto se amplía desde el lado de la oferta el alcance geográfico al introducir a los Países Bajos, dado que va a tener puntos en común como es el uso de la lengua vulgar y una novedad que no durará y es la implicación de la Universidad, habrá de esperarse tres siglos para que se restablezca, en el caso de España hasta el año 1971. Dentro de los antecedentes se han revisado aquellos antecedentes sociales que van a influir en el desarrollo posterior de la ingeniería, y las raíces de los dos modelos de formación en ingeniería que son los llamados el modelo francés e inglés. En el caso español se insistirá en dos antecedentes claros que representan Juan de Herrera y Sebastián Medrano.
3. En el apartado de la demanda se analizará en primer lugar los tipos de demanda identificados. En el caso español se analizará las excepciones como son la ingeniería manufacturera.
4. En el apartado de la oferta se analizará la oferta de formación en los tres países con especial detalle en el caso de España.
5. Por último, se establecerán los resultados de la investigación, así como sus conclusiones.
6. Como anexo se añadirá una cronología sobre la ingeniería a partir de la publicación *De agrícola* hasta la fundación del Conservatorio de Artes.

“ ninguna cosa hace mayor daño a la sabiduría del hombre que mezclar las ciencias, y lo que es de la filosofía natural tratarlo en la metafísica y lo que es de la metafísica en la filosofía natural ”

Examen de Ingenios Huarte de San Juan 1575

2.ALINEACIÓN ENTRE INGENIERO Y FORMACIÓN REGLADA

2.1 Alcance del concepto ingeniero

Previamente necesitamos establecer el concepto “ingeniero” que se maneja en ese momento de la historia, así como responder a una pregunta ¿Cuál era su alcance?

Cuando se observa la documentación que hay del siglo XVIII y anteriores aparece un concepto de ingeniero muy específico que se desarrollará más adelante. Pero también aparecen profesiones técnicas, que no se incluyen en el concepto de ingeniero vigente en esa época, pero que si se incluirán en el siglo XIX.

Para establecer el abanico profesional de profesiones técnicas disponemos de un documento “Institución de la Academia Real Mathematica” en él, Juan de Herrera en 1584, [Herrera, J. D. (1995)] establece un conjunto de profesiones a las que es necesario dar formación reglada, la cual determina en dicho documento, estas profesiones son las siguientes con sus propias palabras:

1. **“Aritméticos** *theóricos y prácticos que con fundamento de ciencia y verdad demostrada, pueda determinar dudas y cuestiones escondidas que se ofrecen en todas las ciencias y artes”* [sic], esta profesión en el diccionario de autoridades se circunscribe a bien Profesor de aritmética o bien a Contador, por la descripción que da Juan de Herrera parece que estamos ante la figura del contador.
2. **“Geómetras y Mensuradores diestros** *en medir todo genero de superficies, cuerpos, campos y tierras.”*[sic]
3. **“Astrónomos** *inteligentes y fundados en la astronomía y ciencia del curso y movimientos de los cielos”*[sic]
4. **“Músicos** *expertos en la theorica sin la qual es imposible que sepan dar razón demostrativa de las consonancias musicales”* [sic]
5. **“Cosmographos** *científicos para situar las tierras, y describir las provincias y regiones”* [sic]
6. **“Pilotos** *diestros y cursados que navegue la mar y sepan guiar con seguridad, las grandes flotas y poderosas armadas, que destos Reynos para todo el mundo salen y navegan”* [sic]

7. **Architectos y Fortificadores** fundados curiosos que con fabricas magnificas, y edificios públicos, y particulares ennoblezcan las ciudades, y las fortifiquen y defiendan asegurándolas del ímpetu de los enemigos.” [sic]
8. **“Ingenieros y Machinistas**, entendidos en el arte de los pesos, fundamento para hacer y entender todo género de Machinas, de que la vida política y económica se sirve”. [sic]
9. **“Artilleros y maestros de instrumentos, y aparatos bellicos, y fuegos artificiales**, para las bateríasy otros usos , y necesidades de las guerras.” [sic]
10. **“Fontaneros niveladores de las aguas**, para los aguaductos y regadíos en estos Reynos tan importantes, y convenientes serian. Y para desaguar y beneficiar las minas de ricos metales que ay en estos Reynos, y en los de entrabas las Indias” [sic]
11. **“Horologiographos o Gnomomicos de relojes solares, y de movimientos materiales”** [sic]
12. **“Perspectivos, Pintores escultores, afamados y con fundamento de la una y otra perspectiva”** [sic]

Una parte de estas profesiones entrarán en el siglo XVIII en la formación reglada, pero otras acepciones ligadas a las profesiones que van a manejar instrumentos, relojes y otra maquinaria de precisión, habrá que esperar al siglo XIX, para que aparezcan en programas de formación reglada.

Cuando se consulta el texto del Ingeniero del Rey Cristobal de Rojas “Teorica y practica de fortificacion conforme las medidas y defensas destos tiempos” [Rojas, Cristóbal de Sánchez (1598)] el modelo de ingeniero que aparece es el de un ingeniero que va a diseñar obra de fortificación, construcción de edificios e infraestructura, posteriormente se añadirán labores de arquitectura hidráulica.

De otro lado aparecerá la necesidad de ingeniería ligada a la actividad minera, así como la de construcción naval, En este abanico de especialidades, la ingeniería ligada a la revolución industrial no va a estar dentro de los objetivos de la formación reglada (durante el siglo XVIII), aunque habrá alguna excepción en el caso de las Sociedades Económicas de Amigos del País y la Junta de Comercio de Barcelona que actuarán mediante actuaciones parciales.

Pero para revisar la alineación, es necesario establecer el concepto del ingeniero del XVIII es conveniente comprobar que pensaba la sociedad y los profesionales de ingeniería de la época, acerca de que era un ingeniero. Para revisar que se entendía por ingeniero en el siglo XVIII se va a hacer por una doble vía. De un lado para conocer que pensaba la sociedad se van a utilizar diccionarios de la época. De otro lado para conocer cuál era la idea que mantenían los profesionales de la ingeniería de la época, se han utilizado diccionarios y textos elaborados por ellos, en los que se pueden recoger su pensamiento.

1. DICCIONARIOS DE USO COMÚN

1. TESORO DE LA LENGUA CASTELLANA, O ESPAÑOLA, de Diego Covarrubias (1611)

En éste, la palabra ingeniero no aparece como tal, pero si aparece cuando se busca la palabra máquina. En ella aparece como *“Maquina bélica, es la haze el ingeniero para dañar a los contrarios: estas son muchas y varias”* vide Vitrubium libro 10 Cap 19 [De Covarrubias, S. (1611)].

2. DICCIONARIO DE AUTORIDADES (1726-1739)

En éste se dan dos acepciones

- INGENIERO. s. m. *“El que discurre trazas y modos para executar, o conseguir alguna cosa. Latín. Machinator”* [sic].
- INGENIERO. *“Se llama tambien el que discurre, dispone y traza máquinas y artificios en la architectura Militar, para defensa o ofensa de las fortalezas. Es empleo de la Milicia. Latín. Machinarius, vel Machinator”* [sic].

3. DICCIONARIO CASTELLANO. CON LAS VOCES DE CIENCIAS Y ARTES Y SUS CORRESPONDIENTES EN LA TRES LENGUAS FRANCESA, LATINA É ITALIANA. En el volumen nº2, letras de la E-O, [Terrerros y Pando, E. (1786)]. (Ver Fig. 2)

DICCIONARIO
CASTELLANO
CON LAS VOCES
DE CIENCIAS Y ARTES
Y SUS CORRÉSPONDIENTES
DE LAS TRES LENGUAS
FRANCESA, LATINA É ITALIANA:
SU AUTOR
EL P. ESTEBAN DE TERREROS Y PANDO.
TOMO SEGUNDO.



Fig. 2 Diccionario de
Terreros [Terreros y
Pando, E. (1786)] Source
Google Book

En éste se dan dos opciones

- *INJENIERO, el que fortifica las plazas, dispone las lineas de ataques, hace las minas [sic]*
- *INJENIERO al que inventa algun ingenio, ó máquina[sic]*

Dado la referencia a *Ingenio* y *Máquina* se adjuntan las definiciones.

- *INJENIO cualquier máquina que sirve para manejar cosas pesadas[sic]*
- *MAQUINA, remite a INJENIO, definen 7 tipos de máquina.*
 - *Máquina Bélica*
 - *Máquina de Asador*
 - *Máquina Hidromántica*
 - *Máquina de Arquímedes*
 - *Máquina Infernal*
 - *Máquina Teatral*
 - *Máquina Boiliana[sic]*

4. DEFINICIONES Y ELEMENTOS DE TODAS LAS CIENCIAS". [MIGUEL COPIN EDITOR 1790].

Como se puede ver en el punto 1.1, no referencia el concepto ingeniero, pero si clasifica los tipos de artes

5. ENCYCLOPEDIE : OU DICTIONNAIRE RAISONNE DES SCIENCES, DES ARTS ET DES METIERS. [Diderot, D. (1765)]. (Ver Figura 3)

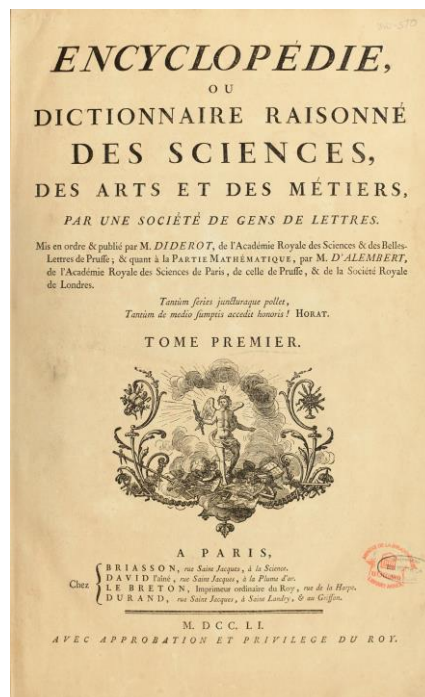


Fig. 3 Encyclopedie [Diderot, D et D'Alembert, J.L.R.] Source gallica.bnf.fr / BnF

El artículo sobre el ingeniero fue escrito por Guillaume Le Blond (Maître de Mathématiques des Enfants de France, des Pages de la Grande Ecurie du Roi, Censeur Royal)[Le Blond, G. (1775)].

- **INGÉNIEUR** “Nous avons trois sortes d'ingénieurs ; **les uns pour la guerre** ; ils doivent savoir tout ce qui concerne la construction, l'attaque et la défense des places. **Les seconds pour la marine**, qui sont versés dans ce qui a rapport à la guerre et au service de mer ; et les

troisiemes pour **les ponts et chaussées**, qui sont perpétuellement occupés de la perfection des grandes routes, de la construction des ponts, de l'embellissement des rues, de la conduite et réparation des canaux, etc [sic]

6. Dictionnaire universel ; contenant généralement tous les mots François tant vieux que modernes, et les termes de toutes les sciences & des arts. [Furetière, A. (1727)] (Ver figura 4)

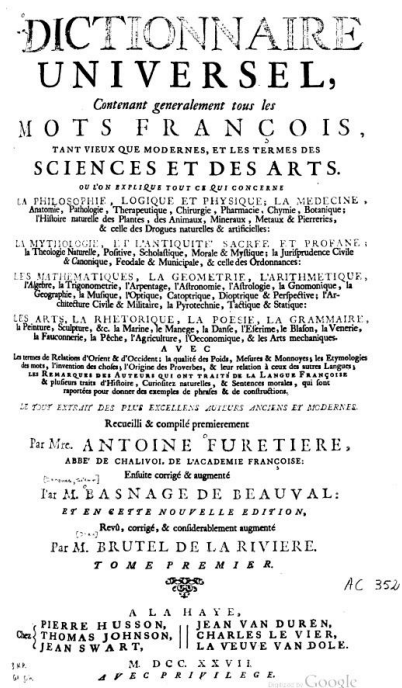


Fig. 4 Dictionnaire de Furetière
[Furetière, A. (1727)]. Source google
book

En este diccionario existe dos acepciones:

- **INGENIEUR** « *Officier qui sert à la guerre pour les attaques, defenses et fortifications des places. C'est un Mathématicien habile, expert et hardi, qui sçait l'art de l'architecture militaire, qui. va reconnaître la place que l'on veut attaquer et qui en marque au général l'endroit le plus faible, qui trace les tranchées, les places d'armes, les galeries, les logemens sur la contrescarpe et sur la demilune, et conduit les travaux*

jusques auprès de la muraille, marquant aux travailleurs ce qu'ils doivent faire devant la nuit. L'ingenieur marque aussi les lignes de circonvallation avec des redoutes de distance en distance. Cet Ingenieur a inventé une nouvelle sorte de bombes, une nouvelle manière de camper, de faire des Ponts, etc.» [sic]

- INGENIEUR⁴, « *Se dit aussi par rapport à l'architecture civile, d'un homme intelligent en mécanique, qui par les machines qu'il invente augmente les forces mouvantes, autant pour trainer et enlever les fardeaux, que pour conduire et élever les eaux. Les maitres-ouvriers qui travaillent les instruments de mathématiques prennent aussi le nom d'ingénieur en instruments de mathématiques* » [sic]

7. CYCLOPÆDIA_ OR, AN UNIVERSAL DICTIONARY OF ARTS AND SCIENCES [Chambers, E. (1741)]. (Ver figura 5)

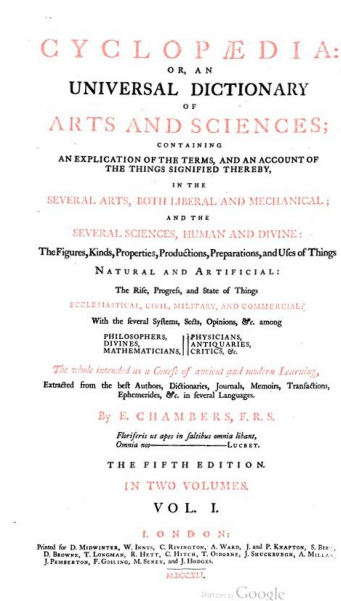


Fig. 5 Cyclopædia [Chambers, E. (1741)]. Source Google Book

⁴⁴ Este texto no ha sido encontrado en la revisión de 1727, el texto que se muestra lo cita [Vérin, H. (1993).] pag 33

En esta versión de cyclopaedia de 1741, del término **engineer** da las siguientes acepciones:

- ***“In its general sense, is applied to a contriver, or maker, of any kind of useful engines, or machines.”***
- ***“An engineer should be an able and expert mathematician, particularly versed in military architecture, and gunnery; being often sent to view and examine the places intended to be attacked, to chuse out and shew the general the weakest place, to draw the trenches, assign the places of arms, galleries, lodgments on the counterscarp, and half-moons; conduct the works, faps, mines, and appoint the; workmen their nightly task : he is also to make the lines of contravallation, with the redoubts.”*** [sic]

Por el interés de la definición se adjunta la definición de engine, en la que utilizan la etimología de la palabra francesa **engin**.

Dan la definición y los tipos:

- ***“A compound instrument, consisting of several simple ones, as wheels, screws, levers, or the like, combined together; in order to lift, cast, or sustain a weight, or produce some other considerable effect, so as to save either time, or force.”*** [sic]
- ***“The kinds of engines are infinite: some for war, as the ballista, catapulta, scorpio, aries, etc. Others for the arts of peace, as mills, cranes, presses, clocks, watches, engines to raise water, to extinguish fire, etc. which see under their respective articles, MILL, CLOCK., WHEEL, PRESS, HYDROCANISTERIUM, ETC. See also INSTRUMENT.”***
[sic]

2. DICCIONARIOS ELABORADOS POR INGENIEROS

1. Dictionnaire portatif de l'ingénieur, ou l'on explique les principaux termes des sciences les plus nécessaires à un ingénieur, [de Belidor, B. F. (1755).] (Ver Figura 6)

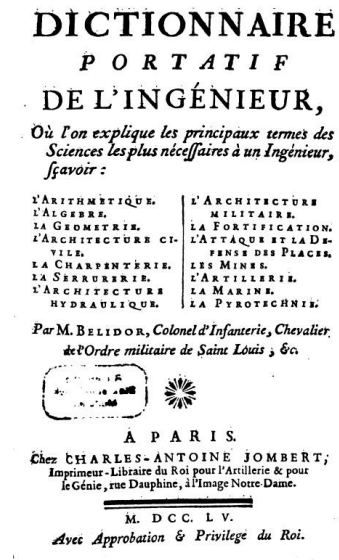


Fig. 6 Dictionnaire portatif de l'ingénieur [de Belidor, B. F. (1755)] Source Google Book

En este diccionario hay dos acepciones:

- **INGENIEUR.** « *Par rapport à l'Architecture civile, est un homme intelligent en Mécanique, qui, par les machines qu'il invente, augmente les forces mouvantes, autant pour traîner & enlever les fardeaux, que pour conduire & élever les eaux* ». [sic]
- **INGENIEUR.** « *C'est, en Architecture militaire, un homme parfaitement instruit dans l'art de tracer toutes fortes d'ouvrages de fortification et capable de reconnaître les défauts des places de guerre, d'y remédier, et de faciliter l'attaque et la défense de toutes fortes de postes. Les qualités d'un bon Ingénieur feroient parfaitement bien définies, si on rapportoit toutes celles que possédoit feu M. le Maréchal de Vauban* » [sic]

2. DICCIONARIO MILITAR O RECOLECCION ALPHABETICA DE TODOS LOS TÉRMINOS PROPIOS AL ARTE DE LA GUERRA. EXPLICACIÓN, Y PRÁCTICA DE LOS TRABAJOS QUE SIRVEN AL ATAQUE, Y DEFENSA DE LAS PLAZAS, (Traducido del idioma

francés al español por D. Raymundo Sanz. 1749), [Tejedo-Herrero, F., & Gago-Jover, F. (2006).] (Ver figura 7)

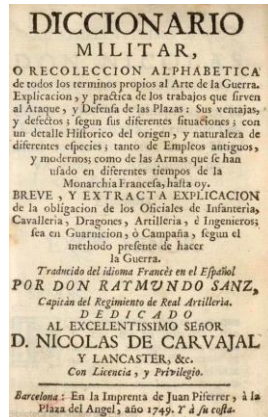


Fig. 7 Diccionario Militar [Raymundo Sanz, 1749]. Source Museo del ejército

En primer lugar, no se indica el título en francés del diccionario traducido, tampoco se indica la fecha de edición de este diccionario, lo que si se indica en el prólogo del autor que en 1749 se había producido una segunda edición en tres tomos, que no toma en consideración⁵. Este diccionario entra en una descripción de roles y responsabilidades del ingeniero, por su interés se reproduce el texto que dedica al vocablo *ingeniero*

- *“Los Oficiales Ingenieros son aquellos que se emplean en el Diseño, Construcción, Defensa, y Ataques de todas las Obras de Fortificación. El Cuerpo de Ingenieros de Francia, consiste en los Super-Intendentes de Fortificaciones, en el Comissario General, muchos Directores, Ingenieros en Gefe, y en Segundo, Ordinario, Extraordinarios, Inspectores de Obras, Tuessadores⁶, Medidores, Aparejadores de materiales, e Impressarios.*

⁵ Por sus continuas referencias al de Vauban se entiende que el original debe de ser de finales del siglo XVII, y basado probablemente en *le directeur général des fortifications de Vauban*

⁶ Geómetras.

Este nombre Ingeniero, indica la habilidad, y talento que deve tener para inventar; y viene del nombre Ingenio, que significa una Machina; porque las machinas de guerra fueron la mayor parte inventadas por aquellos que se exercitavan en esta profesión y allí Ingeniero viene de Ingenium. También llamavan estas Machinas en un mal latín Ingenian. Esta es la Ethimologia del nombre Ingeniero, cuyas especies son muy necessarias a un Oficial. El empleo de Ingeniero es muy honroso, y asciende por él, a todos los grados de un Exercito.

Un Ingeniero deve ser hombre inteligente en el arte de Trazar toda especie de Obras de Fortificacion; deve conocer la fuerza, y defectos de una Plaza de Guerra, facilitar el Ataque, y la Defensa de toda suerte de puertos. Las qualidades de un buen Ingeniero, son de un detalle muy dificil, que ee pudiera difinir si se figurassen las que acompañavan al Mariscal de Bauban⁷.

La Ciencia de un Ingeniero, es ser buen Geometra, que es el Arte de medir las Tierras, en todas sus dimensiones, latitud, longitud, y altura, ò profundidad: Arithmetico para hacer sus cálculos: deve poseer la Architectura Militar regular, e irregular, a hacer construir, y ordenar toda suerte Obras; según los parages, y tiempo: sea para el ataque, ò para la defensa de una Plaza. La Architectura Civil, para el corte de piedras, y modo de formar las murallas: La Carpintería, y el modo de cubrir; tanto para quarteles de Tropa, como para los Habitantes. No debe ignorar la Machinaria si quiere servirse de toda especie de Machinas con utilidad, sea para el ataque, o defensa de Plazas, o en la marcha de un Exercito. Un buen Ingeniero deve haver estudiado la Prespectiva, para figuras sobre el papel, las diferentes situaciones del disseno que propone; assí mismo la Geographia para saber la situación de las Ciudades, Villas, Lugares, Bosques, Rios, Montañas, para hacer la descripcion, y conocer su terreno, sin lo qual fuera imposible tomar

⁷ Ingeniero de la Corte de Luis XIV coetáneo de Sebastián Medrano

justas medidas para, los Campamentos, y la construcción de las Obras: Debe ser Physico para conocer para conocer la qualidad de tierras , materiales, y en que tiempo deben emplearse: Histórico, para aprovecharse de los exemplares passados, y aumentar , o disminuir en las Obras, según el uso de las Machinas que se emplean, para su ruina. Quando un Ingeniero se halla encargado de la construcción de una Plaza, observa el lugar donde se deve situar, la calidad del terreno, los Bosques, Montañas que la cercan, el genio de los habitantes de la Provincia, y de las contribuciones que se podrá sacar del País Enemigo.

Los Ingenieros se dividen en Brigadas, y los Directores son ordinariamente los Brigadieres. Es de la obligación de un Ingeniero hacer todo aquello que manda un Comissario General, sea en el Ataque, Defensa, Construcción de Plazas; o bien alguna otra Obra que pueda servir para la seguridad de un Campo: hacen construir todos los instrumentos , y Machinas correspondientes a un Sitio: Dàn relación todas las semanas al Director, del citado de los trabajos, y certificaciones a los Impressarios, para que de cuenta de la Real Hacienda reciban dinero, aproporcion de Obra que se ha construido y es de su obligación vigilar a que estos provean de buenos materiales.

Muchos Sugetos se aplican a esta Ciencia, para entrar en este Cuerpo; porque en él ascienden con brevedad. Monseñor de Bauban llegó a ser Mariscal de Francia, sin salir del Cuerpo de Ingenieros. Quando en un Sitio faltan Ingenieros Extraordinarios, se admiten Subalternos de Infantería, que sirven de Ingenieros Voluntarios, y los emplean en vigilar sobre las Obras, y à que los Obreros hagan su obligación; à estos se les dà à demás de su sueldo, 240. Reales de Vellon cada mes, que es el primer sueldo que se goza en este Cuerpo.

Las Fortificaciones de Francia estàn dirigidas por 350 Ingenieros del Rey, subordinados al Director General; à quien se dirige todos los proyectos de Fortificación, y por su conducto salen todas las ordenes que expide Su Magestad correspondientes a las Plazas , e Ingenieros”[sic]

De todo lo anterior parece evidente que tanto para la literatura francesa como española el ingeniero está ligado a las infraestructuras y arquitectura de uso militar (fortificaciones etc.) y cuando se habla de máquinas se está hablando de aquellas que se utilizan para su uso en las infraestructuras y fortificaciones. Pero cuando se observa la definición inglesa el concepto de ingeniero está ligado a engine y por tanto socialmente se considera como tales a los que diseñan todo tipo de máquinas como se establece en la primera acepción de la cyclopaedia y no únicamente máquinas ligadas a un fin como se indican en los diccionarios franceses y españoles.

2.2 La alineación Formación Reglada Ingeniería

Cuando, en la actualidad, se utiliza la palabra alineación, ligado a la ingeniería, su uso tiene que ver con modelos estratégicos, se dice que un departamento está alineado con la estrategia empresarial si sus objetivos contribuyen de forma clara y transparente a los objetivos que se haya marcado la empresa. La alineación forma parte de todas las estrategias de éxito empresariales.

El Ingeniero y la formación reglada vivieron de espaldas, con excepciones, que se analizarán en el capítulo 3. Es durante el siglo XVIII cuando con excepciones aisladas, de formación, se pasa a modelos estables de formación para capacitar ingenieros. Este hecho va a producir un gran impacto en el desarrollo de la ingeniería, y que sorprendentemente no se le da la relevancia necesaria.

Pero cuando se quiere aplicar el concepto alineación a la dualidad Ingeniero y Formación Reglada y dado que no se está hablando de estrategia empresarial sino de como dos realidades pueden confluír es necesario, previamente aclarar algunos términos.

1. En primer lugar, que se entiende por alineación, en este contexto. Para revisar este concepto se utilizará las definiciones que suministran los distintos diccionarios y la documentación existente en modelo estratégicos.
2. En segundo lugar, que alcance incluía, en el siglo XVIII el vocablo ingeniero, para lo cual, solo se utilizarán textos del siglo XVIII para establecer que se entendía que estaba dentro de este vocablo. Para lo cual previamente se analizarán que profesiones podrían ser candidatas, y que profesión fue la seleccionada, para recibir el vocablo de Ingeniero. Para determinar el alcance de las posibles profesiones, que hoy se

entenderían como incluidas en la ingeniería, disponemos de la descripción que realiza Juan de Herrera en 1584 [Herrera, J. D. (1995)]. Para establecer el alcance del vocablo en el siglo XVIII se utilizarán dos tipos de fuentes, las procedentes de los distintos diccionarios que son de propósito general y las procedentes de los diccionarios que hicieron los profesionales de la época. Por último, se revisará el concepto de ingenio. Dado que el análisis del origen de la palabra ingeniero está suficientemente estudiado, como ejemplo se tiene los estudios realizados por [de Miranda, P. Á. (2005) pag 263], [Vérin, H. (1984)] y [Vérin, H. (1993)], *Le nom d'ingénieur*, pag 19, y por esta razón no se ha entrado en este apartado.

3. En tercer lugar, que entiende que se entiende por formación reglada, a esta pregunta se respondió en el apartado del alcance 1.3 de esta tesis.

Los dos primeros apartados se detallan a continuación:

2.2.1 Alineación

Cuando se quiere precisar el concepto de alineación, dentro del contexto de estrategia, la situación es la siguiente:

1. En el Diccionario de la Real Academia la palabra alineación contiene 5 acepciones y ninguna de ellas es aplicable al concepto de alineación que se va a desarrollar
2. En el Diccionario Panhispánico de Dudas, entre las acepciones, del verbo alinear, se ha elegido la de *“vincular(se) a un bando u opinión”*
3. En el Diccionario de uso del español de María Moliner, entre las acepciones, del verbo alinear, se ha elegido la de *“vincular a una posición o tendencia ideológica”*
4. En el Merriam Webster , el concepto alignment se define, en la cuarta acepción como *“an arrangement of groups or forces in relation to one another”*
5. En el Diccionario Larousse el concepto alignement , en su tercera definición *“Action de se conformer à l'attitude de quelqu'un, de se régler sur quelque chose”*
6. Por último en la recién editada norma “ISO/TS 55010 2019-09 Asset management _Guidance on the alignment of financial and non-financial functions in asset management” en su apartado Terms and definitions establece como definición de alignment la siguiente *“deliberate arrangement, relationship and mutual understanding of common concerns within a particular activity or among activities”*.

De las búsquedas realizadas parece las más adecuadas son la definición que da el Webster, y la que da la norma ISO

Cuando la búsqueda se realiza como alineación estratégica se han encontrado tres definiciones en las siguientes referencias que son:” *Implementing your strategic plan: How to turn intent into effective action for sustainable change*” “*Strategic alignment of business processes*” y “*Strategic alignment of business processes.*”

1. En la primera se define como “*Alignment is ensuring that all the work in the organization is in direct measurable, and obvious support of the corporate strategy*” [Fogg, C. D. (1999)]
2. En la segunda se define como “*Strategic alignment is a mechanism by which an organization can visualize the relationship between its business processes and strategies.*” [Morrison, E. D., Ghose, A. K., Dam, H. K., Hinge, K. G., & Hoesch-Klohe, K. (2011, December).]
3. En la tercera se define Alineación estratégica como:” *Strategic alignment is based on two fundamental assumptions: One, economic performance is directly related to the ability of management to create a strategic fit between the position of an organization in the competitive product-market arena and the design of an appropriate administrative structure to support its execution. Two, we contend that this strategic fit is inherently dynamic*” [Henderson, J. C., & Venkatraman, H. (1999)]

Para las necesidades de esta tesis es necesario establecer una definición, más precisa, de este concepto en la que tomando como referencias la que dan el Webster y la que ofrece Morrison. En ambos casos en las definiciones elegidas se encuentran los siguientes atributos.

- Organizaciones relacionadas; en el siglo XVIII van a ser El Estado y la Entidad Formativa
- Un mecanismo: El Plan de estudios
- Unos procesos de negocios, las tareas a desarrollar por el ingeniero y los procesos de formación
- Una estrategia, en el siglo XVIII será la necesidad de la administración pública militar o civil de disponer de ingenieros con un nivel de conocimientos establecido, para poder atender a las necesidades del estado.

Se propone la siguiente definición:

Alineación Ingeniero-formación reglada “*Es un acuerdo implícito o explícito mediante el cual la formación se ajusta a las necesidades que demanda la sociedad para el desarrollo profesional del ingeniero*”.

Como ejemplo, para validar la definición, se puede tomar el proyecto de formación reglada que Juan de Herrera, este proyecto se revisará con detenimiento en el punto 3.1 antecedentes:

- *Acuerdo*, en este caso es un acuerdo explícito que firma el Rey Felipe II
- *Necesidades*, Juan de Herrera detecta y comunica la Rey la necesidad de formar en matemáticas a diversas profesiones
- *Demanda*: es una demanda implícita, que detecta Juan de Herrera en base a la falta de calidad de los niveles formativos.
- *Desarrollo profesional*: Se establece un nivel formativo en base al desarrollo Curricular del conocimiento.

2.2.2 Sobre el Alcance del concepto de ingeniero utilizado

Del alcance del concepto ingeniero, del que disponíamos en el siglo XVIII, se puede sacar las siguientes conclusiones:

- De todas las profesiones que identifica Juan de Herrera, las que van a formar parte del concepto de ingeniero en el siglo XVIII, son las de Geómetras, parcialmente cosmógrafos (en tanto en cuanto forma parte del conocimiento del reconocimiento del territorio), arquitectos y fortificadores, perspectivas, fontaneros y niveladores de aguas e ingenieros y maquinistas. De otro lado Los Ingenieros y maquinistas estarían, también incluidos en la primera acepción de la Cyclopaedia [Chambers 1741]
- El alcance que se indica en la definición de Cristobal de Rojas [Rojas, Cristóbal de Sánchez (1598)] Es la que pasa a ser mayoritaria, y el ingeniero pasa a estar ligado a infraestructuras de defensa, arquitectura etc.

- En gran parte de las definiciones las máquinas que se describen son las que se utilizan en construcción de hecho se ligan al movimiento de pesos y uso hidráulico.
- Como se ha indicado la introducción de maquinaria de precisión, solo aparece en la taxonomía de Juan de Herrera y en la definición que se encuentra en la Cyclopaedia [Chambers 1741]. Estos mecánicos de precisión tendrán una influencia fundamental en el desarrollo industrial inglés.
- Del análisis de Copin [Michel Copin editor ,1790] queda claro que la Ingeniería y la profesión de ingeniero está dentro del alcance de las *Artes mecánicas*
- En la definición de la Enciclopedia [Diderot 1751], da una gama de tres tipos de ingenieros: Los militares, los ingenieros de la marina, y los ingenieros de infraestructuras.
- En la definición de Bernard Belidor [de Belidor, B.F. (1755)] da dos alcances Arquitectura Civil y Arquitectura militar en los que en el segundo alcance añade especificidades del tema militar. Aparece todavía el recuerdo del Mariscal Vauban y los ingenieros del XVIII. La necesidad de formación para ambas acepciones la expresa el autor en el prefacio de la "La science des ingénieurs, dans la conduite des travaux de fortification et d'architecture civile" [de Belidor, B. F. (1729)], en la que se indica «Si l'on considère tous les différents travaux dont les ingénieurs ont la conduite, on conviendra qu'il n'y a point de profession qui exige plus de connaissance que la leur»
- En la definición, más bien descripción, que da el Diccionario Militar Indica la gama de conocimientos que son necesarios para el desarrollo de la profesión. De alguna manera transcribe las características del "Corps des ingénieurs du génie militaire" que funda Vauban en 1675

Como conclusión, la formación reglada de ingeniería que se comienza a ofrecer en el siglo XVIII está alineada con las necesidades de formación de lo que en el siglo XVIII se considera como ingeniería, tanto en Inglaterra, Francia y España. En el Caso Inglés y Español será

una oferta militarizada durante una gran parte del siglo XVIII. En Francia aparecerá una oferta tanto civil como militar, que cambiará dramáticamente a partir de la revolución francesa.

Por último y dado que en 1828 se constituye en Londres la Institution of Civil Engineers, sucesora de Asociación Smeatoniana en honor de John Smeaton que en 1771 establece el concepto de ingeniería civil. En el documento fundacional de Institution of Civil Engineers, se indica, acerca del alcance, lo siguiente *“The art of directing the great sources of power in nature for the use and convenience of man, as the means of production and of traffic in states, both for external and internal trade, as applied in the construction of roads, bridges, aqueducts, canals, river navigation and docks for internal intercourse and exchange, and in the construction of ports, harbour, moles, breakwaters and lighthouse, and in the art of navigation by artificial power for the purpose of commerce, and in the construction and application of machinery, and in the drainage of cities and towns”* [Merdinger, C. J. (1949)]., que no es, sino una prolongación de las definiciones ya analizadas. Como se puede observar en la definición está excluida la ingeniería ligada a la industria. Aunque en Inglaterra la Formación reglada fue posterior al periodo analizado con la excepción de la Academia Militar de Woolwich, como ya se ha indicado.

2.3 El Ingenio

Cuando se habla de Ingeniero se nos viene a la mente otro vocablo que es el de Ingenio, y en esta asociación inevitablemente es necesario recordar que hace 445 años, en 1575 el Doctor Juan Huarte de San Juan publicó el libro *“Examen de Ingenios para las ciencias”* [Huarte de San Juan, J. (1575)] (Ver figura 8) en el cual trataba de alinear las carreras profesionales con el ingenio de las personas y sus habilidades⁸.

⁸ El autor encontró por primera vez la referencia a Huarte de San Juan en la Obra de Hélène Vérin *“La Gloire des ingénieurs”* [Vérin, H. (1993).]

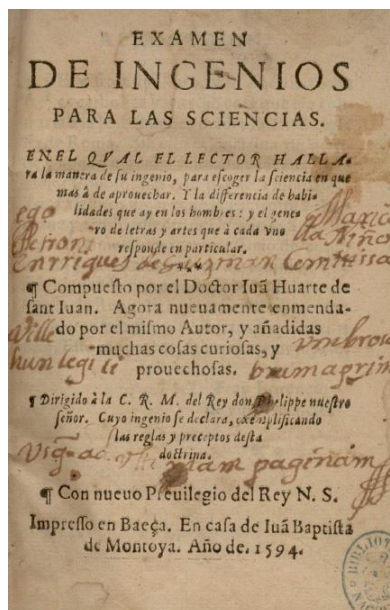


Fig. 8 Examen de Ingenios [Huarte de San Juan, J. (1575)]. Source Biblioteca digital mundial

Y por ello se dirige al Rey Felipe II con esta demanda

“De lo cual entenderá vuestra Majestad cuánto importa a la república que haya en ella esta elección y examen de ingenios para las ciencias; pues de estudiar Galeno medicina resultó tanta salud a los enfermos de su tiempo, y para los venideros dejó tantos remedios escritos. Y si como Baldo (aquel ilustre varón en derecho) estudió medicina y la usó, pasara adelante con ella, fuera un médico vulgar (como ya realmente lo era por faltarle la diferencia de ingenio que esta ciencia ha menester) y las leyes perdieran una de las mayores habilidades de hombre que para su declaración se podía hallar.” [Huarte de San Juan, J. (1575)] pág. 22

La definición de *ingenio* nos la da en la página 37 de [Huarte de San Juan, J. (1575)] y en ella se refiere al término.

“Y esto baste en cuanto al nombre ingenio, el cual descende de este verbo ingenero, que quiere decir engendrar dentro de sí una figura entera y verdadera que represente al vivo la naturaleza del sujeto cuya es la ciencia que se aprende.” [sic]

Huarte, con esta definición, como la hacen naturalistas tales como José de Acosta y Bernardino de Sahagun, llevan a la ciencia las afirmaciones filosóficas de Juan Luis Vives. Este es uno de los temas más debatidos en el Renacimiento. Huarte es el que mejor delimita los humores y temperamentos [Gondra, J. M. (1994)]. En esta definición aparece dos vocablos "*figura entera y verdadera*" y "*represente al vivo*", he consultado estos dos términos con el Profesor D. Jacinto Uceda. En su explicación me comentó que en el siglo XVI se pone de moda una nueva forma de concebir al ser humano y que:

- El concepto *Figura entera y verdadera* se refiere a la identificación entre la persona y el temperamento.
- "represente al vivo" está ligado con la aplicación práctica a la vida de esas teorías.

Por último, hay que recordar que un lector y conocedor de esta obra fue D. Miguel de Cervantes y que traslado esas lecturas a dos obras de referencia "El licenciado Vidriera" y "El *Ingenioso* hidalgo don Quijote de la Mancha" [Green, O. H. (1957)]

Así, procuraron aumentar de grado en grado
con nuevas doctrinas, estudio, arte y reglas
quanto conocieron ser útil en el uso.[sic]

Vitrubio Polión, M. Poemio libro decimo

3.LOS ANTECEDENTES DE LA FORMACIÓN REGLADA

3.1 Introducción

La búsqueda de los antecedentes de la formación reglada se ha ampliado a cuatro países, por varias razones, en primer lugar, figura el Reino de España, puesto que es el objeto de esta tesis junto con que es el primer país de Europa en el que se va a plantear la formación reglada a profesiones incluidas tanto en la clasificación de artes liberales como de artes mecánicas. En segundo lugar, figuran Los Países Bajos y la razón de su inclusión es que, en ellos es donde, por primera vez la Universidad se abre a incluir la ingeniería en su currículo formativo. Por último, Francia e Inglaterra porque van a marcar caminos que llegan hasta nuestros días de cómo ha de ser la formación reglada en la ingeniería dando lugar a lo que se ha llamado el modelo francés e inglés [PAUTET, Sébastien. (2016)]. En los antecedentes se verá tanto la órbita civil como la militar.

En los antecedentes se van a revisar solo aquellos que van a tener trascendencia tanto en el desarrollo de la ingeniería y su entorno como en el de la formación de los ingenieros.

Pero previamente al análisis de los antecedentes es necesario responder a una pregunta, ¿Por qué en el Reino de España el vocablo Matemáticas aparece unido a las distintas instituciones en las que se va a impartir formación? Y ¿Por qué el uso de las matemáticas va a ser intensivo en la formación? A continuación, se responde a esas preguntas.

3.2 ¿Por qué la palabra matemática está incluida dentro del título de las instituciones?

Conviene recordar que *matemata* (μαθηματα) significa “lo que se puede aprender “.Según la escuela pitagórica había cuatro *matemas*: aritmética, geometría, música y astronomía, que son la base del cuadrivium [Carrera, P. I. J. (2012)].

En el Reino de España la palabra Mathematica se va incluir en dos instituciones: “La Institución de la Academia real mathematica” en 1582 y en la “Real Academia Militar de Matemáticas de Barcelona” en 1716 y en una tercera que aparece como otra denominación, es el caso de la Academia de Bruselas con el nombre de “Academia de Matemática y arquitectura militar” [Loidi, J. N. (2004) pag 413]; hay otro caso, en Rusia, que es el la “Escuela de Mathematicas y

Navegación de Moscú” en 1701 [Gouzévitch, I., de Matos, A. C., & Martykánová, D]. De las tres solo se va a analizar el porqué del uso de la palabra mathematica en las dos primeras.

En el Reino de España, cuando se tratan de instituciones que de alguna manera van a impartir formación al entorno de la Ingeniería de la fortificación, en ellos, como se ha visto en el capítulo 2, aparece la palabra Matemática/Matemática en el título de la institución. A continuación, se da una interpretación del porque aparece esta palabra:

El primer referente que disponemos se remonta a cuando el Rey Felipe II, estando en Portugal para la toma de posesión de la corona portuguesa, da la orden de crear la “Institución de la Academia Real Mathematica” y manifiesta que:

*“su deseo era que en nuestro reino haya hombres expertos que **entiendan bien las matemáticas** y la arquitectura y las otras ciencias y facultades anejas... “*

*“para el beneficio de nuestros súbditos y la provisión en nuestro reino de **hombres con destreza en matemáticas**, arquitectura y otras ciencias, hemos adoptado en nuestro servicio... para que organice en nuestra corte materias relacionadas con la cosmografía, geografía y topografía, y a la vez enseñe matemáticas en la forma y lugar en que ordenemos. [Barreno, P. G (2006)],*

En la “Institución de la Academia Real Mathematica” [Herrera, J. D. (1995)] Juan de Herrera escribe a modo de justificación de la creación de la Institución lo siguiente:

*Siendo la Magestad del Rey Dón Phelipe N. S. informado, que aunque en las Vniuersidades y estudios destos Reynos ay instituidas, y dotadas cathedras de **Mathematicas**, no ay muchos que las professen, antes tan pocos, que apenas ni en las Vniuersidades, ni fuera dellas se halla quien con fundaménto de principios sepa ni pueda discernir, lo falso de lo cierto en estas ciencias, ni differéciar los professores verdaderos y fudados enellas, delos que sin serlo, se tomá nóbre y título de **facultades y artes** que no entiende y que de parte desto ay falta enla republica de artífices entendidos y perfectos para muchos vsos, y ministerios necessarios a la vida polytica”*
[sic]

Pero cuando aquí, Juan de Herrera habla de matemáticas, está hablando de los conocimientos matemáticos que necesitan las distintas profesiones que se citan, en la descripción, y que se han comentado en el punto 2.1

Por último en relación con esta institución, se dispone de un texto del que fue profesor de la misma, se trata del Ingeniero Cristobal de Rojas que en su obra “ *Teorica y practica de fortificacion conforme las medidas y defensas destes tiempos*” [Rojas, Cristóbal de Sánchez (1598)], en el que, en el Capítulo primero indica que “De las cosas que son necesarias para fortificación” y establece cuatro requisitos, de los cuales en los dos primeros afirma:

- ✓ *“La primera, saber mucha parte de Mathematicas: si fuera posible los seis primeros libro de Euclides, y el undécimo y duodecimo, porque con ellos resolverá todas las dudas que se le ofreciere, assi de medidas, como de proporciones, y para disponer los planos y fundamentos de los edificios, y para medir las fabricas y murallas, pilares, columnas, y las demás figuras...”*
- ✓ *“La segunda es, la Arismetica, que sirve para dar cuenta del gasto que para hazer la fabrica se ofrecerá antes que se haga, o despues de hecha, y en su construccion para las medidas de distancias y proporciones, y para otras muchas cosas que en el discurso de este libro se verán”* [sic]

En el punto 2.1 se indicaba que profesiones/artes considera Juan de Herrera que debían de estar en la Academia y que como se verán, necesitarán en su formación parte de las matemáticas puras y matemáticas simples o prácticas.

Para establecer el alcance del vocablo matemáticas en la época de la que se está hablando, se va a recurrir, como en el tema del vocablo “ingeniero” a conocer cuáles eran los alcances que reconocían la sociedad y los profesionales.

- TESORO DE LA LENGUA CASTELLANA, O ESPAÑOLA, de Diego Covarrubias (1611)

En este texto se establece que: *“MATEMATICA, es nombre griego, y se dice propriamente de la Geometría, Aritmetica y Astrologia. Porque estas por excelencia se llaman ciencias Matematicas”* [De Covarrubias, S. (1611)].

- DICCIONARIO DE LA RAE (1734)

Aquí se indica que “*MATHEMATICA*, es la *Ciencia, que trata de la cantidad en quanto mensurable: cuyos principales fundamentos son la Geometría y Arithmética. Es voz griega, que significa enseñanza. Llamanse Ciencias Mathemáticas aquellas materias que se fundan en demostraciones firmes: como la Estática, la Optica, Astronomía”.*

Como se puede observar, cuando se habla de Ciencia Matemáticas se incluyen en materias que extienden el alcance.

- DICCIONARIO CASTELLANO. CON LAS VOCES DE CIENCIAS Y ARTES Y SUS CORRESPONDIENTES EN LA TRES LENGUAS FRANCESA, LATINA É ITALIANA. En el volumen nº2, letras de la E-O, [Terreros y Pando, E. (1786)].

En este texto, se da una pobre definición que no está en consonancia con lo que ya era conocido en la fecha de la publicación “*MATEMÁTICA, ciencia que trata de las cantidades y Proporciones*”

- ENCYCLOPÉDIE : OU DICTIONNAIRE RAISONNÉ DES SCIENCES, DES ARTS ET DES MÉTIERS. [Diderot, D. (1765)].

En el prólogo del Volumen 1 D’Alambert escribe el artículo “*Explication détaillée du système des connoissances humaines*”; en este artículo realiza un modelo taxonómico de los conocimientos humanos e incluye la matemática dentro del apartado de la Razón, y el sub apartado de Ciencias de la Naturaleza.

En este artículo D’Alambert considera que las matemáticas forman parte del Área de la Razón (las otras dos son Memoria e Imaginación) y dentro de esta área se incluyen dentro de la Filosofía y dentro de la Filosofía, en el de las ciencias de la naturaleza”

Para el caso de las matemática D’ Alambert afirma que “*Une autre propriété plus générale des corps, & que supposent toutes les autres , favoir , la quantité a formé l’objet des Mathématiques. On appelle quantité ou grandeur tout ce qui peut être augmenté & diminué.* “. [sic] A continuación, establece como las matemáticas mixtas como aquellas en las que la cantidad puede ser considerada. Este modelo lo resume en un esquema. Ver figura 9.

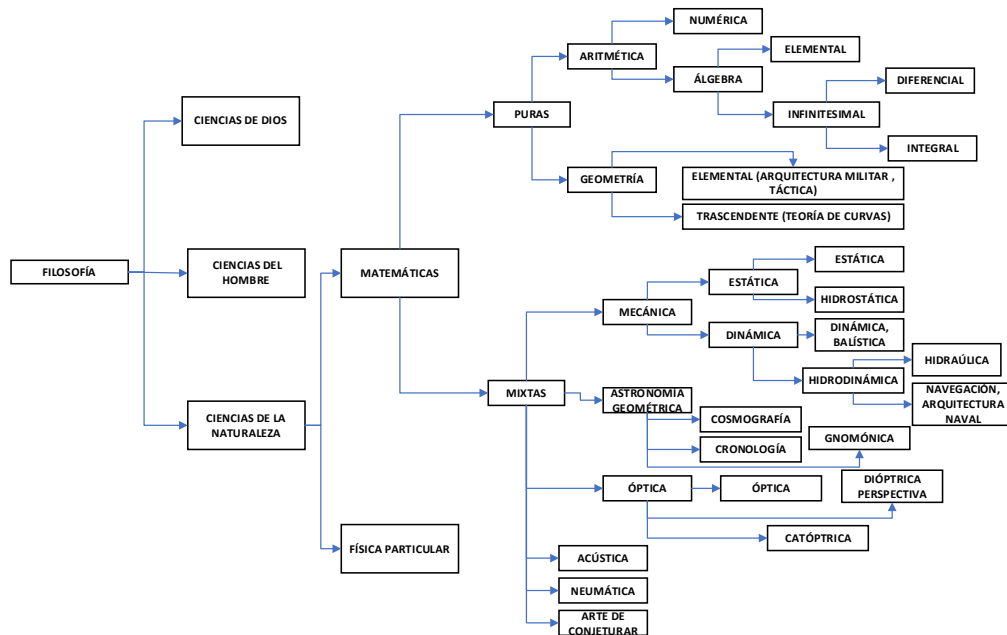


Fig. 9 Esquema de las matemáticas, elaborada en base al esquema que incluye D’Alambert en el Artículo “Explication détaillée du systeme des connoissances humaines” [Diderot, D. (1765)].

De la clasificación que da D’Alembert, se puede comprobar que el alcance de las matemáticas mixtas es suficientemente amplio para que en él se incluyan las áreas, de las que participaba la ingeniería de la época.

- CYCLOPÆDIA OR, AN UNIVERSAL DICTIONARY OF ARTS AND SCIENCES [Chambers, E. (1741)].

MATHEMATICS, *the science of quantity; or a science: that confiders magnitudes either as computable, or measurable.*

See the progress of each branch of Mathematics, with the authors who have wrote on it, under the respective heads; as GEOMETRY, ALGEBRA, ASTRONOMY, &c. Mathematics are distinguished with regard to their end, into

- *Speculative MATHEMATICS*, which rest in the bare contemplation of he properties of things; and
- *Practical MATHEMATICS*, which apply the knowledge of those properties to some uses in life.

With regard to their object, *Mathematics* are divided into *pure* or *abstract*; and mixed.

- *Pure* MATHEMATICS consider quantity, abstractedly; and without any relation to matter or bodies.
- *Mixed* MATHEMATICS consider quantity as subsisting in material being: -e. gr. length in a river, height in a star, or the like.
- *Purer* Mathematics again, either consider quantity as discrete, and so computable, as arithmetic; or as concrete, or continued, and so measurable, as geometry, and trigonometry.
- *Mixed* Mathematics are very extensive, and are distinguished by various names, as the subjects they consider, and the views wherein they take them, vary: it being sufficient to determine an art to be a branch of mixed Mathematics, that pure Mathematics are applicable: thereto, i. e. that it may be explained and demonstrated from the principles of arithmetic and geometry. Such are
 - ✓ **Mechanics**, which consider motion, or the laws of moving bodies
 - ✓ **Hydrostatics**, which consider the laws of fluids, or of bodies gravitating in fluids.
 - ✓ **Pneumatics**, the air, with regards to the laws and mensuration thereof.
 - ✓ **Hydraulics**, the motion of fluids.
 - ✓ **Optics**, direct light or vision.
 - ✓ **Catoptrics** vision.
 - ✓ **Dioptric**, refracted vision.
 - ✓ **Perspective**, the images of objects, in order to delineate or represent them.
 - ✓ **Astronomy**, the universe, of the heavens.
 - ✓ **Geography**, the earth, both as in itself, and in its affections.
 - ✓ **Hydrography**, the sea, principally as navigable.
 - ✓ **Chronology**, time, with regard to the measuring and distinguishing thereof.

- ✓ **Gnomonic**, or Dialling, shadows, in order for determining the hour of the day.
- ✓ **Pyrotechny**, artificial fires, with regard both to diversion, and to the uses of war.
- ✓ **Military architecture**, the strength of places, with regard to their defence against an enemy.
- ✓ **Civil architecture** (now become a branch of *Mathematics*) buildings.
- ✓ **Music**, founts, and their effects on the ear. &, For the elements of each, see the respective heads: For an accurate system of all the parts above-mentioned (Music alone excepted) orderly digested, and clearly demonstrated, see the excellent Wolfius 's *Elementa Mathessos universae*. [sic]

Como se puede ver coinciden en una gran parte con las profesiones que propone Juan de Herrera, que se han indicado en el punto 2.1 La definición de la matemática mixta está ligada al concepto de utilidad e influida por la doctrina de Bacon.

- Los seis primeros libros onze, y, doze de los Elementos de Euclides Megarensis [Medrano. S. (1688)]

Del director de la Academia de Bruselas, Sebastián Fernández de Medrano, *Maestro de Mathematicas*, en el libro que publica en 1688. En el inicio del libro bajo expone

“DECLARASE QUE COSA SEA LA MATHEMATICA

“La Mathematica es ciencia que trata de la cantidad continua, y discreta. Dividese en muchas partes, siendo quatro las principales, y dos las absolutas; Estas son la Arithmetica, que trata de la cantidad discreta, propiedad, y calidad del numero; y la Geometria, que trata de la cantidad continua: las otras dos se atribuyen a la Musica, que como la Arithmetica, discurre de la cantidad discreta, haciendo comparacion de un numero a otro, guardando la proporción Harmonica: y la Astronomia, que tambien como la Geometria trata de la cantidad continua, y porque estas dos ultimas se: explican en numeros, y lineas, se les da titulo de mixtas; todas las demas partes de la

Mathematica, como Perspectiva ; Geographia , y Optica &c. se agregan a las quatro referidas:”[sic]

- El Ingeniero de la moderna arquitectura militar. [Medrano S (1689)]

En el prólogo del libro nos indica “...*fue el de introducir entre la Milicia, la enseñanza de aquellas partes que de la Mathematica pertenecen à un Soldado : como son la Fortificación, Arte de Esquadronar, uso de la Artilleria, Geometría practica , y conocimiento de lo Mapas*”[sic]

- NOUVEAU COURS DE MATHEMATIQUE, A L'USAGE DE L'ARTILLERIE ET DU GENIE. [de Belidor, B. F. (1725)]

En este caso, para analizar el alcance, basta con los títulos de los 18 libros/partes que componen el tratado, y que se pueden incluir dentro del concepto que desarrollará D’Alambert en su artículo de L’Encyclopedie treinta años después, en el cómo se puede ver hay una mezcla entre matemáticas puras y mixtas.:

- LIVRE PREMIER, *Où l’on donne l’introduction à la Géométrie.*
- LIVRE II, *Qui traite des proportions, des Rapports & des Fractions*
- LIVRE III, *Où l’on considere les différentes positions des lignes droites.*
- LIVRE IV, *Qui traite des propriétés des Triangles & des Parallelogrammes*
- LIVRE V, *Où l’on traite des propriétés du Cercle.*
- LIVRE VI, *Qui traite des Polygones reguliers, inscrits & circonscrits au cercle.*
- LIVRE VII, *Où l’on considère le rapport qu’ont les circuits des figures semblables, & les proportions de leurs superficies.*
- LIVRE VIII, *Qui traite des propriétés des corps, de leurs surfaces.*
- *TRAITE DES SECTIONS CONIQUES.*
- SECONDE PARTIE, *Qui traite de la Trigonométrie rectiligne*
- TROISIEME PARTIE *Où l’on donne la Théorie & la Pratique du Nivellement*
- QUATRIEME PARTIE, *Du Toisé en général, où l’on enseigne la manière de faire le calcul du Toisé des Plans, des Solides, & de la Charpente.*
- CINQUIEME PARTIE, *Où l’on applique la Géométrie à la mesure des Superficies & des Solides.*

- SIXIEME PARTIE, *Où l'on applique la Géométrie à la division des Champs.*
- SEPTIEME PARTIE, *Où l'on applique la Géométrie à l'usage du Compas de proportion*
- HUITIEME PARTIE, *Qui traite du Mouvement & du Choc des Corps*
- NEUVIEME PARTIE, *Qui traite des Mécaniques*
- DIXIEME PARTIE, *Qui traite de l'Equilibre & du Mouvement des liqueurs.* [sic]

En este libro y como ejemplo del alcance de la matemática en el “DISCOURSE SUR L’HYDRAULIQUE” de la *dixieme partie* Belidor establece que “L’Hydraulique est une partie de Mathématiques que tire ses principes de ceux de la Mécanique , dont elle est une suite...”. [sic]

- COMPENDIO MATEMÁTICO: EN QUE SE CONTIENEN TODAS LAS MATERIAS PRINCIPALES QUE TRATAN DE LA CANTIDAD [Tosca, T. V. (1757)].

De igual forma que con Belidor el índice del compendio del matemático valenciano Tomas Vicente Tosca es autoaplicativo, en su alcance

- Tomo I: Geometría Elemental, Aritmética Inferior, Geometría Práctica.
- Tomo II: Aritmética Superior, Álgebra, Música.
- Tomo III: Trigonometría, Secciones Cónicas, Maquinaria.
- Tomo IV: **Estática, Hidrostática, Hidrotecnia, Hidrometría.**
- Tomo V: **Arquitectura Civil, Montea y Cantería, Arquitectura Militar, Pirotecnia o Artillería.**
- Tomo VI: **Óptica, Perspectiva, Catóptrica, Dióptrica, Meteoros.**
- Tomo VII: **Astronomía.**
- Tomo VIII: **Astronomía Práctica, Geografía, Náutica.**
- Tomo IX: **Gnomónica, Ordenación del Tiempo, Astrología.** [sic]

De todo lo anterior se entiende que, para muchas personas, la identificación de estudios de ingeniería, con la salvedad indicada en el apartado 2.1, con la Matemática estaba justificado. De hecho, la necesidad de conocer era tan importante, que el vocablo formará parte de las instituciones. Aunque este aspecto solo se dará en el Reino de España y en el de Rusia.

Este concepto persistirá, en España, durante todo el siglo XVIII y cuando Benito Bails, como Director de Matemáticas de la Real Academia de San Fernando, escriba su tratado “Elementos de Matemáticas” compuesto por 11 volúmenes entre 1772 y 1783, de nuevo se podrá comprobar el alcance de la matemática a todas las áreas de la ingeniería y la arquitectura. El título de los diferentes volúmenes es auto explicativo para comprender el alcance. Alcance que reivindicará Benito Bails como se puede comprobar en el prólogo.

- Elementos de Matemáticas Tomo I. Elementos de Arismética, Elementos de Geometría, Elementos de Trigonometría Plana, Geometría Práctica
- Elementos de Matemáticas Tomo II. Elementos de Algebra
- Elementos de Matemáticas Tomo III. Elementos de secciones cónicas, Cálculo diferencia, Cálculo integral, Ecuaciones diferenciales, Trigonometría esférica.
- **Elementos de Matemáticas Tomo IV. Elementos de Dinámica, Del equilibrio y del movimiento en las máquinas o de la Estáticas**
- **Elementos de Matemáticas Tomo V. Elementos de Hydrodinámica, Elementos de Hidráulica**
- **Elementos de Matemáticas Tomo VI. Elementos de Optica**
- **Elementos de Matemáticas Tomo VII. Elementos de Astronomía**
- **Elementos de Matemáticas Tomo VIII. Elementos de Astronomía Física**
- **Elementos de Matemáticas Tomo IX_1. Que trata de la Arquitectura Civil.**
- **Elementos de Matemáticas Tomo IX_2. Arquitectura Hidráulica [sic]**

En este tratado de Benito Bails en el prólogo justifica la extensión a ramas de la ingeniería de las matemáticas, y como consecuencia de ello en sus “Elementos” incluye, mecánica, hidrodinámica, óptica, astronomía y arquitectura, en este último apartado tanto la arquitectura civil como la arquitectura hidráulica. En el prólogo del tomo IV comenta “*....no llegan ni con mucho las dificultades de la Dinámica á las de la Hydrodinámica , por esta circunstancia precede aquella á la otra , así como entre **todos los ramos de la Matemática mixta** ocupa el primer lugar la ciencia del movimiento de los cuerpos....*” [sic]

Es a final del siglo XVIII cuando en las instituciones que van a formar a ingenieros y cuando aparecen los centros para formar a ingenieros civiles; desaparecerá el vocablo en el nombre de la institución. Y por parte de los Ingenieros militares en julio de 1803 quedará disuelta la Real y Militar Academia de Matemáticas y Fortificación de Barcelona y con su desaparición

desaparecerá el vocablo “Matemáticas” del nombre de la institución y comenzará en Alcalá de Henares la Academia de Ingenieros militares.

3.3 Reino de España

En España la formación reglada comenzará en el siglo XVI y tendrá continuidad para los ingenieros militares, de forma limitada a lo largo del siglo XVI y siglo XVII. De otro lado habrá también formación sobre fortificación en instituciones civiles, en concreto en instituciones ligadas a la Compañía de Jesús. A continuación, se detallan las instituciones y sus desarrollos.

En relación con la formación reglada se puede dividir en la que va ligada a:

- La sociedad civil, en la que por primera vez en Europa se desarrollará una iniciativa innovadora, la de Institución de la Academia Real Mathemática, de otro lado estará la formación que para la alta sociedad va a realizar la compañía de Jesús que dispondrá de elementos para ayudar a determinadas áreas de ingeniería como la fortificación, pero al final serán absorbidos por el ejército, dado que la demanda de la sociedad será muy baja, y la demanda de ingenieros por parte del Estado será absorbida por la milicia.
- La milicia va a necesitar formación tanto para sus oficiales como para los artilleros y los ingenieros, la formación se nucleará alrededor de algunas academias, y habrá de esperarse hasta el último tercio del siglo XVII para que aparezca un modelo formativo para la milicia del que se beneficiarán ingenieros y artilleros.

Del análisis del estado de la formación en las universidades, conviene explicar que las materias ligadas a las matemáticas, estas se incluían dentro de la Filosofía Natural de la Facultad de Artes. En la enseñanza dominaba el escolasticismo, la forma de dar las clases consistía en leer un texto y resolver las dudas, todo ello en latín. [Loidi, J. N. (2004).]. Y que el nivel de analfabetismo es del orden del 75% en 1680.

3.3.1 La “Institución de la Academia Real Mathemática”

La “Institución de Academia Real Mathematica” ver figura 10, por su nivel de innovación es conveniente dedicarle un estudio detallado.

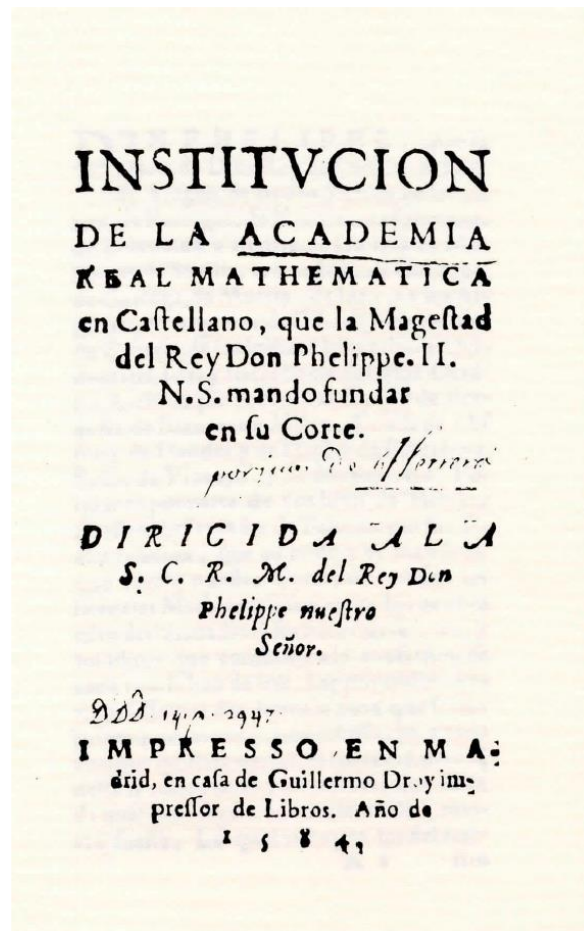


Fig. 10 Portada del texto de Juan de Herrera

[Herrera, J. D. (1995)].

Afortunadamente, para sus estudio, se dispone del texto que redactó Juan de Herrera, y que fue descubierto por José Simón Díaz en la Biblioteca Mazarine con la signatura 30.383 en un volumen que contenía dos obras de Juan de Herrera: “*El sumario y breve declaracio y estampas de la Fabrica de san Lorenzo el Real del Escorial*” (Madrid 1589) y la “*INSTITVCIÓN DE LA ACADEMIA REAL MATHEMATICA en castellano que la Magestad del Rey Don Phelippe II N.S. mando fundar en su corte*” (Madrid 1584).

Esta institución tuvo una breve vida 1582-1625. Pero por primera vez en Europa se va a tratar de dar una formación reglada a distintas profesiones, que estaban incluidas tanto en las artes liberales como artes mecánicas. Como ya se ha indicado el Rey Felipe II establece la necesidad de una demanda de profesionales con una formación rigurosa, que va unida a la formación matemática.

Estas profesiones estaban excluidas de la formación impartida en las Universidades, que no manifestaron interés en su desarrollo. Por otro lado, la educación de la nobleza tenía otras prioridades, pues como recuerda [Maroto, M. V., & Piñeiro, M. E. (2006)] citando a D. Gaspar Gaspar de Montoya, Catedrático de Prima de la Universidad de Salamanca *“Es provechoso para los nobles tener una breve noticia de todas ellas (las ciencias) ...pero no se ha de dexar por ellas...los estudios de la Santa Teología, que es la ciencia mas alta y digna de gente noble”*. [sic] También puede tener u origen en que se considerará como socialmente poco digna, este apartado se revisará en el punto 4.2.7.5.

Esta Institución tuvo como director a Juan de Herrera desde 1582 hasta su muerte en 1597, que controlará la actividad académica y firmará los certificados de los profesores. Esta Academia tuvo su sede en Madrid, y hubo un intento, fallido, de extender este modelo a otras ciudades del reino que fracasó por criterios económicos y por la presión fiscal que sufría Castilla en la época [Maroto, M. V., & Piñeiro, M. E. (2006)].

La idea de Herrera, que se verá a continuación, va mucho más allá puesto que, propone que los títulos que expidan tengan carácter habilitante, como se dice en el documento de Herrera. El texto donde Herrera lo establece es sumamente explícito.

*“Y para que esto aya efecto, y los estudiosos dellas se animen y dispongan con determinacion al estudio dellas, su Magestad será seruido, que a los que en esta escuela quisieren aprouecharse, y salir examinados della, seles den sus cartas de aprouacion, y títulos en forma, conforme a la facultad que professaren. Con todas las honras, prerrogatiuas y prehemencias, que las Vuiuersidades aprouadas suelendar, y algunas mas, **proueyendo (si conuiniesse) por ley y publico decreto, que ninguno sin ser examinado por las personas que para ello se nombrare, vsepublicamente, ni exercite profession alguna de las arribas nombradas**”* [sic]

Este concepto de título habilitante iba contra el modelo de los gremios en los cuales el proceso de aprendizaje era por la práctica.

Como se ha indicado por primera vez en Europa se propone una formación reglada para las siguientes profesiones:

- Arithmeticos
- Geometras y mensuradores
- Mechanicos
- Astrologos
- Gnomomicos
- Cosmographos, y Pilotos
- Perspectiuos
- Músicos
- Architectos
- Pintores
- Fortificadores
- Niveladores
- Artilleros

Para dar formación a todas estas profesiones, Herrera, utiliza como modo transversal las matemáticas, pero a diferencia de la enseñanza que se da en ese tiempo se establece que el idioma de la Academia será la lengua vulgar, o sea el castellano en lugar del latín, lo que significa el romper una barrera lingüística y eliminar barreras al conocimiento.

No es objeto de este estudio la división, que, en la citada obra de Herrera, se hace de las matemáticas, puesto que no añade nada a lo indicado en el punto. 3.1

Para cada profesión se recomendaban unos libros específicos de matemáticas (como se verá con el concepto amplio que se ha indicado), junto con actividades a realizar en la Academia. Para que estos libros estuvieran al alcance de todos los que accedieron, se propuso su traducción, que llevo a efecto Ondariz, que junto con Herrera y Labaña, son los tres primeros contratados para la puesta en marcha de la Academia. De hecho, se van a utilizar libros de aquellos que estaban contribuyendo al desarrollo de la técnica

Esta institución representa de alguna manera un modelo politécnico muy avanzado para su época, dado que van a confluir diversas profesiones en un lugar común.

De todas las profesiones, que establece Herrera, se van a seleccionar las más próximas a la ingeniería con el fin de revisar los programas de formación en base a los libros que se recomiendan para estudio y lectura.

3.3.1.1 Programas para las distintas profesiones

3.2.1.1.1 Geometras y mensuradores

Previamente establece su objetivo “El Geómetra, o Mensuador de tierras campos y qualquier genero de superficies, cuerpos, alturas, profundidades”. Para esta profesión. Se recomiendan los siguientes libros de estudio:

- Los primeros libros de Euclides, se entiende que está hablando de los libros 1 al 4 que corresponden con los de geometría plana.
- La doctrina de triángulos de Montereio, se entiende que se está refiriendo a la obra Johann Müller Regiomontano⁹ “De Triangulis Omnimodis”.
- Los Esféricos de Teodosio de Bitinia, que fue traducido por Ondariz (profesor de la Academia) [Barreno, P. G. (2020)].
- Los cónicos (Acerca de las secciones cónicas) de Apolonio de Pergeo
- La esfera de Arquímedes, se entiende que se refieren a “*Sobre la esfera y el cilindro*”

A continuación se habla del conocimiento práctico del mensurador *“ha de estar exercitado y diestro en la conuersion de vnas figuras en otras demas desto aura de saber el vso de algunos instrumentos mensorios de la Geodesio, que como dicho queda es sciencia de medir distancias : ha de tener practica, y noticia de las medidas comunes y costumbres que en esto se practican, y las ordenanças que sobre ello vuiere hechas en las prouincias y tierras do se hallare : para que en sus operaciones guarde la rectitud que conuiene. Y al tal artifice se le podra titulo de Mensurador, y licencia para que pueda exercitar el officio, y no en otra manera, guardando la misma orden en todos los demas officios dependientes desta Mathematica”*. [sic]

Sobre los libros a leer en la Academia son los siguientes:

⁹ <http://datos.bne.es/persona/XX1000699.html>

- Los seis primeros libros de Euclides
- El undécimo y el duodécimo ¹⁰
- El primero de los esféricos de Theodosio
- La introducción de Apolonio junto con *“con la declaracion de algun instrumento mensorio, como el radio, o quarto Geometrico.”*

3.2.1.1.2 Mecanicos

En el inicio del documento, cuando se refiere a esta profesión habla de *“Ingenieros y Machinistas, entendidos en las artes de los pesos, fundamento para hazer y entender todo genero de Machinas, de que la vida politica y Economica se sirue.”*.[sic] Para esta profesión indica que se debe de saber:

- Los seis primeros libros de Euclides
- El séptimo libro de Euclides “Proporciones, máximo común divisor, mínimo común múltiplo, primos relativos”
- El undécimo libro de Euclides “Relaciones entre figuras sólidas.”
- El duodécimo libro de Euclides “Relaciones entre círculos y esferas, volúmenes de pirámides y conos”
- Los equiponderantes de Arquímedes
- Liber de centro gravitatis solidorum de Federico Commandino
- Las obras de Iordano de Ponderibus, se entiende que se refiere al tratado de estática liber de ponderibus de Jordano Nemorario
- Las Mecanicas de Aristóteles
- Las Mecanicas de Guidobaldo, se entiende que se refiere al Mechanicorum Liber
- Libro décimo de Vitruvio [Vitruvio Polión, M. (1787)] que trata de la maquinaria
- Ateneo de machinas de Roberto Valturio,
- Re Militari de Vegetio
- Liber De Machinis Bellicis de Heron de Alejandría

¹⁰Undecimo: Relaciones entre figuras sólidas. Duodécimo: Relaciones entre círculos y esferas, volúmenes de pirámides y conos

- Nicolo Tartaglia¹¹

Sobre los libros a leer en la Academia son los siguientes:

- Los Equiponderantes de Arquímedes
- “*Lo mas necessario de las mechanicas de Aristoteles, lordano é Guidobaldo*”

Como comentario, es un temario importante, y se está dando una sólida formación que permita capacitar para el ejercicio profesional.

3.2.1.1.3 Arquitectos

Acerca de los conocimientos para obtener el título de arquitecto establece que “*La architectura ò arte edificatoria, presupone algo de todas las artes, y sciencias de que se adorna la policia humana, obligando a los professores della à que las sepan, o por lo menos la parte q dellas le pertenece, porq de las ya dichas se ha de aprovechar de la Geometría, Arithmetica, perspectiua, Musica, Astrologia, Gnomonica, y de la Mechanica, y ansi el que quisiere merecer el nombre de Architecto allende de otros muchos atributos que Vitrubio le pone con estas sciencias, se ha de ornar entendiendo y alcançando dellas todo lo que para sus profesion es necessario, entendiendo los libros de Vitruuio, de Leon Bautista Alberti, y el que se allare medianamente instructo en las sciencias, y principalmente en las tres que el mismo Vitruuio pone, que son Gomonica, Machinatoria, y Edificatoria* “ [sic]

Sobre los libros a leer en la *Edificatoria* son los siguientes:

- Algunos de los diez libros de Vitruvio
- Re aedificatoria de Leon Battista Alberti, que es un tratado de arquitectura en diez volúmenes

¹¹ Aunque lo mencione Herrera, no se ha encontrado ningún tratado de máquinas de Tartaglia, específico. De su producción bibliográfica que pudiera ser conocida podrían ser una de estas dos obras: *O Nuova scienza cioe invenzione nuovamente trovata, utile per ciascuno speculative matematico bombardiero, ed altri, Venise, 1537*. Y *Descrizione dell' artificiosa macchina fatta per cavare il galeone, Venise, 1560, in-4°*.

3.2.1.1.4 Fortificadores

En la descripción que realiza Herrera, es muy importante entender que comienza utilizando la palabra Arte. De esta disciplina fue profesor el Ingeniero del Rey Cristobal de Rojas. Herrera recomienda que *“El arte de fortificar q fue antiguamente profesion propia de los Alarifes¹² todo su intento es defender y asegurar las fuerças y ciudades del impeto del enemigo : y el buen professor della y diestro, ha de saber todo lo que presupone y obliga à saber la Architectura, porque de esta es la primera que deue de saber, y demas dello mucho de lo que toca las machinas bellica, y artilleria, y entroduzido en los libros del arte de fortificar que de muchos modernos son escriptos”* [sic] Para la instrucción establece:

- *“En la qual arte se tomara vn libro de los muchos que desta profesion ay escriptos, y de lo mejor”* [sic]

Establece la necesidad del conocimiento práctico

- *se deue de hazer por lo menos tres o quatro años de praticante en algunas fuerças de tal manera que este muy diestro y instruydo, y sepa por practica todas las cosas q a un fortificador pertenece saber.* [sic]

3.2.1.1.5 Niueladores

En primer describe la profesión: *“fontaneros y niueladores de las aguas, para los aguaductos y regadios, que en estos Reynos tan importantes, y conuenientes serian. Y para desaguar y beneficiar las minas de ricos metales que ay en estos Reynos, y en los de entrambas las Indias.”* [sic]

A continuación, establece el alcance de la profesión: *“Los q hizieren profesion deste officio de niuelar las aguas, y encañar las fuentes, y de hazer azequias y conductos de agua, ora sea cubierta y encañada, o no encañada, ora sea descubierta, ora por superficie de la tierra, ora por arcos, y de qualquier otra manera que se pueda ofrecer”* [sic].

Para la instrucción establece que se deben de utilizar:

- Los seis primeros libros de Euclides

¹² Es interesante esta cita porque pone de manifiesto la necesidad de pasar del modelo de transmisión del conocimiento en base a la experiencia a la necesidad de la formación.

- El séptimo libro de Euclides “Proporciones, máximo común divisor, mínimo común múltiplo, primos relativos”
- De iis quae vehuntur in aqua libri duo de Arquímedes. De este libro Herrera indica “*de cómo estan las cosas en el humido, onde se hallara la verdadera razon de niuelar A de saber hazer la diuision de los niueles con razones Mathematicas, y saber diuidir y copartir las aguas con las mismas proporciones*”. “*ha de saber con subtileza, conoscer las aguas quales son mas guressas, o mas delgadas, que esto lo sabra en el dicho libro de Archimedes*” [sic]
- los Hydraulicos de Heron, en el que indica que “*onde ay grandes secretos de cosas de agua, y de las maravillosas operaciones que naturalmente hazen ayudando el arte*” [sic]
- El octavo libro de Vitruvio que le permitirá “*tener practica de nonoscer los lugares aparejados para auer en ellos agua y de los indicios para hallarla, y señales q suele auer*” [sic],
- Requiere práctica en “*hazar las composiciones de betumes para sus encañados : y finalmente todo lo a este ministerio perteneciente*” [sic]

Sobre los libros a leer en la Academia son los siguientes:

- De iis quae vehuntur in aqua libri duo de Arquímedes.
- Para la práctica de este Arte, recomienda algunas obras de Vitruvio y de Leon Batista Alaberti

3.3.1.2 *Objetivos de la Academia*

De acuerdo con Barreno [Barreno, P. G (2006)]. los objetivos de la Academia se pueden sintetizar en:

- Coordinar e interrelacionar a científicos y técnicos, con clara orientación práctica de la totalidad de las disciplinas acordadas, bajo la cobertura permanente de las matemáticas. Lo que hoy se podría entender como una politécnica
- Difundir el conocimiento; de ahí la preocupación de traducir de latín a lengua vulgar los libros más importantes

- Establecer titulaciones habilitantes

3.3.1.3 *Periodos de la Academia*

De acuerdo con Barreno [Barreno, P. G (2006)], la Academia va evolucionando desde tener personalidad propia a ser absorbida y su desaparición, en los siguientes hitos:

- 1582-1591: Se inicia y se incorporan los primeros profesores y se produce la primera escisión que es la eliminación de los estudios de arquitectura. Hay problemas en la edición de los textos traducidos, a título de ejemplo Ondariz realiza una edición con financiación propia.
- 1591-1597: Reorganización de la Academia de Matemáticas y dependencia de la Academia del Consejo de Indias.
- 1598-1600: Muertes de Juan de Herrera y de Felipe II y desaparición de la idea fundacional de la Academia.
- 1600-1625: La Cátedra de Matemáticas y Cosmografía pasa a depender el Consejo de Indias.
- 1625-1767: Años de transición y tutela del Colegio Imperial de la Compañía de Jesús.
- 1767-1783: Extinción de la Cátedra de Matemáticas y Cosmografía del Consejo de Indias en el reinado de Carlos III

3.3.1.4 *Las otras Academias de Matemática en las ciudades del Reino*

De acuerdo con la idea manifestada por Juan de Herrera al Rey en Lisboa en 1582, de extender la formación en matemáticas. Juan de Herrera, acompañado por Labaña propondrán a las cortes castellanas la extensión del concepto de Academia a otras ciudades del reino. El intento de extender esta iniciativa, de acuerdo con [(Maroto, M. V., Piñeiro, M. E. 1991)]. Tiene tres fechas 1587, 1588 y 1590.

En 1587 se produce la comparecencia de Juan de Herrera y Juan Bautista ante los procuradores de Burgos, Jaén, Valladolid, Salamanca, Soria, Segovia, Guadalajara y Toledo y siguiendo a [(Maroto, M. V., Piñeiro, M. E. 1991)], el relato de la comparecencia es:

“Entraron en el Reyno Juan de Herrera y Juan Bautista, como estaba acordado, y Juan de Herrera dixo mas en particular los beneficios y conveniencias que resultarian de que se pusiese en execución [...] cerca de que en algunas ciudades destos reynos, haya escuelas

donde se lean las matemáticas, y que se darían ciertos libros que hay impresos, sobre lo que se ha de leer en las dichas escuelas, y que por parecer a su Magestad que esto era de mucha importancia, había mandado que se leyesen, como se leían en esta corte, las dichas ciencias, y que lo mismo deseaba que se hiziese en otras ciudades del reyno; y que también había entendido su Magestad, que el Reyno le daba hoy audiencia al dicho Juan de Herrera, para declaración de la dicha proposicion.” [sic]

A finales de 1588 Juan de Herrera eleva un memorial “en relación de hacer efectivo el mandato de las Cortes”, en este memorial Juan de Herrera manifiesta:

“que vuestra Magestad mandó tratar en las Cortes pasadas, se diese orden cómo en algunas ciudades de España se leyesen las ciencias de las matematicas, a fin de que con ellas se habituasen los hombres en las cosas pertenecientes a buenos ingenieros, arquitectos, cosmógrafos, pilotos, artilleros y Otras artes dependientes de las dichas matematicas, y muy Utiles a la buena policía de la republica, y en las dichas Cortes se escribió a las dichas ciudades lo que sobre esto se había propuesto y, hasta ahora, no se ha respondido nada a ello: conviene al servicio de vuestra Magestad que esto se acave y ponga en la perfección que se ha deseado” [sic]

Y que El Reyno acordó que:

“...para mañana u otro día, se trate dello” [sic]

El 18 de enero se producen las contestaciones de las ciudades de Granada y Salamanca en las que se manifiesta:

“Leyóse una carta de la Ciudad de Granada, en respuesta de la que el Reyno le escribió sobre lo de leerse matemáticas en estos Reynos, y responde que aunque es muy conveniente, no tiene posibilidad para pagar la costa que es menester, y así que no lean en la dicha y que se trate que de la costa sea a cuenta de sobras del encabezamiento y que se usase deste medio se procure se lean en dicha Ciudad.

Leyóse otra carta de Salamanca en respuesta de lo de las matemáticas y dice que en ella se lean y tiene catedrático para ello, y que envía un memorial de en las partes y en la forma que parece se deben leer, el qual se leyó en el Reyno” [sic]

El proyecto de establecer las academias de matemáticas en las ciudades del Reino se abandona tras cuatro de años; por criterios económico; y la presión fiscal que sufrían los castellanos

3.3.1.5 A modo de reflexión

Sobre esta institución ha habido diversas opiniones que se dan a continuación

“Me ha parecido dar útil esta noticia del aprecio que la Nación Española ha hecho de las Matemáticas. Si aquella Academia Real hubiera continuado , sería la mas antigua , y acaso la mas floreciente de las que se conocen en Europa”.

[C. LemMaur 1762 Madrid]

“El renacimiento principia en 1492 con el descubrimiento de América, y la decadencia se inicia en 1623 con la supresión de la Academia de matemáticas fundada por Juan de Herrera”

(Vera, Francisco 1931)

El Académico Rey Pastor, establece que es un hecho capital en la historia de las ciencias exactas en España.

[Rey-Pastor, J 1934, p.129].

El profesor Dou por el contrario manifiesta que es:” *Otra institución de enseñanza técnica”* ..., *“la Institución iba dirigida a formar técnicos: arquitectos, cosmógrafos, cartógrafos, ingenieros militares, etc.”*

[Alberto, D. (1990). p.157]

Sobre el objetivo de esta institución, el autor cree que ha existido un cierto proceso de desenfoque.

A la vista del manuscrito de Juan de Herrera sobre la Institución, es evidente que el profesor DOU se acerca más claramente a la misión de la Institución, aunque no se trata de *otra* institución sino de la única institución en su época. Aunque, el Académico Rey Pastor tiene también razón puesto que de haber perdurado la Academia, probablemente, hubiera podido permitir un desarrollo de las matemáticas, de igual forma que luego tendría lugar en l’Ecole Polytechnique e París, conviene recordar, a título de ejemplo, que el matemático Agustín Louis

Cauchy, cuya importancia en la historia de la matemática está fuera de toda duda procedía de esta escuela, de la que fue profesor y que esta Escuela se convierte en un motor que va ayudar al desarrollo de la matemática, la mecánica, la termodinámica y otras disciplinas científicas.

Pero lo verdaderamente avanzado de esta institución es la propuesta de formación reglada para profesiones que pertenecían a las Artes Mecánicas y Artes liberales, en un momento en que el modelo de formación era la transmisión de los conocimientos por la cadena aprendizaje maestro. Frente a esta situación Herrera propone un modelo de formación basado en el conocimiento y la ciencia frente a un estatus basado en el empirismo. Es un modelo global que utilizando la matemática como driver quiere establecer unos umbrales mínimos de formación, que hubiera permitido si hubiera continuado una fácil difusión y desarrollo de los conocimientos técnicos tanto para el ámbito militar como el civil.

Si se observa el modelo de formación previsto para los ingenieros y mecánicos 3.2.1.1.2, se puede observar una formación importante en las matemáticas de la época, junto con formación en mecánica (estática), y en modelos de máquinas. Los modelos de construcción son todavía empíricos en los que se da un modelo de práctica de éxito heredada. En los libros, que se indican de máquinas el principal objetivo de gran parte de las máquinas que se comentan está orientado al movimiento de pesos. La llamada al estudio del libro X de Vitruvio tiene sentido ya que, en este libro en el capítulo primero, y bajo el enunciado de “Qué cosa sea máquina, en qué se diferencie del órgano, y de su origen y necesidad” se presenta tanto la definición que el autor entiende del término máquina como una clasificación de las mismas, siempre alrededor de la utilidad de mover pesos. Para que se produzca una interacción entre ciencia e ingeniería hay que esperar al siglo XVIII.

Conviene que recordar que las Escuelas de Ingeniería ligada, siempre a obra civil se van a poner en marcha en el siglo XVIII. Pero para que incluyan las Artes mecánicas, en sentido amplio, hay que esperar al siglo XIX.

En el texto de Juan de Herrera se anticipa el carácter de servidor del estado del ingeniero *“parte desto ay falta enla republica de artífices entendidos y perfectos para muchos vsos, y ministerios necessarios a la vida polytica”* [sic]

3.3.2 La formación en instituciones militares

Tradicionalmente la formación del ingeniero militar era un proceso individual desde la antigüedad, el maestro tenía al futuro ingeniero como aprendiz hasta que lo formaba en el oficio a desempeñar, tras lo cual y mediante una prueba de “dificultad reconocida” [Loidi J.N. 2004] se daba por finalizado el aprendizaje, hay que tener en cuenta que se transmitía experiencia empírica de la que se había comprobado su solvencia. A título de ejemplo disponemos de un texto de Vitruvio correspondiente al libro VIII que relata Hamey.

“Encontrar agua es fácil si hay algún manantial a cielo abierto. Sino lo hay, entonces tenemos que buscar bajo tierra: tumbate boca abajo en el suelo, justo antes del amanecer, con la barbilla apoyada en las manos, y mira a tu alrededor; si ves que surge vapor del suelo, excava allí, porque debajo hay agua. También debes estudiar el terreno, pues en los suelos de arcilla o de grava fina el agua sabe mal y es de baja calidad; en los de grava gruesa es mejor y más fiable y en los suelos de toba y lava es buena y abundante. Si el manantial corre al aire libre, fijate en las personas que dependen de él: si son fuertes, y tienen la piel limpia y los ojos brillantes, entonces es que el agua es buena” [sic] [Hamey, L. A., & Hamey, J. A. (1990)].

Pero este proceso de aprendizaje es sumamente lento por lo que había que buscar un proceso más eficiente, como el que se ha indicado en el Caso de la Institución de la Academia Real Mathematica.

En el ejército, la necesidad de formación se pone de manifiesto en el caso de los cuerpos facultativos del que en aquel momento eran los artilleros y los ingenieros. Por lo que, para poder disponer de personas capacitadas, se establecieron Academias, para la formación específica, aunque como una especialidad, no como una formación será necesario esperar a la instauración de la Academia de Bruselas

La progresión fue la siguiente:

3.2.2.1 Cátedra de Matemática Artillería Fortificación

En 1605 El Rey Felipe III funda la Cátedra de Matemáticas Artillería y Fortificación, esta cátedra estuvo en funcionamiento desde 1605 hasta 1697. Al mando de la Cátedra estuvieron Julio

Cesar Firrufino, Luis Carduchi y Genaro María Affliito. Firrufino dará las clases en el palacio del Marqués de Leganés

3.2.2.2 *Petición del Ingeniero Cristobal Lechuga*

En 1604 propone al Rey Felipe III la creación, en Milán de una Academia [Désos, C. (2016)]. En su tratado de 1611 indica la necesidad de disponer de ingenieros “una Academia de doze Ingenieros por lo menos, vasallos suyos, donde presidiendo el General de la Artillería, se trate de ordinario tres días a la semana, o más, de cosas necesarias a fortificaciones, guerra, machinas, descripciones de países, y de las demás cosas de Ingenieros” [Cámara Muñoz, A. (2005)] que explicita como “ se podrían ocupar del regadío de España, con lo que sería abundante en trigo. Otra de las funciones de estos ingenieros nos pone en directa relación con uno de los campos en que más trabajaron, que fue la arquitectura pública aparte de la fortificación, como los palacios, , jardines etc., porque escribe Lechuga que gracias a esta Academia *“si se quisieren hazer palacios suntuosos, obras curiosas, xardines, y otras mil curiosidades; tendrá Vuestra Magestad a quien emplear en esto, y los particulares de quien echar mano, para lo dicho, y para mejorar sus haciendas con diversos ingenios y invenciones de acequias, molinos, y otras muchas cosas, de que carece nuestra España, por falta de la gente, que le an sacado Indias y las provincias de Flandes y de Italia...”* [sic] [Cámara Muñoz, A. (2005)],

De nuevo el perfil que se ve en este discurso va ligado a un ingeniero de edificación, de ordenación del territorio etc... Pero en este discurso hay un punto importante en cuanto se liga a la ingeniería como mejoras de procesos productivos e infraestructuras hidráulicas.

3.2.2.3 *La Academia de Bruselas*

En 1675 en Bruselas abre sus puertas la “*Academia Real, y Militar del Exercicio de los Payses Baxos de Flandes*”¹³ver figura 11, conocida como Academia de Bruselas, poniéndose al frente el “*el Alférez Maestro de Mathematicas*” Sebastián Fernández Medrano [Fernandez de Medrano, 1677]¹⁴.

¹³ Otro nombre con el que se conoce es “Academia de Mathematicas y Arquitectura Militar”

¹⁴ Título con el que aparece en su obra “Rudimentos geométricos y militares” que publica en Bruselas en 1677

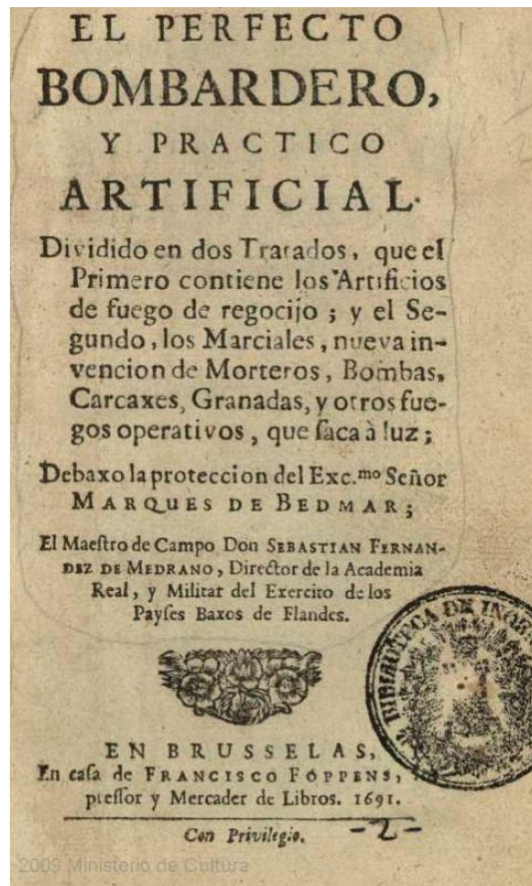


Fig. 11 El perfecto bombardero [Fernández de Medrano, S. 1691] Source, Ministerio de Cultura

El objetivo de esta Academia, de acuerdo con [Sáez, H. C., Sánchez, J. E., & Moncada, O. (1988) pág. 102], era: *formar expertos en arquitectura militar e ingenieros para las fronteras “en lugar de los extranjeros que, por falta de vasallos que los ejerciesen, tenían este empleo”*. Será el primer centro europeo de formación de ingenieros.

3.2.2.3.1 Periodos de Actividad

La actividad de la Academia comenzaba cuando se producía el acuartelamiento del ejército del 1 de octubre hasta el 31 de marzo.

La Academia funcionó desde 1675 hasta 1704

De 1704 a 1713 no tuvo actividad

Reanuda su actividad a partir de 1713 pero ya bajo la dirección del ingeniero Leonard Hartman que continuo hasta 1749 [Loidi, J.N. 2004] perteneciente a las Provincias Unidas de los países Bajos. En este periodo gran parte de la metodología se conservó, el cambio más importante fue el del idioma del castellano al francés.

3.2.2.3.2 Volumen de Alumnos a lo largo de su actividad

El número de alumnos que podían cursar era como máximo 24

A lo largo de la vida de la Academia, según Medrano en la reimpresión del Libro “El Ingeniero de la moderna arquitectura militar” de 1687 habían pasado 700 oficiales, cifra que parece exagerada en función del volumen anual de alumnos. Según [Loidi, J.N. 2004] la cifra puede aproximarse a 300.

3.2.2.3.3 Duración de los estudios

La duración era de un año, en el cual los alumnos estudiaban: geometría, fortificación, artillería, geografía y arte de escuadronear. Tras su finalización volvían a los regimientos.

Los alumnos más aventajados tenían un segundo curso para convertirse en ingenieros. En este segundo curso estudiaban: Fortificación más en profundidad, dibujo, geometría especulativa, y tratado de la esfera y navegación.

Tras la finalización los alumnos recibían un certificado de estudios que se convalidaba en España. El título de Ingeniero ordinario solo se otorgaba tras un examen por otro Ingeniero.

3.2.2.3.4 Textos

El director Sebastián de Medrano era un autodidacta, que se autoformó en matemáticas, fortificación... A lo largo del periodo de Dirección escribió un gran número de textos, que muchos de ellos se tradujeron a otros idiomas. Sobre su autodidactismo escribe en el prólogo del *Ingeniero de la moderna arquitectura*

“...y para lo vulgar del estilo, de una y otra, me servirà de disculpa, el carecer de la Lengua Latina, y no a ver aprendido esta facultad; en ninguna Vniversidad , ni de Maestro alguno: si no en los cuerpos de guardia y en las marchas , llevando como pobre Reformado la pica al hombro , y los Libros , y instrumentos en una valija;...”

[sic]

Como nos indica Sebastián va a utilizar el lenguaje castellano, como vía de transmisión del conocimiento.

Como idea driver que manejo a lo largo de todos ellos fue la de poder ser entendido por los estudiantes de la Academia, para lo cual no le importó sacrificar la forma de exposición escolástica por una más práctica. De alguna manera busca la utilidad de las matemáticas, que recuerda a la metodología de Francis Bacon. Como ejemplo de criterio de utilidad de la ciencia escribe en su prólogo a *“Los seis primeros libros onze, y, doze de los Elementos de Euclides Megarense”*

“En mis libros antecedentes (Curioso Lector) te he presentado lo mas utuil que de la Mathematica pertenece al bien publico , y en particular à un militar, como la formación de esquadrones , uso y manejo de la Artilleria , geometría Practica , Fortificación y Geographia.....razon porque es dificil citar por el , respecto que lo entenderán solo aquellos que ayan estudiado sus obras , y luego que sus heroyco y realzado estilo , no es para que vulgarmente lo entiendan todos; y assi como yo aya llegado à conocer lo que importa escribir para todos , halleè por acertado presentarte estos Elementos , de los quales , con mediana aplicación te haràs en breve inteligente” [sic]

Los textos más relevantes son, de su obra, y que muchos fueros utilizados en su quehacer docente:

- *Rudimentos geometricos y militares*, Bruselas, ed. Viuda Vleugart. 1677
- *El práctico artillero*, Imp. Francisco Foppens, Bruselas 1680
- *Breve descripción del mundo y sus partes o guía geográfica dividida en tres libros*, Imp. Francisco Foppens, Bruselas 1686
- *El Ingeniero de la moderna architectura militar*. Brusselas Lamberto Merchant 1687
- *Los seis primeros libros onze, y, doze de los Elementos de Euclides Megarense*. en casa de Lamberto Marchant. 1688

- *El arquitecto perfecto en el Arte Militar: Dividido en cinco libros. El 1º contiene la fortificación regular e Irregular a la Moderna...*, Bruselas, Casa de Lamberto Marchant, 1700.
-

El concepto de texto, en cuanto volumen que ocupa el libro, que maneja Medrano es que, debe ser manejable, y que se pueda llevar en el equipaje. En el prólogo del Perfecto Bombardero explica “.. *el andàr un militar cargado con un gran libro, tuve por acertado hazèr todas mis obras en libritos pequeños; y si con ellos , como este , note hè acertado à agradàr , agradéceme , amigo lector , la buena voluntad con que te los hè presentado...*” [sic][Fernández de Medrano, S. 1691]

Los alumnos deberán de manejar textos en las clases, se huye de los apuntes, desgraciadamente esta metodología desaparecerá en su sucesora la Academia Real Matemática de Barcelona. El profesor ayudará a los alumnos a poder interpretar y utilizar el libro en las primeras clases.

3.2.2.3.5 Metodología

Medrano huye del modelo de clase magistral, los alumnos deben de hacer prácticas constantes en las clases escribió y como referencia de fortificación podrán visitar las murallas.¹⁵ Los alumnos trabajaban en su casa por la mañana.

Las clases tenían lugar por la tarde durante dos horas. Y eran por la tarde,

El desarrollo de las clases muestra a un profesor muy preocupado por el alumno y sobre todo por lograr éxito en la transmisión del conocimiento. Como ejemplo de esta preocupación escribe en su primer texto, *Rudimentos geometricos y militares*.

“.como logre el intento con que me puse a escribir esta Obra, que e presentar en ella la luz de su introducción á todos los aficionados á las Mathematicas ; pretendiendo mas el aplauso , y utilidad de estos que temiendo , por esta razón la Censura de los otros pues no escribo para los peritos , sino para los principiantes.....pues poniendo la aplicación

¹⁵ Una descripción de las clases se puede ver en [Loidi, J.N. 2004] pp 417-422

de su desseo. Y si se ofreciere alguna dificultad en la inteligencia , suplirán esta falta lo agudo del ingenio del curioso y lo rendido de mi voluntad , que procura servirle” [sic]

3.2.2.3.6 Los alumnos

Los alumnos eran de varias nacionalidades, según [Loidi, J.N. 2004] los alumnos ibéricos venían a representar el 30% de los 20 alumnos anuales. Los alumnos eran alojados en los aposentos o cuarteles de la guarnición de Bruselas.

Dado que el archivo de la Academia se perdió tras un incendio, no se dispone de un listado de estos; [Loidi, J.N. 2004] ha estudiado en su tesis doctoral una lista de los alumnos más destacados.

Por su trascendencia en la formación reglada de la ingeniería es de destacar la figura de Jorge Prospero de Verboom que fue el fundador de la Real Academia de Barcelona, que tomará a la Academia de Bruselas como referencia. Este apartado se analizará en el punto 5.3.1.1.

3.2.2.3.7 Vidas paralelas

Aunque sea anecdótico y rememorando a Plutarco, merece la pena destacar un grado de paralelismo entre los dos directores de la Academia Real Mathematica y el de la Academia de Bruselas, o sea entre Juan de Herrera y Sebastián Medrano, ambos dirigieron dos centros que fueron innovadores en su época y se dedicaron a la formación reglada de los ingenieros, y ambos eran autodidactas.

3.3.3 La formación en instituciones religiosas

La formación en fortificación, que pueda ser asimilable a la que necesitaban aquellos que querían dedicarse a ello en el ejército y que se dispensasen en instituciones religiosas, en el Reino de España tendrán lugar en algunas instituciones de la Compañía de Jesús. En concreto en el Colegio Imperial.

El Colegio Imperial tiene su origen en el colegio de la Compañía de Jesús que funcionó desde el año 1572 hasta el año 1602 a partir de ese año se denominará Colegio Imperial de La Compañía de Jesús, y a partir de 1625 albergó a los Reales Estudios del Colegio Imperial desde el año 1625 hasta el año 1767 (año de expulsión de la Compañía de Jesús por el Rey Carlos III), a partir del año 1770 pasó a ser los Reales Estudios de San Isidro. [Simón Díaz, J. (1952)].

Aunque en ningún momento se consideró como un centro de formación reglada de ingeniería, en él existió estudios de los denominados de Re militari, del que formaron parte profesores tan relevantes como José Zaragoza,

A estos estudios asistían personas de familias nobles que querían hacer carrera en el mundo militar.

La enseñanza de las matemáticas en los jesuitas va ligado a su plan de estudios en concreto el *Ratio studiorum oficial 1599*. Dentro de este Plan de estudios se pueden ver en los epígrafes:

- *Oyentes y tiempo de matemáticas*. (en el que se indica que la clase transcurrirá en segundo Año de filosofía). [Amigó, G., & Alvarez, D.] pag. 23
- *Qué en el segundo*. (en este punto se explican las materias de filosofía natura a incluir) [Amigó, G., & Alvarez, D.] pag. 67
- *REGLAS DEL PROFESOR DE MATEMÁTICAS* (en este punto se indica los textos y su intensidad) [Amigó, G., & Alvarez, D.] pag. 70y 71

Dado que lo que se cursaba en estos centros, era de alguna manera un apoyo a aquellas personas querían hacer carrera, no se ha incluido en este estudio, Para los interesados, se recomienda la consulta de la Tesis Doctoral del Dr. Navarro Loidi [Loidi, J.N. 2004] Volumen 1 Capítulo III pp 156-249.

3.3.4 La formación en la Universidad

Las universidades, no participaron de forma directa en la formación de los ingenieros, aunque algunos de los ingenieros pasaron por las universidades donde recibieron formación elemental en matemáticas.

3.4 Países Bajos

La razón de analizar los Países Bajos es porque, en los Países Bajos, por primera vez una Escuela de Ingenieros se une a una Universidad y esto sucede en el año de 1600, conviene recordar que en España las enseñanzas técnicas pasan a estar incluidas en la Universidad en el año 1971 [Decreto 494/1971, de 11 de marzo, por el que se aprueba la estructura departamental del Instituto Politécnico Superior de Madrid y se constituye en Universidad Politécnica.].

En el año 1600, bajo los auspicios de Mauricio de Orange se constituye la Duytsche Mathematique¹⁶ que se establece como escuela de ingenieros en la Universidad de Leyden que estará en funcionamiento desde el 1600 hasta el 1665 [Krüger, J.].

Los Países bajos se habían constituido el 23 de enero de 1579, y desde el año 1590 hay una demanda creciente de ingenieros de fortificación, Simón Stevin¹⁷ publica en 1594 *Stercktebouwing* en el que estudia los modelos de fortificación que se basa en el modelo italiano, utilizando bastiones pentagonales (ver figura 12).

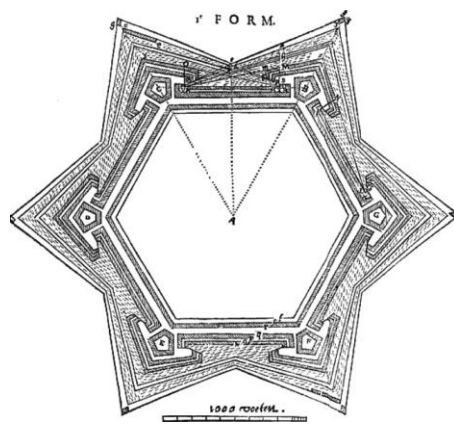


Fig. 12 Plano de una fortificación con seis bastiones pentagonales procede de *De Sterctebouwing* de Stevin [Krüger, J. (2010).]

En el 1600 se constituye, a requerimiento del Príncipe Mauricio y en base a un programa diseñado por Stevin denominado *Instruction*, una escuela de ingeniero militares. El programa de Stevin debía incluir: [Krüger, J.]

- **Aritmética**, incluidas las cuatro operaciones en números enteros, números racionales y números decimales; También la regla de tres en esos tres tipos de números
- **Planimetría**, para calcular áreas con el uso de números decimales

¹⁶ Este apartado se ha basado en los trabajos de [Krüger, J. (2010).], [Sarton, G. (1934).]

¹⁷ Simon Stevin era un matemático que ya en 1586 había publicado un tratado de estática *De Beghinselen der Weeghconst* (Los Principios del arte de pesar)

- **Medición del círculo**, partes de un círculo y área, ... subdividiendo figuras rectilíneas y figuras curvilíneas en varias partes, como triángulos u otras figuras, verificando cálculos
- **Mediciones por escrito** de diques
- **Trabajo de campo**, aprendiendo a usar las herramientas adecuadas
- **Mapear en papel** lo que se mide en el campo y viceversa
- **Fortificación**, aprender los nombres de las partes de modelos de madera o tierra, hacer mapas de pueblos, dibujar los perímetros de fuertes o pueblos con cuatro, cinco o más bastiones y replantearlos en el campo.

Esta instrucción fue interpretada en 1622 por Frans van Schooten, que fue profesor de Duytsche Mathematique, y se transformó en:

- **Aritmética**: extracción de raíces, números decimales, cálculo de áreas.
- **Geometría**: definiciones y axiomas, proposiciones de Euclides, construcciones, transformaciones.
- **La práctica de la topografía**: preparación, medición de distancias en tierra accesible y cálculos. (Ver figura 13)
- **Uso de tablas trigonométricas**, medición en terrenos inaccesibles, elaboración de mapas, medición de alturas (o profundidades), también mediciones sin uso de tablas.
- **Sólidos**: cálculos sobre todo tipo de formas y materiales, cálculo de contenido.
- **Fortificación**: definiciones, planes de fortificación, bastiones, cálculos.

La Duytsche Mathematique se cerró en 1679

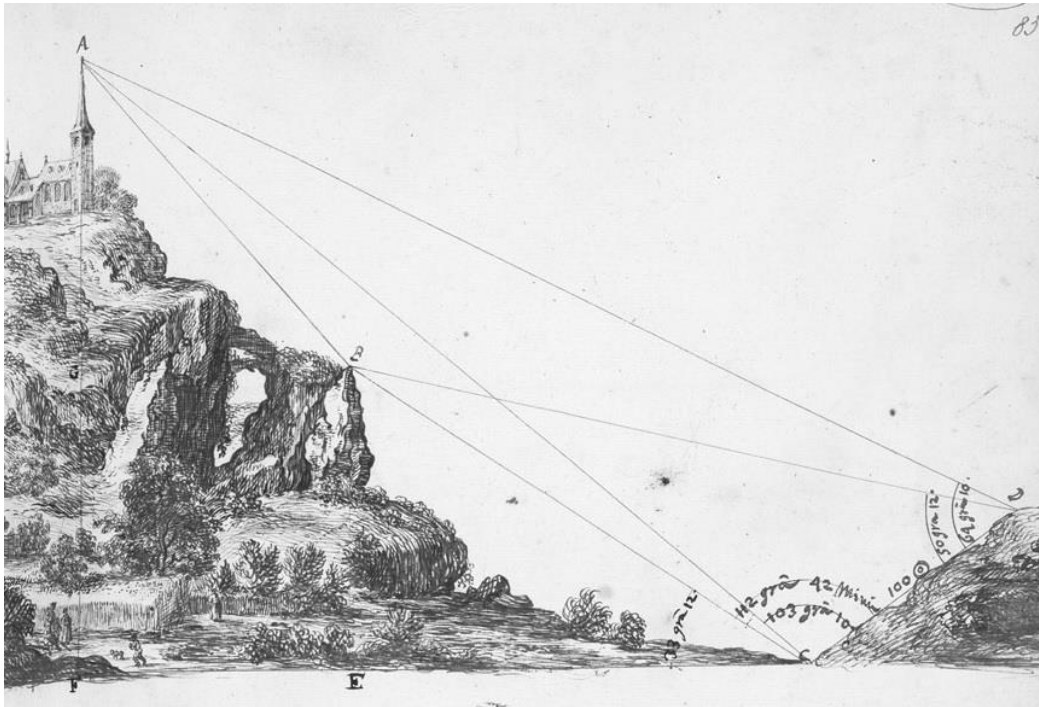


Fig. 13 Midiendo la distancia entre dos vértices de montaña A y B desde la base C y D
(esta figura corresponde con la figura 1 de [Krüger, J])

3.5 Francia

En Francia en el siglo XVII y anteriores no hay referencias de formación reglada para los ingenieros, pero en el siglo XVII hay tres antecedentes relevantes:

1. En este siglo Descartes el Discurso del método que va a ser una pieza clave en el racionalismo, que será la base del modelo francés que se discutirá en el punto 5.1
2. Se establece por parte de Vauban un cuerpo facultativo, el "Corps des ingénieurs du génie militaire" y posteriormente se establece un examen de competencia, que establece un determinado nivel de conocimientos para el ingreso en el cuerpo
3. En 1666 se funda, por Colbert, la Académie des Sciences que va a intervenir en el desarrollo de la enseñanza técnica en Francia.

3.5.1 El inicio del racionalismo

En el año 1637 Rene Descartes, publica de forma anónima, en Leiden el "Discurso del método para dirigir bien la razón y hallar la verdad en las ciencias, más la Dióptrica Los meteoros y la

Geometría que son los ensayos de este Método” (Discours de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences, plus La dioptrique, Les météores et La géométrie qui sont des essais de cette méthode), ver figura 14

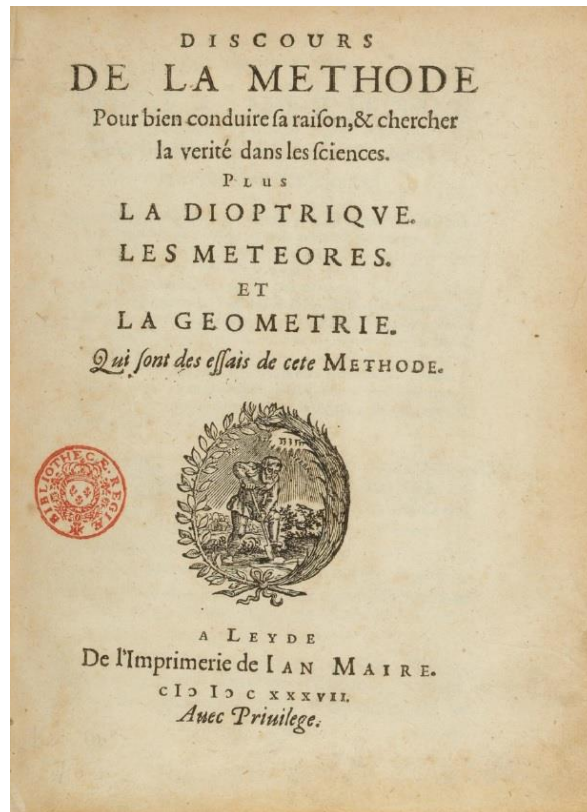


Fig. 14. Discurso del Método de René Descartes [Descartes, R. (1986)]. Source gallica.bnf.fr / BnF

Como dice el título esta publicación incluye el Discurso del Métodos junto con tres ensayos. En el discurso del método se ponen las bases del del modelo racional y en el ensayo sobre geometría se ponen las bases de la geometría analítica.

El racionalismo va a influir en el desarrollo de la ingeniería, como metodología de desarrollo. Como síntesis del modelo racionalista se puede reproducir los cuatro preceptos de la lógica que recomienda observar en su totalidad:

- El primero, no recibir como verdadera cosa alguna, como no supiese con evidencia que lo es; es decir, evitar cuidadosamente la precipitación y la prevención, y no comprender en mis juicios nada más que lo que se presentase tan clara y distintamente a mí espíritu, que no hubiese ninguna ocasión de ponerlo en duda.

- El segundo, dividir cada una de las dificultades, que examinare, en cuantas partes fuere posible y en cuantas requiriese su mejor solución. (Conviene recordar que esta metodología es la que se utiliza para resolver problemas, como por ejemplo en mecánica de fluidos la separación por zonas para la resolución de las ecuaciones de Navier Stokes)
- El tercero, conducir ordenadamente los pensamientos, empezando por los objetos más simples y fáciles de conocer, para ir ascendiendo poco a poco, gradualmente, hasta el conocimiento de los más complejos, e incluso suponiendo un orden entre los que no se preceden naturalmente los unos y los otros.
- Y el último, hacer en todo unos recuentos tan integrales y unas revisiones tan generales, que llegase a estar seguro de no omitir

Esta metodología va a influir de forma importante en el desarrollo de lo que se llamará el modelo francés que se analizará en el punto 5.2

3.5.2 Le corps du Genie

Durante el siglo XVII no se van a desarrollar procesos de formación reglada, de forma específica para los ingenieros, pero si se van a establecer niveles de conocimiento, necesarios para poder acceder al empleo de ingeniero, que se puede considerar un inicio en los modelos de formación reglada, en ellos el nivel de conocimientos exigido el futuro ingeniero lo ha de conseguir fuera del ámbito de la institución, los empleos incursos en el examen de competencia ingenieros y topógrafos están dentro del entorno militar.

La persona que lidera el desarrollo de la ingeniería en Francia en el siglo XVII es Sébastien Le Prestre de Vauban, que en 1655 accede al cargo de “ingénieur militaire responsable des fortifications” y en 1675 pasará a ser “commissaire des fortifications”. Vauban junto con el general holandés Menno van Coehoorn liderarán las dos principales escuelas de fortificación del siglo XVII [Corbalán, J. M. M. (2015)] que son la escuela francesa y la holandesa.

Vauban en el libro “Le directeur général des fortifications” (ver figura 12) establece los roles y responsabilidades de los distintos participantes en la dirección de fortificaciones. Las responsabilidades que analiza son las del:

- Director de las fortificaciones

- Director general
- Intendente de las fortificaciones
- Ingeniero ordinario
- Ingeniero en segunda

En este texto da un ejemplo de aplicación y analiza el cambio de las personas empleadas en la fortificación a la luz de esta metodología. Y por último hace una reflexión sobre la precipitación en las obras.

En 1675 [González, A. (2016)], Vauban funda el "Corps des ingénieurs du génie militaire", con lo que, de igual forma que el Reino de España hará en 1710, con esta fundación se reconoce el concepto de clase facultativa de los ingenieros dentro de la estructura militar. Se produce un hecho que se repetirá tanto en el campo militar como el civil que es la creación de un cuerpo facultativo

En 1697, de acuerdo con [Bousquet-Bressolier, C. (2008)], se organiza un examen de competencia que deberán de pasar los futuros ingenieros. Este examen incluirá, geometría, topografía, trigonometría, mecánica, aritmética, geografía, arquitectura civil y diseño. Vauban recomienda que una vez pasado el examen de competencia deberá de pasar un periodo de dos años de práctica que incluye, construcción civil, levantar un mapa, elaborar planos, construir. todo tipo de infraestructura (puentes, canales, etc.) y máquinas.

Además, Vauban demanda que el ingeniero no solo debe de dominar el cálculo necesario para su arte debe poder conversar con todos los oficios que se usan, así como conocer las herramientas necesarias. El modelo de ingeniero que requiere Vauban responde a la definición que del mismo se realiza en el "Diccionario militar o recolección alfabética de todos los términos propios al arte de la guerra. Explicación, y práctica de los trabajos que sirven al ataque, y defensa de las plazas", que como se indica es anterior a 1747., por tanto anterior a la fundación de la Escuela de Meziers.(ver punto 5.2.1.1).



Fig. 15 Le directeur général des fortifications [de Vauban, S. L. P.] Source gallica.bnf.fr / BnF

Como ejemplo de los atributos de los ingenieros que demanda su profesión, en este caso el de gestión de proyectos, está el famoso intercambio epistolar entre Vauban y el ministro de la guerra Louvois acerca de los procesos de adjudicación de proyectos.

El 17 de julio de 1683 el Ingeniero de Luis XIV se dirige al ministro de la Guerra y Superintendente de fortificaciones de Francia Louvois por carta (ver figura 16) para defender la calidad de las adjudicaciones frente al precio de las adjudicaciones y los asentistas deshonestos. En ella tras un pormenorizado análisis, Vauban le solicita unos criterios de adjudicación que salven estos problemas. La breve respuesta de Louvois es relevante: Se destacan dos párrafos el último de la carta de Vauban y la respuesta de Louvois:

Comentario de Vauban:

« En voilà assez, Monseigneur, pour faire voir l'imperfection de cette conduite : quittez-la donc en au nom de Dieu : RÉTABLISSEZ LA BONNE FOI :

DONNEZ LE PRIX DES OUVRAGES ET NE REFUSEZ PAS UN HONESTE SALAIRE A UN ENTRE PRENEUR QUE S'ACQUITTERA DE SON DEVOIR. CE SERA TOUJOURS LE MEILLEUR MARCHÉ QUE VOUS PUISSIEZ TROUVER. » (VAUBAN) [sic]

Respuesta de Louvois

« Ecartez sans faiblesse les méchants entrepreneurs, il en est assez de bons pour construire nos bastions, nos quartiers, nos manufactures et nos bâtiments : n'ayez rapports qu'avec de gens de foi et d'honneur et parmi ceux-ci cherchez le bon marché ». (Réponse de Louvois à Vauban), le 6 août 1683 [sic]

La respuesta del ministro de la guerra identifica algunos de los alcances de los ingenieros de esa época (Baluartes, planificación urbana, edificios industriales edificios etc.), que se han identificado en los apartados 2 y 3 de esta tesis, que son personas que actúan en nombre del estado tanto en la dirección de obras como desarrolladores del proyecto. Y sobre estos atributos que pone de manifiesto el texto de Vauban el ministro exige un atributo adicional y es que el ingeniero debe de establecer soluciones óptimas en la ratio precio/calidad.

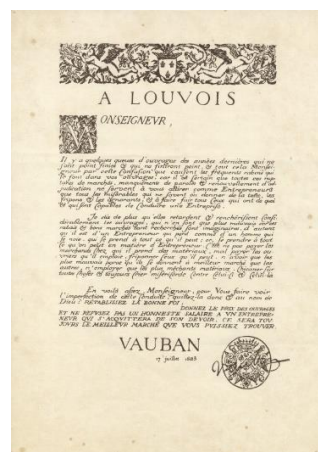


Fig. 16 Lettre de Vauban à Louvois¹⁸

Como se ha indicado en este siglo, no existe en Francia ningún proceso de formación reglada. Aunque debido al examen de competencia que se establece en 1697, se pone en marcha un proceso de selección basado en el conocimiento que dará lugar 50 años después al establecimiento de la Escuela de Meziers. Para la preparación del examen de competencia existen centros formativos de los que sobresalen los de la compañía de Jesús, ver punto 3.2.3,

¹⁸ <http://www.sos-marches-publics.com/critique-de-la-notion-de-moins-disant-par-rapport-au-mieux-disant-dans-les-marches-publics-en-1683-vauban-deja/>

utilizando tanto en Francia como en España la metodología de enseñanza de la Compañía, basada en el *Ratio studiorum oficial* 1599.

Como ejemplo de la formación de la compañía de Jesús, están, de acuerdo con [Bousquet-Bressolier, C. (2008).], las notas tomadas por un alumno del padre Bourdin del colegio de Clermont y que luego Bourdin incluyó en su obra "*Le cours de mathématique représenté par figures & clairement expliqué, avec quantité de connoissances & pratiques nouvelles, le tout en faveur de la noblesse, & de ceux qui veulent apprendre en bref la mathématique du temps rapporté à la milice*" [sic] que editó en latín. Como se puede ver por el título, está orientado a la formación, pero conviene fijarse en el apartado de clase social del título que, como en España, tiene a la nobleza como objetivo.

3.5.3 L'Académie des Sciences

En el año 1666 el ministro Colbert funda "L'académie royale des sciences" en esta fundación van a participar científicos de la talla de Descartes, Pascal Fermat etc. La Academia es un instrumento de la realeza y entre otras funciones va a tener la del "examen de máquinas y las invenciones de todo tipo, que las deberán de realizar bajo demanda del Rey como una extensión administrativa [Delaunay, B. (2013)] pág. 13. Esto dará lugar, a partir de la renovación de 1690 de una interacción técnica-ciencia, puesto que los ojos que van a contemplar las invenciones técnicas son ojos que provienen de la ciencia. Esto dará frutos en el siglo XVIII¹⁹.

3.6 Inglaterra.

Dado que los antecedentes que se analizan están unidos a tiempos anteriores a 1707, año en el que se conforma el Reino de Gran Bretaña con la fusión de los reinos de Inglaterra y Escocia. Solo se revisarán hechos acontecidos en Inglaterra en este punto, la gran Bretaña se considerará en los puntos 4 y 5.

¹⁹ La pensée technique de l'Académie Royale des Sciences (1699-1750) (Doctoral dissertation, Université Panthéon-Sorbonne-Paris I).

Como en Francia en Inglaterra no se dan procesos de formación reglada, pero si se producen hechos relevantes en relación con el modelo de ingeniería que se va a desarrollar estos hechos se han considerado que son los siguientes:

1. En este siglo los ingenieros de fortificaciones se van a agrupar bajo la dirección del Board of Ordnance
2. La publicación bajo el reinado de Jacobo I del “Statute of Monopolies” que va a dar seguridad jurídica a los procesos de innovación técnica.
3. La publicación, por parte de Francis Bacon del “Novum organum” que va a ser una referencia en el modelo del empirismo, que va a influir tanto en el desarrollo del modelo de la ciencia, como en el desarrollo de la ingeniería
4. La Creación de la Royal Society

3.6.1 Los Ingenieros bajo “The Board of Ordnance”

Los ingenieros de fortificaciones ingleses, como cuerpo facultativo, tiene su origen a partir de la constitución del Board of Ordnance (se puede traducir como la Comision de Material militar). Para su análisis se ha utilizado “A history of the Ordnance Survey”

El Board of Ordnance es una de las instituciones más antiguas del país. Su constitución está relacionada con el establecimiento del Royal Arsenal en la Torre de Londres, posteriormente en la época isabelina, se convirtió en un Departamento de Estado de carácter cívico militar. El objetivo del Board era el del “suministro de: piezas de artillería y otros tipos de armamentos, pólvora y municiones, tanto a la Royal Navy como al ejército y supervisar la construcción y mantenimiento de fortificaciones o cualquiera otra construcción militar”. La estructura del Board estaba compuesta por seis personas cuya denominación era la siguiente: un área de gobierno: el Master of Board (El responsable), el Lieutenant General y cuatro departamentos: el Surveyor General, el Clerk of Ordnance, el Principal Storekeeper y el Clerk of Deliveries.

De todos, ellos nos interesan la figura del Surveyor General de él dependía, a través del Chief Engineer of England, el Engineering Service.

A título de ejemplo, el Chief Engineer, en 1683 establece las cualificaciones cartográficas de los ingenieros:

... to be well-skilled in ali the parts of the Mathematics, more particularly in Stereometry, Altimetry, and Geodesic. To take Distances, Heights, Depths, Surveys of Land, Measures of solid Bodies, and to cut any part of ground to a proportion given; ... and to be perfect in Architecture, civil and military, ... to draw and design the situation of any place, in their due Prospects, Uprights, and Perspective; ... To keep perfect draughts of

... the Fortifications, Forts, and Fortresses of Our Kingdoms, their situation, figure, and profile ...To make Plots or Models of all manner of Fortifications, both Forts or Camps, commanded by Us to be erected for Our Service ... [sic]

[Seymour, W. A. (Ed.). (1980)] pág 3.

Los ingenieros de la Ordnance van a formarse por el procedimiento tradicional de mentorización y autodidactismo junto con los manuales de los que disponían, que existían al efecto. y que lo que recomendaban eran prácticas de éxito sin ningún fundamento científico, como pasaba en el resto de los países. O bien viajando a otros países para analizar los distintos procesos de fortificación. Los ingenieros militares pasarían a formar un cuerpo específico en el siglo XVIII. (ver punto 6.1.1)

3.6.2 El Estatuto de Monopolios de 1623 “Statute of Monopolies”

Para este apartado se ha seguido el trabajo realizado por [Capón, F. J. S. (2016)] capítulo primero.

El desarrollo tecnológico tiene una de sus bases en la seguridad jurídica y el derecho de propiedad. En 1623 el parlamento británico reguló el otorgamiento de privilegios impidiendo que el monopolio recayese sobre cualquier tipo de actividad. Para la concesión monopolística era necesario que coincidiesen novedad y temporalidad, por lo que el Rey solo podía otorgar derechos monopolísticos

- Para aquellas actividades que van a significar **nuevas manufacturas** para el reino
- El que recibe el beneficio del monopolio es el **inventor**
- El monopolio incluye la producción y explotación **exclusiva** del producto inventado
- La duración del Monopolio será de 14 años.

Esta legislación estimula la creación industrial y la innovación del tejido industrial y es un acicate a la iniciativa privada. La finalidad es generar riqueza. El estado transfiere a los particulares la innovación del sistema industrial.

En este modelo el inventor pasa a ser es un operador económico al margen de los sistemas gremiales que, como veremos en el punto 4.2.7.5 elimina un freno en el desarrollo industrial, y sitúa a aquella persona que toma un riesgo de desarrollar un nuevo proceso industrial, incluyendo en el riesgo el riesgo económico, como una figura indispensable en el futuro desarrollo industrial.

Este es el inicio de un sistema de patentes británico que desembocaría en el futuro desarrollo industrial, y que dará, ya a Gran Bretaña, en el siglo XVIII y XIX una posición de liderazgo.

Este modelo estaría en total oposición con el modelo del Reino de España, en la figura de Campomanes que en su “Bosquejo de Política Económica Española delineado sobre el estado presente de sus intereses” propone premiar en metálico las innovaciones antes de conceder privilegios de patente [Roncal, A. M. M. (1996)] pag 166.

3.6.3 La publicación, por parte de Francis Bacon del “Novum organum”

En 1620 el Canciller Francis Bacon publica el “Novum Organum” (ver figura 17) que será una referencia muy importante en el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología, sobre su obra, de acuerdo con Farrington que opina que es un driver fundamental que “el conocimiento debe de dar su fruto en obras y que ciencia debe aplicarse a la industria”. Este modelo va a contraponerse con el modelo cartesiano.

Francis Bacon no solo proclamo la finalidad de traer el conocimiento del cielo a la tierra, de lo especulativo a lo experimental, sino que también describió el método inductivo por el que esta transferencia podría ser efectuada. [Gottschalk, L. R., MacKinney, L. C., & Pritchard, E. H. (1969)]. Pág. 498

De acuerdo con Farrington [Farrington, B., & de la Cuesta, R. R. (1971).] la idea vector de Bacon *“Consiste simplemente en que el conocimiento debería de dar su fruto en obras, que la ciencia debería ser aplicable a la industria, que los hombres deberían tomar como un deber sagrado el organizarse con vistas a mejorar y transformar las condiciones de vida.”*[sic]

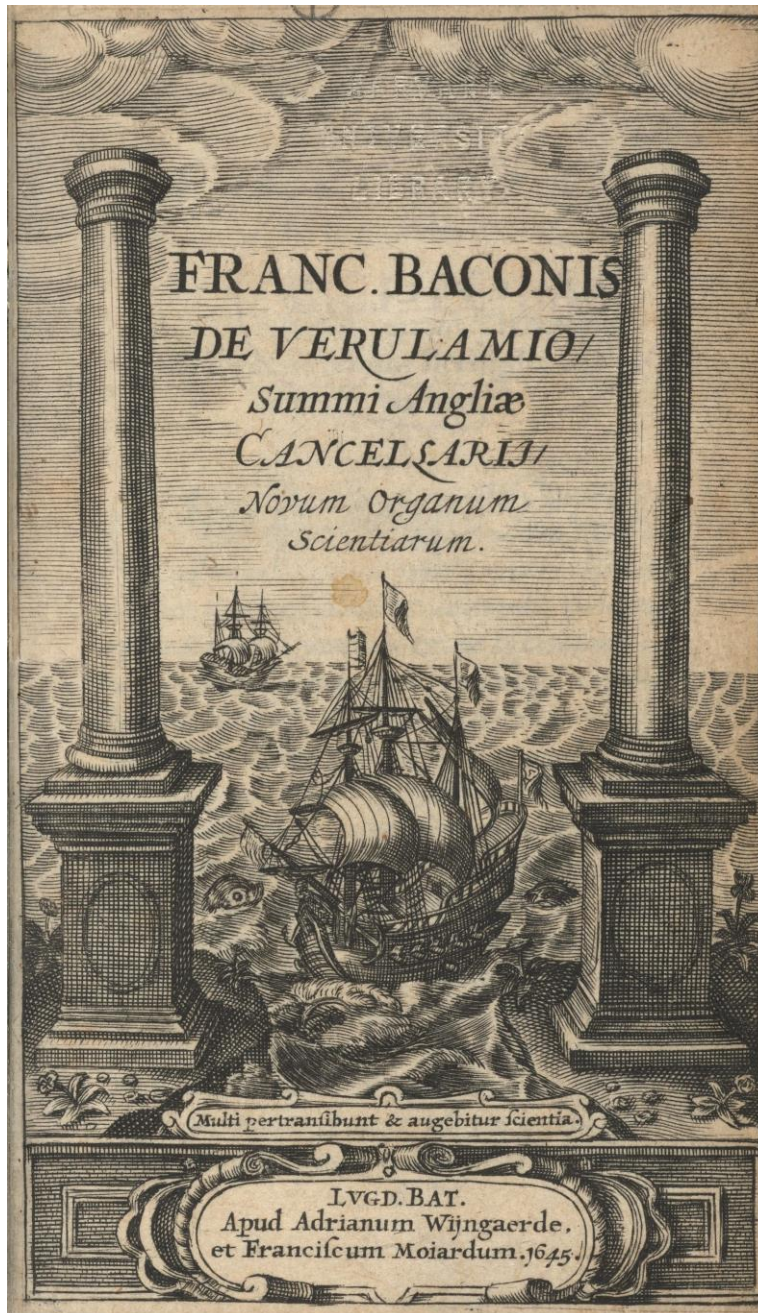


Fig. 17 Novum Organum [Bacon, F. (1985).]

El modelo que propugna Bacon influirá de forma determinante en el desarrollo de la tecnología inglesa y en la revolución industrial, hasta el punto de ser considerado el filósofo de revolución industrial.

Si se visita la obra citada encontramos algunas citas del autor acerca de la utilidad de la ciencia:

- *“Finalmente queremos advertir a todos los hombres que piensen en el verdadero fin de la ciencia y no la busquen por el placer del alma o por amor a la disputa o para menospreciar a los demás, o por el propio interés o por fama o poder personal u otros fines inferiores de este tipo, sino **con vistas al beneficio y necesidades de la vida** y que la cultiven y perfeccionen en espíritu de caridad” Prefacio pág. 48*
- *“Pero la verdadera y legítima meta de las ciencias no es otra que dotar a la vida humana de **nuevos descubrimientos y recursos**”. Aforismo 81 pág. 109*
- *“Y estos mismos descubrimientos de los que ahora hacemos mención fueron más antiguos que la filosofía y las artes intelectuales, de forma que, si hay que decir la verdad, **cuando comenzaron estas ciencias racionales y dogmáticas, cesó el descubrimiento de obras útiles**” Aforismo 83 pág. 113*
- *“Pero en las artes y en las ciencias, al igual que en las minas, **todo debe clamar por nuevas obras y ulteriores progresos**. Así deberían ir las cosas, pero no van así, sino que —como ya hemos dicho— la administración y gobierno del saber han impedido fuertemente el progreso de las ciencias”. Aforismo 90 pág. 120*
- *“Trataron las ciencias los empíricos y los dogmáticos. Los empíricos, a la manera de hormigas, se limitan a acumular y a consumir. Los racionalistas, como las arañas, sacan de sí mismos la tela. La vía intermedia, sin embargo, es la de la abeja que obtiene la materia de las flores del jardín y del campo, pero que la transforma y elabora con su propia capacidad La manera de proceder de la verdadera filosofía es similar, pues no se apoya única o fundamentalmente en las fuerzas de la mente y no se limita a conservar intacta en la memoria la materia procedente de la historia natural y de los experimentos mecánicos, sino que la transforma y elabora en el entendimiento. **Por tanto, hay motivos para albergar esperanzas a partir de una unión más estrecha y correcta de estas dos facultades (la experimental y la racional) de lo que hasta el presente ha ocurrido**”. Aforismo 95 pág. 124*
- *“Pero, en cualquier caso, y como ya hemos dicho, sólo cabe albergar esperanzas en una regeneración de las ciencias, de forma que sean extraídas con un método seguro a **partir de la experiencia y sean reconducidas de nuevo a ella**, cosa que, hasta ahora, según pensamos, nadie afirmará que haya sido hecho o pensado” Aforismo 96 pág. 125 [sic]*

Como se ha indicado El Canciller Bacon propugna el método inductivo, y se puede comprobar visitando de nuevo su obra, en las siguientes citas:

- *Por eso las ciencias necesitan de **una forma de inducción tal que disuelva y separe la experiencia, concluyendo necesariamente tras las debidas exclusiones y rechazos.** Capítulo de la Distribución de la Obra Pág. 53*
- *Pero la esperanza de un **ulterior progreso de las ciencias sólo estará bien fundada cuando en la Historia Natural se reciban y recojan muchos experimentos que en sí no son de ningún uso, pero que son decisivos para el descubrimiento de las causas y de los axiomas.** Acostumbramos a llamar a estos experimentos portadores de luz, en oposición a los portadores de fruto. Y dichos experimentos poseen en sí la admirable virtud y condición de no engañar o frustrar jamás y nos servimos de ellos no para producir algún efecto, sino para revelar alguna causa natural; sea cual sea su resultado responden igualmente al fin y solucionan el problema. Aforismo 99 pág. 126*
- *Sin embargo, **la inducción útil al descubrimiento** y demostración de las ciencias de las artes debe separar la naturaleza por medio de los debidos rechazos y exclusiones finalmente concluir afirmativamente, tras tantas negaciones como sean precisa Es un procedimiento que hasta ahora no se ha puesto en práctica ni ha sido intentado siquiera, excepto acaso por Platón, el cual usa ciertamente de esta forma de inducción para la obtención de definiciones e ideas. **Pero para una buena y legítima configuración de esta inducción demostración es necesario aplicar muchas cosas que hasta ahora no han sido objeto de consideración** de ningún mortal, de forma que hay que consagrar a ella más esfuerzos de los invertidos hasta ahora en el silogismo. Y se ha de usar de la ayuda de esta inducción no sólo para descubrir los axiomas, sino también para definir las nociones. La esperanza máxima reside, sin duda, en esta inducción. Aforismo 105 pág. 130 [sic]*

Es importante el reconocimiento que hace D’Alambert al Canciller Bacon, en el Artículo “Explication détaillée du système des connaissances humaines”, a través de dos epígrafes

- Observations sur la division des sciences du chancelier bacon.
- Système général de la connaissance humaine suivant le chancelier bacon

[Diderot, D. (1765)]

3.6.4 La Royal Society

La Royal Society nace en 1664, como un modelo asociacionista entre un grupo de filósofos naturales y científicos. A diferencia del modelo de la Academia de Ciencias Francesa, aunque tiene el apoyo de la corona (Carlos II), no es un instrumento de la Corona. En ella participarán entre otros: el fundador de la teoría de la elasticidad (Robert Hooke), el matemático John Wallis que utiliza la estática para para el cálculo de cargas entre otros. Esta institución inaugura el modelo asociacionista que posteriormente utilizará la ingeniería. Tiene como lema *Nullius in verba* (en la palabra de nadie). Por esta institución ha pasado toda la ciencia de Gran Bretaña. A Título de ejemplo Isaac Newton fue su presidente en el periodo 1703-1727.

En la Royal Society se formaron ocho equipos [Santos, C. S. (2018)]

1. **Mecánico**, para examinar los inventos mecánicos, (el más numeroso)
2. Astronómico y óptico
3. Anatómico
4. Químico
5. Agrícola o Geórgico
6. **Historias de las artes.**
7. Comité “Para recoger todos los fenómenos de la naturaleza hasta ahora observados y todos los experimentos realizados y registrados”
8. Comité para la Correspondencia

A su vez en 1665 comenzaron la publicación de la revista de *Philosophical Transactions* que ha cumplido 355 años (ver figura 18), en ella publicaron los principales científicos europeos entre ellos: Isaac Newton, Robert Boyle, Christopher Wren, Robert Hooke, Johannes Hevelius, Giovanni Domenico Cassini, Adrien Auzout, Antoni van Leeuwenhoek, Christiaan Huygens, Jacob Bernoulli and Gottfried Leibnitz [Fyfe, A., McDougall-Waters, J., & Moxham, N. J. (2014)] Para entender que significa este modelo asociacionista, es opinión del autor de esta tesis la reproducción de la declaración de principios que en el número 1 de la *Philosophical Transactions*, en el año 1665 escribe el editor:

Whereas there is nothing more necessary for promoting the improvement of Philosophical Matters, than the communicating to such , as apply their Studies and Endeavours that way, such things as are discovered-or put in practice by others ; It is therefore thought fit to employ the Press, as the most proper way to gratified those,

*whose engagement in such Studies, and delight in the advancement. of Learning and profitable Discoveries doth, entitle them to. the knowledge of what this Kingdom, or other parts of the World, do, from time; to time, afford, as well off the Progress of the Studies, Labors, and attempts of their complete Discoveries and Performances: To the end, that such Productions being clearly and truly communicated, desires after solide and useful knowledge may be further entertained , ingenious Endeavours and Undertakings cherished , and those, addicted to and conversant in such Matters, **may be invited and encouraged to search, try, and find out new things, impart their knowledge to one another, and contribute what they can to the Grand Design of improving ,Natural knowledge, and perfecting all Philosophical .Arts, and sciences.** All for the Glory of God, the Honor and Advantage of these Kingdoms, and the Universal Good of Mankind.*

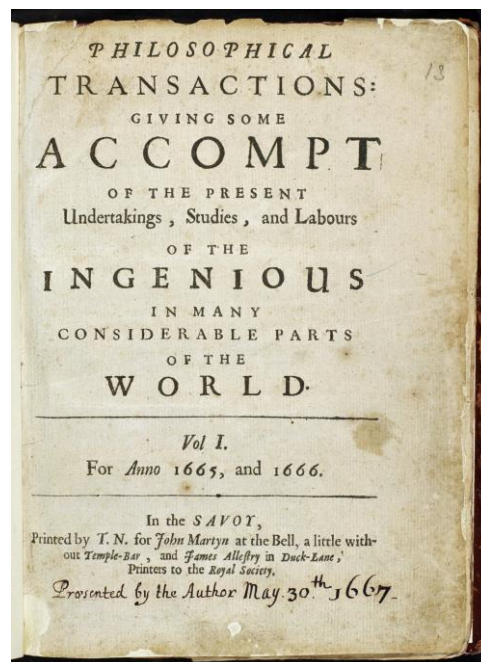


Fig. 18 Philosophical Transactions
Volume 1 frontispiece By Henry
Oldenburg- Philosophical Transactions,

3.7 Conclusiones

De los antecedentes revisados se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- En antecedentes de formación reglada civil, el Reino de España es el primero en plantearla para muchas de las profesiones que estaban comprendidas en las Artes, en la Institución de Academia Real Mathematica, de Juan de Herrera. En esta Academia, en su idea original, como consecuencia de haber cursado las distintas materias se daba titulación habilitante.
- En antecedentes de formación reglada ligada a la Universidad los Países Bajos son los primeros en plantearla, junto con la Universidad de Leyden
- En antecedentes de formación militar, el Reino de España tiene una gran experiencia de aulas en las que se mezclan las profesiones facultativas de artilleros e ingenieros, y es la primera en Europa de formar en la Academia de Bruselas, como especialidad (segundo curso) a Ingenieros. Básicamente se capacitaba en fortificación.
- En antecedentes en Francia se inicia el racionalismo y en Inglaterra se desarrolla el empirismo
- En antecedentes en Francia e Inglaterra se fundan dos Academias (L' Académie de Sciences y la Royal Society de gran influencia en el desarrollo del siglo XVIII. En el caso de Francia es una Academia asociada a la monarquía, y en el caso inglés es un proceso de asociacionismo entre persona con intereses coincidentes. En ambos casos se va a producir una interacción entre ingeniería y ciencia.
- En antecedentes en Francia se constituye el primer cuerpo facultativo de ingenieros "Le Corps de Genie"
- En antecedentes en Inglaterra se produce un hecho jurídico que va a tener un gran impacto en el desarrollo industrial el Statute of Monopolies, pues incentiva la iniciativa privada.

“Academy or School was instituted, endowed, and supported, for instructing the raw and inexperienced people belonging to the Military branch of this office, in the several parts of Mathematics necessary to qualify them for the service of the Artillery, and the business of Engineers”

King Charles II to the Board of Ordnance

[Bruneau, O. (2020).]

4.-LA DEMANDA DE FORMACIÓN DE INGENIEROS

4.1 Introducción

En este apartado se va a analizar la demanda de formación para los ingenieros en el siglo XVIII, teniendo en cuenta la restricción en el alcance de la palabra ingeniero como se vio en el punto 2.1, el análisis se va a hacer desde dos puntos de vista:

- Por tipo de demanda
- Por origen de la demanda

Cuando se busca demanda el diccionario de la Real Academia en la quinta acepción viene demanda como búsqueda o acción de buscar. En nuestro caso se va a centrar en la búsqueda de formación específica para ingenieros, que les permita su posterior desarrollo.

Por tanto, el alcance de la demanda en nuestro caso va a ser la búsqueda de ingenieros con una formación específica. Esta formación específica se puede adquirir:

- En base a un plan de estudios en un centro de formación. Este modelo será el que se de en Francia y España entre otros países
- En base a la experiencia y siguiendo un proceso de aprendizaje como se dará, en el Reino Unido. En este país los centros de formación de ingenieros serán muy posteriores y en este caso la palabra ingeniero irá ligada al dominio de una tecnología determinada (en base de que *engineer* deriva de *engine*).

Como se ha indicado este estudio, se va a limitar al primer caso

4.2 Tipo de demanda

Como se ha indicado la demanda es una búsqueda y esta búsqueda puede tener su origen ser en base a un requerimiento explícito (demanda explícita) o un requerimiento incluido de forma difusa (demanda implícita).

Este estudio se va a ceñir a la demanda de formación reglada de conocimientos de ingeniería

4.2.1 Explícita

En este caso el requerimiento establece de forma precisa las necesidades de formación a demandar al modelo educativo. Como ejemplo se tiene la Real Ordenanza e instrucción de 4

de julio de 1718 que publica Felipe V, dos años después de la fundación de la Academia de Matemáticas de Barcelona (en ese momento la Academia no tenía aún un currículo formativo); en la Real Ordenanza el Rey establece lo siguiente:

*“EL REY. Por quanto, conviniendo a mi servicio, y al bien de mis Vasallos, tener noticias individuales de la situación de las Ciudades, Villas, y Lugares, sus distancias, **la calidad de los** Caminos, cursos de los Rios, estado de los Puentes, y otras circunstancias, como también **la constitución, y estado** de las Plazas de Guerra, Puertos de Mar, Bahías y Costas, así por lo que este conocimiento **se necesita para el acierto de las resoluciones de mi Real servicio**, y para la comodidad de los Pasajeros, Carreterías, y para otros interesados, como por el deseo que tengo de mandar hacer en los refeidos Caminos, en los Puentes, y en otros parages, los reparos, y obras que se consideren convenientes, haciendo construir también nuevos Puentes, y abrir otros Caminos, si fuere menester, obviando rodeos y malos pasas, a fin de facilitar la comodidad de los pasajeros, y comerciantes, y la menos costosa conducción de los frutos, ganados y generos, de unos Pueblos a otros, comerciando, y comunicándose con recíproca conveniencia; queriendo también, que al mismo tiempo, y para el mismo importante fin, y otros, se reparen, mejoren, y se conserven los Puertos de Mar, y que se reconozcan los Rios que se pudieren hacer navegables, y parages que pudieren ser apropósito para abrir canales, y Cequias, descubriendo también las aguas subterranas, que no solo asegurasen el aumento del comercio, y el mayor beneficio de los pueblos, por la facilidad, y poquísimo gasto con que se transportarían los frutos, materiales, y generos de unas Provincias a otras, sino que diesen disposición para Molinos, Batanes, y otros ingeniso, y para el regadíos de diferentes campos, y tierras, que no producen por faltarles este beneficio; esperando Yo, que con el de la Paz podré poner en ejecución el ánimo que siempre he tenido de fomentar, y costear gran parte de estas obras con caudales de mi Real Hacienda, y aun con el trabajo de algunas de mis Tropas, que*

*emplearé gustoso en lo que tanto puede conducir al bien común de mis Vasallos; y hallandome bien informado de que en diversas ocasiones se han construido muchas Fortificaciones, y otras obras inútiles en las Plazas, y Puertos de Mar, y desperdiciándose en ellas considerables caudales de mi Real Hacienda, y de los Pueblos, por haberse **executado sin planta, ni dirección de Ingenieros profesos de inteligencia**, y sin la intervención de Ministros de Hacienda, **que es precisa siempre en semejantes gastos**, a causa de la licencia que algunos Cabos Militares, y otros se han tomado, de determinar, y hacer obras, sin que proceda orden, ni proyecto aprobado por Mí, de que ha resultado también haberse hecho algunas muy defectuosas, y otras enteramente contrarias a la defensa de las mismas plazas, por lo qual ha sido preciso demolerlas, causando nuevos gastos, con gran detrimento de mi Hacienda; y deseando obviar en adelante estos, y otros inconvenientes, prescribiendo a los Ingenieros, y demás personas a quienes tocara, las reglas con que han de proceder en estas dos importancias, y atender a mi mayor servicio: he resuelto establecerlas en la forma que distintamente se explican en la Instrucción siguiente.” [sic]*

En este requerimiento (ver figura 19) se establece de forma explícita:

- Cuál es el alcance que se demanda al ingeniero
- La necesidad de un nivel de conocimiento determinado para evitar errores. Este mismo procedimiento el uso del error, para demandar formación reglada, será utilizado en la carta "Memoria sobre los medios de facilitar el comercio interior" que escriben Agustín de Betancourt y Juan de Peñalver en 1792, que tomando como referencia el estado de los caminos y los modos de transporte, proponen como una vía de solución el establecimiento de la que posteriormente será la Escuela de Caminos y Canales. [de Betancourt A, Lopez de Peñalver (1792)]

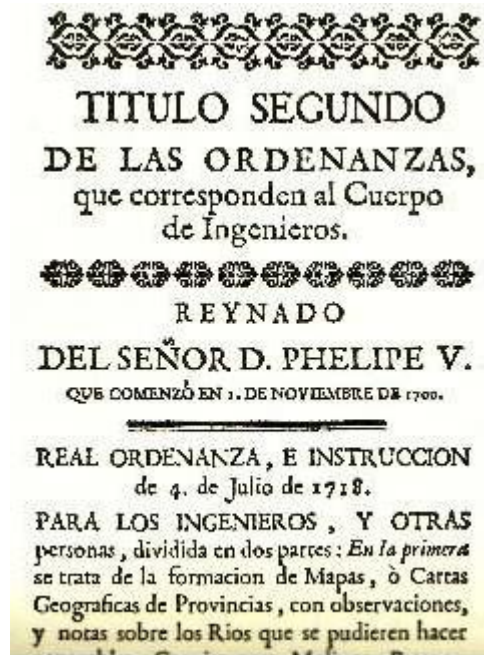


Fig. 19. R.O. de 4 de julio de 1718

4.2.2. Implícita

Se puede definir Demanda Implícita, de acuerdo con [Ibáñez, J. (Ed) (1998)], cuando existe un desajuste entre las necesidades de formación y el modelo de oferta.

Como ejemplos de demanda implícita tenemos los siguientes:

4.2.2.1 Requerimientos de Felipe II

Felipe II en el caso de la Institución de la “Academia Real Mathematica” como se ha visto en el punto 3.2.1, manifiesta que:

*“su deseo era que en nuestro reino haya **hombres expertos** que **entiendan bien** las matemáticas y la arquitectura y las otras ciencias y facultades anejas... “*

“para el beneficio de nuestros súbditos y la provisión en nuestro reino de hombres con destreza en matemáticas, arquitectura y otras ciencias, hemos adoptado en nuestro servicio... para que organice en nuestra corte materias relacionadas con la cosmografía, geografía y

topografía, y a la vez enseñe matemáticas en la forma y lugar en que ordenemos. [sic] [Barreno, P. G (2006)].

En este caso el requerimiento va unido al diseño de un centro de formación, pero el Rey no establece requerimientos detallados, con lo que el responsable de diseñar el centro de formación dispone de una gran libertad para establecer los distintos currículos

Otro requerimiento de personal experto, pero no ligado a oferta de formación es cuando el Rey requiere ingenieros con experiencia como se da en la petición que hace con cartas en 1578 al reclamar a Colonna:

“le enbiase alguna persona avil en cosas de fortificación”, que tiene como consecuencia la llegada a la corte del ingeniero militar italiano Tiburcio Spannocchi. [sic] [Piris 2010]

En este requerimiento el Rey externaliza la ingeniería, contratando directamente a ingenieros reconocidos.

4.2.2.2 Requerimientos de Belidor

Cuando Belidor escribe el libro “La science des ingénieurs, dans la conduite des travaux de fortification et d'architecture civile”, que va a introducir, de forma novedosa, criterios científicos, en los desarrollos de los trabajos de los ingenieros, en su prefacio escribe:

« Si l'on considère tous les différents travaux dont les ingénieurs ont la conduite, on conviendra qu'il n'y a point de profession qui exige plus de connaissance que la leur ».[sic]

Aquí Belidor demanda procesos de formación, conviene recordar que, en ese tiempo, él era Professeur Royal des Mathématiques aux Ecoles du même Corps (Artillería) y tenía experiencia en formación, en este requerimiento identifica la importancia del trabajo de los ingenieros con la necesidad de formación.

4.2.2.3 Requerimiento de Vauban

Cuando Vauban publica en 1685 « Le directeur général des fortifications » en la página 15 :

« c'est le but de cet ouvrage, qui ayant été fait pour l'instruction des gens nouvellement employés dans les Fortifications, qui n'ont pas

encore toutes les lumières requises à s'en pouvoir bien acquitter, nous les prions de le recevoir en bonne part, d'excuser les fautes qu'ils y trouveront. » [sic]

Vauban establece la necesidad de la instrucción en el mundo de los ingenieros.

Es necesario recordar que Vauban fundó el corps du Génie o Cuerpo de Ingenieros del Ejército en 1672, al que con posterioridad se funda en 1716 otro cuerpo facultativo, en este caso no militar, el Corps des Ponts et Chaussées, y para el cual establece unos requerimientos de conocimiento que se pondrán de manifiesto mediante un examen para acceder al cuerpo de ingenieros a partir de 1691.

Pero Vauban no pudo conseguir en Francia durante su ejercicio la fundación de una Academia que pudiera dotar de los necesarios conocimientos matemáticos a los cuerpos facultativos de ingeniería, frente a Medrano que estableció la Academia de Bruselas y puso las raíces para la Academia de Barcelona PAG 525 [Guimaraens Igual, G. (2008)].

4.2.2.4 Requerimiento de Lopez Peñalver

Como se ha indicado la formación en Ingeniería ligada a fabricación y a desarrollos industriales aparecerá en el siglo XIX. Hasta entonces toda la formación de la que se dispone va ligada a modelo empíricos.

Pero al final del siglo si había publicaciones sobre sobre máquinas, aquellas que se consideraban necesarias para los proyectos de ingeniería civil, como la que publica Prony en 1790, en su libro *Nouvelle architecture hydraulique* (Vol. 1) (Section V, Des machines et des moteurs qu'on peut y appliquer , considérés avec les différentes circonstances physiques qui influent sur l'équilibre et le mouvement), que iban ligadas al desarrollo del currículo de l'Ecole des Ponts et Chaussées. Pero los técnicos que trabajaban en modelos industriales no tenían conocimientos científicos de fabricación sino solo modelos empíricos.

Pero López Peñalver en el *Discurso sobre la construcción de máquinas en grande* que está incluido en el *Catálogo del Real Gabinete de Máquinas* [de Peñalver, J. L. (1794)], después de comentar temas de semejanza y su toma en consideración para la réplica de modelos escribe:

*Es muy comun el creer, **que no se necesitan principios teóricos para construir**, ni aun para inventar máquinas; y para apoyar este*

*error perjudicial, se citan los nombres de algunos, que con grande imaginación y **corta instrucción**, llegaron á inventar, algunas útiles ó ingeniosas, repitiendo que los mayores descubrimientos ésta especie, se deben á hombres sin principios, y no á aquellos que se distinguieron en los cálculos más sublimes*
[sic]

Lopez Peñalver demanda la necesidad de conocimiento estructurado, por parte del constructor de máquinas, del ciclo de vida de las máquinas. Para lo que utiliza diversos ejemplos de cómo la no-aplicación de la teoría de la semejanza puede dar lugar a importantes fracasos

4.3 Origen de la demanda

En el estudio de la demanda en función de su origen, el análisis se ha realizado en base al Reino de España, solo se ha analizado otros orígenes en el caso de lo que se podría llamar la no demanda, que son los entornos manufactureros ya que en este siglo su desarrollo no va a demandar ingenieros formados, su desarrollo está incluido en lo que se ha llamado, con mayor o menor fortuna, la protoindustrialización.

Como ya se ha indicado cuando se habla de demanda de formación en ingeniería, hay que recordar, como ya se ha indicado a que se llama ingeniería y cuál era el alcance de este vocablo en el siglo XVIII. En este estudio se ha establecido una taxonomía del origen y que se puede resumir en las siguientes ramas:

- Las infraestructuras en las que se incluirán, los caminos, los canales y los puertos.
- La defensa del territorio, que incluirá todos los procesos de fortificación
- La flota, esencial para el desarrollo del comercio y para la defensa
- La ordenación del territorio, en el caso del Reino de España, incluirá el desarrollo de nuevas ciudades.
- La minería para la gestión de los recursos naturales.

- El reconocimiento del territorio, en base a la necesidad de disponer de una cartografía adecuada.
- Y el modelo industrial, como excepción puesto que a lo largo del siglo XVIII no demandará ningún tipo de formación, aunque haya algún tipo de excepción, como son las propuestas de la Reales Sociedades Económicas de Amigos del País.

En cada apartado se mencionarán las necesidades de ingeniería y modelos de organización.

4.3.1 Infraestructuras

Fernández de Mesa en su publicación de 1756 escribía “Es una Monarquía sin cómodos Caminos, una Nave sin remos una Ave sin alas, y un Cuerpo paralítico, en que no puede correr como conviene el jugo del gobierno, y economía” [Fernández de Mesa, T. M. (1756).] página 6

En el imperio romano para el diseño de calzadas, acueductos, puente, puertos y canales Las infraestructuras siempre han demandado la figura del Ingeniero (ver figura 20). Como un ejemplo de esta demanda está la relación de Plinio cuando fue gobernador de Bitinia y plantea al emperador Trajano la construcción de un canal que conecte el lago de Nicomedia con el mar, con el fin de mejorar el comercio interior y solicita al emperador “*Ahora si os corresponde, si lo creéis adecuado, enviar un topógrafo o un ingeniero para que determine con un estudio cuidadoso , si el lago está por encima del nivel del mar*” [Hamey, L. A., & Hamey, J. A. (1990)] pag 6.

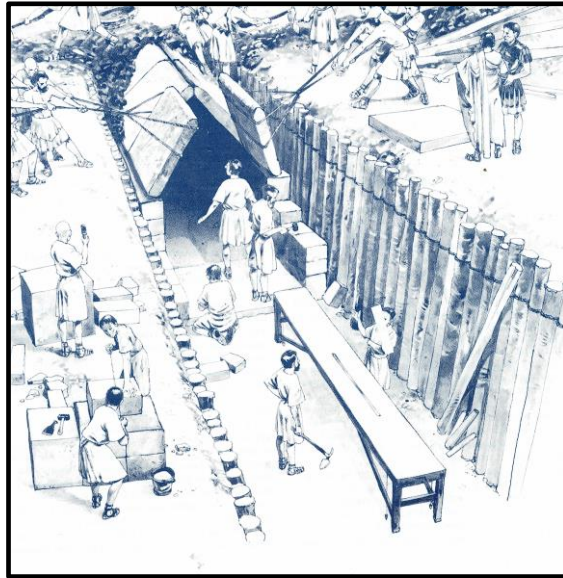


Fig. 20 Construcción de un acueducto. [Hamey, L. A., & Hamey, J. A. (1990)] pag 16

Las infraestructuras de transporte van a contribuir, de acuerdo con [Madrazo S.M. 2001,] a:

- Crear y mantener un mercado interior, y en el caso de los puertos un mercado exterior
- Unir distinto espacios sociales
- Comunicar las ciudades con el mundo rural
- No considerar el transporte como un simple servicio a suministrar, sino como una distancia a superar y unos obstáculos a vencer,
- A integrar todos aquellos factores que definen una formación social
- Y en el caso del Reino de España, a la gobernanza de los territorios de ultramar.

Como ya se ha indicado, en el punto 4.2.1 en la R.O. de 1718 el Rey establece que los ingenieros militares se hagan responsable tanto de la infraestructura terrestres como fluviales durante el ciclo de vida, diseño, ampliación, reparación mantenimiento, incluyendo puertos y aguas subterráneas.

La situación de la red de carreteras en el Reino de España era dramática, prácticamente la mayoría de los caminos eran de los llamados caminos de herradura, que las hacía en gran parte intransitables para los carros como de referencia cuando el Rey Felipe V se desplaza a Figueras para su casamiento con María Luisa de Saboya, en 1701, necesitó 23 días [Martín Mora, Pepa (2017)].

Para poner remedio a esta situación la reforma de calzadas se asigna al servicio de Correos en 1716, El Reglamento General para la Dirección y Gobierno de los Oficios de Correo Mayor y Postas de España que se publica en 1720, donde se define una estructura radial. Prácticamente no se acomete un plan de infraestructuras hasta 1756, que se puede decir que es el primer plan de infraestructuras desde el imperio romano (ver Figura 21).



Fig. 21 Mapa de las Calzadas Romanas [MOP (1950)] pag 34

El mapa que se va a plantear es el descrito por Joseph Mathias Escrivano en 1757 (ver figura 22).



Fig. 22 Itinerario español o guía de caminos para ir desde Madrid a todas las ciudades de España (Caminos de ruedas) [Escribano, J. M. (1767)]

El Plan que va a desarrollar las nuevas infraestructuras se desarrollará a partir del Real Decreto de 1761²⁰, hasta 1774 el desarrollo de estos proyectos estará en manos de los ingenieros militares, a partir del año de 1779 los visados deberán de ser aprobado por la Real Academia de San Fernando. En 1799 se creará la Inspección General de Caminos y Canales, de la que dependerá a partir de ese momento la red y junto con esta inspección aparecerá el correspondiente cuerpo facultativo.

A final del siglo de acuerdo con Santos Madrazo [Madrazo, S., & Fontana, J. (1984).] se habían construido 1700 km de carreteras radiales más 300 km de carretera de la red transversal, junto con 700 puentes y 6000 alcantarillas. (ver figura 21).

La intervención en infraestructuras va a tener lugar tanto en la península y las islas como en los territorios de ultramar.

Otras infraestructuras para tener en cuenta son:

- La intervención en redes fluviales de las que destacan, por su volumen dos grandes proyectos el del Canal de Castilla y el Canal imperial de Aragón en el que se mezclaban transporte fluvial y capacidad de regadío. En Ultramar se desarrollan importantes proyectos de acueductos puentes etc. Ver figuras 23 y 24

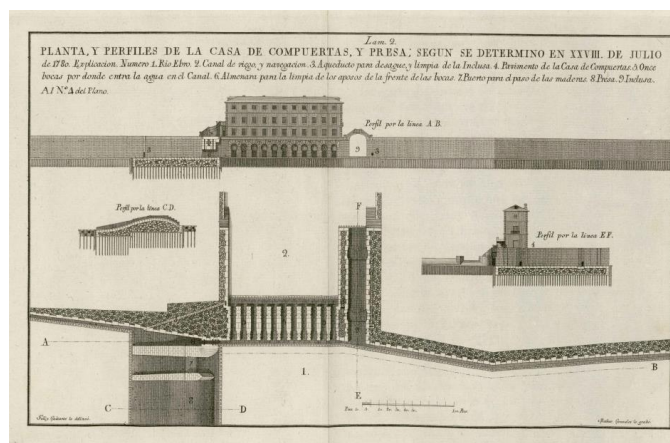


Fig. 23 Planta y perfil de la casa de compuertas y presa

[Sástago, C. D. (1796)] pag 38

²⁰ Copia del Real Decreto expedido para hacer caminos rectos, y sólidos en España, que faciliten el comercio de unas... (1761) - España. Rey (1759-1788: Carlos III)

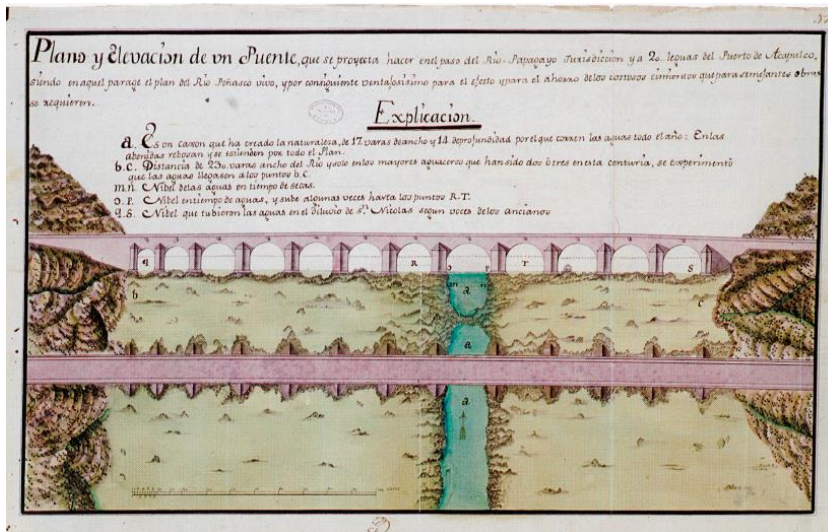


Fig. 24 Puentes de cantería sobre el río Papagayo, Nueva España.
 Archivo General de Indias, Sevilla, MP México, 394. [Colamar Albajar.
 M.A. 2019]

- La modernización de los puertos, clave para el comercio exterior ver figura 25

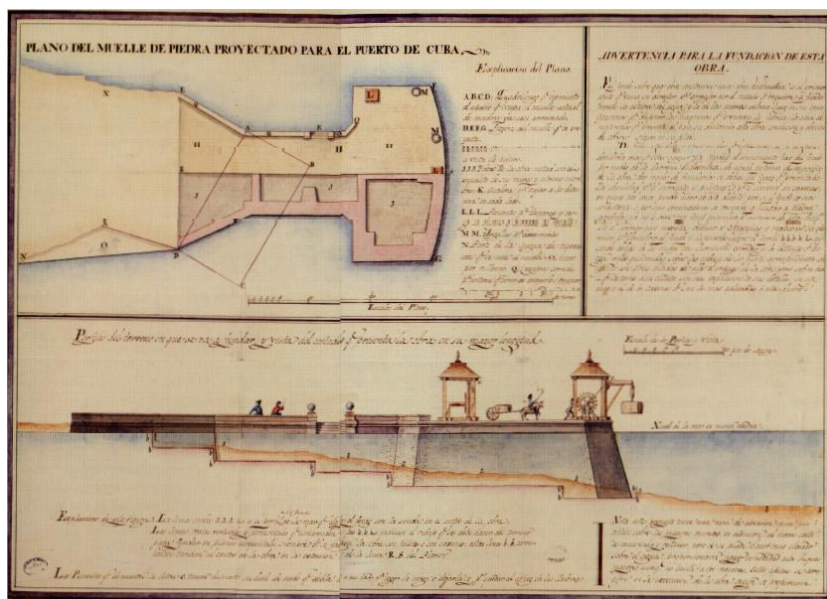


Fig.25 Muelle de Santiago de Cuba Archivo General de Indias,
 Sevilla, MP-Santo Domingo, 689 [Colamar Albajar. M.A. 2019]

La existencia de una red de infraestructura eficiente se considera una de las razones del triunfo de la revolución industrial en Gran Bretaña, que disponía de una red de carreteras y canales fluviales que abaratarán los costes de forma determinante.

4.3.2 Defensa del territorio

Los avances de la artillería a partir del siglo XV obligan a una respuesta por parte de la ingeniería de la fortificación, se cumple el dicho castellano que “cada veneno tiene su triaca”. Esto dará lugar un modelo de fortificación que es el modelo abaluartado [Carrillo de Albornoz, J. C. (2012)]. Esta dualidad artillería / fortificación forma un círculo virtuoso ya que cualquier innovación en uno de los dos empuja al otro a innovar para conjurar la innovación del contrario.

Con la venida de la nueva casa real se va a poner en marcha una consolidación de la ingeniería en el ejército. En 1710 Jorge Verboom es nombrado por Felipe V Director general de fortificaciones, en su nombramiento el monarca especifica:

Ingeniero general de mis Ejércitos, plazas y fortificaciones de todos mis Reinos, provincias y Estados en cualquier parte que sean y os hallárais, dándoos y concediéndoos todas las honras y exenciones que os pertenecen por razón de dicho puesto, el cual os he conferido para que atendáis a todas las funciones que se ofrecieren en este cargo, tanto en mis Ejércitos como en los sitios de plazas, ciudades, villas, puertos de mar y de tierra, presidios, castillos y otros cualquier puestos ocupados por los enemigos, donde os empleareis en dirigir los ataques, bombardeos, formar líneas de circunvalación y contravalación cuando fuera necesario, señalar y ordenar las trincheras, baterías y demás obras que halláreis convenir para reducirlos a nuestra obediencia, como así mismo hacer y ordenar las disposiciones para la defensa cuando el caso lo requiera, corriendo por vuestra dirección todas las fortificaciones que se hicieren en sus plantas y proyectos para hacer nuevas plazas, mudar o añadir fortificaciones a las antiguas, extinguir y deshacer las inútiles, para que yo pueda hacer juicio de ellas y daros las órdenes que convinieren a mi servicio, y para que en su consecuencia hagais o mandeis hacer los ajustes y precios de ellas para mayor bien y ventaja de mi servicio; y a este fin os encargo y mando hagais examen de los Ingenieros que se presentaren para entrar en mi servicio y ejercer este empleo, dándoles los testimonios según su mérito e inteligencia en este arte, para

*que sepan ejecutar las obras en la forma y realidad que requiere dicho arte y fábrica de ellas.*²¹[sic]

Jorge Verboom fue hecho prisionero por las tropas austracistas²², una vez liberado Jorge Verboom, escribe una carta al marqués de Bedmar²³ en la que hace la siguiente reflexión:

*“...siendo las plazas las que aseguran los dominios de los Príncipes, nada les importa mas que el resguardo de ellas, y que para esto importa al servicio de su Magestad tener en dichas Plazas **quien entienda y diriga sus fortificaciones según las reglas del Arte, y con la economía que requieren tan grandes y costosas fábricas, dando cuenta de todo lo que se ha de egecutar en ellas, por Planos y Memorias, sin que esta incumbencia quede al arbitrio de los que no entienden la profesión, de que han nacido los dañosos inconvenientes de haber hecho obras contra las mismas Plazas, y haberse desmolido muy útiles a sus defensas, y aún abandonado y desmoronado puestos enteros sin participación alguna de la Corte, ni aún de los Capitanes Generales, dejando a parte el grandísimo desperdicio que se ha hecho en dichas obras, como se está experimentando todos los días: Por egeemplo, en las obras nuevas que se han hecho en Lérida, y aún las viejas se están cayendo por haber sido fabricadas por Oficiales nescios, que no han sabido buscar el terreno sólido para establecer sus cimientos, por lo que quedará la Plaza abierta sino se remedia cuanto antes lo que no se puede hacer sin mucho gasto, y ha sucedido en Fraga, que habiendo gastado más de veinte mil Doblones en dinero, sin comprender los peones del País, no solamente no se ha hecho ninguna obra de provecho, pero se ha disminuido y quitado la defensa que la naturaleza le había dado.***

²¹ Real Decreto de 13 de enero de 1710

²² Austracista era el partidario del Archiduque Carlos de Austria

²³ Carta de Don Jorge Próspero de Verboom al Marqués de Bedmar de 4 de julio de 1712 sobre la importancia de que se determine la entera formación del Cuerpo de Ingenieros.



Fig. 27 Fortificaciones españolas en América. Siglos XVI a XVIII Figura perteneciente a [Maya, J. O. M. (2011) pag 86.

Por tanto, hay una necesidad de desarrollar múltiples proyectos de fortificación a lo largo del territorio, para lo que se necesitan profesionales formados. Como ejemplo de fortificaciones se van a examinar dos una en la frontera hispanoportuguesa *el Fuerte de la Concepción* y la otra en la República Oriental del Uruguay *el fuerte de la Ciudad de Montevideo*:

- Fuerte de la Concepción situado en las proximidades de Ciudad Rodrigo, en Aldea del Obispo. Sobre un anterior fuerte del siglo XVII se edifica a lo largo del siglo XVIII el Fuerte de la Concepción, entre los ingenieros militares que llevaron a cabo el proyecto destaca D. Pedro Moreau, comenzó el proyecto en 1735 y fue finalizado en 1762. De este proyecto se dispone del pliego de Condiciones para obra firmado por el ingeniero

Pêdro Moreau en 1736 que se puede revisar en [Rodriguez de la Flor Fernando (1983)] página 56. (ver figura 28)

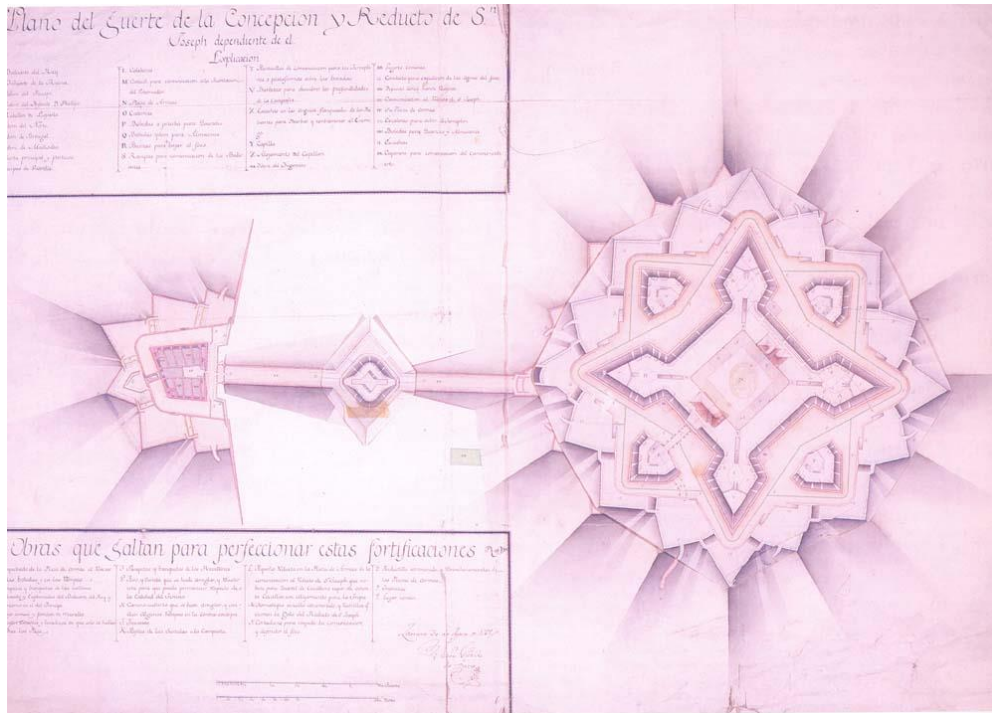


Fig. 28 Plano del Fuerte de la Concepción. Esta figura está disponible en <http://www.altorres.synology.me/fortificaciones/concepcion/plano04.jpg>

- Fuerte de San Felipe, proyectado para el frente de la tierra de la ciudad de Montevideo. Este proyecto lo realiza el Ingeniero Don Diego Cardoso, comenzando las obras en 1741 y concluyen en 1780. Constaba de cuatro baluartes y un revellín ubicado al este. Sus muros, alcanzaban una altura entre trece y doce varas, estaban construidos en piedra de sillería de granito gris, extraídas de canteras abiertas en los alrededores. El foso que la circundaba era de veinte varas de ancho, por quince de profundidad, en sus bordes se extendían terraplenes defensivos, alcanzando la contraescarpa una altura de cinco varas. Se accedía a la Ciudadela desde la ciudad por una puerta con rastrillo y puente levadizo. En su interior albergaba una plaza de armas delimitada por una galería porticada. [Mata, V., Arruabarrena, Y., & Ottati]. Ver figura 29

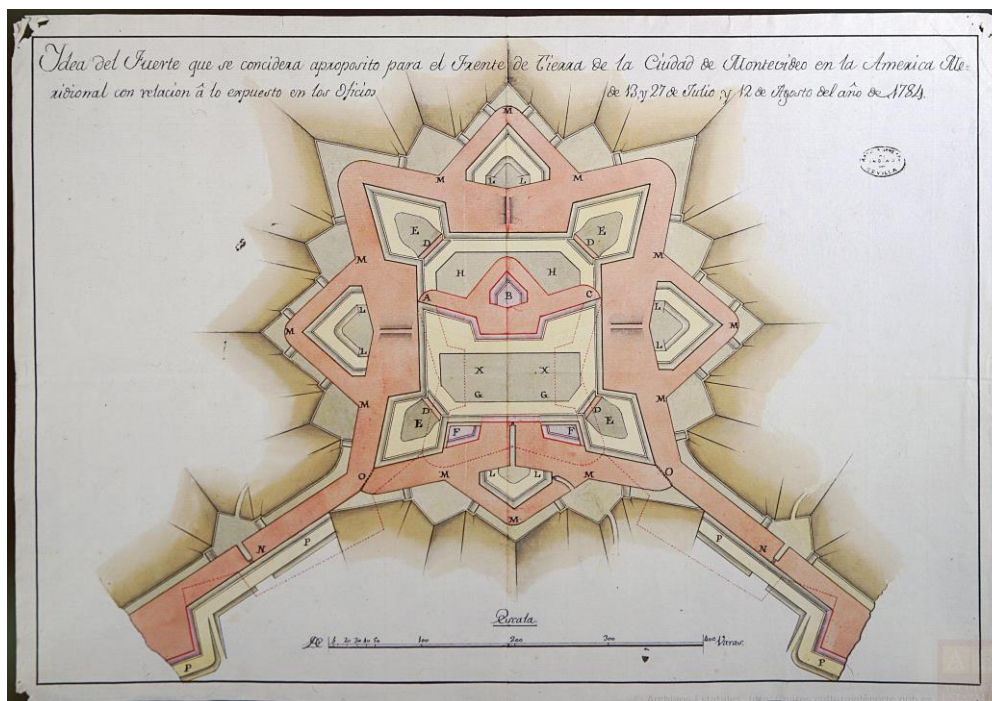


Fig. 29 "Idea del Fuerte que se considera [sic] a propósito para el Frente de Tierra de la Ciudad de Montevideo en la América Meridional." Archivo General de Indias, MP-BUENOS_AIRES,246

En todos estos proyectos se utiliza una escala en la que, la unidad de medida era la vara castellana, en la que una vara equivale a 83.5905cm. En las ordenanzas de 1768 se establece su empleo en la cartografía. Fue eliminada cuando España se adhirió al Sistema métrico decimal en 1889. En la figura 30 se puede ver una regla de medida de la casa J.Rabone&Sons. [Colamar Albajar. M.A. 2019].



Fig. 30 Regla de medida con las escalas en varas de Burgos. Figura incluida en [Colamar Albajar. M.A. 2019]. Página 301

4.3.3 La flota

La flota va a ejercer un papel fundamental, ya que va a contribuir de forma decisiva, en relación con el territorio a:

- Su exploración
- Su defensa
- Su población
- El desarrollo del comercio entre territorios
- Repatriación de metales nobles
-

De acuerdo con [Ocampo Suárez-Valdés, J. C. (2011)], el ministro de Luis XIV, Jean Baptiste Colbert, estimaba que de los 20.000 navíos mercantes europeos 16.000 eran holandeses frente a los 3.000 de Inglaterra y los 600 de Francia. Esto nos da una idea de la magnitud del comercio que se llevaba a cabo mediante la flota en el siglo XVII, así como del dominio del comercio marítimo por parte de los holandeses.

En este siglo se va a plantear el actuar sobre el ciclo de vida de los barcos que componían la flota o sea el diseño, fabricación y el desarrollo del mantenimiento, ya que el estado de la flota española era lamentable. Para lo cual la Arquitectura naval va a beneficiarse de los avances de la ciencia y la tecnología en este siglo.

En el apartado de diseño se va a desarrollar la construcción reglamentada que se puede esquematizar a través de varias etapas, de las que vamos a destacar las que corresponden con la vigencia de los tratados de Antonio Garrote, Antonio Gastañeta y la publicación del primer libro que incorpora, en España, la ciencia a la construcción de barcos de Jorge Juan:

- *Recopilación para la nueva fábrica de Baseles* de Francisco Antonio Garrote en 1691 que propone una construcción modular dividiendo los bajeles en seis órdenes que va a permitir un criterio crítico que es la intercambiabilidad de repuestos. En su explicación indica.

“En la tabla preçedente se hallarán las proporciones de todas las seis ordenes de Baxeles, que contiene este libro, con tanta regularidad, que la arboladura de â medio de los menores, le sirva â Proa â las maiores, como se ban siguiendo, y lo

mismo al contrario, que la arboladura de Proa de los maiores les sirva â medio â los menores, lo qual puede ser de mucho vtil en casso que suçeda ocaçión en la mar, que sea preçisso valerse vnos de otros.”[sic] [GARROTE, F. A. 1691]

En la Tabla 1 se reproduce parcialmente la primera tabla

VIII

Seis Ordenes de Baseles		Primera	Segunda	Tercera	Quarta	Quinta	Sexta
Num ^o	Separacion de Codvs. y Pulgadas	Cod:Pulg:	Cod:Pulg:	Cod:Pulg:	Cod:Pulg:	Cod:Pulg:	Cod:Pulg:
1	Manga, que corresponde a cada una de las seis ordenes	14 - 00	16 - 00	18 - 00	20 - 00	22 - 00	24 - 00
2	Quillas	42 - 00	48 - 00	54 - 00	60 - 00	66 - 00	72 - 00
3	Plan	07 - 00	08 - 00	09 - 00	10 - 00	11 - 00	12 - 00
4	Redel de Popa, y la Proa	05 - 06	06 - 00	06 - 18	07 - 12	08 - 06	09 - 00
5	Plan de la Popa llana	03 - 12	04 - 00	04 - 12	05 - 00	05 - 12	06 - 00
6	Yugo	10 - 12	12 - 00	13 - 12	15 - 00	16 - 12	18 - 00
7	Rasel de Popa	04 - 16	05 - 08	06 - 00	06 - 16	07 - 08	08 - 00
8	Rasel de Proa	01 - 13 $\frac{1}{3}$	01 - 18 $\frac{2}{3}$	02 - 00	02 - 05 $\frac{1}{3}$	02 - 10 $\frac{2}{3}$	02 - 16
9	Puntal de la Bodega	05 - 14	06 - 09	07 - 04	08 - 00	08 - 19	09 - 14

Tabla 1 de “Recopilación para la nueva fábrica de Baseles” transcripción de Moreno Soli et al 2008
Madrid

- En 1720 Antonio Gastañeta publica el tratado *“Proporciones de las medidas mas essempliales dadas por el theniente general de la Armada Real del Mar Occeano Don Antonio de Gastañeta, de Orden del Rey nuestro Señor , para la Fábrica de Navios y Fragatas de Guerra, que pueda montar desde ochenta Cañones hasta diez , cuyas Proporciones tiene resuelto su Magestad se observen por regla general en todos los Astilleros de España, como en las de la America CON LAS EXPLICACIONES DE LA CONSTRUCCION DE LA VARENGA MAESTRA, plano y perfil particular de un Navio de sesenta Cañones, con los largos, gruessos y anchos de los Materiales con que se debe executar”* [sic][Gaztañeta Iturribalzaga, a. 1720] Este documento se convirtió en la Ordenanza de la construcción militar de todos los astilleros españoles hasta 1750.

En este tratado, de acuerdo con [González, F. F. (2001)], se traza el casco completo de los navíos y se marca el despiece, que va a servir para marcar los robles en el monte. Ver figura 31

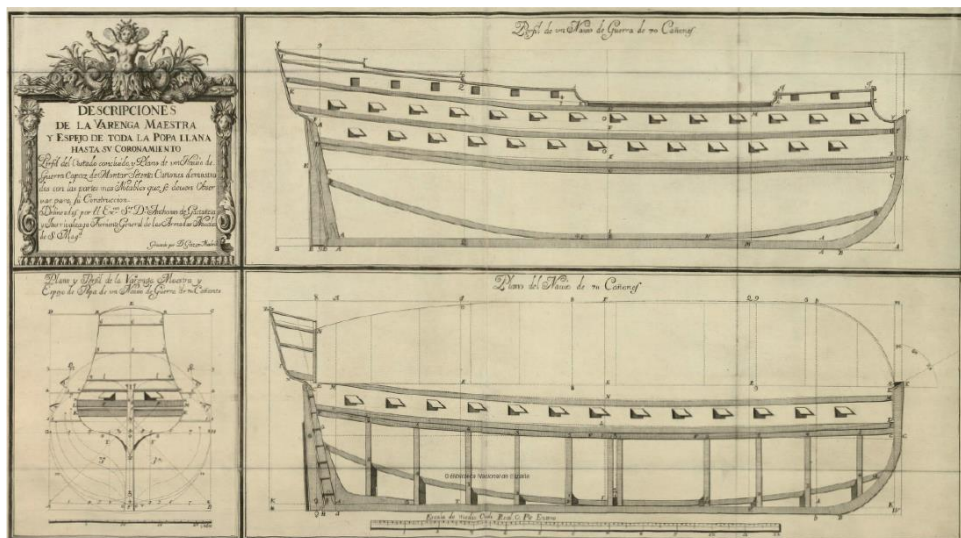


Fig.31 Descripción de la Varenga Maestra [Gaztañeta Iturrizalza, A. 1720]

- En 1770 el marino Jorge Juan publica el tratado *“Examen Marítimo Theórico Práctico, ó Tratado de Mechanica aplicado á la construcción, conocimiento y manejo de los navíos y demás embarcaciones”* [Juan, J, 1771]. En este tratado, como se infiere por el título se incorpora los principios de la ciencia al arte de la marina. En su prólogo Jorge Juan nos indica la necesidad de formación como se puede comprobar a continuación:

*“La instruccion del Marinero, si exceptuamos los cortos principios en que se funda el Pilotage, se ha considerado, **hasta muy poco tiempo ha, de pura práctica.** La fábrica del Navío, y otras Embarcaciones, y sus maniobras, que es el modo de manejarlas, ha estado siempre en manos de unos casi meros Carpinteros, y de otros puramente trabajadores ú operarios : ninguna dependencia se creyó que tuviesen de la Matemática, sin embargo de no ser el todo sino pura Mecánica: Ciencia , quizás, la mas difícil y mas intrincada del mundo; ¿ pero qué mucho? En el Marinero , todo ocupado al riesgo, al trabajo y á la fatiga, no cabe quietud para estudio tan dilatado y prolixo; y el estudioso, que requiere suma tranquilidad para la contemplacion, no se acomoda al afán y fatiga extrema del otro, únicas maestras que enseñan con facilidad las resultas que por solo teórica fuera casi imposible descubrir. La dificultad ce unir estas dos partes, en que consiste perfeccionar estudio tan manifiestamente útil, le tuvo por consiguiente en tinieblas tantos siglos hace; **pero como en el presente han florecido con admiracion las Matemáticas, y se han introducido con beneficio singular en casi todas las***

Ciencias y Artes, era irregular que no hubiera logrado del mismo la Marinería, ó á lo ménos, que nos se diese principio á la necesaria perfección para que con él se cultivase progresivamente.” [sic]

Jorge Juan dota a la Arquitectura naval de una base científica, como había pasado en la ingeniería de fortificación. En su tratado, compuesto de dos tomos, que contienen los siguiente:

- El primer tomo está compuesto por dos libros; uno dedicado a la mecánica (Libro I), y otro dedicado a los fluidos (libro 2). En el libro I hay dos curiosos apéndices; En el primero de ellos, se trata del uso de los cometas que vuelan los niños y sirve de ejemplo para verificar las leyes de resistencia de los fluidos y la ecuación de la catenaria. El segundo está dedicado al análisis del artículo de Smeaton publicado en el Volumen 51 de las Philosophical Transactions de la Royal Society “An experimental enquiry concerning the natural powers of water and wind to turn mills, and other machines, depending on a circular motion” [John, S. (1760)] [Smeaton, J. (1759). XVIII]., en el que Smeaton cuantifica a partir de una máquina de su invención las fuerzas que genera el agua en distintos usos.
- El segundo tomo está dedicado a la construcción y manejo de los navíos. Está dividido en cinco libros:
 - De la Construcción de la nave (ver figura 32)
 - De examen del cuerpo del navío, de sus centros y de las fuerzas, resistencias y momentos que padece
 - De las Machinas que mueven y gobiernan el Navío
 - De las acciones y movimientos del Navío
 - De las máximas y reglas que resultan de los precedentes

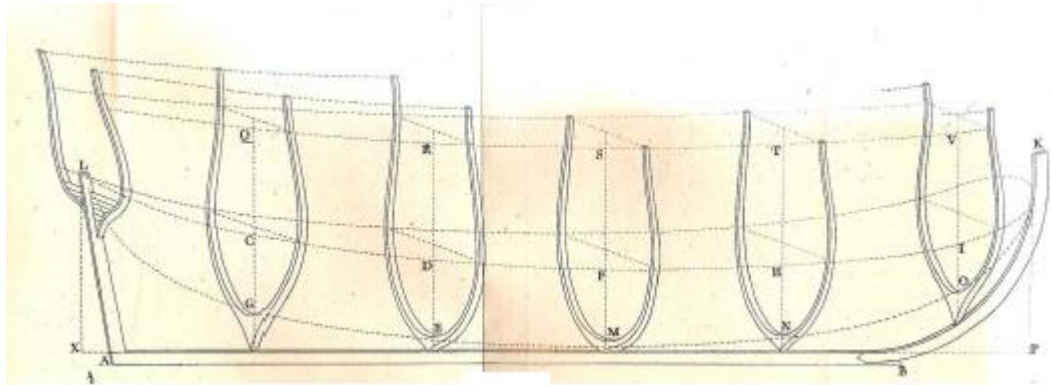


Fig. 32 La fábrica de la Nave. que llaman Quilla [Juan, J, 1771] Tomo segundo,
Libro I Capítulo 2.

En el apartado corporativo en 1770, el recién nombrado director de construcción de bajeles Francisco Gautier, recibe el mandato de proponer al Rey la creación del Cuerpo de Ingenieros de la Marina, tomando como referencia el modelo francés de 1765²⁴, Gautier elabora un proyecto y lo envía a Arriaga [Fernández-Turégano, C. P. (2018)]. En base a el documento enviado por Gautier el Rey Carlos III sanciona el 10 de octubre de 1770 la “*Real Ordenanza de S.M. para el establecimiento del Cuerpo de Ingenieros de Marina*”²⁵ en la explicación de R.O. se indica que:

*“Por quanto conviniendo á mi servicio crear un Cuerpo de Ingenieros de Marina , á cuyo cargo se **construyan, carenen , recorran, y cuiden** los Vageles de mi Armada , y practiquen las demás operaciones correspondientes á este Cuerpo facultativo; y siendo también de la mayor importancia , se componga de sugetos hábiles, y **instruidos en la theorica, y práctica de esta Profesión** : He resuelto su establecimiento; y el dé una **Escuela de Cadetes** de distinguido nacimiento , para instrucción de los Individuos de que ha de formarse; y quiero que uno , y otro se gobierne por esta Ordenanza”*

²⁴ En 1765 se crea en Francia el cuerpo de Ingénieurs-constructeurs de la Marine

²⁵ Real Ordenanza de S.M. para el establecimiento del Cuerpo de Ingenieros de Marina, Año de 1770. En Madrid: En la Oficina de Pedro Marín Impresor de la Secretaría del Despacho Universal de la Guerra

En esta R.O, se establece simultáneamente la creación del Cuerpo facultativo, sus responsabilidades y el proceso de formación. Como se puede observar el alcance de las tareas a realizar por lo ingenieros de la marina incluye el ciclo de vida de los navíos, queda excluido del ciclo de vida la operación de estos que se encomienda al Cuerpo General.

Para el diseño y mantenimiento de los navíos de la flota se van a establecer los Arsenales, que adoptarán, de alguna manera el modelo de *factory system* dado que en ellos van a convivir distintas especialidades junto con un proceso de fabricación que se asemejará a la producción en serie. El emplazamiento de los arsenales se basará, de acuerdo con [Moreno Martín, J.M. 2019] en base a:

- Que son un objetivo estratégico
- La proximidad de bosques, dado que la materia prima es la madera
- La mano de obra
- El incremento del desplazamiento del barco, el tonelaje de los navíos se incrementa
- La necesidad de reparación

Los Arsenales que se van a poner en marcha son los del: Ferrol en 1747, Cartagena en 1759, la Habana en 1760 y La Carraca en Cádiz en 1776.

En un Arsenal van a coexistir todas las labores propias de un Astillero junto con industria auxiliar.

Desde un punto de avances tecnológicos los Arsenales incluyen los diques de carenado, en los cuales se pueden realizar todo tipo de tareas en seco, pero esos diques van a demandar una necesidad nueva que es una vez situado el navío a carenar es necesario:

- Evacuar el agua del dique, para lo cual va a ser necesario la existencia de bombas y las bombas necesitan una fuerza motriz, que puede ser de origen animal, eólico o de vapor. De hecho, fue uno de los puntos para instarla las máquinas de vapor, como fuente energética. La primera máquina de vapor, modelo de Newcomen se instaló, por Sánchez Bort, en el dique pequeño del Arsenal de Cartagena en 1773, está máquina vaciaba el dique en 24 horas, consumía 100 quintales de astillas y maderas de desecho (4.600 kg), y suplía

la tarea de 330 hombres [Helguera, J. (2015)]. Todos los arsenales se automatizaron, el último fue en Ferrol en 1795.

- Sistemas de arbolar los navíos²⁶, lo que obliga a la disposición de máquinas que permitan realizar el arbolamiento de los navíos.

Como se ha indicado el Arsenal incluía un gran número de industrias auxiliares se pueden destacar las dedicadas a:

- Elaboración de alquitrán
- Ferrerías
- Elaboración de lanillas
- Elaboración de Jarcias y cáñamo
- Anclas

Algunas de estas industrias formaran parte de la Reales Fábricas.

Como ejemplos se pueden ver las figuras 33, 34 y 35. En la primera se puede ver el plano de proyecto del ingeniero Sebastián Feringan Cortes (1700-1762) en la que se puede observar el conjunto de oficios que se incluían en un Arsenal. En la segunda se puede ver un dique de carenado del Arsenal de Cartagena según Eduardo Bryant en 1758. En la tercera se puede ver la máquina de vapor para agotar los diques de carena [Fernández, J., & González, I. (1991)] página 56.

²⁶ Colocar los palos que sostienen las velas de un navío

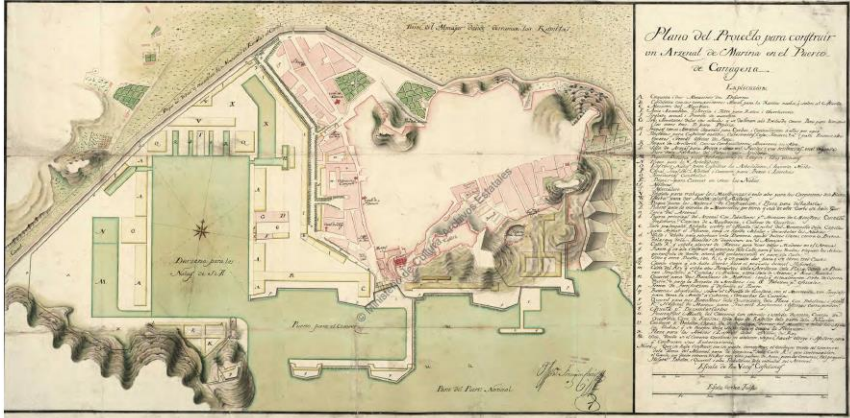


Fig. 33 Plano del proyecto para construir un Arsenal de Marina en el puerto de Cartagena MPD21-011. Esta figura proviene de [Heras Millán J.A.] pag 61

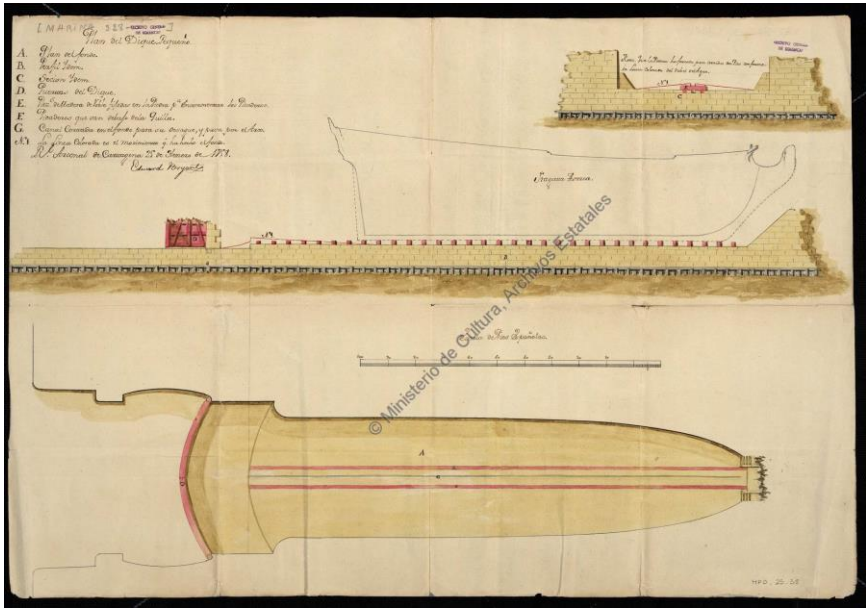


Fig.34 Plano del dique pequeño de carenar del Arsenal de Cartagena; Cartagena (Murcia). Arsenales. Planos. 1758; AGS. Secretaría de Marina, 00328. Con carta de D. Eduardo Bryant a don Francisco Barrero de 25 enero de 1758

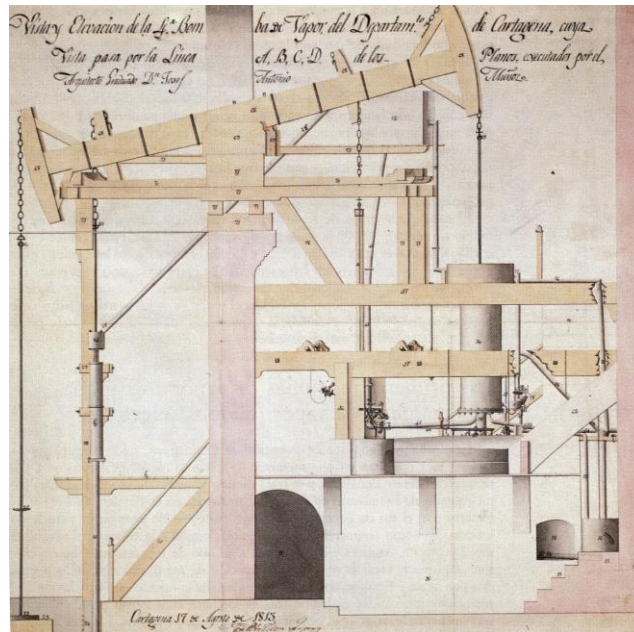


Fig. 35 Máquina de vapor para agotar los diques de carena del Arsenal de Cartagena [Fernández Pérez, J. Gonzalez Tascón, I. (1991)]

4.3.4 Ordenación del territorio (Reino de España incluido ultramar)

En este apartado se va a poner la mirada en las nuevas poblaciones como criterio de ordenación, no se ha incluido las infraestructuras ya analizadas en el punto 4.3.1.

Se va a revisar en primer lugar la península y las islas y posteriormente los territorios de ultramar.

Pero en todos estos casos la participación de los ingenieros, en ese momento militares, va a ser protagonista.

Este protagonismo tiene en parte su origen en el dominio de la Castrametación junto con los conocimientos de topografía, cartográficos y arquitectónicos que se impartían en los programas de estudio de la Academia de Matemáticas de Barcelona. La influencia de la Castrametación ha sido analizada por [Oliveras, J. (1998)]. La Castrametación, que de acuerdo con [Ferraz, V. (1800)] en la introducción de su libro explica que:

“Entre los diversos ramos que abraza la vasta ciencia de la guerra; uno de los mas esenciales es la Castrametacion ó Arte de campar, que enseña á disponer el campo de un ejército del modo mas conveniente á su seguridad y cómoda permanencia, y á los designios del General.

Su principal objeto es la eleccion de posiciones adecuadas á las circunstancias de la guerra, y al número y calidad de las tropas: de suerte, que á la seguridad y fortaleza del puesto se reuna la proximidad y abundancia de quanto necesita el ejército para su subsistencia , y la salubridad del parage.

El Arte de campar se divide en dos partes: la primera , que es propiamente la castrametacion , enseña el modo de disponer y trazar los campos; y la segunda , que es la mas importante y difícil, prescribe reglas generales para su eleccion , y es uno de los ramos de la Estratégica, ó ciencia del General , á quien pertenece elegir las posiciones que ha de ocupar su ejército; pues de un campo bien ó mal tomado depende freqüentemente el éxito de sus designios “ [sic]

En el siglo XVIII en la península y en las islas se van a desarrollar nuevas poblaciones por diferentes motivos como son [Oliveras, J. (1998)]:

- Colonización agrícola
- Soporte industrial
- Soporte portuario
- Para protección de
 - Costas
 - Caminos
- Sitios reales

En la mayor parte de ellas el trazado de la nueva población y su proyecto va a ser dirigido por ingenieros. A continuación, se detallan algunos de los participantes en estos desarrollos.

En el caso de colonización agrícola, básicamente en Andalucía y Extremadura, que implicará la entrada de emigrantes del norte de Europa participarán ingenieros tales como Carlos Lemaur, Antonio Losada, Ampudia Valdés entre otros.

- El desarrollo de nuevos edificios Palacios, Casas de la Moneda Reales fábricas etc.
- Obras de reforma urbana jardines y alamedas
- Nuevas ciudades que irán desde San Francisco hasta el sur de Chile. Con el siguiente desglose
 - En México: Altamira, Burgos, Escandón, Horcasitas, Dolores, Camargo, Reinosá.
 - En Cartagena de Indias, se fundan 43 poblaciones
 - En la capitanía de Chile: Osorno (Figura 37), Nacimiento, Puren, Tecque
 - En la Banda Oriental del Uruguay: Guadalupe, San Juan Bautista, San José, Minas.
 - ...

Esto da una idea de la labor que realizaron en ultramar. Y del volumen de la demanda

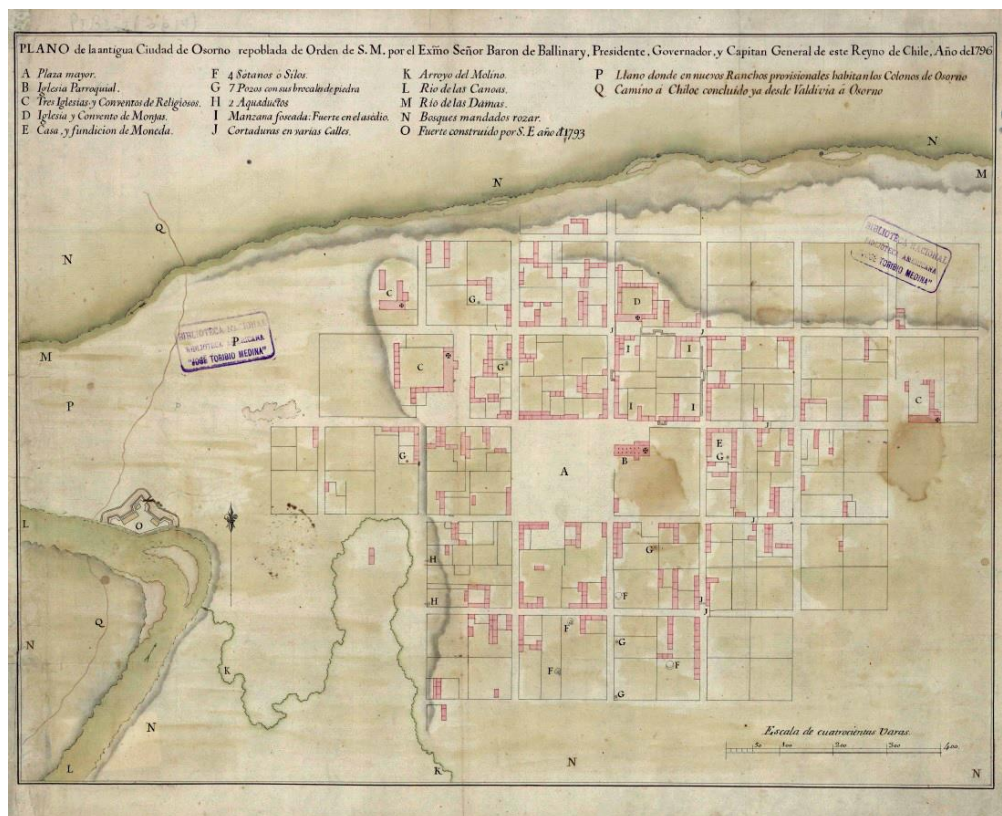


Fig.37 Plano de la antigua ciudad de Osorno: repoblada de orden de S.M. por el Exmo Señor Baron de Ballinary, presidente, gobernador y capitán general de este reino de Chile, año de 1796. Colección: Sala Medina / Mapas

En este apartado, no aparece la demanda de formación, lo que si aparece es la demanda de ingenieros con un alto nivel de formación.

4.3.5 Reconocimiento del Territorio (Cartografía)

En este apartado, inicialmente se revisará la demanda de cartografía del territorio, lo que denominamos mapas y posteriormente la cartografía ligada a construcciones e infraestructuras.

Para tener un dominio y un conocimiento preciso del territorio es necesario la cartografía. Y cuando Felipe V establece las ordenanzas del cuerpo de ingenieros (Real Ordenanza e Instrucción de 4 de julio de 1718 para los Ingenieros, y otras personas). La elaboración de mapas está incluida en la primera parte de la ordenanza:

*En la primera se trata de la **formación de Mapas, o Cartas Geográficas de Provincias, con observaciones y notas sobre los Rios que se pudieren hacer navegables, Cequias para Molinos, Batanes, Riegos, y otras diversas diligencias dirigidas al beneficio universal de los Pueblos; y asimismo al reconocimiento y formación de Planos, y Relaciones de Plazas, Puertos de Mar, Bahías, y Costas, y de los reparos, y nuevas obras que necesitaren, con el tanteo de su coste** [sic]*

Con posterioridad en la “Ordenanza de S.M. para el servicio del cuerpo de Ingenieros de 1768” en el título séptimo “Método de levantar los mapas y formar los planos” establece:

- Escalas
- Como se divide el terreno
- Como se detallan las fronteras
- Como indicar los dominios confinantes
- Relaciones de han de acompañar; tipo de caminos y detalles de los mismos
- Como son las poblaciones incluidas
- Tipos de cultivos flora y fauna
- Tipo de bosques y si su madera es de utilidad sea para la marina o la artillería
- Que industrias están incluidas
- Inventario de materiales de utilidad para el ejército
- Estados de los caminos y mejoras necesarias
- Que la escala de las poblaciones permita su análisis

- El número de copias.

Por último, en la Ordenanza que S.M. manda observar en el servicio del Real Cuerpo de Ingenieros de 1803 en el Reglamento cuarto Título II “Método que debe observarse en el levantamiento y formación de Mapas y Planos” incluyen

- Una normalización de los símbolos del plano (ver figura 38)
- La escala debe de ser la adecuada para reconocer todo lo que sea necesario
- Detalle adecuado de las fronteras con señalamiento preciso de hitos y mojones.
- Se establecen las escalas, en función del tamaño del territorio, como ejemplo para los de todo el Reyno la escala de 48 leguas/pie de Burgos,
- Se establecerán la señalización de hospedería
- Se establecerá una descripción geográfica militar y política que ayude a conocer las circunstancias del país representado.
- Establecer los detalles orográficos
- Establecer datos de los ríos, navegabilidad, puentes, vados etc.
- Se describirán los caminos, si son de rueda o herradura, así como estado, pendientes, angostura etc.
- Se describirá donde hubiera aduanas, conventos, edificios notables...
- Se mencionarán los molinos
- Se detallarán datos de los habitantes de los pueblos.
- Detalle de los bosques
- Existencia de minas
- Detalle de la costa
- ...

Caracteres con que deben expresarse en los Mapas las Plazas, Ciudades, Villas, Lugares &c.

Villa y Corte	Ciudad Capital Plana.	Ciudad Capital murada.	Ciudad Capital abierta.	Ciudad Plana.	Ciudad murada.	Ciudad abierta.	Villa Plana.	Villa murada.	Villa abierta.	Lugar.	Castillo.	Casa Fuerte.
Siño Real.	Castro.	Monasterio.	Eremita.	Atalaya ó Torre de Vista.	Molino de viento.	Quintas y todo género de Casas de Campo.	Molino de Agua.	Fabrics de Papel.	Fabrics de Pizarra.	Campo de Batallas.	Plantas ganadas.	Plantas perdidas.

Señales que en las Plazas, Ciudades, Villas &c. deberán colocarse segun correspondiere.

Provincia.	Capitania General.	Goberno Militar.	Goberno de Ordenes Militares.	Intendencia de Exército.	Intendencia de Provincia.	Corregimiento.	Alcalde Mayor.	Granada.	Arzobispado.	Obispado.	Abadía.	Inquisicion.
Chancilleria ó Audiencia.	Universidad.	Escuela Militar.	Puerto de guerra.	Puerto mercantil.	Casa de Posa.	Feria.	Division de Reyno.	Division de partido.	Camino carretero.	Camino de herradura.	Senda ó herida.	Camino ocupado.
Camino difícil.	Ortango.	Valdado de Caca.	Agua mineral para baños.	Agua salobre.	Cabanas de Pizarra.	Plantas de Annona, Cacao, Tabaco, Almidón.	Pase de Archa en dacia la corriente.	Pase de río en barca.	Pase de río por puente.	Canal.	Fragos donde se ha fundacion de lator para el hierro la pizarra, Bronce y Plata para uso &c.	
Mina de Oro.	Mina de Plata.	Mina de Cobre.	Mina de Estado.	Mina de Plomo.	Mina de Hierro.	Mina de Azufre.	Mina de Azufre.	Mina de Sal.	Mina abierta.	Nota. Este ultimo signo se aplicará á qualquiera Mina siempre que esté abierta.		

Fig. 38 Relación normalizada de símbolos a utilizar en la cartografía. Reglamento IV página 210 de la Real Ordenanza que S.M. manda observar en el servicio del Real Cuerpo de Ingenieros de 1803

En el apartado del territorio, en relación con el Reyno de España durante el siglo XVIII van a existir intentos para la elaboración de un Mapa de España. Hay un trabajo notable del cartógrafo Tomas López que edita el Mapa de España [Lopez. T (1810)], este mapa recibió críticas de los cartógrafos de la marina e ingenieros militares, en base al poco trabajo de campo desarrollado por Tomas López, [Cuadrado, Á. P. (1991)] que propusieron la elaboración de un Mapa de España de forma rigurosa, en esta aventura participaron a lo largo de muchos años entre otros; Espinosa Tello, Alcalá Galiano, Carlos Lemaur etc. y durará más de un siglo.

La producción cartográfica de las provincias de ultramar fue muy intensa en el estudio realizado por [García, M. D. C. L. (2006)] se han localizado 432 mapas solo en el caso Nueva España. En el caso de Filipinas [Cuesta Domingo, M. (1997)] pág. 3-37. La producción cartográfica española solo fue superada por los EEUU pasada la segunda guerra Mundial. Como ejemplo de mapa se tiene el elaborado por el jesuita Pedro Murillo Velarde (ver figura 39).



Fig. 39 Pedro Murillo Velarde, Carta hydrographica y chorographica de las Ylsas Filipinas. Manila, 1734. Biblioteca Nacional de España,²⁷ Madrid.

Es conveniente mencionar, a pesar de que tuvo un breve recorrido, que a finales del XVIII y a instancias del Ministro Godoy Jiménez Coronado propuso la creación de un nuevo cuerpo facultativo el del *Real Cuerpo de Ingenieros Cosmógrafos de Estado*, cuyas ordenanzas se aprueban por el Rey en 19 de agosto de 1796 [Godoy, M., & Real, I. (2013)], conviene recordar que este cuerpo facultativo se había eliminado en Francia por un decreto de 17 de agosto de 1791 [Fourcy, A. (1828)]. En estas ordenanzas, del cuerpo, en el Capítulo I apartados 7 y 8 se fija el alcance de estos ingenieros en relación con la cartografía de acuerdo con:

7. *“Para que ademas de la ocupacion del cultivo de la Astronomía tenga este Cuerpo una en que constantemente pueda emplear sus individuos con utilidad del público , es mi Real ánimo que á su cargo quede la formacion de la Carta geométrica del Reyno , y de qualesquiera otras particulares ó generales que deestos mis dominios se hayan de formar.”*

²⁷ http://www.bne.es/es/Micrositios/Exposiciones/Rizal/resources/img/rizal_000-1_4_1_gr.jpg

8. *“Lo mismo se entenderá respecto á las Cartas de mis dominios ultramarinos; por manera que al cargo de dicho Cuerpo estará el levantar y formar las Cartas geográficas , ya sea dentro del continente , ya sea fuera de él en mis dominios de América²⁸”*

Este cuerpo se disolvió en 1804 a propuesta de Jiménez Coronado.

La cartografía va a ser inherente a los procesos constructivos como ejemplo se puede ver en las instrucciones que se dan en [Muller, J., Sánchez Taramás, M., & Paunier, D. (1769)] Volumen 1 parte tercera SECCION IV *“Modo de formar el plano, y Proyecto de una Fortaleza”* que se indica a continuación:

“Quando el Soberano resuelva la construcción de una Fortaleza, es necesario que un Ingeniero pase a exâminar el Terreno donde se ha de establecer, levantando su correspondiente Plano con especial cuidado y exâctitud, dandole proporcionada escala para que comprehenda à lo menos hasta el alcance del Cañon. sobre las Obras mas abanzadas; junto con varios Perfiles, que, expresen bien las desigualdades, y naturaleza del Terreno. Asimismo, si hubiese en las inmediaciones de la Plaza algun Río, Mar, ò Lago , no solo se ha de marcar la extensión, y márgenes del agua en todo lo que diga relación al Mapa; sino también ha de señalar el sondèò, ò medición de sus profundidades , à fin que se pueda hacer concepto de la clase de Embarcaciones que admitirà. Igualmente se ha de señalar con claridad y primor, así los Montes ò Terrenos elevados que se encuentren , como las Cercas ò Vallados, y Caminos hondos que se comprehendan en el espacio; notando entrambas circunstancias en el Plano, y los Perfiles, para que la irregularidad del Terreno sea distintamente representada.

A estos papeles debe añadir el Ingeniero una Relacion, en qué sé explique puntualmente la naturaleza y disposicion del Terreno, distinguiendo , si es de Roca, Montuoso, Pantanoso , ò Llano : Si se encuentra algún Río, ò si hay algún Lago , que uno, ù otro pueda ser útil para la navegación , ò para hacer mas fuerte la Plaza : Si el terreno sobre quien se ha de edificar es solido y firme , ò floxo y de mala

²⁸ En esta definición de alcance se echa de menos a Filipinas. Pero es necesario recordar que Filipinas dependía del Virreinato de Nueva España, y dejó de pertenecer a él a partir de la independencia de México y la extinción de este virreinato en 1821. [Padrón, R. (2015)].

consistencia : Si se halla à la mano buen raudal de agua, ya sea de Rio , ò de manantial para el uso de la Guarnicion ; y si hay bastante Leña, Carbon , ù otra materia para entretener el fuego.

También se ha de individualizar en esta Relación, si se encuentra en las inmediaciones , ò à que distancias, las clases de Materiales que hayan de servir para la construcción, y si se han de conducir por tierra, ò por agua ; expresando al mismo tiempo su naturaleza, qualidades, y precios, con el jornal regular que se deba abonar à cada clase de Obreros. Se explicará también , si la Fabrica se ha de hacer de Piedra, ò de Ladrillo, notando los parages en que siten las Cantèras, ò los Terrenos de donde se pueda sacar buena Greda para formar los Ladrillos: Si hay bastante materia para cocer unos y otros Hornos : Si se ofrece proporción para llevar Arena à la Obra, à moderado costo ; y por último , es necesario que en esta Relación se expresen todas las cosas necesarias, tanto para la construcción, como la manutención de la Plaza.

Después que todos estén convenido en un dictamen , deberán formar un nuevo Plano , y sus correspondientes Perfiles sobre escalas sensibles , para que se manifiesten , y perciban con claridad todas las circunstancias del Proyecto; el qual, con otra Relación ò memoria, expresiva de las razones em que se funden para las Obras, y extensión que señalen à la Plaza, se ha de dirigir por la misma via el Gefe ò Superior que corresponda , al Ministerio de Guerra, para que los consulte al Soberano.

Pero en el caso, que los Ingenieros no se convengan en todas las circunstancias del Proyecto, seà muy à propósito , que cada uno forme el suyo separadamente , con Planos y Relaciones en que manifiesten las razones que apoyen su dictamen , à sin que se pueda decidir con acierto , el que sea mas preferible. Todo esto se debe hacer con la mayor sinceridad, y sin algún particular sin interés, ò preferencia , respecto à la capacidad, talentos u otra cosas que se parte de los verdaderos intereses del Estado”.[sic]

En relación con la cartografía marítima en el siglo XVIII se produce la edición del Atlas Marítimo de España [Tofiño de San Miguel, V. (1789)] este proyecto financiado por la Secretaría de

Marina, para asegurar que el proyecto se realizará de una manera precisa se encargó su realización al Brigadier Vicente Tofiño y al Capitán de Navío José Valera, el proyecto duró seis años, y se publicó en 1789 [Valero, A. D. L. C. R. (2015)]. El Atlas se compone de 37 cartas y 10 vistas. Está considerada como una obra de referencia del XIX, ver figura 40. Otras cartas marítimas se realizaron en varias expediciones que se realizaron a lo largo del siglo tales como la expedición Malaspina.

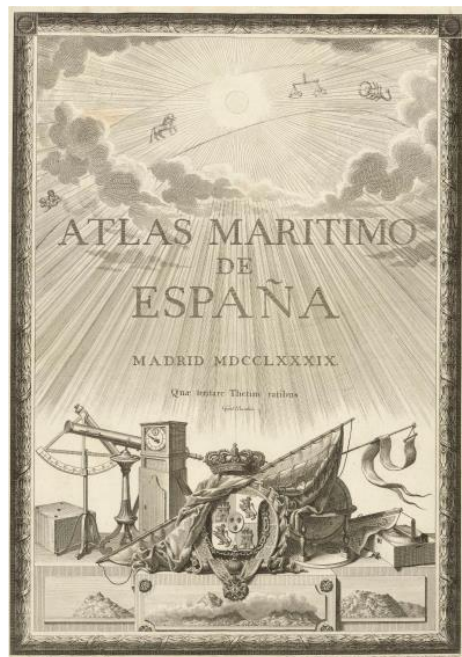


Fig. 40 Portada del Atlas Marítimo de España Tofiño de San Miguel, V. (1789).

La respuesta ante esta demanda de formación fue:

1. Mandar a formarse fuera de España, caso de Tomas López en 1760 fue enviado a Francia a aprender junto a D'Anville el arte de trazar mapas y el grabado en cobre y a continuación estableciéndose en la Corte en la que desarrollo su tarea hasta 1804 [Cuadrado, Á. P. (1991)]
2. Incluir en los programas de formación, una formación específica al respecto esto se desarrolló principalmente en tres programas
 - a. El Programa de los Ingenieros Militares en la Real Academia de Matemáticas de Barcelona hasta final del siglo XVIII y posteriormente en la Academia de Ingenieros de Alcalá de Henares a partir de 1803

- i. Plan de 1720, bajo la dirección de Mateo Calabro. Dentro de la tercera²⁹ clase, se dedica a la Geometría Práctica sobre el terreno, y dentro de este curso los alumnos debían levantar planos de edificaciones existentes, realizando perfiles aplicando colores para distinguir partes de los edificios y materiales [Carrillo de Albornoz, J. (2004)]
- ii. Plan de Jorge Verboom *“Proyecto o Idea para la formación, Gobierno y permanente Establecimiento de Academias Reales y Militares de Matemáticas y Fortificaciones, en los parages que S.M. destinase de sus Dominios; Dirigido por el Marqués de Verboom Teniente General de sus Exércitos, su Cuartel Maestre General e Ingeniero General de España, Gobernador y Castellano de la Ciudadela de Barcelona”*[sic]. En este plan propuesto por Verboom. Establece que [Sáez, H. C., Sánchez, J. E., & Moncada, O. (1988)]:
 1. En la primera clase a partir del tercer mes, manejo de instrumentos
 2. En la segunda clase (primer año) Teórica de la planimetría, uso de instrumentos de nivelación y Dibujo práctico
 3. En la tercera clase (segundo año) Dibujo de edificios, planos y mapas
 4. En la cuarta clase (segundo año) Ejercicios de campaña con levantamiento de planos y nivelación.
 5. En la quinta clase (tercer año) Formación de mapas de marina por teórica y, si fuera posible por práctica.
- iii. En la Real Ordenanza de 1751, en el apartado “Ejercicios de la Academia” le dedica dos puntos el 74 y el 75 que se detallan a continuación
 1. En el punto 74 se establece: *“Entrando en mayor detalle, se -continuará el Dibujo con Planos , y. perfiles en grande de un Revellín, Contraguardia, Puerta, Cuerpo de Guardia; Garita ,*

²⁹ Este concepto se desarrollará en el apartado de Real Academia de Matemáticas del punto 6

Puente, Caponera, Rastrillo, Quarteles, y Almacenes: de toda especie, Cisterna; Arsenal, Hospital, e Iglesia, y también: Planos: en grande de escaleras, armaduras para cubrir los Edificios, entarimados y todo lo que pertenece a la idea en que deben hacerse las obras necesarias en una Plaza, y las que se construyen, sobre terrenos pantanosos, agua durmiente o corriente, como los Muelles, Inclusas y Diques haciendo los cimientos sobre pilotage, o zarpa.”

2. En el punto 75 se establece: *“Se les explicará también la forma de hacer los sondeos, y de levantar: los Planos particulares, y Mapas. de, Provincias., en el modo de distinguir y representar las tierras labradas, las incultas, los Bosques, Barrancos, Caminos., Montañas, Peñas, Riberas de Mar, Rios, Pantanos, Casas, Jardines, y Huertas como también la demostración de . Trincheras, Baterías, líneas de, Circunvalación, y Contravalación, Campamentos, y Planos, de: Batalla de Ejércitos; y finalmente se les enseñará el modo de, tomar, y, delinear la vista de una Plaza, o terreno, para representarlo en el papel, conforme se halla a lo natural.”*

iv. Este modelo de formación se fue perfeccionando con posterioridad³⁰ a la Academia de Barcelona ver como en El Reglamento Adicional a la ordenanza del Real Cuerpo de Ingenieros para el establecimiento militar de Alcalá de Henares de 1816. En el que se indica en el punto 22 (página 21):

1. El manejo de los instrumentos de topografía necesarios para el levantamiento de planos y mapas: Grafómetro, teodolito, círculo repetidor y plancheta
2. Se les instruirá en prácticas de nivelación que aplicarán a cortes de perfiles, trazas de caminos, cálculo de desmontes...

³⁰ Los alumnos disponían de mejor instrumentación

- b. El Programa de los guardiamarinas de acuerdo con Reales Ordenanzas de 1748 recibían formación por parte del segundo maestro de matemáticas (cosmografía) y de dibujo (Planos y mapas). La cartografía se reservaba para los más adelantados. Mas tarde en el Plan de Estudios de Jorge Juan de 1752 se mejoró el ciclo superior. La formación en cartografía se desarrolla con el Curso de Estudios Mayores de Gabriel Ciscar de 1785. [Moreo Moreno, F. (2018)]
- c. En el caso de los Ingenieros de Marina establecidos de acuerdo con la Real Ordenanza de S.M. para el establecimiento del cuerpo de ingenieros de Marina de 1770, no tiene responsabilidad en cartografía. Muchos de los ingenieros siguieron los cursos de estudios mayores de Gabriel Ciscar. [Carrión, J. M. S., & González, F. F. (2009)]
- d. La Escuela de Caminos que comienza sus actividades en 1802. En su plan de estudios de 1802 no incluye la cartografía. [Rumeu de Armas, A. (1980)]

4.3.6 La minería

La demanda de ingeniería en la minería va a ser como consecuencia de la criticidad que para cada país implicaba las riquezas mineras. A continuación, se mencionará el caso francés y se analizará el caso del Reyno de España.

4.3.6.1 El caso francés

En el caso francés, la necesidad de formación se pone de manifiesto en la *Encuesta del Regente de 1716-1718* [Demeulenaere-Douyère, C., & Sturdy, D. J. (2010)]. Esta encuesta tenía como objetivo reunir las informaciones cuantitativas y cualitativa acerca de las riquezas naturales de Francia y especialmente sobre los recursos minerales que deberían de ser valorados, en esta encuesta participada por l' Académie des Sciences, la encuesta realizada durante los años 1716 a 1718, las investigaciones se centraron en la minería y en la industria. El impacto de esta encuesta en la formación reglada en la minería fue nulo a su finalización y quedará demorado hasta el año 1776 en que se nombra el “inspecteur général des mines” [Aguillon, L. (1889)] que va a dirigir el “Corps des Mines”. Este cuerpo facultativo tenía como misión formar a personal capaz de dar directrices técnicas a los explotadores de las minas y de la metalurgia. Los primeros alumnos se formaron en *l'Ecole des Ponts et Chaussées*, à partir de 1747 y hay que esperar hasta que en 1783 tras una Decisión Real del 19 de marzo de 1783 se establece en

l'Hôtel des Monnaies en Paris, «Ecole des Mines, à l'instar de celle qui a été établie avec tant de succès sous le règne du feu roi pour les Ponts et Chaussées », [Chesneau, G. (1931.)]

4.3.6.2 El caso del Reyno de España

En el Reino de España la demanda de formación va a tener origen en una minería específica, la minería del mercurio.

La explotación de minerales tales como la plata y el oro eran críticos para el imperio, la razón de la criticidad de la minería del mercurio tiene su origen a finales de diciembre de 1555 cuando Bartolomé de Medina desarrollo un proceso de beneficio de la minería del oro y de la plata, para minerales de baja ley, con un proceso eficaz y eficiente, conocido como *el proceso de patio*, para las minas de Pachuca (Nueva España) [Ramírez, O. J. (2004)]. Como explica Ramírez Medina tuvo relación con un metalúrgico alemán que le inició en uso del mercurio y realizaron una prueba piloto en una mina de plata portuguesa. Con la constatación del éxito se desplazó a Pachuca (Nueva España) y constituyó una propiedad para la puesta a punto del proceso.

El proceso se componía de³¹:

1. **Trituración.** La mena se tritura con mazos o molinos y se tamiza
2. **Amontonamiento.** Con la masa molida se hacen montones en el patio (origen del nombre beneficio de patio)
3. **Ensalmorado.** Se añade sal a los montones
4. **Curtido.** Se añade una mezcla de sulfatos de cobre y óxidos de hierro y a veces cal
5. **Incorporación.** Se añade el azogue
6. **La trilla.** Se hacía con los pies o caballerías
7. **Lavado.** Se separa la amalgama de los lodos y otros componentes
8. Separación de la amalgama (pella). Se exprime y se confeccionan las piñas
9. **Desazogado.** Se separa la plata del azogue mediante destilación
10. **Fundición.** La plata se funde y se aparta el oro.

³¹ Las diferentes fases del proceso se han obtenido del blog <http://pachucaeneltiempo.blogspot.com/p/las-minas.html>

En 1555 el Virrey de Nueva España le otorgó la patente de creador del “Proceso del Patio” (ver figura 41).

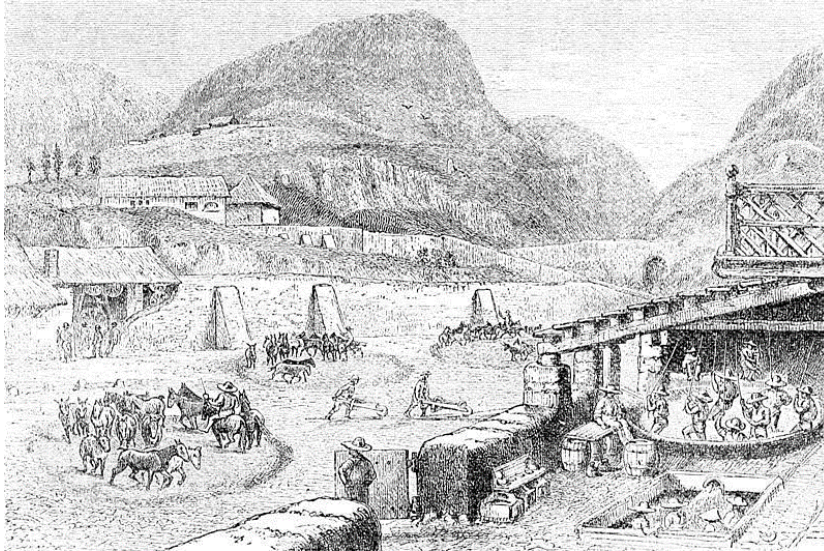


Fig. 41 Patio de amalgamación

<http://pachucaeneltiempo.blogspot.com/p/las-minas.html>

Este proceso se generalizó a las minas de Potosí del Perú. Pero, en este proceso había un componente crítico el mercurio, y este producto se obtenía a partir del cinabrio en las minas de Almadén. Por tanto, dado su criticidad su producción lo fue de la misma manera. La producción de Almadén de 1709 a 1752 (en 1754 pasa a depender de la Superintendencia General de Azogues) representa el 98.5% de las necesidades mineras; y desde 1753 a 1805 representó el 86%. [Castillo Martos, M. 2019]

En base a lo narrado, es evidente la necesidad de mejorar y asegurar la producción de mercurio en Almadén. A partir de que Bartolomé Medina diseñó el proceso del patio, la demanda de mercurio por ultramar fue creciendo, pasando la producción de azogue en Almadén de 20.622 quintales entre los años 1525 y 1550 a 202.314 entre 1709 y 1752.

El cinabrio estaba dispuesto en capas, lo que obligó ir profundizando, y esto conllevó a enfrentarse a tres problemas, la extracción en sí misma, la ventilación y el desagüe, así como todos los procesos de estabilización de las galerías (para dar una idea de la complejidad se puede ver la figura 42).

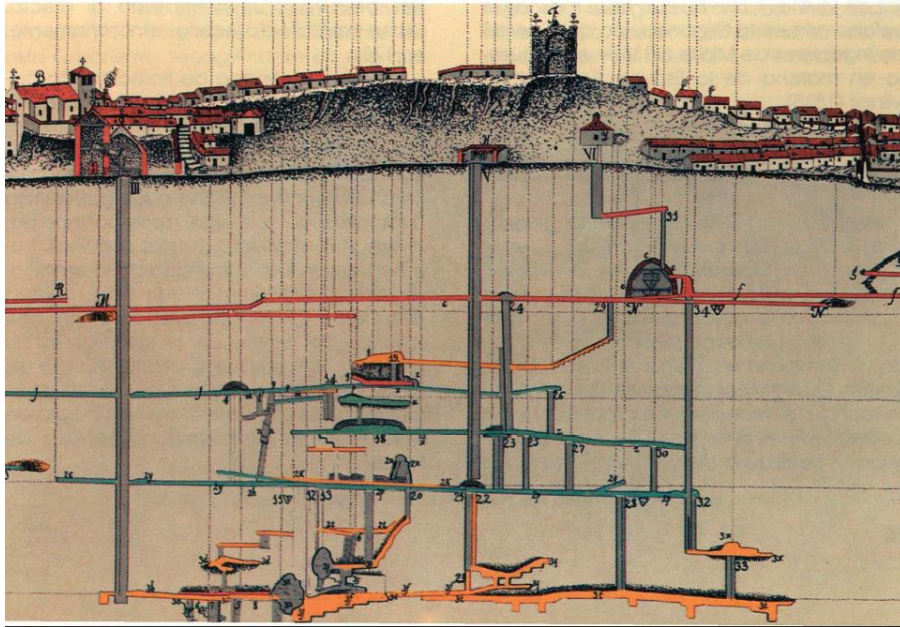


Fig. 42 Perfil de las minas de Almadén delineado en 1796 por Diego de Larrañaga y D. Braulío Corras. [Puche Riart, O., & MataPerelló, J. M. (1992)].

Dado el incremento de la demanda se pidió ayuda a técnicos alemanes que cambiaron el sistema de laboreo, y también a mejoraron las galerías sustituyendo, después del incendio de 1755, la madera por obra de albañilería. Al frente de la explotación a partir de 1758 se pone al frente de la explotación a Enrique Cristobal Störr, que procedía de Sajonia en donde ejercía de ingeniero subterráneo, que dirigió la restauración de las galerías después del incendio y mejoró los sistemas de producción.

El 14 de julio de 1777, tras gestiones que realiza Störr ante el ministro Galvez, una Real Orden de Carlos III establece la creación de la “Academia de Minas de Almadén” y se nombra director de esta a Störr con el mandato de

“Enseñar a los jóvenes matemáticos, que se remitirán de estos Reynos, y los de América, para que se destinen e instruyan en la teórica y prácticamente, la geometría subterránea y mineralogía”. [Gutiérrez, M. F. F., & Plaza, L. M. (2004)].

Esta Academia es la cuarta en Europa después de Freiberg (1766), Schemitz (1769), San Petersburgo (1772). (ver figura 43)



Fig. 43. Escudo Academia de Almadén. [Maffei, E. (1877)]

Conviene hacer mención del que, probablemente, sea primer trabajo de consultoría de ingeniería de procesos que se tiene constancia en España y que lo realiza Agustín Betancourt, que en 1783 recibe el encargo de Floridablanca de inspeccionar las minas de Almadén. Como consecuencia de este encargo elabora tres análisis (denominados memorias) que inciden con tres aspectos críticos que son: el desagüe, la maquinaria utilizada y el proceso metalúrgico; y que se detallan a continuación. Estas memorias y sus conclusiones se propuestas se detallan a continuación:

1. *“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”*

En esta memoria, comienza con un glosario de todos los términos que va a utilizar y a continuación establece las siguientes conclusiones:

- Identificación de donde existe agua, que número de bombas hay el número de zacas que extraen, cuanta gente se dedica a ello y cuantos jornales implica. Comprueba para cada plano analizado el

agua existente, así como el cálculo con el que se hicieron las bombas para vencer el desnivel existente.

- Identificación del número de bombas y de su funcionamiento detectando valores de diseño y modelo de mantenimiento deficiente. Propone el uso de lo que denomina cuerpo de bombas (figura 1 de la figura 40)
- Analiza la forma en la que se extrae el agua con zacas y comprobando, la verticalidad de la subida y el uso eficiente de las personas que reciben la zaca (Figura 2 de la figura 40)

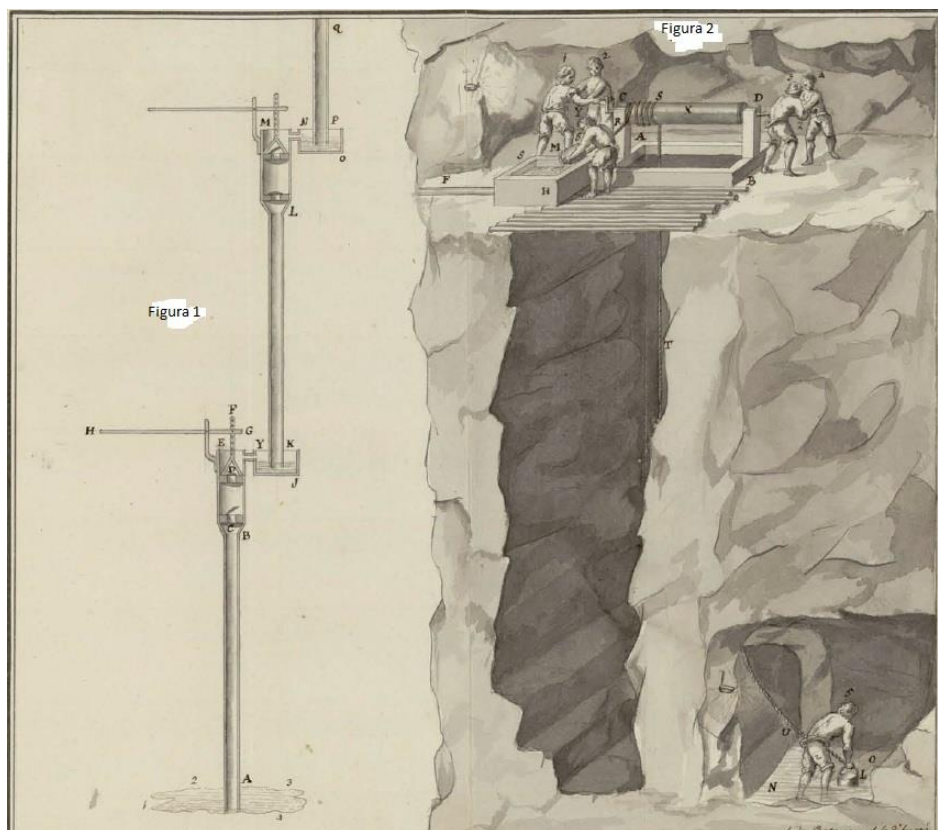


Figura 40 Memoria 1 de Agustín de Betancourt

2. *“Sobre las maquinas que usan en las minas de Almadén en que se expresan sus ventajas y defectos y algunos medios de remediarlos”*

En esta memoria se analizan las distintas máquinas que se utilizan en el modelo productivo analizando en cada caso eficiencia y eficacia de cada

máquina, así como el análisis de los recursos humanos utilizados. Y se proponen mejoras incorporando el diseño de nuevos sistemas de tracción.

3. *“Sobre todas las operaciones que se hacen dentro del cerco en que están los hornos del Almadén”*

En esta memoria se analizan los procesos metalúrgicos que se necesitan para poder obtener el azogue. Discute con Bowles [Bowles, W. (1789)] sobre la eficiencia de estos y también analiza:

- la comparación con otros como los de Hydria (actualmente se denomina Idrija de Eslovenia, que proporcionaba el 2.32% del mercurio consumido en América en el XVIII).
- Los modos de carga y descarga de los hornos
- Los modos de llevar el azogue al lavadero
- El proceso de lavado
- El proceso de empacado
- Y realiza un experimento acerca del aire dentro de los hornos.

Está fuera del alcance de esta tesis el análisis detallado de las Memorias de la Reales Minas de Almadén. Solo se ha querido mencionar las mismas por la novedad que representa, la consultoría técnica, en la ingeniería española del XVIII y probablemente en la europea..

4.3.6.3 *El caso del Reyno de España, Nueva España*

En 1761 el jurista Francisco Xavier Gamboa publica “Comentarios a las ordenanzas de minas” y en esta publicación en el capítulo XII en el apartado “De los peritos medidores de las Minas” hace un comentario sobre la formación de estos en el que establece que:

*“Los que miden nuestras Minas son los que se llaman Peritos en el Arte, y Mineros de profession ; pero suelen serlo por mal nombre : (no hablamos de aquellos , cuya providad , y experiencias están bien acreditadas) pues **apenas tienen superficial noticia de la Geometría Práctica** , que están obligados a saber perfectamente. No se sujetan, como debieran , à riguroso*

examen. Son unos ignorantes tales , que para medir , dar Contraminas , Lumbreras, Tiros , y Socabones , se fundan en sus debiles conjeturas , sin alcanzar siquiera el uso de el Agujon: causando el malogro de crecidos caudales en el peor efecto de sus operaciones. Viven solo de los derechos, ò gratificacion de el Polvo : gente muchas veces preocupada , y susceptible de el interès: por lo que se ocasionan frecuentes yerros , y recusaciones , y el duplicarse nuevos costos en las nuevas medidas, u otras operaciones , que han errado , confundido , y perturbado.

Los Profesores ·de todas las Ciencias , y Artes·, para ser prácticos en su ministerio, y ejercicios , passan por la prueba de el examen , despues de grandes costos , y largo tiempo que emplean en instruirse , y habilitarse en las Universidades, y Colegios. Solo los Medidores para hacer vista de ojos no necesitan que el tenerlos : sin otro curso que el de el tiempo , ni otra instrucción , que la de sus particulares arbitrios.” [sic][De Gamboa, F. X. (1761)].

En palabra de Gamboa el nivel del conocimiento de los profesionales estaba lejos de ser el óptimo, de echo todo el capítulo XII junto con sus apéndices es una reflexión sobre el estado del arte y una propuesta de cambio.

Dentro del proyecto de fomento de la minería de la Corona, se trata de mejora el nivel formativo de los profesionales de la minería, y continuando el camino comenzado en 1777 con la Real Orden de Carlos III estableciendo la creación de la “Academia de Minas de Almadén”. En 1783 el ministro del Consejo de Indias Jose de Gálvez publica las “*Reales Ordenanzas para la dirección, régimen y gobierno del importante cuerpo de la minería de Nueva España, y de su real tribunal general. De orden de su Magestad.*” (Figura 44).

Este tribunal se compone, de acuerdo con el Título 1^º, de un Administrador General, que será su presidente un Director General y tres diputados generales

La educación se contempla en el Título 18 “*De la educación y enseñanza de la Juventud destinada a las Minas, y del adelantamiento de la Industria en ellas*” y en este título en el artículo seis se establece cual es el título del centro “Real

Seminario de Minería”, este Real Seminario dependerá del Director General y en los artículos 4 y 5 se indica la función de este seminario:

Artículo 4:

En dicho Colegio se han de poner los necesarios Profesores seculares, y bien dotados, para que enseñen las Ciencias, Matemáticas, y Física experimental conducentes al acierto y buena direccion de todas las operaciones de la Minería.

Artículo 5

Asimismo ha de haber Maestros de las Artes mecánicas necesarias para preparar y trabaja las maderas, metales, piedras y demás materias de que se forman las Oficinas, Máquinas é Instrumentos que se usan en el laborío -de las Minas y beneficio de sus metales , y-tambien un Maestro de dibuxo y delineacion. [sic]

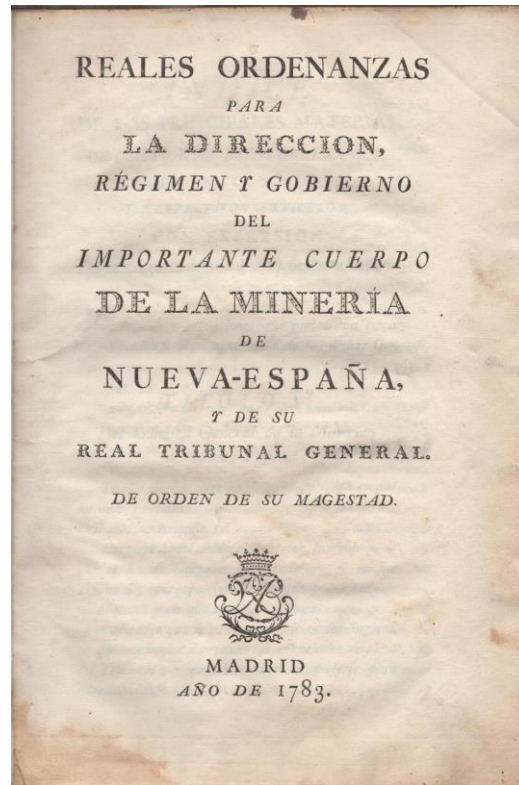


Fig. 44 Ordenanzas para la dirección, régimen y gobierno del importante cuerpo de la minería de Nueva España,

El director general tenía como obligación dar seguimiento a los planes académicos. El 18 de julio de 1786 se designa a Fausto Elhuyar como director general. Elhuyar preparó el Plan académico que fue aprobado en 1789. El Real seminario comienza su andadura el 1 de enero de 1792. Siendo la primera institución de ingeniería de Minas en los territorios de Ultramar.

Los contenidos de la oferta, académica se analizarán en el punto 5.3.2.1.2

De estas ordenanzas merece resaltar las referencias a la industria necesaria en la minería y los derechos de invención. Como se indican

Artículo 16

En este artículo se trata de incentivar el uso de la maquinaria adecuada, utilizando de forma implícita el concepto de ciclo de vida

.....”quiero y mando que se excite, fomenta y promueva con con la mayor actividad , madurez y discrecion , la Industria aplicable á la Minería , y que tan recomendable lugar merece en ella , **poniéndose especial esmero y atencion en observar el uso y efecto de las Máquinas , operaciones y métodos que al presente se emplean en su ejercicio , para que todo lo que se hallare verdaderamente útil y perfecto en su género se conserve en toda su integridad , sin que insensiblemente pierda ó desmerezca...**”[sic]

Artículo 17

En este artículo se trata la necesidad de estar atentos a las propuestas de mejora

” Todos los que inventaren o discurrieren qualesquiera especie de Máquinas , Ingenios ó Arbitrios, Operaciones ó Métodos conducentes á adelantar la industria de la Minería , y que produzcan alguna ventaja aunque al principio parezca pequeña , han de ser oidos y atendidos ; y si por su pobreza no pudieren verificar las experiencias de sus inventos como es necesario , se costearán del fondo de la Minería , y también la construccion de las Máquinas siempre que , presentadas en Proyecto , se demuestren y calculen en él sus efectos , y los califiquen y juzguen prácticamente probables el Director General de Minería y los Maestros del Colegio” . [sic]

Artículo 18

En este artículo se trata la necesidad de los derechos de invención

*” Los Inventos útiles y aprobados que despues de verificados en grande se calificaren por el uso corriente de mas de un año , serán premiados con privilegio exclusivo durante la vida de su Autor para que nadie use de ellos sin su consentimiento , y **sin contribuirle con una moderada parte del provecho y ventaja que efectivamente resultare del uso de la tal invención**” ..* [sic]

Como se puede observar no se cuantifican los derechos de invención, a cambio de esta falta de cuantificación la propiedad del invento está ligada a la vida del inventor. Modelo en oposición al contemplado en el modelo inglés de “*Statute of Monopolies*”

4.3.7 La industria manufacturera como excepción

La industria manufacturera del siglo XVIII es un modelo de realimentación positiva, utilizando un concepto de la teoría de control, en este siglo se va a desarrollar de una manera dinámica y a una alta velocidad, en comparación con el siglo anterior, de la tecnología en todo lo que va a tener que ver con determinadas industrias que se van a desarrollar a lo largo de este siglo, la industria textil, metalúrgica, del transporte etc. Este nuevo modelo va a generar, como indica Mokyr, un círculo virtuoso de un nuevo diseño va a implicar, en base a un incremento en la eficiencia y eficacia del proceso, un cuello de botella en procesos aledaños, el mejor ejemplo es el textil, en este caso los avances en los telares van a generar una mayor demanda de hilos lo que va a implicar una presión sobre los procesos de obtención de hilos. Y así sucesivamente. En este siglo, la innovación va a dar lugar a un nuevo que se consolidará en el siguiente siglo. [Mokyr, J., & de la Población, y. T. (1987) pág.451].

El caso de la industria manufacturera representa una excepción en la búsqueda de una demanda de formación reglada de ingeniería, en el siglo XVIII, ni en Francia ni el reino Unido ni en el Reyno de España, existen ningún intento por parte de las distintas administraciones de disponer de ingenieros con formación reglada, aunque van a existir algunos tipos de demanda, como serán la formación de aprendices o la solicitud de algunas cátedras ligadas a la industria manufacturera, y en el caso del España ligadas a asociaciones tales como las Reales Sociedades de Amigos del País o la Junta de Comercio de Barcelona..

De las distintas razones que pueden explicar esta situación se van a analizar las siguientes:

- No es necesario ingenieros con formación reglada, porque en el alcance del concepto de ingeniero no se incluye lo que se entiende como industria manufacturera, como se vio en el punto 2.4. Esto es común a España, Francia y Gran Bretaña. En el caso inglés es coherente, dado que, el modelo inglés se basa en el modelo del empirismo de Bacon.

- La existencia de profesionales artesanos para el desarrollo de los nuevos modelos mecánicos, textiles, vapor etc.
- La no necesidad, por parte del Estado de Ingenieros manufactureros como funcionarios del estado y la falta de cuerpos facultativos al respecto.
- Los nuevos modelos industriales
- Un ágil derecho de patentes.
- En el caso de España merecen especial consideración
 - La consideración social de los artesanos
 - La existencia de los gremios que gestionaban la transmisión del conocimiento y establecieron procesos regulatorios en régimen de monopolio.
 - El fenómeno de las reales fábricas

4.3.7.1 *Los maestros artesanos del siglo XVIII*

El desarrollo la operación y el mantenimiento de las nuevas máquinas de la industria manufacturera van a estar en manos de maestros artesanos, de acuerdo con [Von Tunzelmann, G. N. (1997). PG 7-8], tales como:

- Artesanos procedentes de la fabricación de relojes e instrumentos, que van a aportar conocimiento de procesos mecánicos muy precisos, que permitirán desarrollar nuevos instrumentos, necesarios para el control de las nuevas máquinas (telares, máquina de vapor etc.) (figura 45)
- Herreros, que están acostumbrados a trabajar con el hierro
- Constructores de molinos acostumbrados a la integración de un conjunto de mecanismos para poder manufacturar harina, y otros elementos.
- ...

En el caso inglés muchos de estos profesionales no tienen un profundo conocimiento de las matemáticas, lo cual no significa ignorancia, pero si tiene una excelente formación práctica. Y son capaces de responder a la presión de la mejora de la innovación y del modelo económico, de acuerdo con [Vérin, H. (1998)]

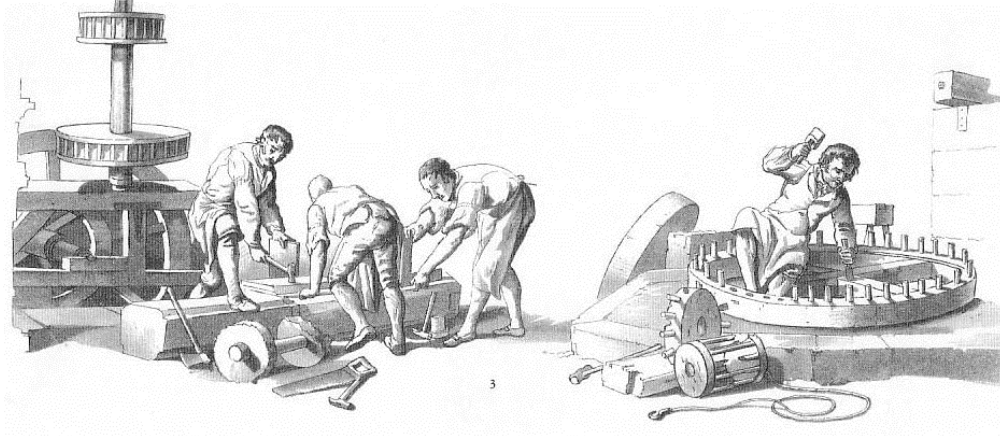


Figura 45 Constructores de Molino reparando un Molino. Source: W.H. Pyne, *Microcosm or a picturesque delineation of the arts, agriculture and manufactures of Great Britain*. London 1806 (Beek 2013)

4.3.7.3 *Los nuevos modelos de industria manufacturera*

El periodo anterior a la Revolución industrial suele conocerse como el modelo Protoindustrial, que corresponde con el desarrollo de zonas rurales cuya población va a vivir total o parcialmente de la producción manufacturera dirigida a mercados interregionales o internacionales [Kriedte, P. (1982)].

El modelo manufacturero de acuerdo con [Kriedte, P., Schlumbohm, J., & Medick, H. (1986)] se basa en dos opciones:

- El Kaufssystem, que es un sistema de producción en el que el pequeño productor, normalmente artesano rural, es propietario de los instrumentos de trabajo (utillaje) y de la materia prima y vende sus productos a un comerciante o mayorista
- El Verlagssystem, denominado también el trabajo a domicilio o putting out system". En este caso el pequeño productor trabaja por encargo del comerciante (denominado Verleger) que suele ser el propietario de la totalidad o una parte de la producción, por tanto, esto implica una penetración del capital de los comerciantes en la esfera productiva.

En este tipo de opciones la penetración de la ingeniería iría ligada al diseño de las herramientas productivas. Las necesidades de ingeniería ligadas a gestión productiva

estarían ligadas a los modelos Factory system, en el caso de España serían las Reales Fábricas o los Arsenales y tampoco en ellas se consideraría la ingeniería como hija de la formación reglada.

Por tanto, el proceso de conocimiento que persistirá será el basado en la experiencia.

4.3.7.2 La ausencia de necesidad de los ingenieros ligados a la industria como como funcionarios del estado.

Como se ha visto las tecnologías que van a desarrollar otro tipo de ingenieros, infraestructuras, marina, minas etc., dan lugar, no es el caso de Inglaterra, a un monopolio del estado sean ingenieros civiles o militares [Forest, J., Chouteau, M., & Nguyen, C. (2011)] y esta situación se va a dar durante todo el siglo XVIII, de hecho la creación de École polytechnique y su antecesora L'École centrale de travaux publics tienen como objetivo el de formar a ciudadanos para dirigir obras del estado. Pero en el caso de la industria no se considera necesario, conviene recordar que a final del siglo en 1780 el duque de La Rochefoucauld-Liancourt funda una granja escuela en Châlons-sur-Marne para los hijos de los soldados del regimiento de dragones en la que se da formación sobre: ebanistería, carpintería, cerrajería, etc. Esta granja escuela fue el origen de l'École Centrale d'Arts et Manufactures de Paris en 1828. En el caso de España ni siquiera la existencia de las Reales Fábricas motivó la necesidad de una formación reglada. Los ingenieros ligados a la industria manufacturera hubieran sido una suerte de ingenieros civiles y eso solo tuvo lugar en el siglo XIX.

4.3.7.4 Un ágil modelo de patentes

El desarrollo industrial necesita de la innovación y el desarrollo de la innovación va a ir ligado a la propiedad de la innovación, o sea a la patente, como se ha indicado en el punto 3.5.2 los ingleses fueron adelantados en el derecho de patentes, a partir del siglo XVII (1624) que se perfecciona en el siglo XVIII en 1734 año a partir del cual la ley inglesa exige que la solicitud de patente vaya acompañada de la descripción del invento que se pretende patentar. La patente va unida inherentemente con el derecho de propiedad y la percepción de ingresos durante un periodo determinado [García Sandoval, A. (2018)], y es un incentivo para los inventores.

En el caso de España, la postura de Campomanes fue opuesta a los privilegios de patente que los calificaba de mayorazgos, era partidario de dar incentivos puntuales, en el caso de la

minería como se ha visto en las *Reales Ordenanzas para la dirección, régimen y gobierno del importante cuerpo de la minería de Nueva España, y de su real tribunal general. De orden de su Magestad* en su artículo 18 el modelo de retribución era muy poco atractivo para el inventor.

Para el análisis de los privilegios de patente o de propuesta de mejora de maquinaria, el Consejo de Castilla delegó en la Real Sociedad Económica Matritense, en su apartado de la Clase de Artes y Oficios que para su análisis hizo uso de los ingenieros militares que formaban parte de esta, entre ellos estaba el ingeniero militar Carlos Lemaur. En el caso de los privilegios de patentes examinado entre 1776 y 1808 es de 23 ver tabla 2 [Roncal, A. M. M. (1996)].

Tabla 2 Expedientes de patentes examinados por la Sociedad Matritense

Invención	Inventor	Profesión	Año	Dictamen
Cabria	Pedro Legendre	Mecánico	1785	Favorable
Cartón	Juan Llaguno	Cartonero	1779	Negativo
Extractora	Francisco Pérez	Arquitecto	1778	-
Guillotina	Francisco Fau	Maquinista	1801	Negativo
Hornillos	Juan Cobos	Herrero de Grueso	1792	Favorable
Molino	Xabier Armelín	-	1784	-
Molino	José Ibañez	-	1776	Favorable
Molino	José Ibañez	-	1776	Negativo
Molino	Antonio Terán	Maestro de obras	1777	Favorable
Molino	Vicente Larrina	Comerciante	1778	Favorable
Molino	Manuel López	Vidriero	1778	Favorable
Molino	Hermanos Durán	-	1778	Negativo
Molino	José Ortizvo	-	1782	Negativo
Molino	Esteban Espinoy	Ingeniero	1787	Favorable
Obleas, lamparillas y cerillas	José de Prados	Fcte. de obleas	1803	Favorable
Taona	José Camacho	Rector de Córdoba	1785	Favorable
Taona	Juan Bartivas	Comerciante	1787	Negativo
Taona	Juan Bartivas	Comerciante	1788	Negativo
Taona	Juan Bartivas	Comerciante	1790	Favorable
Taonas	Juan Montaña	Relojero	1783	-
Teja	Juan Fernández	Maestro de obras	1797	Favorable

Esta tabla corresponde con el Cuadro I de [Roncal, A. M. M. (1996)]

Del análisis de las propuestas se puede tener una visión muy aproximada de la industria española, que estaba bajo la supervisión del Consejo de Castilla, no están incluidos aquellos que dependían de Aragón etc., tanto en el privilegio solicitado como en la profesión de los inventores

La sociedad matritense también examinó máquinas y herramientas que le enviaban para solicitar un reconocimiento oficial, de acuerdo [Roncal, A. M. M. (1996)], desde 1775 a 1803 se inspeccionaron 60, y de acuerdo con la clasificación de [Roncal, A. M. M. (1996)], se tiene el siguiente resumen ver tabla 3 y las tablas 4, 5 6 y 7 que corresponden con el cuadro II de [Roncal, A. M. M. (1996)].

Tabla 3. Tipo de maquinaria y dictamen [Roncal, A. M. M. (1996)].

Tipo de Maquinaria inspeccionada	Cantidad	% del total	Dictamen		
			Favorable	Desfavorable	Desconocido
Textil	16	26,67%	7	4	5
Molinos	12	20,00%	6	4	2
Máquina Herramienta	11	18,33%	2	9	
Herramientas	10	16,67%	9	1	
Bombas de agua	3	5,00%		2	1
Varios	8	13,33%	4	3	1
Total	60	100,00%	28	23	9

Tabla 4. Tipo de herramienta y dictamen [Roncal, A. M. M. (1996)].

Tipo de Máquina	Maquinaria	Profesion	Año	Dictamen
Herramienta	2 rastrillos	Rastrillador	1777	Favorable
Herramienta	Cepillo	Rastrillador	1777	Favorable
Herramienta	Engranadera	Rastrillador	1777	Favorable
Herramienta	Rastrillo	Herrero	1778	Favorable
Herramienta	Rastrillo		1779	Favorable
Herramienta	Trepanadora	Archivero	1787	Favorable
Herramienta	Un Acanalador	Ensamblador	1783	Favorable
Herramienta	Una Romana	Cerajero	1785	Favorable
Herramienta	Una Romana		1797	Negativo
Herramienta	Unas poleas	Mecánico	1784	Favorable

En la tabla 4 que está dedicada a las herramientas, se puede observar las propuestas son de poco valor añadido.

Tabla 5. Tipo de Máquina herramienta y dictamen [Roncal, A. M. M. (1996)].

Tipo de Máquina	Maquinaria	Profesion	Año	Dictamen
Máquina herramienta	Banco de Taller	Presbítero	1803	Favorable
Máquina Herramienta	Grúa de mar	Ensamblador	1792	Negativo
Máquina herramienta	Máquina de figuras		1792	Negativo
Máquina herramienta	Máquina para hacer cables	Cordelero	1784	Negativo
Máquina herramienta	Un Serradero	Presbítero	1777	Negativo
Máquina Herramienta	Una Grúa	Ensamblador	1792	Negativo
Máquina herramienta	Una Máquina de continuo movimiento		1785	Negativo
Máquina herramienta	Una Máquina de perenne movimiento-	Monje Prior	1790	Negativo
Máquina herramienta	Una Máquina para dar espíritu al agua muerta	Ensamblador	1792	Negativo
Máquina herramienta	Una máquina para hacer hebillas	Mecánico	1784	Favorable
Máquina herramienta	Una Máquina para limar e hilar hierro		1790	Devuelta

En la tabla 5 dedicada a las máquinas herramientas prácticamente todas fueron dictaminadas de forma desfavorable, las máquinas examinadas indican de nuevo un modelo manufacturero de muy poco valor.

Tabla 6. Tipo de Molino y dictamen [Roncal, A. M. M. (1996)].

Tipo de Máquina	Maquinaria	Profesion	Año	Dictamen
Molino	2 molinos	Presbítero	1777	Negativo
Molino	Molino de agua	Presbítero	1777	Favorable
Molino	Molino pólvora	Presbítero	1777	Favorable
Molino	Molino pólvora	Carpintero	1785	Favorable
Molino	Molino portátil	Rastrillador	1776	Favorable
Molino	Molino trigo	Carpintero	1785	Negativo
Molino	Un Batán	Presbítero	1777	Negativo
Molino	Un Molino	Cabo primero	1779	Favorable
Molino	Un Molino	Doctor	1784	Negativo
Molino	Un Molino		1783	
Molino	Un Molino		1783	
Molino	Una Taona		1785	Favorable

En la tabla 6 dedicada a las máquinas orientadas a la molienda informadas favorable o desfavorablemente, no parece un diseño avanzado.

Tabla 7. Tipo de Textil y dictamen [Roncal, A. M. M. (1996)].

Tipo de Máquina	Maquinaria	Profesion	Año	Dictamen
Textill	3 hiladoras	Mediero	1780	
Textill	6 telares de medias		1797	
Textill	Afinadora lino	Rastrillador	1777	Favorable
Textill	Peine tejedor	Grabador	1799	Negativo
Textill	Telar	Sedero Mayor	1807	Favorable
Textill	Tomo hilador	Cordelero	1783	Favorable
Textill	Tomo hilador	Cordelero	1783	Favorable
Textill	Un Agramador		1785	Negativo
Textill	Un Telar	Mediero	1796	Favorable
Textill	Un Torcedor	Maquinista	1785	Favorable
Textill	Un Torcedor de Seda	Sedera	1783	
Textill	Una Frontura para telares	Sedero	1783	Favorable
Textill	Una Hiladora	Subteniente	1802	Negativo
Textill	Una Hiladora y Torcedora	Tejedor	1791	Devuelta
Textill	Una Máquina para beneficiar lino	Carpintero	1778	
Textill	Una Máquina para sacudir y limpiar algodón	Carpintero	1785	

De la visión del modelo textil conviene recordar que el telar de lanzadera volante había sido patentado en 1733 y que la spinning Jenny se patentó en 1763, con lo que se puede deducir el retraso de nuestra industria textil en comparación con la inglesa. Las spinning se introducen en Cataluña en enero de 1784 [Thomson, J. (2001)].

Por tanto, de los datos expuestos se extrae una conclusión de un pobre nivel de innovación en la industria.

De la revisión de los privilegios de patentes solicitados implica un modelo manufacturero bastante pobre.

4.3.7.5 La consideración social de los artesanos en el Reyno de España

Un tema relevante para el desarrollo de la industria manufacturera la consideración social de sus trabajadores. Y la situación en el Reyno de España era deplorable ya, que de acuerdo con [García Garrosa, M. J. (1993)], en España existía, una lista de profesiones deshonrosas (Profesiones viles), su ejercicio iba unido a la barrera para ejercer cargos públicos, en esta lista se incluían todos aquellos que se dedicaban a la manufactura o trabajos manuales.

Para la dignificación de estos oficios el 18 de marzo de 1783 se publica la *“Real Cédula DE S.M. Y SEÑORES DEL CONSEJO, POR LA QUAL SE DECLARA, QUE NO SOLO el Oficio de Curtidor, sino tambien los demas Artes y Oficios de Herrero, Sastre, Zapatero , Carpintero y otros á este modo , son honestos y honrados ; y que el uso de ellos no envilece la familia , ni la persona del que los exerce , ni la inhabilita para obtener Jos empleos municipales de la República en que estén*

avercindados los Artesanos ó Menestrales que los exerciten". El desencadenante de esta cédula es la comunicación que sobre la situación de los curtidores en Galicia comunica al Rey la Sociedad Económica de Amigos del País de Madrid; sobre la que indica:

*“Sabed, que por la Sociedad Económica de Amigos del País de Madrid con motivo de una memoria presentada en ella , se hizo una representacion al mi Consejo en primero de Agosto del año pasado de mil setecientos ochenta y uno, manifestando el infeliz estado en que se hallan los Curtidores del Reyno de Galicia en medio de sus mochas fatigas; la buena **disposicion que tienen para exercer el curtido uniéndole con la labranza**; los muchos socorros que les ofrece este ramo : que sin embargo de ello es generalmente abandonado este oficio en el mismo Reyno, en donde no se hace Comercio alguno altivo de los Curtidos, pues Ja mayor parte de las pieles que se gastan en él entran curtidas de otros Países , despojando así á aquél del dinero que es tan necesario: que no pende esto de ociosidad de los naturales, sinó del desprecio en que se tienen las Artes é industria, porque su genio es sumamente laborioso, y no . perdonan fatiga alguna para asegurar su subsistencia, deduciéndose claramente que las verdaderas causas de donde procede el abandono de los Curtidos son **del error comun , producido de que por las Constituciones Gremiales, Estatutos de las Hermandades , Comunidades, ó Cuerpos se excluye como viles á los que profesan el oficio de Curtidor, y á sus descendientes, y por tanto dexan de aplicar á sus hijos á su mismo oficio por no incurrir en la nota é infamia en que están, de lo qual dimana su ruina; y que teniendo la Provincia de Galicia las mejores proporciones para fomentar este ramo de Comercio con el que se logrará dar ocupacion á sus naturales , y evitará Ja extraccion de crecidos caudales que se sacan por los Curtidos , la había parecido conveniente ponerlo en noticia del mi Consejo para que, removiendo los obstáculos que han embarazado su progreso y adelantamiento, me consultase sería conducente declarar, que á los Curtidores , Zurradores, y demas Artesanos de qualquier oficio que sean , se tengan en la clase de personas honradas , y que sus oficios no los envilezcan, ni les obsten para obtener los empléos municipales de República.***

*Visto en el mi Consejo, habiendo examinado este asunto con la reflexion y cuidado que pide su gravedad , y teniendo presente lo expuesto por mi primer Fiscal Conde de Campománes, me propuso en consulta de cinco de Febrero próximo la decadencia en que se hallan, no sólo las Artes y Oficios, sinó también el Comercio y Fábricas, producida de la preocupación vulgar de vileza que se les ha ido atribuyendo por explicaciones casuales de las Leyes, y por las disposiciones particulares de Estatutos y Constituciones de varias Cofradías , Hermandades y otros Cuerpos políticos erigidos con autoridad pública; y la necesidad de tomarse una eficaz providencia que, borrando dicha preocupacion,, promueva los referidos Oficios y Fábricas poniéndolos en la clase de honrados para que con esta distincion se exerciten y sigan de padres á hijos, como se hace en otros Reynos y Provincias. Y por mi Real resolucion á la citada Consulta, **he tenido á bien de declarar, como declaro, que no sólo el Oficio de Curtidor, sinó tambien los demas Artes y Oficios de Herrero, Sastre, Zapatero; Carpintero y ótros á este modo, son honestos y honrados; que el uso de ellos no envilece la familia , ni Ja persona del que los exerce, ni la inhabilita para obtener los empléos municipales de la República en que estén avecindados los Artesanos ó Menestrales que; los exerciten ; y que tampoco han de perjudicar los Artes y Oficios para el goce y prerogativas de la Hidalguía , á los que la tuvieren legítimamente conforme á lo declarado en mi Ordenanza. de Reemplazos del Ejército, de tres de Noviembre de mil setecientos y setenta, aunque los exercieren por sus mismas personas : siendo exceptuados de esta regla los Artistas ó Menestrales, ó sus hjjos que abandonaren su oficio ó el de sus padres, y no se dedicaren á ótro, ó á qualquiera Arte ó Profesion con aplicacion y aprovechamiento, aunque el abandono sea por causa de riqueza y abundancia; pues en tal caso, viviendo ociosos y sin destino , quiero les obsten los oficios y estatutos como hasta de presente; en inteligencia de que el mi Consejo quando hallare que en tres generaciones de padre, hijo y nieto , ha exercitado y sigue exercitando una familia el Comercio, ó las Fábricas, con adelantamientos notables y de utilidad al Estado, me propondrá (segun le he prevenido) la distincion que podrá concederse al que se supiere y justificare ser director ó cabeza de la tal familia que promueve y conserva su aplicacion, sin exceptuar la concesión***

ó privilegio de nobleza. si le considerase acreedor por la calidad de los adelantamientos -del Comercio ó Fábricas” [sic]

En esta Cédula independiente de la orden de quitar el concepto de viles a estos oficios hay varios mensajes relevantes en relación con la industria manufacturera.

1. El modelo industrial, de los curtidores es el de Kaufssystem, “*disposicion que tienen para ejercer el curtido uniéndole con la labranza*”
2. Ese modelo industrial está en decadencia
3. La recompensa social a aquellos trabajadores relevantes
4. De forma implícita se reconoce el papel de los gremios como barrera de avance.
5. La cedula revela la existencia de un modelo reputacional, en negativo, la reputación de las artes mecánicas es muy baja.
6. No hay mención a la necesidad de formación.

En relación con las demandas de formación, serán puestas de manifiesto mediante las Sociedades Económicas de Amigos del País. Como un ejemplo de demanda de formación para el desarrollo de la industria popular lo tenemos en la obra de Campomanes en su obra “Discurso sobre la industria popular”

*Si las ciencias requieren escuelas generales dotadas a costa del común en falta de fundaciones particulares, **la industria popular no es menos acreedora a una enseñanza suficiente y gratuita.** [sic]*

[Rodríguez Campomanes y Sorriba, P. (1774). PAG CXXVI]

4.3.7.6 La existencia de los gremios en el Reyno de España

En el siglo XVIII se van a publicar distintas enciclopedias, en la enciclopedia de Diderot se van a incluir representaciones gráficas, ver figura 45, de los distintos talleres de manufactura, por primera vez se rompe el secretismo de los gremios, puesto que el conocimiento se pone al alcance de todos los lectores [Moscoso, J. (2005)]. Los gremios van a representar una barrera en la formación reglada.

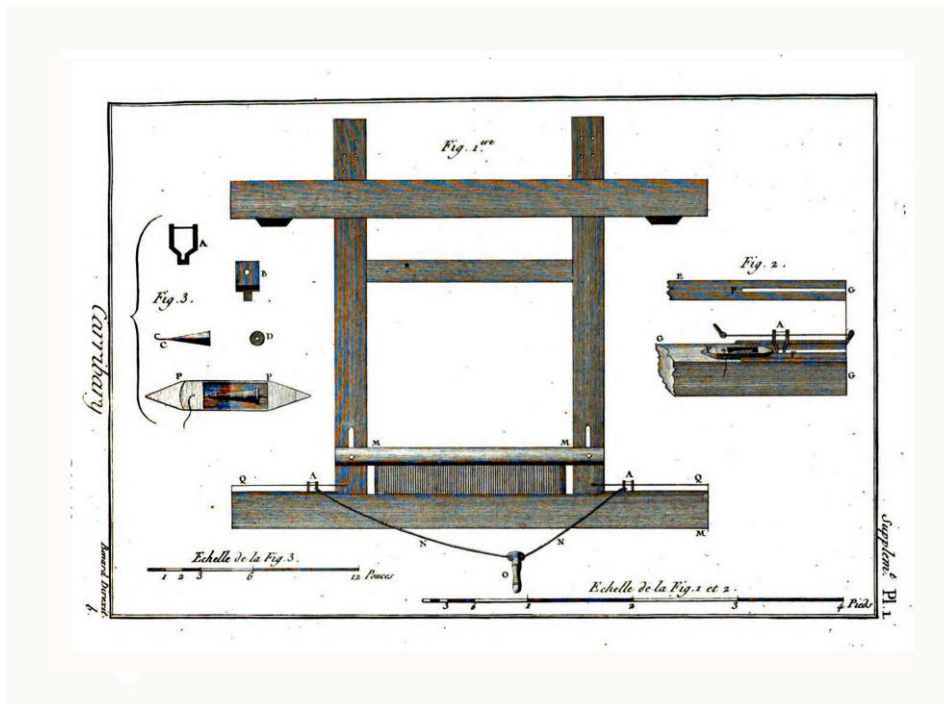


Fig. 45 Encyclopédie_méthodique-Planches,T8,Pl2-Manuf.&Arts-2-2.
Carribary o Lanzadera Inglesa, [Diderot, D et D'Alembert, J.L.R.]. Source
gallica.bnf.fr / BnF

Los gremios son un modelo organizativo en el que se integraban los artesanos en base a su especialidad, y es una estructura social heredada del feudalismo. Para su definición se va a tomar la que expone [Gonzalo Arce, J. D. (2008)] página 711

Un gremio es una asociación de artesanos exclusivista y ajena al libre juego de la oferta y la demanda, esto es, al libre mercado de estructura capitalista, intervenida y controlada por el poder político feudal (real, concejil o señorial), que la ha creado, tolerado o fomentado en función de sus propios intereses económicos, sociales o políticos, luego también culturales, religiosos y festivos, para integrar al artesanado urbano, como miembro de la clase productora, en las relaciones de producción propias del feudalismo, esto es, como agentes económicos de los que extraer el excedente económico que generaban mediante mecanismos de coerción extraeconómica.[sic]

Esto significa que con el fin de asegurar los ingresos de sus miembros:

- Fijaban la capacidad de producción
- Fijaban el volumen de la oferta
- Limitaban la competencia de precios y de calidad
- Obstruyen la entrada de nuevos productos
- Actúan como un monopolio

Como ejemplo revelador de su oposición a los procesos de formación reglada se tiene el que narra Benito Bails [Bails, B. (1983). Pág. 27-28], entre el Gremio de Arquitectos Nuestra Señora de Belén (apoyado por el Consejo de Castilla) y la Academia de Bellas Artes de San Fernando creada por Real Decreto de 12 de abril de 1752 y que posteriormente tras su aprobación de los estatutos en 1.757. Institucionalizará la enseñanza de arquitectura, reservándose la capacidad de dar títulos habilitantes en exclusiva en contra de la situación que existía en ese momento que esto estaba reservado a la asociación gremial de arquitectos bajo la advocación de Nuestra Señora de Belén. La rotura con los gremios se completa a partir de la Real Real Orden de Carlos III que, en 1783 establece que "*Las Nobles Artes del Dibuxo, Pintura, Escultura, y Arquitectura y Grabada queden enteramente libres... para que los particulares aficionados, y qualquiera otro sujeto, así nacional como extranjero, las exerza sin estorbo ni contribución alguna*".

Los gremios fueron acusados por parte de Campomanes en su "Discurso sobre el fomento de la industria popular" de niveles muy bajos de enseñanza, y que solo seguían la tradición del empirismo y el conocimiento transmitido solo por la experiencia. Pero curiosamente no se plantea el tema de la formación de la formación reglada, y en el caso de la Reales Fábricas, no menciona ningún modelo estratégico.

4.3.7.7 El fenómeno de las Reales Fábricas.

En el siglo XVIII se produce un proceso de reindustrialización que podría haber sido un momento oportuno para desarrollar una demanda de formación en procesos de manufacturación, pero no sucedió de esa manera.

Para el desarrollo de este capítulo se han utilizado indistintamente [Quijada, J. H. (1991)], [Quijada, J. H. (2017)] y [Esteve, E. H. (2017)] capítulo 24.

El caso de las Reales Fábricas es una traslación del modelo desarrollado por Colbert de “Les Manufactures Royales” estas empresas de acuerdo con [Quijada, J. H. (1991)] tenían las siguientes características:

1. Eran empresas privilegiadas
2. Como consecuencia de ser una empresa privilegiada estaban sometidas a intervención por parte del Estado
3. Eran empresas con un alto nivel de concentración.

El papel del estado en las manufacturas reales podía tener dos opciones:

- Similar a un empresario, en este caso su papel era el de propietario y único financiador
- Similar a un promotor, en este caso tenía una cierta capacidad de supervisión

El inicio del reinado de los borbones, la situación de desindustrialización en que estaba sumido el reino la industria en el Reyno de España era importante, lo que implicaba un alto nivel del déficit de la balanza comercial y un bajo nivel de recaudación de los impuestos que gravaban la industria manufacturera. Para luchar contra esta situación se pusieron en marcha de acuerdo con [Quijada, J. H. (1991)] las siguientes medidas:

- Actuar sobre los aranceles, poniendo en marcha un proteccionismo aduanero
- Actuar sobre el retraso tecnológico. Mediante
 - Utilizando el espionaje industrial
 - Pensionando a estudiantes en centros extranjeros, París, Schemitz y otros
 - Contratando a técnicos de otros países aduanero
- Limitar los privilegios gremiales
- Estimular a la iniciativa privada en la industria manufacturera.

Pero estas medidas fueron insuficientes para activar la iniciativa privada y poner en marcha un proceso de reindustrialización.

Con el reinado de Felipe V comienza el proceso de la Reales Fábricas bajo la iniciativa del Conde de Bergeyck en 1711 pone en marcha un plan de reindustrialización en el apartado textil mediante la llamada a artesanos flamencos y pone en marcha la primera de las Reales

Fábricas que es la de Valdemoro que inicia su actividad en 1712. Tras esta primera iniciativa se va a desarrollar a lo largo de un siglo con distintas estrategias.

Lo que hoy se denomina Reales Fábricas, de acuerdo con [Esteve, E. H. (2017)], incluye a tres tipos de empresas:

- Empresas privadas, ya existentes, o de nueva fundación que se les concedía el poder exhibir en su título el de Real Fábrica y que tenían algún tipo de exención fiscal.
- Empresas mixtas, en las que, en base a la emisión de acciones, parte de estas eran adquiridas por la familia real. Esto implicaba disfrutar de determinados privilegios y un grado de intervención variable.
- Empresas de capital público de nueva planta o por acumulación de empresas existentes, en las que: la gestión estaba al cargo de funcionarios públicos, su financiación es por parte de la Hacienda estatal y tienen un alto nivel de concentración.

En el apartado de tecnologías estas fábricas van a disponer de:

- Nuevas tecnologías, el grado de mecanización variaba de unas a otras
- Maestros artesanos expertos en el manejo de estas
- Capacidad financiera.

La clasificación de las Reales Fábricas se ha realizado en base al producto final y sector industrial. Las tablas las ha elaborado el autor a partir de [Quijada, J. H. (1991)], y [Esteve, E. H. (2017)], en estas tablas se han incluido las principales Reales Fábricas, hubo bastantes empresas privadas que fueron autorizadas a poder exhibir el título.

El análisis se hace por gamas de producto final.

4.3.7.7.1 Reales fábricas ligadas a Cerámica y Porcelana

Tabla 8 Reales Fábricas ligadas a Cerámica y Porcelana. Elaboración propia.

Real Fabrica de	Emplazamiento	Año
Lozas y Porcelana de Alcora	Castellon	1727
Real Laboratorio de Mosaicos y Piedras Duras del Buen Retiro	Madrid	1759
Porcelana El Buen Retiro	Madrid	1760
Real Taller de Marfiles del Buen Retiro	Madrid	1760
Loza	Sargadelos	1791
Azulejos	Valencia	1795
Porcelana de La Moncloa	Madrid	1817

Desde el punto de vista de tecnología merece especial interés la de Porcelana del Buen Retiro, que es una fábrica del Reinado de Carlos III que importa: la tecnología, maestros artesanos, herramientas y materia prima procedente de la fábrica napolitana de Capo di Monte. A esta fábrica se le unió el Real laboratorio de Mosaicos y piedras duras y el Real taller de Marfiles. Fue destruida en la guerra de la Independencia, su producción era suntuaria y en gran parte sus productos eran adquiridos por la familia real. Esta fábrica fue sustituida después de su destrucción por la Real Fábrica de Porcelana de la Moncloa, el director de esta fábrica Bartolomé Sureda, uno de los pensionistas³², se encargará en 1824 bajo la dirección de Juan López Peñalver del taller del Real Conservatorio de Artes en 1824, ver 5.3.2.3.

³² Los pensionistas fueron aquellas profesionales que en el siglo XVIII fueron mandados a Europa para formarse y conocer el estado de las diferentes tecnologías

4.3.7.7.2 Reales fábricas ligadas a la Armada

Tabla 9 Reales Fábricas ligadas a la Armada. Elaboración propia

Real Fabrica de	Emplazamiento	Año
Navíos Sant Feliu de Guixols	Girona	1716
Astillero de Guarnizo	Santander	1721
Arsenal de El Ferrol, Coruña	Coruña	1727
Arsenal de Cartagena,	Murcia	1731
Anclas de Hernani, Guipúzcoa	Guipuzcoa	1751
Lonas y jarcias de Cartagena	Murcia	1751
Arsenal de San Fernando de La Carraca	Cádiz	1752
Lonas y Jarcias de Sada	Coruña	1762
Fábrica de Lonas	Granada	1770
Lonas, Vitres e Hilazas, en Cervera del Río Alhama	La Rioja	1790

La Reales fábricas de los arsenales han sido analizadas en el punto 4.2.3. Las otras fábricas, que figuran en la tabla, son las dedicadas a manufacturar elementos necesarios para el adecuado aparejo de los barcos. Que muchas veces formaban parte de los arsenales

4.3.7.7.3 Reales fábricas ligadas a la Industria de Armamento

Tabla 10 Reales Fábricas ligadas a la Industria de Armamento. Elaboración propia

Real Fabrica de	Emplazamiento	Año
Fundición de Cañones de Bronce	Barcelona	1715
Fundición de Cañones de Bronce	Sevilla	1717
Municiones de Tolosa,	Guipúzcoa	1720
Munición de Linares	Jaén	1757
Armas	Toledo	1761
Artillería de Jimena de la Frontera,	Cádiz	1761
Artillería de Liérganes,	Santander	1763
Artillería de La Cavada,	Santander	1763
Municiones de Eugui,	Navarra	1766
Municiones S. Sebastián de la Muga	Girona	1771
Municiones de Orbaiceta	Navarra	1784
Arnas de Trubia,	Asturias	1794
Fusiles de Oviedo,	Asturias	1794
Municiones de Sargadelos,	Lugo	1794
Cañones de Placencia	Guipúzcoa (Creada en 1573)	1807

Estas fábricas vana a estar sometidas a un proceso de modernización y concentración a lo largo del siglo.

4.3.7.7.4 Reales fábricas ligadas a la Metalurgia y extracción de metales

Tabla 11 Reales Fábricas ligadas a la Metalurgia y extracción de metales.

Elaboración propia

Real Fábrica de	Emplazamiento	Año
Real Fábrica de Hojalata y Altos hornos de San Miguel de Juzcar	Málaga	1731
Minas de plomo de Linares	Jaén	1748
Plomos de Alcora en Canjáyar	Almería	1748
Plomo de Presidio, actual Fuente Victoria (Fondón)	Almería	1751
Acero de La Granja,	Segovia	1760
Salinera de San Antonio en Osuna	Sevilla	1766
Latón, Cobre y Cinc	San Juan de Alcaraz	1773
Metales de San Jorge del Munco,	Albacete	1773
Hojalata de El Salobre,	Albacete	1786
Hojalata de Fontameña,	Asturias	1802

La intervención en las industrias siderúrgicas fue solo a efectos de algún centro piloto como el de Acero de la Granja, las de hojalata de San Miguel El Salobre y Fontameña. De igual forma las extracciones y elaboración de Latón Cobre y Cinc. En la mayor parte de estas fábricas se recurrió a la importación de técnicos extranjeros. Conviene recordar que la Academia de Minas de Almadén está orientada a la minería del mercurio, y no se tiene en cuenta la existencia de otras industrias mineras.

4.3.7.7.5 Reales fábricas ligadas a la fabricación del vidrio

Tabla 12 Reales Fábricas ligadas a la fabricación del vidrio. Elaboración propia

Real Fábrica de	Emplazamiento	Año
Cristales de La Granja,	Segovia	1727
Cristales y vidrio de Santa Lucía, Cartagena,	Murcia	1834

La situación de la industria del vidrio de lujo en el inicio del reinado de Felipe V se satisfacía en base a importaciones de Venecia y Francia. La sorpresa de los gobernantes del Reyno de España vino al conocer que la materia prima que utilizaban esos países procedía del sureste español y que tenía su origen en una planta, la barrilla y que su producto, la sosa barrilla, que se obtenía por calcinación y que era utilizado en la fabricación del cristal y posteriormente exportado a Venecia y a Francia. Felipe V que había empezado a desarrollar las Reales Fábricas decide favorecer la industria del vidrio en España. Inicialmente esta industria comienza a

desarrollarse en el Nuevo Baztan, próximo a Madrid, pero el intento fue fallido por consideraciones energéticas, dificultad en el suministro de combustible para los hornos. Dos maestros vidrieros catalanes Ventura Sit y Carlos Sac se trasladan a San Ildefonso y ponen en marcha la Real Fábrica de Cristales de San Ildefonso. La fábrica se especializa en vidrios planos y espejos de gran tamaño, el proceso que utilizan para la fabricación es el conocido como el de *Domenico Perrotto* que estos dos maestros vidrieros debieron conocer, y que implementaron en la Granja y cuya aplicación supuso el desarrollo de la Real Fábrica. El proceso de Perrotto está documentado en L'Encyclopedie ver Figura 46 y 47, estas figuras corresponden al proceso de vertido del líquido en la mesa y su alisamiento y en la siguiente es la de sacar el vidrio de las carcasas.

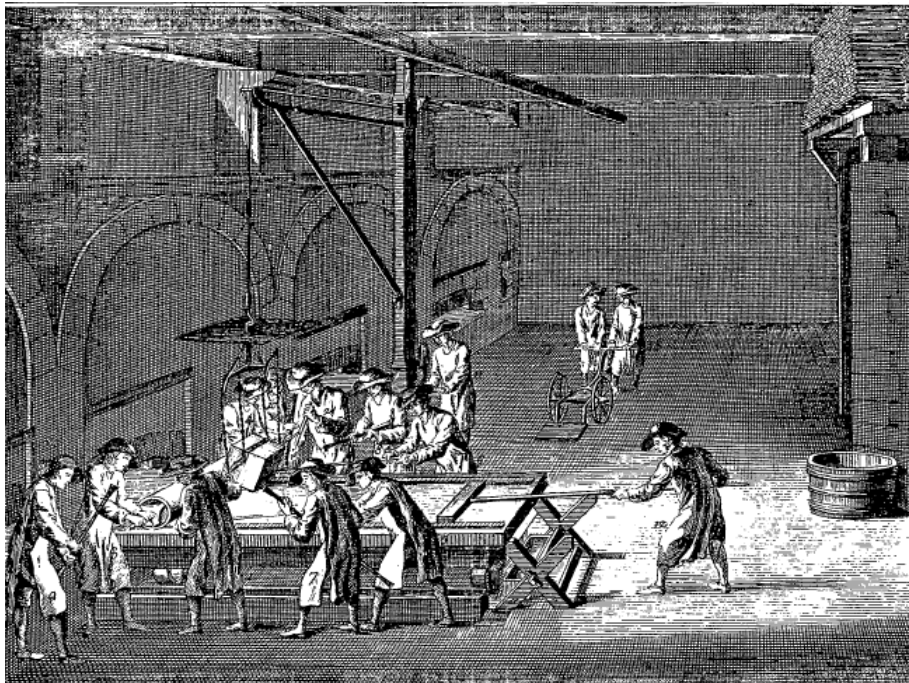


Fig. 46 « Verser et Rouler » Planche XXIV [Diderot, D et D'Alembert, J.L.R.].

Source gallica.bnf.fr / BnF

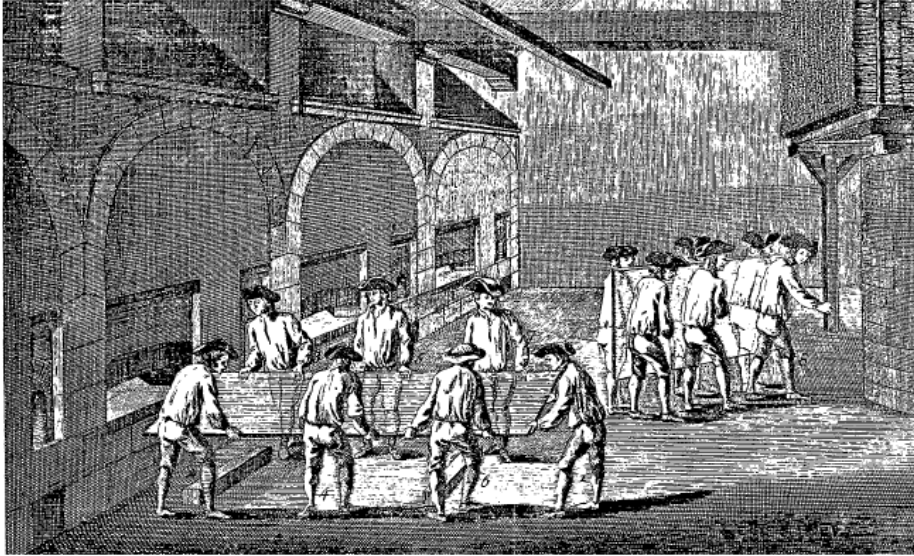
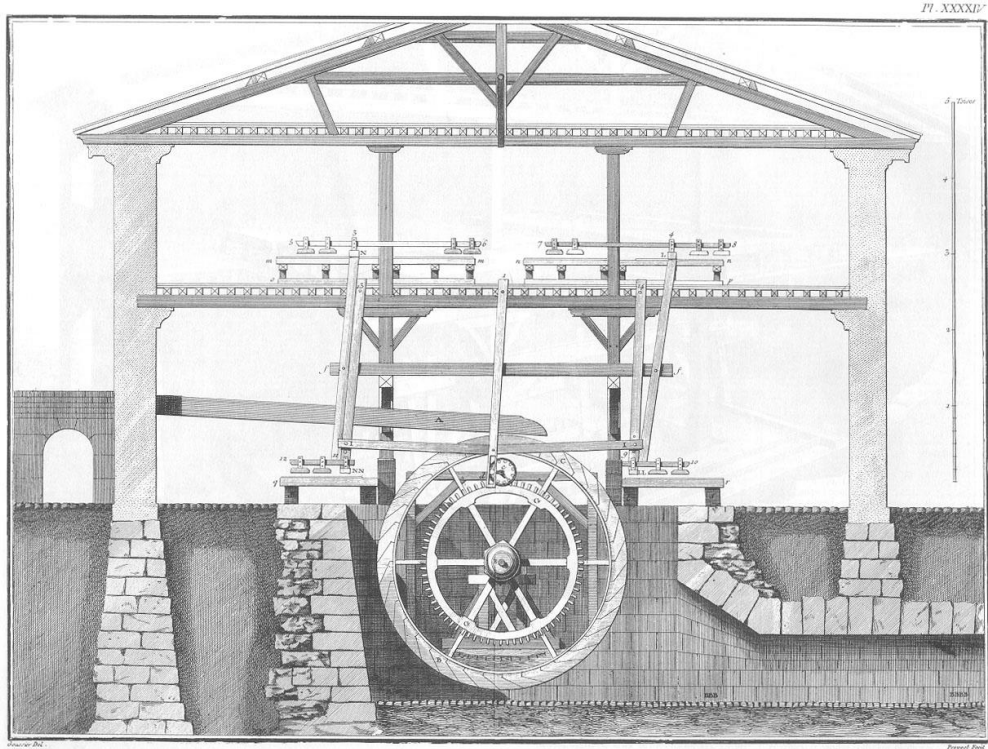


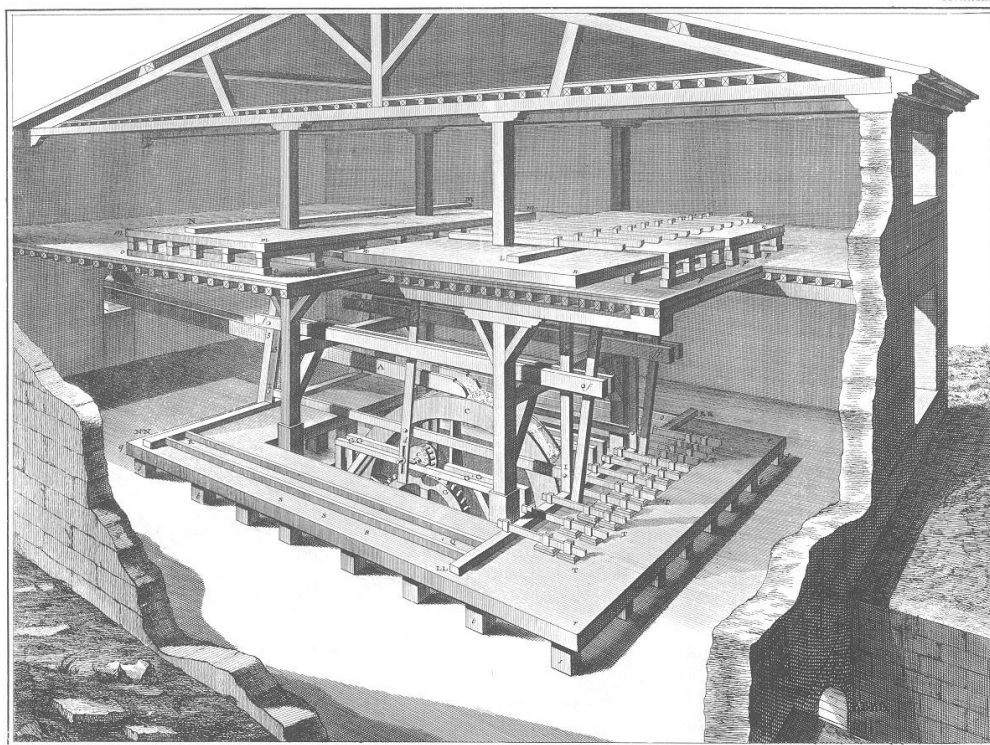
Fig. 47 « *L'opération de sortir les glaces des carcasses* » Planche XXVI [Diderot, D et D'Alembert, J.L.R.] Source gallica.bnf.fr / BnF

Pero una vez obtenido el vidrio, era necesario pulirlo, para lo cual diseñaron una máquina movida hidráulicamente, esta máquina era de una eficacia reducida, ya que la movía una rueda hidráulica y el caudal hidráulico del arroyo que alimentaba dicha rueda era deficiente. En 1750 se incorpora el mecánico irlandés John Dowling, miembro de la Royal Society of Dublin [Ceballos-Escalera, A. (2005)]. Que diseñó una máquina de pulimentar vidrio que supera el problema del caudal de agua llevando su emplazamiento a un nuevo edificio en el cual el caudal del arroyo era suficiente, la máquina tenía varios niveles para pulir, y accionaba 100 pulidores de forma simultánea con lo que suplía el trabajo de 200 hombres [Valero, E. J. (2016)]. Este diseño fue reconocido internacionalmente y como tal fue seleccionado por Diderot para *L'Encyclopedie* en el apartado de *L'Art du Verre* "*Machine à polir les glaces, établie à Saint-Yldefonse, près Madrid, représentée dans les quatre Planches suivantes numérotées*". Ver figuras 48 que es un alzado de la máquina en la que se puede observar los dos niveles de pulido y en la figura 49 se ve una perspectiva de la máquina y se ve con más detalle los pulidores y la entrada del canal de agua.



Glaces, coupe et Elévation de la Machine à polir les Glaces prise selon la longueur du Coursier.

Fig. 48 « Glaces, coupe et Elévation de la Machine à polir les Glaces prise selon la longueur du Coursier » Planche XXXIV [Diderot, D et D'Alembert, J.L.R.] Source gallica.bnf.fr / BnF



«Glaces», Elévation perspective de la Machine à polir les Glaces, Etablie à St. Idelfonse.

Fig. 49 « Glaces, Elévation perspective de la Machine à polir les Glaces , Etablie à Saint Idelfonse» Planche XXXVI [Diderot, D et D'Alembert, J.L.R] Source gallica.bnf.fr / BnF

La máquina de Dowling fue mejorada por el diseño que hicieron los maquinistas Demetrio Crow (hijo de Dowling) y Tomas Pérez (maquinista de la Real Fábrica de Paños de Segovia).

4.3.7.7.6 Reales fábricas ligadas a Productos suntuarios

Tabla 13 Reales Fábricas ligadas a Productos Suntuarios. Elaboración propia

Real Fabrica de	Emplazamiento	Año
Papel Pintado	Madrid	1786
Abanicos	Madrid	1788
Relojes (Real Escuela de relojería)	Madrid	1788
Relojes	Ciudad Real	1789
Platería de Martínez,	Madrid	1792
Abanicos	Valencia	1802

Estas fábricas tienen interés en que dos de ellas, la de relojes y la de platería, llevaban anejo una escuela de aprendices para su formación. En el caso de la Escuela de platería es un ejemplo

de una empresa creada por Antonio Martínez en 1778 y posteriormente recibió el privilegio de Real Fábrica.

4.3.7.7.7 Reales fábricas ligadas al Monopolio

Tabla 14 Reales Fábricas ligadas a Productos ligados a monopolio. Elaboración propia

Real Fabrica de	Emplazamiento	Año
Naipes de Macharaviaya	Málaga	1776
Aguardiente, en Guayaquil	Ecuador	1778
Aguardientes y Naipes y papel sellado,	Madrid (después, Fábrica de Tabacos)	1781
Cera	Madrid	1788
Aguardientes y Licores en el Puerto de Santa María	Cádiz	1797
Coches	Madrid	

De estas fábricas, se puede destacar la de naipes de Macharaviaya, como ejemplo de Real Fábrica. Esta fue creada por el ministro de Indias José Gálvez, para suministrar en forma de monopolio los naipes a los territorios de ultramar, el emplazamiento se establece en Macharaviaya que era un pueblo de 300 habitantes y en la que había nacido José Galvez. La vida de la fábrica estuvo ligada al monopolio del producto. [Pleguezuelo, M. J. N. (2008).]

La Real fábrica de aguardientes de Madrid fue propuesta, en el decreto fundacional del Real Conservatorio de Artes, como sede del mismo, posteriormente se le asignó otra sede en la calle del turco.

4.3.7.7.8 Reales fábricas ligadas al tabaco

Tabla 15 Reales Fábricas ligadas al tabaco. Elaboración propia

Real Fabrica de	Emplazamiento	Año
Tabacos	Cádiz	1741
Tabacos	Sevilla	1758
Puros y Cigarros	México	1778
Tabacos	Madrid	1792
Tabacos	Coruña	1804
Tabacos, en La Habana.	Cuba	1845

Estas reales fábricas estaban dirigidas a la elaboración de tabacos. El magnífico edificio de la fábrica de tabacos de Sevilla fue el edificio industrial más importante de la España de XXVIII, fue diseñado y gestionada su construcción por los ingenieros militares (Ignacio Sala, Diego

Bordick Deverez, Sebastián Van der Borcht). Este edificio es hoy el Rectorado de la Universidad de Sevilla.

4.3.7.7.9 Reales fábricas ligadas al textil

Tabla 16 Reales Fábricas ligadas al Textil. Elaboración propia

Real Fabrica de	Emplazamiento	Año
Tejidos de Chinchón	Madrid	1702
Paños finos de Valdemoro	Madrid	1712
Paños y sarguetas de San Carlos	Guadalajara	1719
Tapices de Santa Bárbara,	Madrid	1720
Alfombras Turcas de la calle de San Bernardo	Madrid	1721
Indianas	Barcelona	1738
Paños de Grazalema	Cádiz	1745
Paños de San Fernando de Henares	Madrid	1746
Seda de Talavera de la Reina,	Toledo	1748
Paños de Brihuega,	Guadalajara	1750
Tejidos de lana de Ezcaray	La Rioja	1752
Mantelería	Coruña	1756
Sargas, Paños y Estambres de Almagro	Ciudad Real	1757
Sombreros en San Fernando de Henares	Madrid	1758
Lencería	León	1759
Real Fábrica de Lencería la Granja de San Ildefonso,	Segovia	1759
Paños superfinos	Segovia (cuando cerró paso a llamarse Real Fábrica de los Ortiz de Paz)	1763
Lanas, Paños y Bayetas de Antequera	Málaga	1765
Seda de Vinalesa,	Valencia	1769
Seda a la Piamontesa	Murcia	1770
Alfombras	Cuenca	1771
Real Compañía de Hilados de Algodón,	Barcelona	1772
Paños Diego López de Béjar,	Salamanca	1782
Holandillas y Bocacías	Madrid	1785
Hilados y Tejidos de Algodón	Avila	1787
Paños de Alcoy	Alicante	1800
Hules	Cádiz	1803
Bayetas de Úbeda	Jaén	
Lencería y Pintados de Aranjuez,	Madrid	

En este sector manufacturero es donde está el mayor número de Reales Fábricas de todas ellas se pueden destacar:

- La Real Fábrica de Guadalajara toma como referencia la fábrica de Abbeville y su objetivo es producción a gran escala de paños finos y sarguetas, luego a ser el mayor

complejo industrial de España ya que a finales del siglo trabajaban en modo concentrado 4000 artesanos y en modo distribuido 18.000 hilanderas y uniendo con otros centros 21.000 personas. Esta fábrica puso en marcha sistemas de formación de aprendices. Pero en función del número de hiladoras, en base a la demanda de los telares implica la falta de mecanización. Conviene recordar que las spinning Jenny se patentó en 1767. En 1833 pasó a ser la sede de la Academia de Ingenieros Militares. [Ballesteros, A. G. (1975)]

- La intervención en la industria de la seda que estaba en crisis en el siglo XVIII [Solà, À. (2010)] para lo que se promovieron tres industrias piloto con técnicos extranjeros:
 - La Real Fábrica de Seda de Talavera de la Reina, fue la primera empresa que concentro en una misma fábrica el hilado, tejido y teñido de la seda, por lo que parece las máquinas de hilar eran similares a las que existían en Basilea. El director de la planta, el francés Jean Ruliere fue procesado. Fue un ensayo del modelo de *factory system* [Peñalver Ramos, L. F. (1996)].
 - La Real Fábrica de seda la Vinalesa de Valencia, en ella se introduce el método Vaucanson, mediante la contratación de un técnico francés François Toullet, que diseñó un proceso de mejora (es conocido como el método Vaucanson a la española), que mejoraba las prestaciones del sistema.
 - La Real Fábrica de Hilar Sedas a la Piamontesa de Murcia. Para este este modelo contratan a un maestro de Turín y se establece un proceso de formación para mujeres y niñas. Se innovaron en máquinas de hilar y se instalaron hornos de alto rendimiento, que permitió obtener un alto rendimiento.

Esta incorporación de nuevas tecnologías contribuyo a la difusión del conocimiento. Que fue aprovechado por el sector privado.

- En el sector del algodón hay una iniciativa que viene acompañada de un alto nivel de tecnología, que es la de la Real Fábrica de tejidos estampados de algodón de Ávila. Esta fábrica sustituyó a la Fábrica de paños del Común basada en la lana. La fábrica de algodón que tiene su origen en un contrato con un fabricante de algodón, Thomas Milne, de la zona de Lyon. La fábrica se distribuyó en tres edificios [Sánchez, A. (2010)]:

- La casa de la Academia de infantería de O'Reilly en la que se estableció: La dirección, los almacenes, los telares, el estampado y talleres de reparación y mantenimiento
- Villa de la Serna en la que se estableció el área de tintes y lavado
- La Casa del Puente, a partir de un antiguo molino, en el que se establece la infraestructura hidráulica, para los procesos de hilatura que utilizó la wáter frame³³ que había diseñado Arkwright (Figura 50).

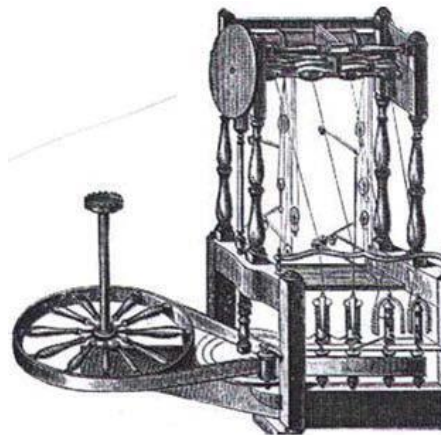


Fig. 50 Water Frame [Domínguez, A. B. (2000)].

Tanto los telares como la sección de hilatura eran de una tecnología moderna, aunque no significa que estuviera alineada la producción. Tampoco la producción estuvo alineada con la distribución. La consecuencia fue que esta Real Fábrica fracasó. Aunque este sector triunfo en Cataluña en una empresa privada que fabricaba telas de algodón las Fábricas de Indianas. El fracaso de esta Real Fábrica es esclarecedor, puesto que se está en presencia de una fábrica que dispone de sistemas mecanizados avanzados, y aun así se produce el fracaso, por lo que se está ante una gestión deficiente y por tanto un problema de gestión.

³³ Bastidor hidráulico de hilar

4.3.7.7.10 Conclusiones

El análisis del fracaso económico de la Reales Fábricas se puede consultar en [Quijada, J. H. (1991)]. Pero desde el punto de vista de demanda de formación técnica:

- Se suple la falta de técnicos por importación de técnicos, que incluso en alguna Real fábrica realizarse en varias ocasiones.
- En esta importación de técnicos no se incluye necesidades de traslado del conocimiento de estos.
- El nivel de mecanización en muchas Reales fábricas era bajo
- El nivel de innovación, excepto en algunos casos es mínimo
- Suele producirse procesos de desalineación entre la Dirección de la Real Fábrica, normalmente un funcionario público con sus problemas de formación y la dirección técnica, frecuentemente suele ser un técnico extranjero con un nivel de experiencia determinado.
- No existen en la mayor parte de los casos proceso de transmisión del conocimiento de los niveles técnicos determinantes.
- El nivel de demanda de formación demandada se limita a aprendices
- Llama la atención que la salvaguardia que se había indicado en la Academia de Bruselas 3.2.2 en la que se establecía formar expertos en arquitectura militar e ingenieros para las fronteras “en lugar de los extranjeros que, por falta de vasallos que los ejerciesen, tenían este empleo”, no se cumpla en este caso.

A las dificultades , que sobre la leccion .
tuvieren , procurará satisfacer el Maestro ,
acomodando su explicacion al genio de cada
uno , repitiendola con el mayor agrado las
veces, que sea necesario, hasta que se hallen
enteramente impuestos , y sus dudas
desvanecidas.

*R.O.29. de Diciembre de 1751 para la
subsistencia, regimen, y enseñanza de la Real
Academia Militar de Matemáticas [sic]*

5.-LA OFERTA DE FORMACIÓN REGLADA

5.1 Introducción

Como se ha indicado anteriormente el siglo XVIII representa para la ingeniería, el siglo en el que por primera vez se va a establecer una formación reglada específica para los ingenieros, una formación *exnovo*, aunque tenga antecedentes como se ha visto en el capítulo 3, esta formación deberá dotarse de un cuerpo de conocimiento que deberá de estar alineado con los diversos conceptos de ingeniero que se tiene en este siglo.

En este siglo la ingeniería pasará de ser una disciplina que se aprende por la experiencia y la traslación del conocimiento del ingeniero a su pupilo, a un modelo en el cual el alumno recibe formación a partir de un programa que le va a suministrar un nivel de conocimientos suficiente para el inicio de la profesión.

La formación reglada va a tener un componente nuevo y es que se va a utilizar la ciencia en el desarrollo de la ingeniería, como ya avanzaba Belidor en el libro que publica en 1729 *“La science des ingénieurs, dans la conduite des travaux de fortification et d'architecture civile”* en el que reivindicaba, como su título indica el uso de la ciencia en el concepto que de ingeniería se tenía en ese momento y la formación reglada va a ser la vía para establecer esta colaboración con la ciencia, que por primera vez utilizará criterios mecánicos, desde el punto de vista de la mecánica como ciencia, en los diseños de fortificación y en los trabajos de ingeniería hidráulica. Este proceso del uso de la ciencia, como una herramienta adicional, va a formar parte del proceso de la ingeniería como dice escribe el profesor Aracil *“Para los ingenieros lo fundamental es resolver un problema utilitario y para ello recurren a todo lo que ayude a este fin. Entre ello probablemente se encuentren los conocimientos científicos y el propio método de la ciencia”* (Aracil, J)

Otro concepto que se va a activar es la titulación habilitante aquella que reivindicaba Juan de Herrera en la primitiva Academia Real Matemática en 1582.

En este siglo van a nacer la formación reglada en las ingenierías tanto en las dos ramas: civil y militar ligada a las: infraestructuras, minas, fortificación, naval etc.

La formación reglada ligada a la industria manufacturera tendrá que esperar al año 1819 aunque su origen esté en la creación del *“Conservatoire national des arts et métiers”* en el año 1794. [Grégoire, H. (1794)]

Este modelo de oferta se dará en Francia y en España, entre otros países, pero no se dará en el entorno anglosajón. Como ya se ha indicado en Gran Bretaña existe un movimiento asociativo, pero no hay en el entorno civil, ningún tipo de formación reglada. Habrá que esperar al siglo XIX para su aparición, en el siglo XIX se va a tener una definición de ingeniería civil, de la que es autor Thomas Telford, ingeniero escocés que procedía del aprendizaje empírico de la profesión y que desarrolló una ingente actividad en todo tipo de proyectos de infraestructuras llegando a presidente de la recién formada Institution of Civil Engineers en 1820 y que en 1828 define al ingeniero civil como “ *In promoting the acquisition of that species of knowledge which constitutes the profession of a Civil Engineer, being the art of directing the great sources of power in Nature for the use and convenience of man*” [sic] [Mountain, A. C. (1900)].

Para analizar la oferta se va a distinguir en razón de su pertenencia, o no, al mundo militar en Francia, Gran Bretaña y el Reino de España.

Los centros de formación reglada que se analizarán son los incluidos en la tabla 17

Tabla 17 Centros de Formación Reglada incluidos en el análisis (elaboración propia)

Año	Institución	País	Ciudad	Organización
1720	Real Academia de Barcelona	España	Barcelona	Militar
1741	Royal Military Academy	Gran Bretaña	Woolwich	Militar
1747	L'École royal des ponts et chaussées	Francia	París	Civil
1748	L'École du corps royal du génie à Mézières	Francia	Mezieres	Militar
1770	Academia de Ingenieros de la Marina	España	El Ferrol	Militar
1777	Academia de Enseñanza de Minas	España	Almaden	Civil
1780	L'Écoles d'Arts et Métiers	Francia	Châlons-sur-Marne	Civil
1792	Real Seminario de la Minería de México	México	México D.F.	Civil
1794	L'Ecole Centrale des Travaux Publics (L'Ecole Polytechnique)	Francia	París	Civil
1794	Le Conservatoire des Arts et Métiers	Francia	París	Civil
1802	Estudios de la Inspección General de Caminos y Canales ("Escuela de Caminos y Canales" a partir de 1803)	España	Madrid	Civil
1824	Conservatorio de Artes	España	Madrid	Civil

En primer lugar, se analizarán los centros de formación reglada de Francia e Inglaterra para posteriormente analizar los centros de formación del Reino de España. El orden de análisis en primer lugar los centros que pertenecen a organizaciones militares y posteriormente los pertenecientes a organizaciones civiles.

5.2 Gran Bretaña

Como ya se ha indicado el modelo inglés, carece de demanda de formación reglada con la excepción de la ingeniería militar. En el modelo francés aparecerá oferta tanto en la ingeniería militar como en la ingeniería civil ³⁴

5.2.1 La Ingeniería militar

5.2.1.1 La Royal Military Academy Woolwich

En 1741 el Rey Jorge II requiere al Board of Ordnance (ver 3.5.1) que se ponga en marcha una academia que *“for instructing the raw and inexperienced people belonging to the Military branch of this office, in the several parts of Mathematics necessary to qualify them for the service of the Artillery, and the business of Engineers”* y cuyo objetivo es obtener *“Good officers of Artillery and **Perfect Engineers**”* [sic] [Bruneau, O. (2020)].

Para llevar a cabo este mandado real, se instalaron en la proximidad del Royal Artillery Depot en Woolwich. (Figura 51).



Fig. 51 Royal Military Academy de Woolwich (1773) © The Trustees of the British Museum

³⁴ Cuando en este apartado utilizamos el concepto de ingeniería civil, está siendo utilizado para la ingeniería que se iba a utilizar en la población.

En el I mandato que recibe la Board Ordnance, de acuerdo con [Bruneau, O. (2020)] se indica el alcance en referencia a los cuerpos facultativos de artillería y de ingenieros y en el curriculum que únicamente se indica las matemáticas³⁵ El programa se dividía en dos partes, la primera dedicada a las matemáticas y la segunda dedicada a la práctica de la ingeniería y al dibujo. La responsabilidad de las matemáticas estaba encomendada a dos profesores:

- John Muller (Chief Master), responsable de trigonometría, topografía, nivelación y mecánica, en los libros se titula a si mismo como Professor of Artillery and Fortification. John Muller era un profesor civil que había escrito:
 - En 1736 un tratado de matemáticas *A Mathematical Treatise: Containing a System of Conic-sections; with the Doctrine of Fluxions and Fluents, Applied to Various Subjects; Viz. to the Finding the Maximums and Minimums of Quantities; Radii of Evolution, Refraction, Reflection; Superficial and Solid Contents of Curvilinear Figures; Rectification of Curve-lines; Centers of Gravity, Oscillation and Percussion. As Also to the Resolution of a Select Collection of the Most Useful, and Many New, Physicomathematical Problems.*
 - En 1750 escribe una tratado de fortificación *A treatise containing the elementary part of fortification, regular and irregular. For the use of the Royal Academy of Artillery at Woolwich.* (ver figura 52)
 - En 1755 editará la segunda parte de este tratado; *A Treatise Containing the Practical Part of Fortification. In Four Part.*

Los dos últimos volúmenes serán traducidos por Miguel Sánchez Taramas y se utilizarán en la Real Academia de Matemáticas de Barcelona. De acuerdo con [Bruneau, O. (2020)] Muller representaría el papel de profesor de matemáticas aplicada, ya conocido, dado que era responsable de fortificación y que en su libro traslada a la fortificación las estrategias francesa y holandesa de Vauban, Coehoorn y Belidor con continuas referencias a la fortificación francesa; este libro fue el utilizado en las clases de fortificación que eran responsabilidad del Chief Master.

³⁵ Conviene recordar que las matemáticas incluían gran parte de las materias de ingeniería de la época.

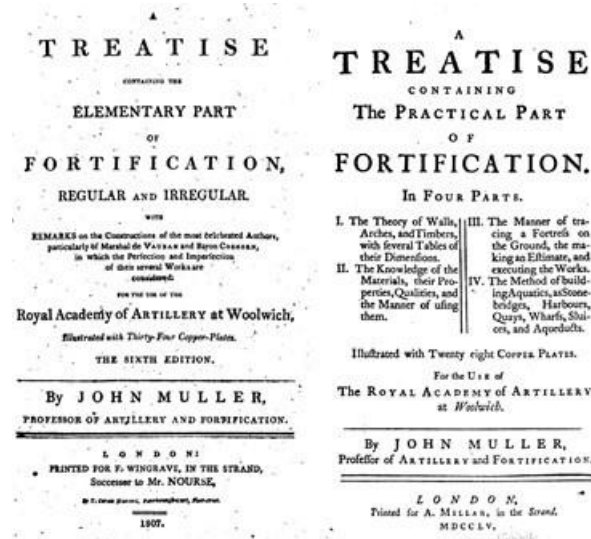


Fig. 52 Portadas del libro de fortificación de Muller

- El segundo profesor fue a partir de 1743 Thomas Simpson, que se hizo responsable de la enseñanza de: aritmética, algebra, geometría. Simpson era un profesor civil y para aproximarnos a las materias que enseñaba, se pueden utilizar los dos libros que escribió en 1745 y 1747.
 - *A treatise of Algebra. Wherein the principles are demonstrated, and applied in many useful and interesting enquiries, and in the resolution of a great variety of problems of different kinds. To which is added, the geometrical construction of a great number of linear and plane problems; with the method of resolving the same numerically.*
 - *Elements of Plane Geometry: To which are Added, An Essay on the Maxima and Minima of Geometrical Quantities, and a Brief Treatise of Regular Solids; Also, The Mensuration of Both Superficies and Solids, Together with the Construction of a Large Variety of Geometrical Problems. By Thomas Simpson, Fellow of the Royal Society, and Professor of Geometry in the Royal Academy at Woolwich. Designed for the Use of Schools*

Los programas de la academia fueron evolucionando a lo largo del siglo añadiendo idiomas (el francés), desarrollando técnicas de dibujo añadiendo la perspectiva; no se añadió la descriptiva. Y la duración de los estudios era de dos años.

El Chief Master fue sustituido tras el retiro de Muller por Charles Hutton que va a utilizar para las clases su propio libro³⁶, libro que se edita en 1770, y que evoluciona hasta la edición de 1798 para el apoyo de los cadetes de ingenieros y artilleros.

En esta Academia no hay formación específica para los ingenieros. Hubo clase de fortificación en algunas universidades como la universidad de Edimburgo en la que se impartían, por parte de Maclaurin, clases de fortificación. [Bruneau, O. (2020)].

Los criterios se basan en el principio de utilidad de Bacon. No consta innovación en la enseñanza como se podrá ver en Francia.

5.3 Francia

A partir de Vauban la ingeniería y consecuentemente la formación de los técnicos pasa a ser un monopolio del estado (esta situación se repetirá en España). Los ingenieros van a tener rango bien de funcionarios civiles como militares Su formación va a estar centrada en un profundo conocimiento científico, favoreciendo el razonamiento deductivo (herencia cartesiana). La formación tanto civil como militar va a estar a cargo del estado. De hecho, en la literatura de la época como indica [Shinn, T. (1978)] en 1837 la definición de ingeniero³⁷ «*un ancien élève de l'École polytechnique, il fera carrière dans l'un des Corps de l'État ; le Génie militaire, l'Artillerie, les Mines et les Ponts et chaussées sont cités comme les plus importants — où il aura, grâce à son intelligence et à ses exceptionnelles qualités de caractère, une fonction de premier plan dans le domaine de la défense nationale aussi bien que dans tous les autres rouages de l'État*».

Lo que si se produce es una alineación, en este caso entre oferta y demanda, dado que ambas van a estar en manos del Estado.

Aunque en Francia el impacto de la Revolución francesa va a ser determinante en relación con la consolidación de las distintas ramas de la ingeniería, en la Revolución va a tener origen el nacimiento de la enseñanza superior industrial.

³⁶ *A treatise on mensuration, both in theory and practice* [Hutton, C. (1812)].

³⁷ Martin (Charles) : *Vocabulaire de la langue française*. París, 1837.

En ambos casos previamente a la formación existe la fundación del correspondiente cuerpo facultativo, salvo en el caso de ingeniería ligada a la manufactura.

5.3.1 La Ingeniería Militar

La ingeniería militar que se va a analizar es la que concierne son la ingeniería del ejército y la de la marina. Por su trascendencia solo se va a estudiar la escuela de Mézieres. La Escuela de Ingenieros de la marina *L'École des élèves ingénieurs-Constructeurs* no se va a analizar.

5.3.1.1 *L'École du corps royal du génie à Mézières*

Para su análisis se han utilizado, principalmente, [Fourcy, A. (1828)]. [Artz, F. B. (1938)]. [Belhoste, B., Picon, A., & Sakarovitch, J. (1990)].

Como se ha indicado en el punto 3.4.2 Vauban funda el “Corps des ingénieurs du génie militaire” como un cuerpo facultativo en el cual para ingresar en él era necesario un examen de competencia y en el lado civil existía el cuerpo facultativo «le Corps des ponts et chaussées» que tenía que incorporar ingenieros, casi simultáneamente se establecen centros de formación reglada.

En 1748 se funda en Mezières, y su recorrido finalizará en 1789, en 1794 se transferirá a Metz y actualmente reside en Angers y se denomina *L'École supérieure et d'application du génie*.

Esta escuela se funda en 1748 y comenzó a impartir enseñanza en 1751 su funcionamiento se trasladará, en parte à *L'École Polytechnique*.

El examen de admisión se realizaba en París, este examen era un ejemplo de rigor, en el tribunal participaba un miembro de la *l'Académie Sciences*, los aspirantes eran examinados de aritmética, geometría de mecánica e hidrodinámica (*Traité élémentaire d'hydrodynamique* de Bossut).

En esta escuela el profesor de matemáticas Gaspard Monge va a enseñar por primera vez la Geometría Descriptiva, a partir de 1780, diseñada por él ver figura 53.

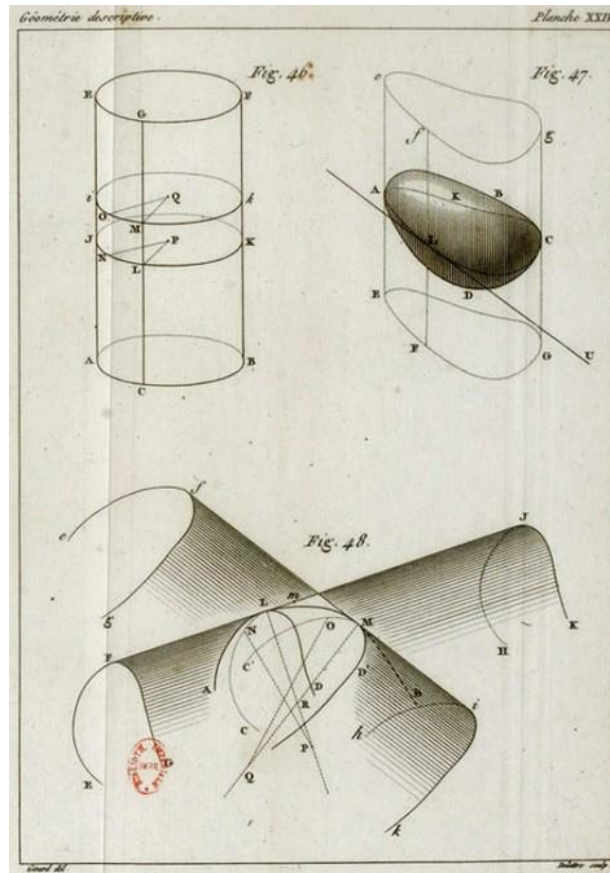


Fig. 53. Les surfaces, par rapport a leurs courbures
[Monge, G. (1798)] Source gallica.bnf.fr / BnF

Los objetivos de la geometría descriptiva enunciados por Monge son los siguientes [Monge, G. (1798)]:

1. *Suministrar los métodos para representar en una hoja de dibujo que tiene sólo dos dimensiones, conocer, largo y ancho, todos los cuerpos de la naturaleza que tienen tres, largo, ancho, y profundidad, siempre y cuando que estos cuerpos puedan definirse de forma rigurosa*
2. *Reconocer; según una descripción exacta, las formas de los cuerpos, y deducir de ellas todas las realidades que resultan de su forma y sus respectivas posiciones.*

Los estudios duraban dos años. La enseñanza era una mezcla de teoría y práctica (tres días a la semana cada una). Se dedicaban al diseño de planos y resolver problemas de ingeniería. El primer año los alumnos se examinaban de estereotomía en todos los tipos de construcción, la

ciencia de las sombras³⁸ la perspectiva, la cartografía. Después del segundo año los exámenes eran sobre física, química, historia natural, diseño de máquinas, cartografía y diseño de fortificaciones. Los veranos los utilizaban en trabajos prácticos.

Las prácticas del primer curso estaban orientadas a:

- La estereotomía, realizando cortes tanto en piedras como en madera, para ello se utilizaban los conocimientos de Descriptiva
- La arquitectura donde trabajaban los cinco órdenes: toscano, dórico, jónico, corintio y compuesto.
- Las sombras, para el cual utilizaban como texto *“Traité des ombres dans le dessin géométral”* de Chastillon³⁹. Para conocer el grado de conocimiento se puede comprobar en una traducción manuscrita del libro Dupain de Montesson, L. C. (1750). *La science des ombres, par rapport au dessein.* (en español), traducida por Phelipe de Leon en 1768.
- La perspectiva en la que se utilizaba la teoría de Monge. Cada alumno tenía que elaborar una perspectiva de un boceto arquitectónico. Como ejemplo de la aplicación de la descriptiva a la mecánica se puede ver en la figura 54

³⁸ *Consiste en conjunto de reglas demostradas para el conocimiento de la especie, forma, latitud y longitud de las sombras de diferentes especies de cuerpos, producidas así en superficies horizontales, verticales o inclinadas como superficies verticales planas, convexas o cóncavas.* [Dupain de Montesson, L. C. (1750)].

³⁹ Este texto se puede consultar en [Olivier, T. (1847)] en las pp. 5 a 26

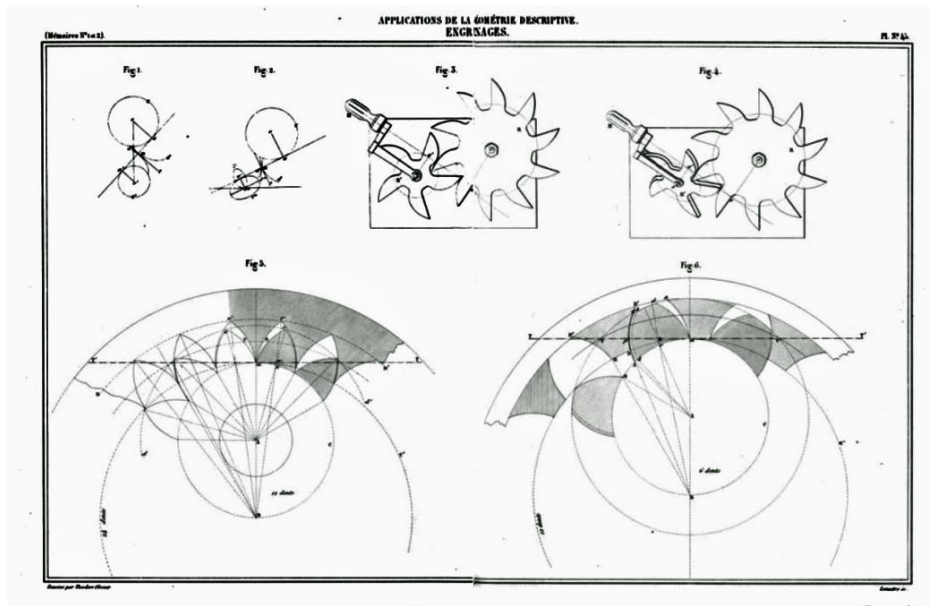


Fig. 54 Aplicación de la geometría descriptiva a engranajes. PI nº 45 [Olivier, T. (1847)]. Source gallica.bnf.fr / BnF

Las prácticas del segundo curso estaban orientadas a la fortificación, para la realización del ejercicio los alumnos tenían a disposición el libro "*Exercice complet sur le tracé, le relief, la construction, l'attaque et la défense des fortifications*" que en la edición que se produce en 1830 describen el ejercicio en sus diferentes partes a partir de la página 207.

De acuerdo con [Belhoste, B., Picon, A., & Sakarovitch, J. (1990)]. EL ejercicio consistía en dos partes:

- La realización de un proyecto completo de fortificación. Tenían que realizar una memoria y el trazado de la fortificación
- La realización de una memoria en la que se estudiaba el ataque y la defensa

El claustro de profesores incluía:

- Un profesor de matemáticas cuyas funciones consistía en lograr que los alumnos pudieran dominar la descriptiva pura y aplicada. Este profesor impartía un breve curso de física
- Un profesor de química
- Un maestro de dibujo que se limitaba a tener disponible, modelos.

Los alumnos tenían a su disposición:

- Una magnífica biblioteca con más de cinco mil volúmenes
- Maquetas en relieve y tallas de piedra
- Un laboratorio de química.

El nivel de la formación fue muy elevado al que se unía un gran nivel en la enseñanza con una práctica constante. En el segundo año cada alumno debía de terminar un diseño que debía de explicar ante un tribunal.

Como ejemplos de los trabajos de los alumnos se puede consultar [Belhoste, B., Picon, A., & Sakarovitch, J. (1990)].

Alumnos sobresalientes de esta Escuela son entre otros: Lazare Carnot, Poncelet y Coulomb.

5.3.2 La Ingeniería civil

En el caso francés, a lo largo del siglo XVIII va a tener lugar el establecimiento de la formación reglada de la ingeniería civil (se entiende civil como contraposición a militar, no se hace uso de la definición de Smeaton y Telford) en las ramas de infraestructuras, minas y una incipiente ingeniería ligada a la manufactura, y este desarrollo tiene un punto de inflexión con la revolución francesa que va a reeditar los modelos de formación reglada. El análisis que se va a realizar tiene como protagonistas a la ingeniería de infraestructuras (*L'École royal des ponts et chaussées*) antes de la revolución francesa, con posterioridad a la misma se van a revisar el esfuerzo que hace la Convención para revisar la experiencia hasta el momento de las escuelas de ingeniería, tanto civil como militar, y la puesta de las bases de la enseñanza superior industrial, a través de *L'École Centrale des Travaux Publics*, *Le Conservatoire des Arts et Métiers* y *L'École d'arts et métiers*.

El periodo analizado es, en el caso de *L'École royal des ponts et chaussées* es desde su fundación hasta la Revolución francesa.

El periodo analizado en el caso de las escuelas de la revolución va a ser, el que va ligado a su fundación, así como sus objetivos.

5.3.2.1 L'École royal des ponts et chaussées

La necesidad de niveles de formación requeridos a los ingenieros militares proviene de la época de Vauban en la que propuso instituir un examen de admisión para conocer el nivel de conocimientos de aquellos que aspiraban a ser ingenieros militares, el camino que siguieron ya ha sido analizado en el apartado 5.2.1.1.

Pero en paralelo en el inicio del siglo XVIII, de acuerdo con [Artz, F.B. (1938)] se analiza que determinadas obras que eran responsabilidad de la Administración del estado realizadas por eficientes artesanos sería conveniente que fueran diseñadas y gestionadas por profesionales con conocimientos de matemáticas y de física. Para lo cual el gobierno de la Regencia en 1716 instituye «*le Corps des ponts et chaussées*» para la supervisión y gestión de ciertos proyectos del estado, para lo cual se dota de: un inspector general, un ingeniero arquitectónico, tres inspectores generales y veintiún ingenieros. Este cuerpo demostró su utilidad, pero se encontraron con dificultades a la hora de incorporar profesionales con conocimientos adecuados. En 1740 tras el mandato real de la realización mapas y planos para todas las infraestructuras del reino se acentúa el problema. Para resolver el problema el ministro Daniel Trudaine (Intendente de finanzas) fundó en 1744 el *Bureau des dessinateurs* en el que se ordena que sus miembros deberían, en su tiempo libre, estudiar, entre otras materias, cartografía que sería impartida por aquellos profesionales que fueran competentes en ella. En 1747 Jean-Rodolphe Perronet es nombrado responsable del mismo y presenta a Trudaine "*Mémoire sur les moyens de former des sujets propres a occuper les différents emplois des Ponts et Chaussées*" Este acto suele considerarse como acto fundacional de la, oficiosamente, *L'École des Ponts et Chaussées* nombre que adquirirá a partir de 1760. La formalización del nombre y lo que se podría denominar reglamento viene a partir de que en 1775 el ministro Anne Robert Jacques Turgot emite la *Instruction concernant la direction des élèves, des sous-ingénieurs et des inspecteurs des Ponts et Chaussées*. En esta instrucción el cuerpo se divide en tres categorías: sous-ingénieurs o inspectores, empleados estudiantes y auxiliares.

Perronet (ver figura 55) desarrollará una pedagogía específica para la institución, no hay exámenes de ingreso y la instrucción se va a dividir en teórica y práctica, a su vez se va a poner en marcha una política de premios. La duración de la educación fue variando hasta la revolución. De acuerdo con [Picon, A. (1992)] inicialmente duraba dos años, a continuación, pasó a durar tres y posteriormente cinco para retroceder a cuatro hasta la revolución.



Fig. 55 Jean-Rodolphe Perronet. (1783) Saint-Aubin,
Augustin Paris, Musée Carnavalet

Lo primero que sorprende es que en la Escuela no hay profesores, hay mentores que son los tres primeros de cada promoción, denominados *egresados* que tienen como misión guiar a los nuevos alumnos, a los que se les requería una educación preliminar. Para el análisis de la instrucción se ha utilizado [Picon , A. (1992)] y [Belhoste, B., Picon, A., & Sakarovitch, J. (1990)]. La instrucción se dividía en teórica, práctica y la política de los concursos, que se analizan a continuación.

- La instrucción teórica:

Como se ha indicado la institución no tiene profesores tiene un modelo de enseñanza mutua. Los alumnos aventajados enseñaban a los nuevos en base a libros de texto como como: Algebra que había escrito Clairaut ⁴⁰, Geometría de Mauduit, Secciones cónicas de l'Hopital, cálculo integral, mecánica hidráulica. Los alumnos aprendían arquitectura con profesores externos a los que pagaban a su costa. Los

⁴⁰ Elemens d'algebre, se dedica a las ecuaciones de primero, segundo grado y órdenes superiores.
[Clairaut, A. C. (1746)]

niveles de cálculo que tenían los alumnos eran bastante elementales según [Picon, A. (1992)].

Perronet se encargaba de vigilar el nivel de algebra y geometría los alumnos mediante exámenes periódicos.

Los alumnos tenían un modelo de competencia importante, dado que no todos los egresados entraban en el *Corps des ponts et chaussées* para lo cual existía una pugna por el nivel que ocupaba cada alumno en su promoción, para lo cual van a disponer de una herramienta que son los concursos, que se estudiarán a continuación.

- La instrucción práctica:

La formación práctica estaba en función de las tareas que se les encomendaban, tales como cartografía, verificación de proyectos, nivelación, topografía señalización y pasaban periodos importantes realizando trabajos de campo. Perronet prefiere que sus alumnos visiten obras de ingeniería frente a obras de arquitectura. Este trabajo de campo aparte de capacitar a los alumnos era de gran utilidad en los concursos.

- Los concursos:

Como se ha indicado a los alumnos se les va a clasificar en función de determinados resultados para lo cual se establece mediante un sistema de “*degrés d'instruction*”⁴¹ mediante el cual, cualquier actividad de la escuela se le asignaba un determinado número de grados de instrucción cuyo total fijaba la posición del alumno en su promoción y aumentaba o disminuía, según el caso sus posibilidades de ser admitido en el *Corps des ponts et chaussées*. Aunque los concursos se establecen desde el inicio de la escuela hay que esperar a la instrucción de Turgot de 1775, ya citada. En esta instrucción se establece el número de concurso anuales, así como el valor de los premios que recibirían el primero y el segundo y el número de grados de instrucción,

⁴¹A partir de 1773 [Belhoste, B., Picon, A., & Sakarovitch, J. (1990)].

El número de concursos se establecía en función de los siguientes grupos que ordenado de mayor a menor en el número de grados de instrucción conseguidos y valor de los premios.

Los concursos que indica la instrucción de Turgot trataban, de acuerdo con la tabla 1 de [Belhoste, B., Picon, A., & Sakarovitch, J. (1990)], sobre las siguientes materias se incluyen entre paréntesis⁴²; el primero corresponde a los grados de instrucción de primer premio y el segundo al valor del primer premio metálico (Libras):

- Matemáticas.:
 - Mecánica, hidráulica, calculo integral y diferencial (40, 200)
 - Álgebra y secciones cónicas (30, 180)
 - Elementos de geometría (28, 150)
- Arquitectura
 - Planos de puentes (26, 200)
 - Planos de puertos y embarcaderos, esclusas, diques y canales (24, 180)
 - Planos de edificios civiles (22, 150)
- Corte de piedras (20, 100)
- Estilo: Memoria sobre un tema dado (18,100)
- Levantamiento de un mapa geográfico y topográfico por distintos métodos (16,70)
- Teoría y práctica de la nivelación y cálculo de los sólidos aplicadas a la medición de terrazas (14, 50)
- Medición de las obras de los edificios, siguiendo los usos y costumbres de Paris (12,40)
- Dibujo
 - Dibujo de un mapa geográfico y topográfico (10, 70)
 - Figuras y ornamentos (8, 60)
 - Paisajes (6, 40)
- Escritura

⁴² Solo se incluyen los valores de los primeros premios

- Rotulado de mapas (4, 40)
- Escritura correcta (2, 40)

En estos concursos los alumnos ponían de manifiesto su avance tanto en la formación teórica como práctica. Si se analiza los pesos tanto de los grados de instrucción como del valor de importes en metálico. Se puede deducir las importancias relativas de las diferentes disciplinas en la tabla 18

**Tabla 18 Importancia relativa de las diferentes disciplinas en los concursos
(elaboración propia)**

Disciplina	Grados de Instrucción		Premios en metálico	
	Valor	Porcentaje sobre el total	Valor	Porcentaje sobre el total
Matemáticas	32,67	35,00%	176,67	31,74%
Arquitectura	24,00	25,71%	176,67	31,74%
Corte de piedras	20,00	7,14%	100,00	5,99%
Estilo: Memoria sobre un tema dado	18,00	6,43%	100,00	5,99%
Levantamiento de un mapa geográfico y topográfico por distintos métodos	16,00	5,71%	70,00	4,19%
Teoría y práctica de la nivelación y cálculo de los sólidos aplicadas a la medición de terrazas	14,00	5,00%	50,00	2,99%
Medición de las obras de los edificios, siguiendo los usos y costumbres de Paris	12,00	4,29%	40,00	2,40%
Dibujo	8,00	8,57%	56,67	10,18%
Escritura	3,00	2,14%	40,00	4,79%
		100,00%		100,00%

En la figura 56 se presenta una visión artística de *L'École royal des ponts et chaussées*.



Fig. 56 Vue imaginaire de l'école des Ponts et Chaussées. Auteur(s) Desprez, Louis-Jean (Auxerre, 01-05-1743 Stockholm, 17-03-1804), dessinateur 1750 Musée Carnavalet, Histoire de Paris

5.3.2.2 L'École Centrale des Travaux Publics (L'École Polytechnique)

Con la revolución francesa se cuestiona la enseñanza de la ingeniería en Francia, quedando abolidas las escuelas existentes y bajo el Terror se crea sistemas de formación de corta duración para preparar a ingenieros. Pero durante este periodo, el 11 de marzo de 1794, se crea *Commission des Travaux publics* [Fourcy, A. (1828)] con un alcance en el que se incluye:

- *Puentes y calzadas*
- *Vías y canales*
- *Fortificaciones*
- *Puertos e infraestructuras para la defensa de las costas*
- *Monumentos y edificios nacionales*
- *Obras hidráulicas y de desecación*
- *Levantamiento de planos*
- *Elaboración de mapas*
- *Y todos los trabajos cuya financiación se hace con el tesoro público*

y en la declaración se incluye una disposición del “*Establecimiento de una École centrale des Travaux publics y del modo de examen y concurso al que serán sometidos aquellos que quieran ser empleados en la dirección de estos trabajos*”.

Esta escuela recibió sus primeros alumnos el 21 de diciembre de 1794, se transformó en *École polytechnique* el 22 de octubre de 1795, y tenía el monopolio de los servicios técnicos del estado.

El modelo de enseñanza de l'École tiene su origen en un documento que elabora Monge *Développemens sur l'enseignement adopté pour l'Ecole centrale des Travaux publics. Décrétée par la convention nationale, Le 21 Ventôse, an 2e. de la République.* [sic] [Monge, G. (1794)]. En este documento se establece en su inicio el objetivo de *École centrale des travaux publics*

Le but de l'établissement d'une École centrale des travaux publics doit être de donner à des jeunes gens qui aient fait preuve de dispositions et d'intelligence, toutes les connaissances positives qui sont nécessaires pour ordonner, A diriger et administrer les travaux de tous les genres, commandés pour l'utilité générale., et exécutés aux frais de la République.

Ces connaissances sont de deux genres : les unes sont relatives aux formes et au mouvement des corps ; elles sont de nature à être acquises par le raisonnement ; elles exigent ou l'emploi du calcul, ou l'usage de la règle et du compas ; elles font partie des mathématiques. Les autres ont rapport à la composition mémo des corps, aux propriétés des molécules qui les composent ; elles s'acquièrent par l'expérience dans les laboratoires, dans les ateliers ; elles font partie de la physique [sic]

"El objetivo de la creación de una Escuela Central de Obras Públicas debe ser dar a los jóvenes que han demostrado disposición e inteligencia todos los conocimientos positivos que son necesarios para ordenar, dirigir y administrar las obras de todo tipo, encargados para la utilidad general, y ejecutados a expensas de la República.

Estos conocimientos son de dos tipos: algunos se relacionan con las formas y el movimiento de los cuerpos; por su naturaleza se pueden adquirir mediante el razonamiento, estos requieren del uso del cálculo o el uso de la regla y el compás; y forman parte de las matemáticas. Los otros se relacionan con la composición misma de los cuerpos, con las propiedades de las moléculas que los componen; estos conocimientos se adquieren a través de la experiencia en laboratorios, en talleres; y son parte de la física"

La duración de los estudios que se proponen es de tres años con la siguiente distribución de acuerdo con el artículo “*Organisation de l’Ecole Polytechnique*” [*Journal de l’École Polytechnique troisième cahier, (1795)*] y [Fourcy, A (1828)].

1. Primer año:

- a. Los principios generales del análisis y su aplicación a la geometría en tres dimensiones
- b. La estereotomía:
 - i. Sobre las líneas de cortes de piedras
 - ii. Sobre carpintería
 - iii. Las sombras de los cuerpos
 - iv. Perspectiva lineal y aérea
 - v. Mapas, planos y nivelación
 - vi. Máquinas simples y máquinas compuestas
- c. Curso de física general, que se repetirá cada año de suerte que cada alumno tendrá tres ocasiones de seguirlo
 - i. Propiedades generales de los cuerpos
 - ii. Las propiedades que tiene los cuerpos en virtud de su estado sólido o líquido, o los fluidos elásticos
 - iii. Las propiedades de las sustancias que actúan sobre todos los cuerpos de la naturaleza, como son: el calórico, la luz, la electricidad; y el magnetismo.
 - iv. Las propiedades de la atmósfera; que permiten estudiar los principales fenómenos de meteorología e higrometría, las causas de los vientos, etc.
 - v. Todo lo que es susceptible de generalidad en química, como las leyes de las atracciones químicas y de las composiciones generales que resulten.
- d. La primera parte de la física particular aplicada a las sustancias salinas
- e. El estudio del dibujo según capacidad particular de cada alumno

2. Segundo año

- a. Aplicación de la mecánica de los sólidos y de los fluidos
- b. Relativo a los trabajos civiles, la arquitectura

- i. Traza, construcción y mantenimiento de carreteras, puentes, canales y puertos
 - ii. Dirección de los trabajos en las minas
 - iii. Construcción, distribución y decoración de edificios particulares o estatales
 - iv. Ordenamientos de las fiestas públicas
 - c. Curso de física general, como el primer año
 - i. Propiedades generales de los cuerpos
 - d. La segunda parte de la química, en relación con las materias orgánicas, vegetales y animales.
 - e. El estudio del dibujo como ha indicado en el primer año
- 3. Tercer año
 - a. Aplicación del análisis al cálculo del efecto de las máquinas
 - b. La fortificación
 - i. Métodos de fortificación
 - ii. Los puestos, las plazas y las fronteras
 - iii. Del ataque y la defensa
 - c. Curso de física general, como el primer año
 - d. La tercera parte de la química, en relación con los minerales
 - e. El dibujo como los años precedentes

El horario era desde las 8 de la mañana hasta las 14 horas y desde las 17 horas hasta las 20.

En cada década (es necesario recordar que manejan el calendario republicano según el cual cada mes se compone de tres décadas y una década se compone de diez días) seis días se consagran a los objetos que dependen de las matemáticas, y dos días se dedican a la química, con la facultad de continuar al día siguiente, que era de descanso, las operaciones no finalizadas. La lección de física tiene lugar en la mañana del quinto día. Se descansa el décimo.

En la tabla 19 se puede ver la contribución de las diferentes materias al total del programa de formación [Fourcy (1828)].

Tabla 19 contribución de las áreas de conocimiento al programa de estudios, [Fourcy (1828)]

Área de Conocimiento	Año de aplicación	Materia	%
Análisis puro y aplicado	1 ^{er} año	Geometría de las tres dimensiones	8,00%
	2 ^o año	La mecánica	
	3 ^{er} año	El cálculo del efecto de las máquinas	
Geometría descriptiva pura y aplicada	1 ^{er} año	Estereotomía	50,00%
	2 ^o año	Arquitectura	
	3 ^{er} año	Fortificación	
Química			25,00%
Dibujo			17,00%
Total			100,00%

Esta formación era impartida por instructor (*instituteurs*) junto con los adjuntos necesarios, así como artesanos para la realización de materias prácticas También disponían de laboratorios.

Del cuadro de profesores que comienzan en 1794 se pueden destacar los siguientes:

- Análisis Matemático y Mecánica:
 - Joseph Louis Lagrange
 - Gaspard Prony
- Estereotomía
 - Gaspard Monge
- Trabajos civiles
 - Jacques Lamblardie
- Dibujo
 - François Marie Neveu
- Física
 - Jean Henri Hassenfratz
- Química
 - Antoine François de Fourcroy
 - Claude Louis Berthollet

L'École Polytechnique pasó a ser Escuela preparatoria de las *Écoles d'application*, a partir la ley de la Convención del 22 de octubre de 1795 [Langins, J. (1991)], las *Écoles d'application*, estas escuelas son las que ya existían como las de *L'École des Ponts et Chaussées, Mines etc*, pero que ahora reciben alumnos que han cursado los programas, ya indicados, las *Écoles d'application* se encuentran con unos alumnos con un alto nivel de formación, para desarrollar, a partir de él la formación reglada específica de la ingeniería de estas escuelas y solo tiene que formarle en las especialidades que representan estas escuelas..

Para analizar el prestigio de esta institución es conveniente leer los *Journals de l'École Polytechnique*⁴³, que se publican a partir de 1794, en ellos se escribía sobre las materias de clase, pero también hay avances de la matemática, como ejemplo, en el duodécimo cuaderno de 1804 hay un artículo de Lagrange "*Sur le calcul des fonctions*". En la figura 57 están las portadas del primero, en el cual se detallan contenidos de las materias a enseñar; y del tercero en el que aparece la organización de la Escuela y sus programas. Entre otros artículos.



Fig. 57 Journal de l'École Polytechnique 1794-1795 Source gallica.bnf.fr / BnF

⁴³ Como referencia entre 1794 y 1823 se publican 19 cuadernos que van desde el primerio en el que se dedica a los programas de formación al número 19 en el cual hay unos artículos de Poisson sobre la distribución de calor en los cuerpos sólidos y otro sobre la mecánica de fluidos de Cauchy, entre otros.

Del primer cuaderno y del prefacio merece la pena destacar la insistencia en el trabajo práctico unido al estudio;

« Il faut dire encore que l'école est tellement montée, que l'on s'y attache bien plus au travail que l'élève exécute de ses propres mains, qu'à ce qu'il peut apprendre en écoutant les professeurs, ou en étudiant dans des livres.

C'est en effet la meilleure méthode pour fixer dans l'esprit les connaissances que l'on acquiert s'assurer de leur justesse, et être certain qu'on les possède complètement. La collection de ses ouvrages est d'ailleurs un témoin irrécusable de l'emploi que l'élève a fait de son temps.

Cette condition dans le mode du travail, distingue éminemment l'école centrale des travaux publics. Elle imite en cela l'école de Mézières pour les ingénieurs militaires, mais qui n'existe plus, et l'école de Schemnitz en Hongrie relativement à la pratique de la chimie.

On ne saurait trop, dans un moment, où l'on va réorganiser l'instruction publique en France, insister sur la nécessité d'obliger les jeunes élèves de tout âge à un travail manuel ; sans cela, ifs n'auront que des notions superficielles, et seront incapables d'une occupation suivie » [sic]

“También hay que decir que en la escuela es tan relevante el trabajo que el alumno hace con sus propias manos, como lo que puede aprender escuchando a los profesores, o estudiando en los libros.

De hecho, es el mejor método para fijar en la mente el conocimiento que uno adquiere para asegurar su exactitud y estar seguro de que uno lo posee por completo. La colección de sus trabajos es, además, un testimonio indiscutible del uso que el alumno hizo de su tiempo.

Esta condición en el modo de trabajo distingue eminentemente la escuela central de las obras públicas. imita en esto la escuela de Mézières para ingenieros militares, pero que ya no existe, y la escuela de Schemnitz⁴⁴ en Hungría relativa a la práctica de la química.

No podemos, en un momento en que estamos a punto de reorganizar la educación pública en Francia, insistir acerca de la necesidad de obligar a los jóvenes alumnos de todas las edades a realizar trabajos manuales; de lo contrario, tendrán sólo nociones superficiales y serán incapaces de una ocupación sostenida.”

En este párrafo indica que se utiliza como referencia la metodología de Mézières de práctica y estudio, desarrollada entre otros por Gaspard Monge. Dentro de este apartado de prácticas, ligadas al mundo industrial, se encuentran las visitas semanales a talleres y fábricas, que organizaba el profesor de física Hassenfratz, para que los estudiantes conocieran las técnicas utilizadas y las máquinas en movimiento [Grelon, A. (1996)], conviene recordar que la comunicación con la referencia del desarrollo de la industria manufacturera que existía en Gran Bretaña era poco conocida, por la situación bélica de ambos países, esto cambia a partir de 1814, como ejemplo se tiene las publicaciones que realiza el barón Charles Dupin a partir de 1816 después de sus viajes [Dupin, C. (1824)].

La estructura de funcionamiento definitiva se tiene a partir del 25 de frimario del año VIII de la República (noviembre de 1799) se promulga la ley *Relative à l'Organisation de l'École polytechnique*⁴⁵ en la que se establece:

- *Objetivo: L'École polytechnique est destinée à répandre l'instruction des sciences mathématiques, physiques, chimiques, et des arts graphiques, et particulièrement à former des élèves pour les écoles d'application des services' publics ci-après désignés.*

Ces services sont l'artillerie de terre Y artillerie de la marine le génie militaire, les ponts et chaussées la construction civile et nautique des vaisseaux et bâtiments civils de la marine les mines et les ingénieurs géographes.[sic]

⁴⁴ Se refieren a la Escuela de Minas de Schemnitz, en el imperio Austrohúngaro, fundada en 1770 tres años después de la fundación de la Academia de Minas de Freiberg en Sajonia [Maffei, E. (1877)]

⁴⁵ Journal de L'École Polytechnique Onzième cahier Tome IV paginas 3-12

- Duración de la formación: Dos años

Este decreto está firmado por los tres cónsules de la República: Napoleón Sieyes y Ducos. En esa época el presidente del consejo de perfeccionamiento era Laplace.

En 1804 mediante un Decreto de Napoleón la Escuela, pasa a depender de la disciplina militar y se produce el traslado a los edificios del Colegio de Navarra el 11 de noviembre de 1805. Como cuerpo militar cada alumno recibe un uniforme y una cartuchera, y a partir desde ese momento la instrucción militar forma parte de la formación. El batallón de estudiantes recibe una bandera cuyo lema es:

POUR LA PATRIE / LES SCIENCES /ET/LA GLOIRE,

Como anécdota, que explica la importancia de esta escuela en la República Francesa, se tiene que en todos los desfiles del 14 de julio los alumnos de *L'École Polytechnique* encabezan el desfile ver figura 58



Fig. 58 Défilé du 14 juillet 2019 pour les élèves de l'Ecole polytechnique promotion 2018 / X18. © École polytechnique J.Barande

El modelo de *l'École Polytechnique* es ejemplar desde el punto de vista de cómo incorpora la ciencia a la formación del ingeniero.

5.3.2.3 Le Conservatoire des Arts et Métiers

El caso del *Conservatoire des Arts et Métiers* no es propiamente, una institución de formación reglada, pero si representa un caso de diseminación del conocimiento de la industria manufacturera, y es por esta razón por lo que se ha considerado relevante su análisis. Esta institución tuvo una influencia en la fundación en España del Real Conservatorio de Artes que López Peñalver creará en 1824 y que será la semilla de la Ingeniería Industrial en España. Ver el apartado 5.3.2.3

El 29 de septiembre de 1794, Henri-Baptiste Grégoire presenta ante la Convención el «*Rapport sur l'établissement d'un conservatoire des arts et métiers*» (ver figura 59) que tras su aprobación dará lugar a la función del *Conservatoire des Arts et Métiers*, institución que ha llegado has nuestros días como el *Conservatoire National des Arts et Métiers (CENAM)* como una institución de enseñanza superior adscrita al Ministerio de Educación.

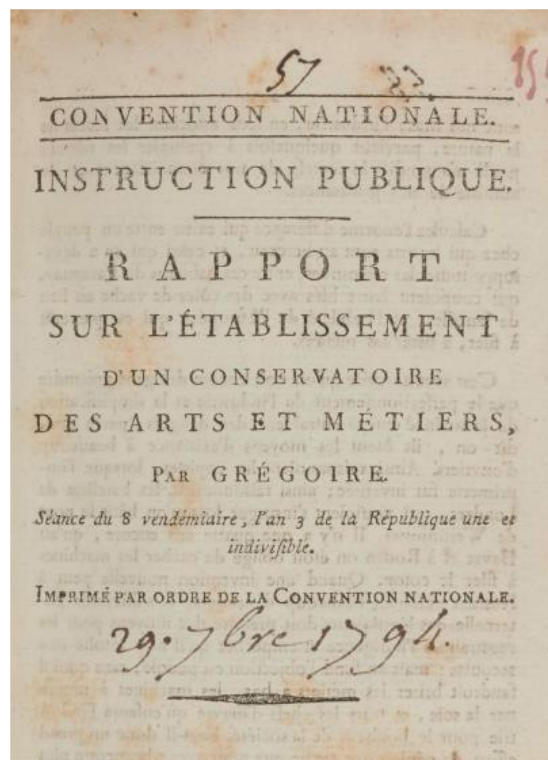


Fig. 59 *Rapport sur l'Établissement d'un Conservatoire des Arts et Métiers* Source gallica.bnf.fr / BnF

No se está ante una Escuela de Ingeniería como la de *Ponts et Chaussées Mines* u otras *Ecoles*. De alguna manera se está ante un proyecto de diseminación del conocimiento y potenciador de la innovación entre la población que trabaja en el entorno de la industria manufacturera.

En el prólogo del proyecto que presenta Grégoire analiza la dualidad de artes mecánicas y las artes liberales, criticando la sociedad envileciera a aquellos artesanos que las practicaban en envilecimiento de aquellos que las practican⁴⁶. Y se hace una defensa, moral, de la industria

Cette vérité se fortifie en considérant qu'est un des moyens les plus efficaces pour tuer le libertinage et tous les vices, enfants de la paresse. La liberté ne peut avoir que deux points d'appui, les lumières et la vertu ; et l'on trahirait la cause du peuple, si on ne lui répétait que l'ignorance et l'immortalité sont les ulcères qui corrodent la République.

También analiza el impacto económico en la disminución de importaciones. Y critica la calidad de la fabricación francesa en base a la no disposición de maquinaria adecuada.

Propone que el edificio contará con siete clases en las que, en cada una, se dedicará a unas maquinarias específicas. Máquinas de las que se adjuntara, sus planos, sus descripciones, como se construyen, y como se manejan.

Para lo cual contarán tres instructores y diseñador.

Estamos ante una institución que va a actuar sobre la demanda mediante la formación práctica, inicialmente tanto los instructores como el diseñador actuaban como profesores ante los distintos alumnos.

Posteriormente, de acuerdo con [Grelon, A. (1996)]. el conservatorio se organiza en forma de escuela, se dota de un buen profesorado y la docencia se organiza en tres niveles, las materias de enseñanza son: matemáticas, diseño de máquinas y arquitectura, y diseño ornamental. La edad de los alumnos oscilaba entre 12 y 19 años, al final de cada curso los alumnos se sometían

⁴⁶ De nuevo, como en el caso de la Real Cedula de Carlos III (ver 5.2.7.4) se plantea la existencia de un modelo reputacional en negativo

a un examen, los mejores recibían como recompensa libros técnicos. Al acabar el tercer año los alumnos volvían a sus talleres. Esta escuela se basaba en el aprendizaje.

El 25 de noviembre de 1819 se emite una ordenanza real que va a dar lugar a la vocación definitiva del *Conservatoire* [Payen, J. (1969)] por la que se crea una “*Haute école*” para la aplicación de los conocimientos científicos al comercio y a la industria [Grelon, A. (1996)] y a la que se dota de tres cátedras: mecánica y geometría, química y economía industriales. Se establecen clases nocturnas y en las clases diurnas se matricularán estudiantes cuya formación durará tres años.

Por primera vez con esta real orden se inicia el camino a la formación reglada de la ingeniería manufacturera.

5.3.2.4 L'École d'arts et métiers

En 1780 se establece por parte del duque de La Rochefoucauld-Liancourt en una finca de su propiedad en Châlons-sur-Marne et d'Angers de una granja escuela para los hijos de los soldados del regimiento de dragones en la que se dará formación sobre: ebanistería, carpintería, cerrajería, etc. La escuela había sido subvencionada por el Rey. Esta escuela se reactiva en 1800, con una función social para las clases menesterosas. En 1803 el ya cónsul vitalicio Napoleón visita el establecimiento y encarga a Bethollet, Monge y Laplace un programa de estudios para el mismo, transformándola en una “*École d'arts et métiers*”. Pero el resultado fue un programa desalineado con la realidad industrial y el profesorado no estuvo a la altura que debería estar. La desalineación con el modelo industrial de la época tiene como referencia un producto que la sociedad no necesita en ese momento, puesto que la demanda iba, en ese momento hacia una demanda de técnicos de formación empírica.

Se presenta una doble opción imitar lo ya realizado en otras escuelas o bien seguir con un modelo tradicional, a su vez se está produciendo un cambio en la industria francesa. En 1826 el Rey Carlos X presenta una nueva organización, que será aprobada operativa a partir del 30 de septiembre de 1827 [Guettier, A. (1865)]. De ella merece conviene destacar

- **Objetivo:** «*d'enseigner spécialement la théorie et la pratique nécessaires pour former des chefs d'atelier et de bons ouvriers*»
- **Duración** (Artículo 14): cuatro años. Divididos en dos partes. El primero que ocupará dos tercios de la duración de los estudios se dedicarán a trabajos manuales y dibujo

lineal. El segundo que ocupará un tercio de la duración se dedicará a la instrucción teórica.

- **Instrucción teórica** (Artículo 16): incluye:
 - Aritmética
 - Elementos de geometría y trigonometría
 - Geometría descriptiva con sus aplicaciones a: planos, construcción, engranajes etc
 - Mecánica industrial
 - Nociones principales de las ciencias fisicoquímicas aplicadas a los trabajos industriales
 - Exposición de la fuerza y resistencia de los diferentes materiales de construcción

- **Instrucción práctica en los siguientes artes** (Artículo 18):
 - Carretería
 - Carpintería:
 - Forja
 - Lima y ajuste
 - Torno, madera
 - Torno, metálico
 - Montador de máquinas
 - Moldeo
 - Fundición de hierro en crisol y en cubilote (Método Wilkinson)
 - Fundición de cobre en crisol.

- **Desarrollo de la formación** (Artículos 21,22 y 23):
 - Al final de cada año se examinaba a los alumnos para analizar el nivel y permitir el paso al siguiente curso
 - Al final del tercer año los alumnos se sometían a un examen teórico y práctico. En función de los resultados de la prueba podían acceder a un mayor grado de instrucción. Y podían ser autorizados a trabajar en talleres
 - Al final del cuarto año, un jurado especial, examina a los alumnos que hayan finalizado su educación ordinaria en la Escuela, y propondrá autorizar a un

cierto número de los que tendrán remarcado por su habilidad y buen comportamiento, para permanecer allí un año más.

- Al final del quinto año, y después de un nuevo examen, el jurado especial puede proponer a nuestro ministro del Interior que envíe un cierto número de los alumnos más distinguidos a las principales fábricas del reino, para completar sus estudios allí. instrucción, y / o estarán a cargo del Estado durante un año.

Los alumnos de estas escuelas, llamados *gadzarts* (el nombre les viene de la contracción de *Gars des Arts*, chicos de artes), fueron muy solicitados por las empresas francesas. A partir de 1907 se crea el título de *diploma de ingeniero Arts et Métiers*. A partir de 1963 pasan a ser *Écoles nationales supérieures d'arts et métiers (ENSAM)*.

Este es un modelo de tránsito de una escuela de formación profesional, pasando por una escuela de grado medio a una escuela superior de ingeniería a lo largo del siglo XIX, y como su desarrollo fue parejo con el desarrollo de la industria francesa.

5.3 El Reino de España

La oferta de formación reglada en el reino de España esta monopolizada por instituciones del estado, en una gran parte del siglo XVIII estará relegada a los ingenieros militares, y solo en la recta final del siglo y el primer tercio del siglo XIX aparecerán las figuras de los ingenieros civiles. Habrá algunos intentos de otras instituciones como serán las Juntas de Comercio y algunas de las Reales Sociedades Económicas del Amigos del País.

En el análisis de la oferta el autor ha tenido la duda de incluir la arquitectura en el modelo de oferta y se ha decidido a no incluirla en base a que:

- Hasta 1752, en la única institución en la que se estudia arquitectura (como metodología de construcción de fortificaciones, edificios e infraestructuras) es en la Real Academia de Matemáticas de Barcelona. Es a partir de esta fecha cuando, de acuerdo con el R.D. 12 de abril de 1752 se funda la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando. Aunque hasta 1757 carece de estatutos a partir de esta fecha emiten títulos habilitantes.

- En 1774⁴⁷ se establece una nueva división de los ingenieros militares en: “*Plazas y Fortificaciones*”, “*Academias Militares*” y “*Caminos, Puentes, Edificios de Arquitectura civil Canales de Riego, y Navegación, y demás obras relativas a este objeto*”. En la tercera división, que será encargada a Francisco Sabatini, se especifica el apartado tercero que: “*por la satisfacción que igualmente tengo de su aptitud, y desempeño; entendiéndose por lo que toca a la Arquitectura civil, sin perjuicio del establecimiento, y Privilegios de mi Real Academia de San Fernando, ni de que para las obras que no sean del ramo de la Guerra, y que se costeen con caudales de mi Real Hacienda, del Público, de Comunidades, o Particulares, sea preciso recurrir a los Ingenieros de esta dirección, por ser mi ánimo no cohartar a nadie la libertad de que se valga cada uno del Arquitecto que sea más de su satisfacción, como esté legitimamente aprobado*”. [sic]
- Carmelo Padrón en su tesis doctoral [Padrón, R. (2015)] comenta que en 1788 se publica, por parte de D. Diego de Rejón y Silva, académico de San Fernando, un diccionario [Rejón de Silva, D. A. (1788)] en él que al establecer las distintas definiciones, en el caso de la de Arquitecto, nos da un alcance de la profesión que se entiende que es la que se manejaba en ese periodo, “*El Profesor de Arquitectura, que inventa , traza , y dirige todo género de obras, como edificios grandes y pequeños , puentes , calzadas, caminos*” Como vemos esta definición es coherente con lo indicado en el R. D. de 12 de septiembre de 1774.
- Pero esta Academia estaba ligada a lo que se entiende por Artes Liberales
- Por último, durante el siglo XVIII la prácticamente inexistencia de planes de formación en la Academia de San Fernando, en la que el modelo de la formación se orientaba hacia la parte artística y de ornato de la arquitectura con un bajo nivel de formación en modelos estructurales. Este apartado fue puesto de manifiesto en el informe que remite Betancourt, que era Académico de Bellas Artes. A D Pedro Cevallos. [Betancourt, A. D. (1803).

⁴⁷ REAL DECRETO de 12 de septiembre de 1774, por la que se establece la nueva planta del Real Cuerpo de Ingenieros y se crean los tres Ramos de Fortificación, Escuelas Militares y Arquitectura Civil, y se anula el cargo de Ingeniero General

“En la Academia de San Fernando de Madrid, y en las demas del reino que se intitulan de las Bellas Artes, no se enseña más que el ornato de la arquitectura. Los arquitectos se forman copiando. unas cuantas columnas, y agregándose á la casa de alguno de la profesion, donde suele ver y oír cuatro cosas de rutina, y con esta educacion y estos principios, es examinado por otros que tienen los mismos, queda aprobado y se le da la patente para cometer cuantos desaciertos le ocurran en edificios, puentes, caminos y canales.” [sic]

Por tanto, solo se va a estudiar formación reglada aplicada a la arquitectura en las enseñanzas que se hicieron en la Real Academia de Matemáticas de Barcelona.

En base a lo indicado las instituciones que se analizarán será las siguientes:

- Instituciones militares:
 - La Real Academia de Matemáticas de Barcelona
 - La Real Academia de Ingenieros de la Marina
- Instituciones civiles
 - La Academia de Minas de Almadén
 - Real Seminario de Minería de México
 - Estudios de la Inspección General de Caminos y Canales
 - Conservatorio de Artes
 - Otras instituciones
 - Real Seminario Patriótico de Vergara, de la Real Sociedad Bascongada de Amigos del País.
 - Escuelas Patrióticas de Maquinaria Práctica, de la Real Sociedad Económica Matritense de Amigos del País
 - La Escuela de Matemáticas de la Real Sociedad Aragonesa
 - Junta de Comercio de Cataluña

El análisis que se va a realizar es mediante la revisión de los distintos planes de estudio, así como de las metodologías de enseñanza

5.4.1 La Ingeniería militar

En el siglo XVIII la demanda de ingenieros va a estar militarizada, puesto que el único origen de esta es a través de los cuerpos militares, inicialmente por parte del ejército durante, prácticamente todo el siglo y posteriormente por parte de la armada en el último tercio del siglo a través de las academias sitas en los arsenales.

En orden a poder situar en el modelo jerárquico los distintos títulos de ingenieros se adjunta la figura 58 en la que se puede observar la escala de ingenieros y su correlación con los grados militares de acuerdo con el R.D. 19/10/1756.



Fig. 58 Correlación escala de ingenieros vs escala militar R.D. 19/10/1756

5.4.1.1 Real Academia de Matemáticas de Barcelona

5.4.1.1.1 Proceso de formación

Con la guerra de sucesión el Reino de España pierde los territorios de los Países Bajos y la Academia de Bruselas es clausurada el 7 de octubre de 1705⁴⁸ tras la entrada de las tropas del Archiduque [Ávila, C. J. M. (2014)].se cierra la Academia de Bruselas. Esta Academia siguió funcionando bajo el régimen austríaco con el nombre de *Académie Militaire du Génie* y que, tras un periodo de cierre, tras la invasión francesa, abrió en 1713 hasta su cierre en 1749

⁴⁸ Sebastián Medrano había fallecido el 18 de febrero de 1705 [Bragard, P. (2011)]; [Rodríguez Villa, A. (1882)]

A partir de ese punto los ingenieros militares se formarán en la península, y en la Academia de Barcelona que va a tener dos etapas:

- La que va desde 1700 y 1705 que se clausura tras la entrada de las tropas del Archiduque [Ávila, C. J. M. (2014)].
- La que va desde 1720 y 1803 en la que se produce su concentración en tareas militares y su traslado a Alcalá de Henares

En 1700 el Rey Carlos II firma el decreto de la Academia de Barcelona y para la cual se nombra, como maestro de matemáticas, a propuesta del Príncipe de Darmstad, a Francisco Larrando de Mauleón [2ª Sección 8ª División Academias- Escuelas 19 de febrero de 1700]. A partir del inicio del reinado de Felipe V, en noviembre de 1700, se nombra a un alumno de Sebastián Medrano José Mendoza de Sandoval, esta Academia pretendía ser una réplica de la de Bruselas. Su vida fue muy breve pues en 1705 las tropas austracistas entraban en Barcelona y ésta se clausuraba.

La demanda de ingenieros formado fue analizada en el 4.3.2. Como respuesta a la misma se crea la Real Escuela Militar de Matemáticas de Barcelona en 1716, como se indica en la Real Ordenanza de 1751 “...y que la Real Escuela Militar de Mathematicas erigida al cargo del Cuerpo de Ingenieros por el Rey mi Señor, y difunto Padre, desde el año de 1716.”, la idea de Verboom acerca del objetivo de la Real Academia estaba orientada a la *formación especializada de ingenieros y eventualmente artilleros*,⁴⁹.

Parece que debido a guerra de Sicilia se retrasó la puesta en marcha hasta 1720, y el primer curso comenzó el 15 de octubre de 1720.

El lema de la Academia es “*Nunc Minerva Postea Palas*” “*Primero la Sabiduría después la guerra*” que formo parte de toda de las medallas de la Academia (ver figura 61)

⁴⁹ Esta situación de educar inicialmente a artilleros e ingenieros recuerda la novela de la Tierra a la Luna de Julio Verne en la que comparte protagonismo los fabricantes de armas, Barbicane, y los fabricantes de blindajes, Capitán Nicholl. O sea, se unen a aquellos cuya misión, entre otras, es lograr diseñar y operar las distintas piezas de artillería para vencer, entre otras, a las fortificaciones.

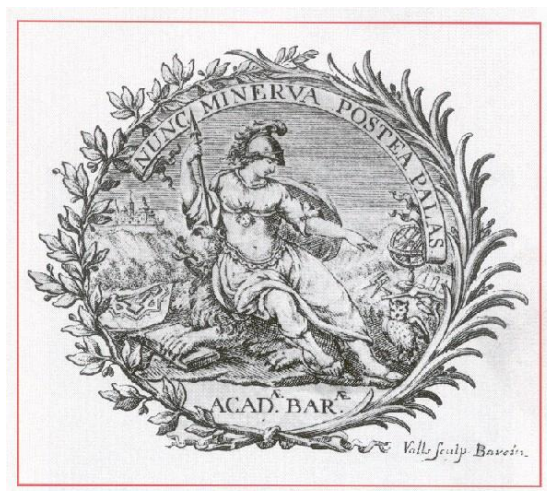


Fig. 61 Ex libris de la Academia de Barcelona

La institución se diseñó bajo los principios de capacitación, mérito y capacidad [Sáez, H. C., Sánchez, J. E., & Moncada, O. (1988)].

Físicamente La Academia se estableció en un edificio de la Ciudadela de Barcelona. Posteriormente se trasladaron, hasta su traslado a Alcalá de Henares, al convento de San Agustín el Viejo ver figura 62

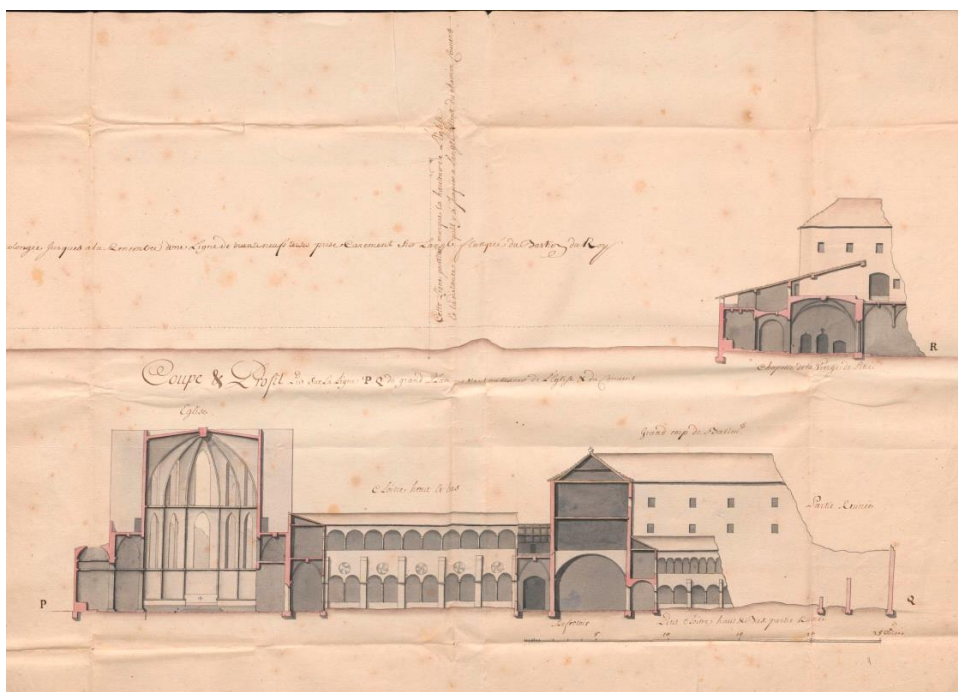


Fig. 62. Planos del Convento de San Agustín de Barcelona. Biblioteca virtual de Defensa

bibliotecavirtualdefensa.es/BVMDefensa/i18n/consulta/registro.cmd?id=8440

En el estudio de la oferta se van a analizar los distintos planes: para los cuales se van a estudiar los siguientes:

- Periodo de 1720-1739 Dirección de Mateo Calabro
- Periodo de 1739-1751 Dirección de Pedro Lucuze
- Periodo de 1751-1802 tras la Ordenanza de 1751.

5.4.1.1.2 Periodo 1720-1739

Este periodo está liderado por la dirección por parte de Mateo Calabro de la Academia que es simultánea a la dirección del cuerpo por parte de Jorge Verboom. Las divergencias entre Calabro y Verboom son conocidas y están estudiadas, se puede consultar [Sáez, H. C., Sánchez, J. E., & Moncada, O. (1988)] pag 117-126 y [Carrillo de Albornoz, J. (2004)], esta discusión puede tener interés para analizar opciones, pero en nuestro caso lo que se quiere conocer es que formación reglada se ofreció a los alumnos de la Academia.

El Plan de estudios de Mateo Calabro es conocido a partir del *“Proyecto sobre establecimiento formal de la Academia de Barcelona, dispuesto por el Director de ella D.Matheo Calabro año de 1724”* [Secretaría de Guerra Legajo 2944]. Dado que el Reglamento de la Academia se promulga en 1737 el Proyecto de formación indicado del director es el único documento operativo de gestión de la Academia⁵⁰ hasta la promulgación de su Reglamento.

El citado Proyecto se compone de:

- Un Prólogo: De él merece destacar el párrafo en el que se indica:
 - *“...para que en ellas , se enseñase de la Matemática, las partes mas fundamentales que son la Aritmética y la Geometría especulativa como así mismo las demás partes que dimanen de estas primeras que son Geometría Práctica, estática, óptica, Cosmografía todas las cuales son absolutamente necesarias para poder alcanzar con facilidad la Instrucción de las Artes Mecánicas que conducen a formar un inteligente Ingeniero Militar, un Práctico Artillero, y un científico náutico los cuales*

⁵⁰ En orden a dar una luz sobre el contenido del programa de Calabro conviene recordar que Matheo Calabro proviene de la Artillería

son como tres columnas sobre arriban la seguridad de la Monarchia, la Gloria del Príncipe, y la seguridad de su Pueblo...” [sic] Este prólogo nos adelanta la importancia del componente teórico.

- De la Academia: A lo largo de 19 puntos establece que:
 - El objetivo: indica que el plan propuesto está orientado a formar *“un buen ingeniero, un perfecto artillero y un Científico Nautico”* [sic]
 - La programación. El curso se divide en, lo que se denominan, seis clases, dos clases por año.
 - 1ª Clase *“Se enseñará la Aritmética literal y con ella la demostración y con ella se demostrarán las principales reglas de la aritmética numérica. Como introducción a la geometría especulativa”*
 - 2ª Clase.” *Se enseñará de la Geometría Especulativa lo bastante para entender los seis primeros libros y once y doce de Euclides*⁵¹.

De las Secciones Cónicas lo que se necesita para entender los autores que tratan de ellas y se procurará apereibir a los discípulos la utilidad de estas proposiciones en las prácticas mas difíciles de la Arquitectura Civil, militar, artillería y nautica”

- 3ª Clase.” *Se enseñará la Geometría Práctica sobre el terreno que consiste en la trigonometría rectilínea, longimetría, planimetría, estereometría y así mismo el uso que los ingenieros, artilleros y náuticos hacen de los instrumentos geométricos que son los que componen un estuche de Mathematica, el grafómetro, el cuarto de circulo, el cuadrante geométrico, la plancheta, la albaestrilla*⁵² *y el quadrante inglés”.* [sic]

⁵¹ Ver 3.2.1.1.2

⁵²Instrumento matemático que se empieza á usar en las baterías de costa para conocer si los buques se hallan dentro ó fuera del tiro del alcance. [d'Wartelet, J. (1863)]

En esta clase se incluía formación en fortificación y ataque. Y se comenzaban a levantar planos y su corte para reconocer materiales.

Ver en la figura 63 dos de los instrumentos indicados la Plancheta y el Grafómetro.⁵³

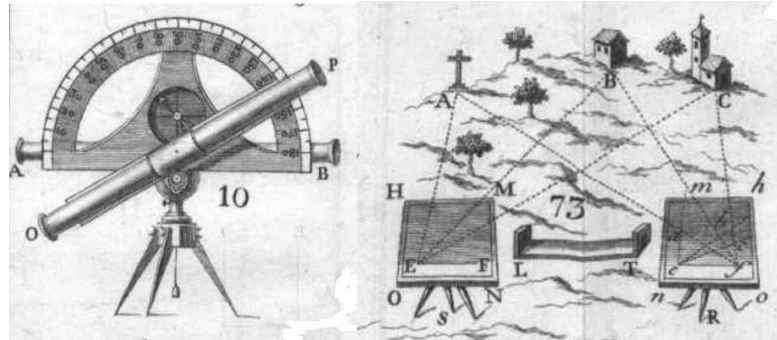


Fig. 63. El Grafómetro y la Plancheta [García, J. J. (1782).] Lamina I figura 10 y Lamina III figura 73.

- 4ª Clase. *“Se les enseñará parte de la estática, maquinaria e industria, aplicando quanto fuera posible sus propósiciones al uso de los Ingenieros, Artilleros y Nauticos”*
- 5ª Clase. *“Se enseñará la artillería dividida en quatro partes.*
 - *La primera de la pólvora*
 - *La segunda de las Piezas de artillería y sus montajes y otros instrumentos necesarios para su manejo*
 - *La tercera el modo de formar un tren de artillería para la campaña, para el ataque de una plaza, como así mismo para la defensa.*
 - *La cuarta la construcción de las baterías y el alcance de cualquiera pieza de artillería”*
- 6ª Clase. *“Se enseñará un breve tratado de arquitectura civil dividido en tres partes la 1ª Lo caroso, la 2ª lo cómodo y el 3ª los fuerte militar.*

⁵³ Sobre el instrumental en topografía la Escuela Técnica Superior de Minas ha publicado un excelente libro [Heras Molinos, A.E. (2011)]

Se dará el tratado de fortificación efectiva y en el se procura de hacer apercibir a los académicos que para la construcción de una fortificación es menester estar bien en la inteligencia de todo, lo que se esta enseñando en las clases antecedentes pero así mismo deben entender lo principal de todas las Artes mecánicas que entran en la construcción”

▪ Adicional. *“Que la cosmographia y sus partes que son:*

- *La espera*
- *La geographia*
- *La hidrographia*
- *La Astronomía.*

Las cuales son de alguna utilidad a los ingenieros y a los artilleros y absolutamente necesarias a los nauticos. Se enseñará dos veces en la semana que serán los días vacantes de la academia” [sic]

- Los tiempos. Cada clase duraba seis meses y el total del curso duraba tres años.
- Las transiciones. Para pasar de una clase a otra se realizaba un examen selectivo, solo pasaban aquellos que habían sido declarados aptos.
- Los horarios. Tres de las clases serán por la mañana y las otras tres por la tarde. La hora de entrada a las clases será a las 8 por la mañana y a las 3 por la tarde. En el verano las horas de entrada son las 7 de la mañana y a las 4 de la tarde.
- Los exámenes. Los exámenes se realizaban en 7 sesiones de tres horas cada una.
- Modalidad del examen. Para los exámenes se diseñó un modelo físico (ver figura 64).

En la figura la figura se tiene:

- **A** que corresponde al lugar del Director profesor. **BB** los asientos reservados a los seis oficiales jueces del examen.
- **DD** corresponden a los asientos donde se sitúan los académicos de las distintas clases 1,2,3,4,5,6
- **C** donde se sientan los examinandos

Los alumnos de cada clase eran interrogados por los alumnos de la clase superior, esto presenta alguna similitud con la enseñanza de *Ponts et Chaussées*⁵⁴ (hay que recordar que en este caso la enseñanza se dispensaba por alumnos de clases superiores. Salvo en el caso de la 6ª sección en la que el Director Profesor o alguno de sus ayudantes interrogan a los actuantes. También en el caso de la 6ª sección los oficiales que estaban en los asientos BB pueden hacer una o dos preguntas a los actuantes.

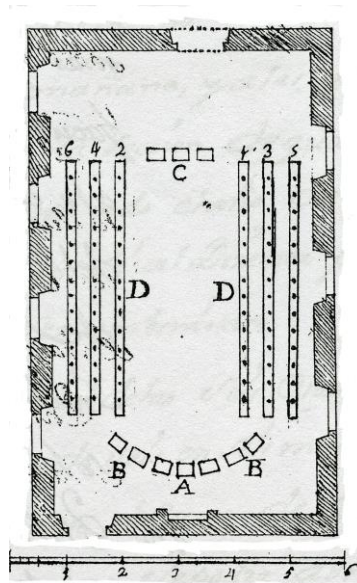


Fig. 64, Aula de Examen.
Documento de Calabro

Acabado el examen el Profesor Director se reunía con seis oficiales o jueces de y calificaban a los examinandos.

- Los premios. Se daban tres premios:
 - Al número uno obtenía un grado por encima de su graduación en ese momento
 - Al número dos una medalla de oro con cadena de oro la divisa que eligiera.
 - Al número tres una medalla de oro con una cinta encarnada.

⁵⁴ Aunque este proceso es muy anterior al francés

- Los materiales. Los necesarios para el modelo de formación
- De los componentes de la Academia, Roles y responsabilidades
 - Del protector. Elegido por el Rey. Responsable de la vida mandada los Ingenieros directores de las distintas academias, Propone al Profesor Director.
 - Del director profesor. Es elegido por el Protector. Debe de conjugar experiencia y conocimiento. Se requiere empatía y capacidad de gestión. nombra a u sus ayudantes y reporta al protector de las incidencias de los componentes de la Academia. Gestiona recurso y comportamientos
 - De los ayudantes. Son cuatro elegidos por el director profesor. Los dos primeros será responsables de las clases el tercera se ocupaba de la enseñanza de la delineación y el cuarto será un maestro arquitecto.
 - Del ayudante dibujador. Será responsable de la enseñanza del dibujo a los ingenieros
 - Del ayudante arquitecto, es nombrado por el protector a propuesta del director. Deberá de tener experiencia en construcción de los edificios, en estereotomía, planos y materiales. Su frecuencia de enseñanza era de dos días a la semana y formar a los académicos en materiales, reglas de seguridad, procesos de construcción
 - Del portero. Hacía las funciones de los servicios de limpieza, vigilancia de accesos.
 - De los académicos. El proceso de selección era clasista. Ver Real Cedula de Carlos III de 1786. La forma de vida dentro de la Academia era similar a las de la época.

Desgraciadamente de la metodología de la Academia de Bruselas desaparece en la Academia de Barcelona el uso de textos, se pasa al modelo de apuntes, que tomaban los alumnos. Estos apuntes dieron lugar a una reproducción de las enseñanzas, merced a ellos se puede conocer lo que enseñaban los profesores, como ejemplo se dispone de unos apuntes que permiten conocer un texto del director Calabro [Doctor Mateo Calabro (1722)] que es un texto elaborado por el alumno Blas de Lana; sobre matemáticas.

También disponemos de un texto que corresponde a un curso de fortificación dado en 1733 por Mateo Calabro [Calabro, M. (1991)]. El título del libro es indicativo "*Tratado de fortificación*

o arquitectura militar dado por el Capitán de Infantería Don Mateo Calabro Ingeniero en segunda de los reales ejércitos de su majestad y director general de esta Real Academia de Matemáticas de Barcelona Abril 1º de 1733” [sic]. Este libro incluye lecciones de fortificación junto con problemas que se proponían a los alumnos. El texto es un modelo de continuidad con los tratados de fortificación del XVII, no tiene ninguna referencia a la obra de Belidor editada en 1729 [de Belidor, B. F. (1729)] y si a la metodología de Vauban, lo que significa que mantiene los modelos empíricos. Pero eso no le resta importancia a la disposición de un texto para los alumnos.

Pero desde el punto de vista del autor, esta etapa tuvo el valor de poner en marcha un modelo que ya no era continuidad de la Academia de Bruselas sino un nuevo proyecto específico para dos cuerpos facultativos de ingenieros y artilleros, aunque el mandato real solo hablaba de los ingenieros. Se edifica un corpus de doctrina por primera vez. Desgraciadamente los textos eran inexistentes, en castellano, para las demandas de los alumnos. Los libros de Medrano habían ardidido junto con la Academia, y no se valoró, o no consta la posibilidad de reeditarlos.

Como resumen de esta época es que se está en presencia de un primer modelo de formación reglada de ingenieros, de infraestructuras, que es un anticipo de la formación reglada en Europa. Como resumen final se puede decir que por primera vez en un proyecto disponemos de la revisión cero de este, lo que facilitaría, a partir de ella establecer una cadena de procesos de mejora.

Hay una propuesta de Verboom de 1730 que dado que se quedó en una propuesta, por lo que no se ha entrado en su análisis, los interesados se puede consultar [Sáez, H. C., Sánchez, J. E., & Moncada, O. (1988)] en la página 120.

5.4.1.1.3 Periodo 1739-1774

En 1737 Pedro Lucuze recibe un encargo de elaborar un proyecto de Reglamento de la Academia, que estaba pendiente.

La consecuencia de este proyecto fue doble:

- La publicación en 1739 de la *“Ordenanza, e instrucción para la enseñanza de las mathématicas en la Real, y Militar academia, que se ha establecido en Barcelona , y las que en adelante se formaren , en que se declara el pie sobre*

que deberàn subsistir : lo que se ha de enseñar en ellas: las partes que han de concurrir en los sujetos para ser admitidos: y los premios., y accents con que se les remunerará à los que se distinguieren por su aplicación” [sic]

- El nombramiento de Pedro Lucuze como director de la Academia.

El reglamento de 1739 sufrirá un cambio tras la llegada del nuevo monarca Fernando VI con la ordenanza de 1751 "*Reglamento, Ordenanza e Instrucción de su Magestad para la subsistencia, régimen y enseñanza de la Real Escuela o Academia Militar de Matemáticas establecida en Barcelona y las particulares de Orán y Ceuta, unas y otras al cargo y dirección del Cuerpo de Ingenieros, para la enseñanza de los Oficiales y Cadetes del Ejército*"[sic]

Los cambios del reglamento y la ordenanza, en el funcionamiento y contenidos de la Academia, que se detallan a continuación (Para identificar el origen se indicará por fecha 1739 la del Reglamento y 1751 la de la Ordenanza):

- El Protector de la Academia pasa a ser El Ministro de la Guerra, y en su sustitución diversos miembros en función de suposición en el que el último es el director encargado de las fortificaciones del principado. (1739)
- Disminuye el número de ayudantes y se elimina el ayudante arquitecto, esto no significa que se elimine la arquitectura, no solo no es así, sino que aumento el rigor de la misma (1739). En la Ordenanza se aumenta el número de ayudantes a cinco además del director (1751).
- La duración se mantiene en los tres años y el número de clase pasa de seis a cuatro. En este apartado conviene ver lo que indica la ordenanza.

“El Curso de las Mathematicas durará tres años, tiempo suficiente para enseñar en la Academia con bastante extensión la theorica, y alguna practica de todo lo que necesita saberse para las operaciones de la guerra, y construccion de Plazas, el que se dividira en quatro clases, empleando en cada una nueve meses: en la primera, y segunda se explicaran las partes de que debe hallarse instruido qualquier Oficial del Exercito, para executar con acierto los encargos que se le confiaren: y en la tercera, y quarta lo demas que ha de saber un Ingeniero , y Oficial de Artilleria, para el desempeño de sus empleos; pues con esta disposicion de quatro clases se

consegua, que de nueve en nueve meses se empiece, y acabe el Curso, saliendo los Academicos de la quarta, y admitiendo otros nuevos en la primera” (1739) [sic]

- Se asigna los profesores por clase. Los ayudantes se hacen cargo de la primera y la segunda clase, de la tercera se hace cargo el director general y de la cuarta el director de dibujo. (1739). Se deja al criterio del director la asignación de los ayudantes a las clases (1751)

- En cuanto a textos aparece el tema de los apuntes y se especifica que:

“Para conseguir la enseñanza segun esta idea , deberà el Director General elegir los Tratados mas utiles de las Mathematicas , ordenandolos con successivo methodo , para el prompto aprovechamiento de los Academicos, escribiendo las materias que se han de dictar, como doctrina suya, que ha de ser quanto en la Academia se explicare , estendiendose en cada parte segun lo hallare por conveniente , para lo que deberan asistirle sus Ayudantes, à quienes despues de aprobados por el Inspector, entregara los quadernos de lo que cada uno debe explicar, según su respectiva classe, à las que los Academicos han de ir proveidos de papel , tinta, lapiz , y lo demàs que se necessite, para escribir la leccion , y de quinze en quinze días la pondrà en limpio, haciendola vèr a su respectivo Maestro”(1739) [sic]

- En relación con los contenidos en el reglamento se organizan por clases mientras que en la ordenanza se organizan por contenidos. Dado que se está analizando la formación reglada de los ingenieros, y dado que estos tenían que realizar los tres cursos se ha optado por ver aquellas materias que formaban parte de la formación, que están incluidas en los artículos LX hasta. LXXVIII

- 1ªClase:

- *“La Artihmetica, así numérica como literal, escribiendo de ella las quatro reglas de enteros, y quebrados, y las de proporción, con una ligera noticia de las progresiones Arithmetica y Geometrica, y el methodo de extraer raices, especialmente la cuadrada, y cúbica, el todo explicado por numeros y por letras, con exemplares aplicados al uso, que frequentemente ocurre en la práctica de la Profesion de Ingeniero, Artillerìa, y Táctica.*

- *La Geometría especulativa, contenida en los seis primeros Libros, once y doce de Euclides, ya sea siguiendo su orden y methodo, ò bien reduciendo las materias à clases, juntando en una todas las que son de una especie, siguiendo à esto un breve tratado de las principales propiedades de las tres Secciones Conicas, Elipse, Parabola e Hiperbola.*
- *La Geometría práctica comprendiendo en su extension quanto pertenece à la dimension de lineas, superficies y solidos: el aumento, disminucion y transformación de unas figuras en otras: la explicación y uso de los instrumentos más comunes en la práctica, asi sobre el papel como sobre el terreno, estendiendose especialmente sobre el uso de la Plancheta, en el modo de levantar los Mapas, y Planos, y del Nivel, para tomar perfiles de los terrenos.*
- *Inclusa en la Geometría práctica, se escribirà de la Trigonometrìa; el fundamento, construcción, uso de Cañón Trigonométrico, la naturaleza de los logarithmos, y su aplicación à la práctica en la dimension de distancias, y cálculos que requieren alguna precisión y justificación.*
- *Desde que se dicte la Geometría práctica en adelante, se destinarà algun dia cada semana para salir al campo el Director y Ayudantes con los Academicos, à fin de instruirles en trazar sobre el terreno las figuras regulares por sencillos alineamientos, medir distancias y trasladar del papel al terreno, y del terreno al papel, qualquier linea, angulo ò figura, poniendo en práctica las reglas que prescribieren las lecciones sobre el levantamiento de planos y perfiles, en cuya conformidad se afiancen más en la inteligencia de ellas, y se hallen expeditos, como se requiere, para la execución.”*
- 2ªClase:
 - *“En seguida se dara la fortificación defensiva y ofensiva, regular è irregular, real y de campaña, con el ataque y defensa de las plazas, segun el systema presente de hacer la Guerra, cuidando que al mismo*

tiempo delineen con la mayor limpieza las figuras correspondientes a uno y otro asunto.

- *Se declarará la formación, evoluciones y movimiento de los Batallones y Esquadrones; las diferentes marchas y movimientos de un Ejército, según el País, y los Enemigos de quienes haya de precaverse: cómo se han de ocupar los desfiladeros y eminencias, el modo de pasar los vados y otros parages dificultosos, y qué medios se practican; el orden con que ha de marchar el Equipage, Trèn de Artilleria y Municiones del Exercito; el modo de camparlo y los diferentes de formarle en Batalla, según las empresas que se medíten y las urgencias con que se halláre, con quanto pertenece a la Táctica terrestre, disponiendolo todo con método de Ciencia, y conciso, para dar una idéa general de las operaciones referidas”.*
- 3ª Clase:
 - *“Continuará la enseñanza con un breve tratado de Mecanica en general, à fin de dar una idéa del movimiento de los Cuerpos y fluidos, tanto uniformes como acelerados, y de sus equilibrios; de las propiedades de los centros de gravedad, y oscilacion; de las fuerzas de las Maquinas simples y compuestas; el modo de calcularlas, extrayendo las que disminuyen los ludimentos; de la presion de los fluidos y sus propiedades, incluyendo las del ayre, para tener un perfecto conocimiento de las Maquinas hydraulicas, de manejar las aguas, y de trabajar en ellas.*
 - *Se dara asimismo un tratado Theorico de Artilleria sobre conocimiento de Polvoras y sus mixtos, los diversos géneros de Cañones y Morteros, el repartimiento de sus metales y molduras que los adornan, su delineación y la de sus Cureñas y Armas; el modo de probarlos y de conocer sus defectos; las diversas punterías y proyecciones de las Bombas; la construcción de Baterías de Cañones, Morteros y Pedreros, con el modo de servirlos; los varios generos de fuego artificiales, sus mixtos y modo de usar de ellos, la forma de dirigir las Minas, cargar y*

volar los Hornillos, con el calculo de la Polvora que segun el efecto que se quiera, les corresponda.

- *Para que los Academicos ya exercitados en la Theoria de Artillería puedan instruirse en su práctica, cuidará el Director de que en algunos de los días de exercicio de fuego de la Escuela, que he mandado establecer en Barcelona al cargo del Cuerpo de Artillería, concurren a este fin a ella.*
- *Se escribirá igualmente de la Cosmographia, o Descripción del Universo un breve Tratado sobre los principales círculos que se deben considerar en ambas Esferas, con las diversas posiciones de la Terrestre, la magnitud, figura y división natural y politica de ella, y la fabrica y uso de los Globos, y las Cartas Geographicas e Hydrographicas, incluyendo una breve noticia de los principales systemas del Universo.*
- *Se dará tambien una breve noticia sobre la Descripción de los principales Reloxes Solares, con los principios de la perspectiva, asi rigurosa, como Caballera, o Militar.”*
- 4ª Clase:
 - *“La Arquitectura Civil, dando de ella la explicación de las cinco órdenes: la proporción y simetría de las varias partes de un Edificio: la descripción de plantas y perfiles de ellos, así rectos como obliquos: la formación de las Bobedas y Arcos mas comunes, su empujo contra los pies derechos ò muros que los sostienen; y la robustez que les corresponde para resistirles, con los demás asuntos de esta naturaleza, que el Director hallare convenientes à la más perfecta instrucción de los Academicos.*
 - *Finalmente se les enseñarán los principios fundamentales del Dibujo, y aplicación de los colores, segun las Reglas de Arte, y convenio, empezando por los Planos generales, perfiles y elevaciones mas esenciales, como de un frente fortificado regular, que contenga no solo el Cuerpo de la Plaza, Foso, Contraescarpa, Camino cubierto y Esplanada, sino también Revellín, Contraguardia, y demás obras*

accesorias, cortando varios perfiles, que manifiesten las alturas, y el conocimiento de todas sus partes.

- *Entrando en mayor detalle, se continuará el Dibujo con Planos y perfiles en grande de un Revellín, Contraguardia, Puerta, Cuerpo de Guardia, Garita, Puente, Caponera, Rastrillo, Cuarteles, y Almacenes de toda especie, Cisterna, Arsenal, Hospital, e Iglesia, y tambien Planos en grande de escaleras, armaduras para cubrir los Edificios, entarimados, y todo lo que pertenece a la idea en que deben hacerse las obras necesarias en una Plaza, y las que se construyen sobre terrenos, pantanosos, agua durmiente o corriente, como los Muelles, Inclusas y Diques, haciendo los cimientos sobre pilotaje o zarpa.*
- *Se les explicará también la forma los sondeos, y de levantar los Planos particulares, y Mapas de Provincias, en el modo de distinguir y representar las tierras labradas, las incultas, los Bosques, Barrancos, Caminos, Montañas, Peñas, Riveras de Mar, Rios, Pantanos, Casas, Jardines, y Huertas; como tambien la demostración de Trincheras, Baterías, líneas de Circunvalacion y Contravalacion, Campamentos, y Planos de Batalla de Ejercitos; y finalmente se les enseñará el modo de tomar y delinear la vista de una Plaza o terreno, para representarlo en el papel, conforme se halla a lo natural.*
- *En la clase, y tiempo, que al Director le pareciere oportuno, se les instruirá en el modo de servirse de las reglas de Algebra, aplicandolas a algunas equaciones simples y quadradas; y asimismo de los elementos del calculo integral y diferencial⁵⁵, solo lo conducente a que con estos rudimentos puedan despues los que quisieren adquirir por sí mismos mayor inteligencia en esta parte, y comprehender los Autores, que se valen de este método para sus demostraciones.*
- *El Sabado de cada semana, en lugar de escribir leccion, se dedicará para Conferencias públicas entre los mismos Academicos de cada clase, nombrándose a este fin de antemano tres de ellos, que como*

⁵⁵ Este apartado no figuraba en el Reglamento de 1739

Sustentantes respondan a los argumentos y preguntas que otros les hicieren sobre lo dado hasta entonces, principiando cada uno con un breve discurso en resumen del asunto que le hubiere tocado, copia de los quales discursos firmados se archivará en la misma Academia, a fin que por este medio se excite la emulación de unos a otros, sea mayor el progreso, y que en la Academia quede memoria se los aplicados.

- *Desde que los Academicos se hallaren en el Dibujo, y mientras se mantengan en èl, procurará el Director que uno de sus Ayudantes, o bien por uno de los Academicos, se lea en voz alta à todos los Discípulos, durante el trabajo en los dias, y por el tiempo que le pareciere, las Ordenanzas Militares de Infantería, Caballería, Dragones, Guardias, Ingenieros, Artillería y Ministerio, respecto de que esta lección no les puede embarazar la aplicación y atención al Dibujo, para que todos se vayan instruyendo bien en ellas; y à este fin destinará el Director cada mes dos ò tres dias en que se tengan Conferencias sobre los puntos que se les haya leído, para afirmarse más en su inteligencia. [sic]*

Todos estos contenidos, como se ha indicado se daban por el proceso de dictado, y gracias a los apuntes de los alumnos. Todo esto constituye lo que se ha denominado el “*Curso matemático*” de Lucuce, el detalle de los contenidos del curso se puede consultar en [Alcaide González, R., & Capel Sáez, H].

El nivel técnico científico del curso era, probablemente, el más alto del Reino.

Para completar y emular la competencia entre los distintos académicos, aparte de los premios ya mencionados, se establecieron a partir de 1739 los concursos públicos, que en Francia propondría posteriormente, Perronet en *Ponts et Chaussées* a partir de 1775. En la Academia estaba especificados en el Reglamento de 1739 de la manera que sigue:

“Concluida la quarta clase, se les señalarà a los Academicos que acabaron el Curso, dos meses de tiempo, para que renovando en ellos las especies de sus estudios, tengan disputas sobre todo lo aprendido entre si, en presencia del Inspector y Director General, en una pieza separada de la Academia, à fin de que conociendo los talentos de cada uno, elijan tres de los mejores, para que en público mantengan Conclusiones sobre los puntos que les tocare, en la forma siguiente.

Ochos dias antes de la primera Conclusión sortearàn los Actuantes, en pública Academia, los puntos sobre que cada uno debe leer, y argüir, que serán señalados por el Inspector y Director General, de las partes que se les ha dictado; y también sortearán el orden, y preferencia con que lo hayan de executar.... El Actuante a quien tocare la primera Conclusión hará de memoria media hora de erudición sobre el punto que le hubiese tocado, relacionando metódicamente las circunstancias de el, sus propiedades, las partes de que se compone, el fin y utilidades que de su uso è inteligencia se consiguen; la que acabada, el primero de los otros dos Opositores questionarà al Actuante sobre los particulares que le pareciere y notare de su lección, arguyendole durante media hora; y después executarà lo mismo el tercero y en igual tiempo, procurando hacerlo por distintos puntos y distinto termino que el otro; despues de lo que, hecha la señal por el Presidente (para lo que tendrá en una mesa reloj de arena, y campanilla) se finalizará el Acto hasta el día siguiente, que leerá el que le hubiere tocado en segundo lugar, arguyendole los otros dos en la forma referida, observando lo propio con el tercer Actuante el dia inmediato.....[sic]

Tras acabar los tres cursos los académicos recibían el correspondiente certificado, aquellos que querían ingresar en el cuerpo de ingenieros eran sometidos a un examen de aptitud examen que tenía una duración de dos a tres días, este examen estaba establecido en la Ordenanza de 1768 Título tercero artículo segundo:

“...Dirigirán su recurso al Ingeniero General ò Comandante General del Cuerpo, quine dispondrá se les examine en la Profesión de Ingenieros practicándose el examen sobre las partes de Mathematica, y Dibujo que se enseñan en las Academias Militares de Barcelona, Orán, y Ceuta.” [sic]

Como ejemplo de un ejercicio se tiene el de un examen al alumno Manuel Fernández de León en 1792, artillero de la compañía de la dotación de Lima, (Ver figura 65) que corresponde a un “Plano de un ejercicio de fortificación” que procede de la exposición “Cuatro siglos de Ingeniería Española en Ultramar”



Fig. 65 Prueba de acceso al cuerpo de ingenieros. Archivo General de Indias Sevilla MP -Teóricos 69

5.4.1.1.4 Periodo 1774-1803

En 1774 se publican las nuevas Ordenanzas para el Cuerpo de Ingenieros Militares, que se estructurarán en tres ramas: 1) Plazas y Fortificaciones del Reino; 2) Caminos, Puentes, Edificios de Arquitectura Civil y Canales de Riego y Navegación (se ha eliminado puertos que se han pasado a los ingenieros de la marina) 3) Academias Militares. [Alberola Romá, A., & Pradells Nadal, J. (2010)].

En esta etapa salvo algunos cambios en el apartado de algebra, hay pocos en el temario de enseñanza. Es relevante que en esta área esta etapa en 1769 el que luego sería Director de la Academia, en 1784, Miguel Sanchez Taramas traduce la obra de John Muller (Chief Mastre de la Academia de Woolwich) “*A treatise containing the elementary part of fortification, regular*

and irregular” obra que había recogido en parte la enseñanza de la obra de Belidor [de Belidor, B. F. (1729)], que incorpora concepto de la mecánica y de la hidráulica a la construcción. En castellano la obra se denominará “*Tratado de fortificación, ó Arte de construir los edificios militares, y civiles*” esta traducción fu adaptada al país y enriquecida con ejemplos. (Ver figura 66). En esta edición el autor muestra su preocupación por el conocimiento matemático de los lectores, a la vez que una preocupación pedagógica, de los lectores a través del siguiente párrafo.

Algunos de mis lectores puede ser, que no estén instruidos en los principios del Algebra, para entender los que me ha sido indispensable emplear, à fin de hacer general la Theoria; y para que esta Obra se útil à todos, he añadido una Tabla , que contiene Reglas generales para determinar las dimensiones de los muros de piedra , ò de ladrillo de cualquier altura.....

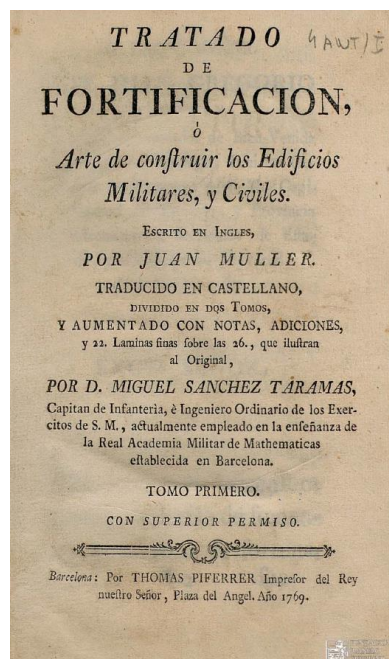


Fig. 66. Tratado de Fortificación,
Copia existente en la Fundación
Juanelo Turriano

La Academia de Barcelona cierra sus puertas en 1803, con su traslado a Alcalá de Henares.

Esta Academia en sus 83 años de existencia representa el primer centro de formación reglada de ingeniería en España, aplicada al mundo de defensa e infraestructuras, por ella pasaron entre 1735 y 1796. 2337 alumnos de los cuales según [Sáez, H. C., Sánchez, J. E., & Moncada, O. (1988)] una media de 10 al año ingresó en el cuerpo de ingenieros, lo que daría una cifra aproximada de 830.

En esta Academia se dio una formación de alto nivel, que era inexistente en el país en esos momentos, pero lo más importante es que se impuso el modelo de formación frente a los modelos de mentoring que existían en esa fecha.

Se ha criticado que hubo una falta de renovación en la vida de la Academia, como ejemplo el no-uso del cálculo infinitesimal, pero no hay que olvidar que se había establecido un temario específico y cuya renovación implicaba cambios en las Ordenanzas, y lo que si hubo fue una cierta burocratización del cambio. Además, hubo preocupación por la falta de literatura matemática que llevo al Conde de Aranda a fundar la Real Sociedad Militar de Matemáticas en 1756, cuya misión era la de elaborar textos de matemáticas, institución a la que dirigió Pedro Lucuze, esta institución finalizó su vida en 1760, con una falta de cumplimiento de los objetivos iniciales. [Ceballos González, M., Núñez Valdés, J., & Villacampa Gutiérrez, R. (2013)].

Otra explicación, para lo no renovación de los contenidos, hay que buscarla en el problema que subyace en disponer únicamente de manuales manuscritos, basados en los apuntes de los alumnos, esto va a dificultar realización de una serie de revisiones a luz de los nuevos avances de la matemática. Una crítica a la falta de renovación del curso de Lucuze, se menciona en [Alcaide González, R., & Capel Sáez, H], y es la que realiza el profesor del Real Seminario de nobles Tadeo López y Aguilar, en el prólogo del primer volumen de la traducción de “Elementos de Física Teórica” de Sigoud [Sigaud-Lafond, J. A. (1787)], en la que indica

.....”Y habiendo pasado despues à examinar, con. la-atención que. merece el Curso manuscrito de Matemáticas que se enseña en las citadas Academias, y que, es la base de su instrucción: lo he hallado sumamente incompleto y sucinto, respecto de no tratar nada del Algebra, à excepción de las equaciones de los dos primeros grados, ni del cálculo diferencial è integral, como tampoco de la teoría de curvas, partes en el día precisas para la inteligencia de todos los escrito Matemáticos” [sic]....

Esta crítica se aminora en el prólogo al sexto volumen de la misma obra en la que aprovecha para hablar de su curso escrito 48 años después:

...”Y asi nunca he dudado, ni jamás me ha pasado por la imaginación que con semejantes principios no se pueden haber formado hombres grandes, como los que ha habido y hai en el dia en el el Cuerpo de Ingenieros , añadiendo al estudio del Curso una aplicacion continuada, y un desvelo muí prolijo en varios Autores y en quanto expuse en dicho Prólogo , no ha sido mi animo mas que acortar y-facilitar á los Aspirantes á este .Cuerpo, el modo de llegar á adquirir-las circunstancias que deben tener los Ingenieros. para el cabal desempeño .de su Carrera, presentando desde luego los progresos que ha hecho la Ciencia en estos,37 años, y el estado en que se halla en el dia, como se. verá en el primer Tomo-de mi Curso de Matemáticas que daré á luz inmediateamente, donde se comprende un Prospecto general de toda la, Obra”. [sic]

Independientemente del hecho real de la no renovación, más parece que la crítica que realiza Tadeo, un modelo de marketing de ventas, de su producción, que un modelo riguroso que se espera de un matemático.

Por último, en la figura 67 se puede ver el uniforme de Ingeniero militar diseñado por el ingeniero militar D. Juan Martín Zermeño.



Fig. 67 Dibujo del uniforme del
Cuerpo de Ingenieros (1751 - Martín
Zermeño, Juan, 1700-1773)

5.4.1.1.5 La nueva Academia de Alcalá

En 1803 Carlos IV promulga la nueva ordenanza del Real Cuerpo de Ingenieros, en esta el Reglamento VIII título IV se establece la “Escuela teórica para la instrucción de los Subteniente, y conferencias a que han de asistir los demás oficiales del Regimiento Real de Zapadores. En su artículo I se establece el modelo de formación.

Como novedades está la incorporación del cálculo infinitesimal, que un ex alumno de la de Academia de Orán D. Pedro Padilla de Arcos había desarrollado y escrito dentro del “Curso militar de mathematicas, sobre las partes de estas ciencias, pertenecientes al Arte de la Guerra para el uso de la Real Academia establecida en el Quartèl de Guardias de Corps”, en cuatro volúmenes, en el cuarto incluyó dos tratados uno de geometría superior y otro de cálculo diferencia e integral⁵⁶ (ver figura 68)

⁵⁶ Del análisis del conocimiento y difusión del cálculo infinitesimal, por parte de Pedro Padilla hay abundante bibliografía, de la consultada por el autor se puede incluir [Martínez, E. A., & Sánchez, F. J. M. (2010)]. Y el análisis comparativo de dos profesores de escuela militares como introductores del cálculo infinitesimal Pedro Padilla en los Guardias de Corps y Étienne Bézout en la Escuela de Mézières [Blanco, M. (2013)].

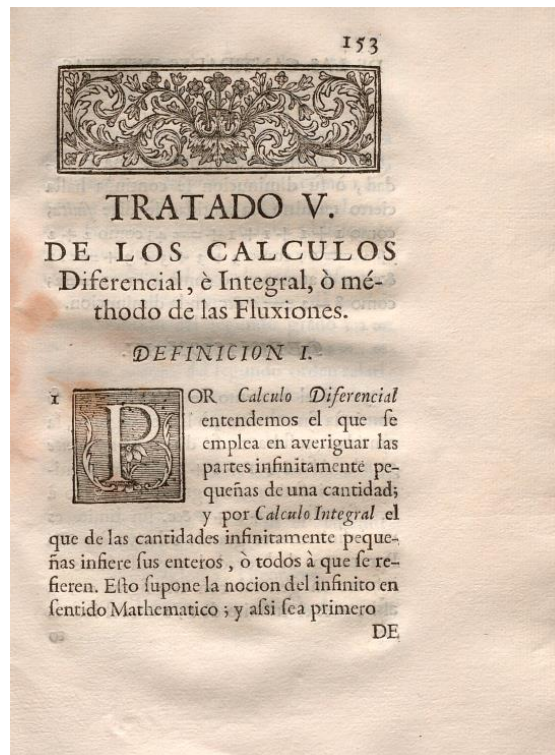


Fig. 68 Tratado V del Volumen IV del libro del capitán Pedro Padilla de Arcos [Padilla y Arcos, P. (1756)]. Source Biblioteca Nacional de España

El curso del Capitán Padilla estaba incompleto, hay que recordar que no estaba escrito para una escuela de ingeniería.

La descripción de la formación impartida es la que se menciona en la ordenanza. En cuanto a duración se mantuvieron los tres años, los aspirantes pasaban por un examen de admisión. A continuación, se detalla las duración y materias.

“El curso de estudios en esta. Escuela durará tres años, y se dividirá en tres clases de materias, que cada una durará un año, además de la sala del dibujo, á que deberán asistir los alumnos los días que se señalarán en todos los tres años de la duración del curso.” [sic]

Primer año:

- Los principios del álgebra y cálculo infinitesimal, la dinámica y la hidrodinámica

- El estudio de la fortificación real y de campaña, y el de los principales sistemas modernos

Segundo año:

- El estudio de la Artillería, y en especial el de la teórica y práctica de las minas.
- Táctica general y el arte de campar

Tercer año:

- Principios de óptica, perspectiva, trigonometría esférica y astronomía.
- Levantamiento de planos y mapas
- Estudio de la arquitectura
 - Los cinco órdenes, la montea, medición de bóvedas, cálculo de sus pies derechos, y de los muros que sostienen terraplén:
 - La teoría de las maderas, y su aplicación a las construcciones:
 - El conocimiento de los materiales
 - La fábrica. y distribución de los edificios militares y civiles, y de las obras de fortificación:
 - El cálculo de las excavaciones y desmontes: construcción .de caminos, puentes, presas, esclusas, acueductos, canales de riego y navegación: modo de hacer navegables los ríos, y asegurar sus orillas: de precaver las inundaciones, y practicarlas en los casos oportunos, y de desecar los pantanos, lagunas etc
 - La construcción de malecones y de los muelles y demás obras hidráulicas que suelen ofrecerse en las Plazas marítimas

Sala de Dibujo, Los días que los alumnos asistan a dibujo el profesor:

- Debía de explicar sus principios fundamentales, la aplicación de los colores, según. las reglas del arte y de convenio, y el modo determinar geoméricamente las sombras.

- Les debías de hacer trabajar en planos de todo tipo de edificios e infraestructuras.
- Deberías delinear planos de infraestructura hidráulicas y sus cimentaciones
- Les debía explicar modos de sondeos
- Debían de trabajar en la realización de planos de terreno

A la vista del programa, se deduce que se ha ido desarrollando en base a la experiencia de la Academia de Barcelona.

A lo largo del siglo XIX este modelo de oferta de formación reglada fue evolucionando, llegando hasta nuestros días.

La academia de Alcalá se puede ver en la figura 69



Fig. 69 Fachada de la Academia de Ingenieros. Alcalá de Henares, 1803 http://www.altorres.synology.me/02_04_alcala.htm

5.4.1.2 Real Academia de Ingenieros de la Marina

De nuevo como en el caso de los ingenieros militares, está creciendo la flota, con un plan de construcción importante, se han establecido centros industriales de construcción y mantenimiento de navíos y por tanto se necesita una oferta de ingenieros que permita una gestión adecuada de construcción y mantenimiento.

Y es durante el Reinado de Carlos III François Gautier es nombrado en 1769 “Director de construcción de bajeles, igualmente de carenas, independiente de Comandantes Generales e

Intendentes de los Departamentos". Como francés conocía la existencia de "Les élèves-ingénieurs-constructeurs" que había fundado Duhamel en 1740, esta escuela se cerró provisionalmente en 1759 y se volvió a abrir en 1765 que es cuando se crea el cuerpo de "des ingénieurs-constructeurs" que pasan a ser funcionarios de la marina real. [Lutun, B. (1993)]. Se plantea el poder disponer de un cuerpo facultativo de la armada de ingenieros. Para este objetivo se generan dos ordenanzas, no se va a entrar en este estudio por qué se generaron estas dos ordenanzas en base a discusiones internas del ministerio, las ordenanzas son las siguientes: (figura 70)

- Real Ordenanza de S.M. para el establecimiento del Cuerpo de Ingenieros de Marina, Año de 1770
- Ordenanza de S.M. para el servicio del cuerpo de ingenieros de marina en los departamentos, y a bordo de los navíos de guerra 1772. En esta Ordenanza se establece la Academia como tal.

Las enseñanzas a diferencia del modelo francés que se dispensarón en un único emplazamiento, París, en España aquí se va a ligar, en la de 1772, a los Arsenales, por tanto se tendrán tres establecimientos que serán los Arsenales.

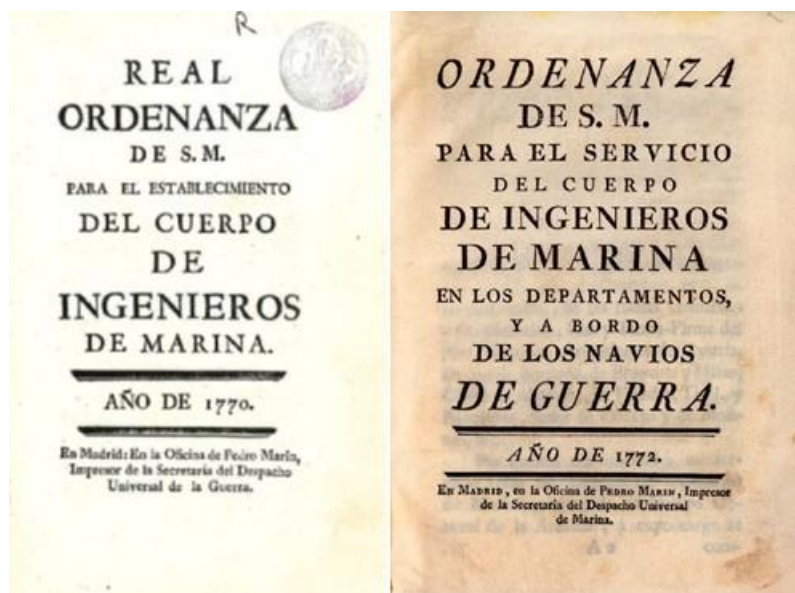


Fig. 70 Ordenanzas de 1770 y 1772

A continuación, se va a analizar las ordenanzas en tanto en cuanto que en ellas se va a establecer roles responsabilidades y programas.

Ordenanza de 1770:

- Objetivo: *“Conviniendo à mi servicio crear un Cuerpo de Ingenieros de Marina, à cuyo cargo se construyan, carenen, recorran y cuiden los Vageles de mi Armada, y practiquen las demás operaciones correspondientes a este Cuerpo facultativo; y siendo también de la mayor importancia, se componga de sujetos hábiles, y instruídos en la theorica, y practica de esta Profesión”* [sic]
- Centro de formación: *“He resuelto su establecimiento; y el de una Escuela de Cadetes de distinguido nacimiento..”* [sic]
- Programa: *“La Escuela se compondrá de treinta Cadetes de los cuales veinte y cuatro , desde la edad de catorce a veinte años que deberán estudiar la Arithmetica, Geometría, Trigonometría, Mecánica, Algebra, su aplicación à la Geometría, la Física de Nolét⁵⁷, la Ciencia de los Ingenieros,⁵⁸ y la Hydraulica de Belidor,⁵⁹ el Dibujo y el Arte de disponer los Planos de los Vageles y Edificios hydraulicos y civiles y otras seis plazas serán para Hijos menores de Oficiales, que no lleguen a la edad antes expresado; y estudiaran la Arithmetica, Elementos de Geometría, y Dibujo”* [sic]
- Profesorado: *“Las Lecciones , que les darán los Maestros de Mathematicas, de Architectura, y de Dibujo”* [sic]
- Horario: *“Dos horas cada día à los trabajos de Arsenales. El Ingeniero general los examinará todos los meses de sus Estudio theoricos, y prácticos”* [sic]

Este modelo no se llegó a aplicar y fue sustituida por la Ordenanza de 1772

Ordenanza de 1772:

- Objetivo: *“Por quanto conviniendo à mi servicio crear un Cuerpo de Ingenieros de Marina , agregado al Cuerpo General de la Armada, a cuyo cargo se construyan,*

⁵⁷ Se entiende que se están refiriendo a *“Lecciones de Física experimental”* del físico francés Jean Antoine Nollet

⁵⁸ Se entiende que se están refiriendo a *“La science des ingénieurs, dans la conduite des travaux de fortification et d'architecture civile”* de Belidor

⁵⁹ Se entiende que se está refiriendo a *« Architecture hydraulique ou l'art de conduire, d'élever et de ménager les eaux pour les différents besoins de la vie »* de Belidor

carenen, recorran, cuiden los Vageles, se fabriquen los edificios , y practiquen las demás operaciones correspondientes à este Cuerpo Facultativo, y Militar, en mis Puertos, Arsenales, Montes, à bordo de mis Navios , y Esquadras de Guerra, à que los destináre en qualquiera de mis Dominios siendo también de la mayor importancia se componga de sujetos hábiles en la Theorica y Practica de esta Profesión, he resuelto su establecimiento, y el de una Academia para instrucción de los subalternos de dicho cuerpo” [sic] Se establece formalmente la Academia

- Duración de los estudios y materias: Después del examen de aptitud para acceder a la enseñanza de la Academia.
- Programa:
 - *Primer año “Los cadetes de los Cuerpos de del Egercito, que quieran pasar à este Cuerpo...y servirán como Cadetes, hasta que enterados de los cursos de construcción. Navegación, y maniobra, me los proponga el Ingeniero General para Ayudantes Ingenieros”*
 - *Segundo año: “El curso se dividirá en quatro partes: la primera tratará de la Arithmetica: la segunda de la Geometría, en la qual se comprehenderán las trigonometrías, rectilínea, e Espherica: la tercera tendrá por objeto à la Geometría: la quarta comprehenderá la Estática, y el movimiento con la Hidraulica, e Hidrostática”*
- Plan de trabajo diario:
 - *“Los Ayudantes Ingenieros asistirán por la. mañana dos horas en la Academia a las lecciones de Mathematica, y dos horas por la tarde à las de Navegacion, y Maniobras, hasta que por los exámenes que al fin de cada mes practicará el Ingeniero General , o el Ingeniero Comandante , encargado de la. direccion de la Academia, los halle debidamente instruidos en los estudios, y les dispense de asistir a las lecciones de Mathematica , o a las de Navegacion , y Maniobras.”*
 - *“Emplearán las demás horas del dia, parte en asistir à los trabajos à que los aplique el Ingeniero Comandante, parte en dibujar Planos de Navios, de Edificios, de Radas , Puertos , y Arsenales: estudiarán la Phisica: experimental , la Ciencia de Ingenieros , y Ja Hidraulica, por los Autores que les señale el Ingeniero General ; y al fin de cada mes presentarán a éste sus Planos , para*

que se entere del adelantamiento de cada uno; ó los . entregarán al Ingeniero Director, ó en Gefe del Departamento, à fin que éste con su informe los dirija al Ingeniero General". [sic]

- Emplazamiento: Los arsenales, con referencia en el Ferrol y los departamentos de Cádiz y de Cartagena
- Profesores:
 - Tres Maestros de Matemáticas (uno por departamento) *"Para que los oficiales que sirvan en ellos puedan continuar su Estudios Theoricos"*
 - Un Maestro de Arquitectura
 - Un Maestro de Dibujo
 - Un Piloto de Marina y Un primer contraamaestre para enseñar a los Subalternos la práctica de la navegación, y maniobra de los navíos.

La realidad del funcionamiento de acuerdo con [Carrión, J. M. S., & González, F. F. (2009)] fue bastante deficiente. La introducción del cálculo diferencial es a partir de la Real Orden de 22 de mayo de 1787 se crea el Curso de Matemáticas sublimes [Comas Roqueta, J., & Ausejo Martínez, E. (2015)]. Este curso estaba pensado como un curso que formaría parte de los *Estudios Mayores* el objetivo de este curso superiores era la docencia y astronomía, no estaba incluido la ingeniería, pero el número de ingenieros que siguió fue del 61%.

[Carrión, J. M. S., & González, F. F. (2009)] han recuperado, en base a los certámenes públicos el programa de este curso que era:

- Álgebra finita
- Cálculo infinitesimal
- Mecánica
- Hidrostática
- Aplicaciones a construcción de bajeles
- Óptica
- Astronomía

Este cuerpo gestionó la construcción de los barcos y los arsenales en donde al igual que en la minería se utilizó las bombas de vapor para el achique de los diques de carenado, gestionaban los bosques de donde procedía la madera. En resumen, gestionaban factorías en las que existía

multitud de procesos y a su vez los stocks de almacenes para la construcción de los barcos. Al final del siglo se produjo una caída en la producción y a continuación vino la suspensión de pagos que significó la guerra de la independencia. Este cuerpo dejó de existir en 1825 y reapareció en 1857 [García, A. G., & Morales, A. E. G. (2020)].

5.4.2 La Ingeniería civil

La ingeniería civil va a estar ligada a necesidades de la administración del estado, de ella se van a analizar la ingeniería ligada a la minería, a las infraestructuras y la semilla de lo que será la Ingeniería que hoy conocemos como Ingeniería Industrial. También se va a revisar las aportaciones que van a venir de la sociedad civil en concreto de las Sociedades Económicas de amigos del País.

5.4.2.1 Ingeniería de Minas

La Ingeniería de Minas es la primera ingeniería civil, en España y en México, en la que se va a impartir la formación reglada. En este caso, de nuevo existe una alineación entre formación y la minería del mercurio y la de la plata en España y Nueva España respectivamente. En ambos países se repetirá el factor común que se dio en la Academia de Barcelona y es la falta de tratados tanto en España como en Nueva España. Y en ambos como en todo nuevo proceso se dará un modelo que permite, mediante sucesivas aproximaciones acercarse a su objetivo. Para lo cual tendrán dificultades económicas, sociales y en algunos casos de reconocimiento por parte de las viejas instituciones, los gremios, la burocracia etc. En este caso no precede a la implantación de la formación reglada la existencia de un cuerpo facultativo. A continuación, y por orden cronológico se van a conocer los planes de estudio, que permitieron establecer una oferta de formación en ambas instituciones.

5.4.2.1.1 Academia de Enseñanza de Minas de Almadén

En 1755 se produce un incendio en la mina del Castillo de Almadén que se prolongara durante dos años, incendio descrito por Bowles en [Bowles, W. (1789)] en el que intervino junto con el director Carlos Henning Köeler en la dirección de la extinción de este. El incendio duró dos años para actuar adicionalmente en su extinción vino de Sajonia el ingeniero Enrique Cristobal Storr. Su cargo era ingeniero subterráneo de las minas y fue nombrado director interino a la muerte de Köeler. En premio a su gestión en el incendio el Rey le nombra, mediante una Real Decreto de 14 de julio de 1777 director y a su vez profesor para enseñar a jóvenes alumnos como indica el texto de la real orden

Enterado el Rey por la representacion de Vmd. de 16 de Junio proximo, y la que acompañó del delineador de esas Minas D.n Enrique Storr, manifestando la fidelidad, celo, y amor con que ha desempeñado su encargo desde el año de 1756, que se incendiaron dichas Minas devriendose á su cuidado y desvelo el restablecimiento, acreditandolo con la experiencia en las crecidas sacas de Azogue: ha venido S. M. en concederle el Empleo de Director de ellas,. y con obligacion de enseñar á los Jovenes profesores de Matematicas, que se remitirán de estos Reynos, y los de America, para que se destinen é instruyan en la theorica, y practicamente, la Geometría Subterranea, y Mineralogia, á que ha prestado Storr, su allanamiento y consentimiento comoexpresa Vmd. en dicha representación.”. [sic] [Maffei, E. (1877)]

Esta fecha se toma como referencia para establecer la fundación de la cuarta escuela de ingeniería minera europea. La anteriores habían sido:

- 1767 Sajonia (Alemania)
- 1770 Schemitz (Imperio Austro húngaro)
- 1772 San Petersburgo (Rusia)
- 1777 Academia de Enseñanza de Minas de Almadén
- 1778 Se constituye el *Corps des ingénieurs des mines* París (Francia) la escuela en 1783.
- 1792 Se inicia el Real Seminario de Minería de Nueva España

Por tanto, el objetivo de la Academia de acuerdo con el Real Decreto ya indicado es:

“Enseñar a los jóvenes matemáticos, que se remitirán de estos Reynos, y los de América, para que se destinen e instruyan en la teórica y prácticamente, la geometría subterránea y mineralogía”.

A los que estudien en la Academia no se les denominará, inicialmente, ingenieros sino el de **geómetras subterráneos o delineadores**.

Como otros casos son necesarios textos acerca de mineralogía y geometría subterránea, que en ese momento van a estar en alemán o en francés, de acuerdo con [Omar Escamilla, Francisco, López Alejandro, R. (2013)] citan a dos textos franceses de referencia que son:

- « La Géométrie souterraine, ou Traité de géométrie pratique appliqué à l'usage des travaux des mines », de M. de Genssane (1776)
- « Elémens de la géométrie souterraine, théorique, d'après les leçons de M. Koenig » de Gabriel Jars, 1780.

Para lo cual se busca a una persona que pueda traducir textos de mineralogía y geometría subterránea que es Juan Graef que fallece en 1781.

Hasta 1785 solo hay un profesor que es Storr⁶⁰ que el 17 de octubre de 1781 recibe el Real Título en el Real Título de *Director de Almaden y de maestro de las ciencias de Geometría subterránea y Mineralogía* en el que se detalla [Maffei, E. (1877)]

“De que habeis de servir el nominado empleo de Director de las Minas descubiertas y que se descubrieren en todo el término consignado de la jurisdicción de ellas por todo el resto de vuestra vida, ó por el de mi Soberana voluntad: Y de enseñar á los jóvenes matemáticos actuales y á los que de mi Real orden se destinaren á la villa de Almaden, las relacionadas ciencias de Geometría Subterránea y Mineralogía con el debido cuidado y aplicación” “En la propia conformidad deberán estar á vuestras inmediatas órdenes los discípulos profesores de las referidas ciencias de Geometría Subterránea, y Mineralogía en esta parte, de quienes ó de cualquiera de ellos, podreis valeros, á fin de que os pongan en buen castellano, y en limpio los estados, informes y relaciones semanarias que, como queda expuesto, habéis de entregar al referido Gobernador para remitirlos á mi Superintendente general” [sic]

El régimen del alumnado eran asistir diariamente a clases y realizar prácticas en la mina

En 1781 se dispone la construcción de un edificio como sede de la Academia que finalizará en 1785 ver figura 71

⁶⁰Dado la inexistencia de textos, Storr escribe un libro en alemán (parece que inacabado) cuyo título era “Curso de Mineralogía y Geometría Subterránea”



Fig. 71 Casa Academia de Minas. Página web del ayuntamiento de Almadén. <http://almaden.es/turismo/que-visitar/casa-academia-de-minas.html>

Las enseñanzas que dispensa Storr es, de acuerdo con Maffei, E. (1877)]:

- Levantamiento de planos subterráneos
- Rompimientos
- Entibación
- Excavación e investigación de los criaderos

En 1788 hay dos nombramientos relevantes: Juan Martín Hoppensack como director de Almadén y Francisco Angulo como director de minas del reino. Este segundo es el que pide el **cambio de denominación de geómetras subterráneos o delineadores por ingenieros**. Hasta 1803 no se dispone de un plan de estudios. A los alumnos antes de ingresar en la escuela debían de haber cursado estudios de:

- Latín
- Lógica
- Matemáticas
- Física
- Nociones de
 - o Química
 - o Mineralogía

- o Geognosia
- o Lengua francesa o alemana

Estas materias podían en seguirse en: Los Reales Estudios de San Isidro, la Cátedra de Química aplicada a las Arte (1787) ⁶¹[Bohórquez, R. G. (1984)]. Real Escuela de Mineralogía de Indias (1789) [Parra, D., & Pelayo, F. (1996)].

En 1801 la Academia dispone de tres profesores que pasan a impartir

- Geometría Subterránea
- Minería práctica
- Matemáticas
- Dibujo

En 1804 de acuerdo con la Real Orden de 18 de junio se establece el siguiente claustro:

- Mineralogía D. Diego Larrañaga
- Geometría subterránea D. Jose Larrañaga
- Matemáticas, dibujo y lavado de planos D. Agustín de Ugena

La escuela entra en modelo mortecino.

En 1825 Elhuyar presenta la *“Memoria sobre la formacion de una ley organica para gobierno de la minería en España: dirigida con una exposicion al señor secretario de estado... de hacienda... en la Imprenta Real.”* En esta memoria, en la Cuestión XI *“De qué se proporcionará la instruccion necesaria á los que se dediquen á la profesion de Minería”*. [sic] En ella habla de un preparatorio y de una especialidad según este criterio:

Preparatorio *“los jóvenes hallarían en los establecimientos de enseñanza pública .de Matemáticas, Física, Química, Mineralogía y Dibujo de Corte, suficiente ocasion para instruirse en estas materias en el grado necesario para entrar en la escuela de aplicación de Minería”* [sic]

⁶¹ Fundada por Real Orden del 3 de julio de 1787

Programa y profesorado *En esta bastarian dos Profesores con algun Ayudante, el uno para la enseñanza de la Geometría subterránea y el laborío de Minas, y el otro para la Docimacia y Mineralurgia; con el correspondiente laboratorio, y los instrumentos, modelos y demas necesario en cada clase, una coleccion de minerales, y una biblioteca ceñida á la facultad.*

Emplazamiento: Almadén

Duración y práctica *En ella permanecerían los alumnos dos ó tres. años, segun su aprovechamiento y disposicion, paran pasar á imponerse en los métodos acostumbrados en otros distritos, especialmente en lo relativo al beneficio de sus, diferentes producciones. En estos nuevos ejercicios se ocuparian otros dos ó tres años, al cuidado de los correspondientes Inspectores y sus respectivos Ingenieros, para atenderlos y guiarlos en sus tareas. Despues de esto serian examinados por la Direccion general, ó de algun otro 'modo, para calificar su idoneidad, y ser propuestos los aprobados para Ingenieros.*

Como ilustración de la geometría subterránea se puede ver en la figura 72 un instrumento procedente del libro de Duhamel⁶² lámina 14 La utilidad de este instrumento era conocer la dirección e inclinación de las columnas de mineral formadas por el ángulo sólido que forma la unión de dos filones.

⁶² Géométrie souterraine, élémentaire, théorique et pratique. Où l'on traite des filons ou veines minérales, & de leurs dispositions dans les seins de la terre ; de la trigonométrie appliquée à la connaissance des filons, à la conduite des travaux de mines & à la confection de leurs plans & profils. Avec figures, et des tables qui, sans calcul, indiquent la valeur des deux côtés de tout triangle rectangle, dont l'hypoténuse est connue

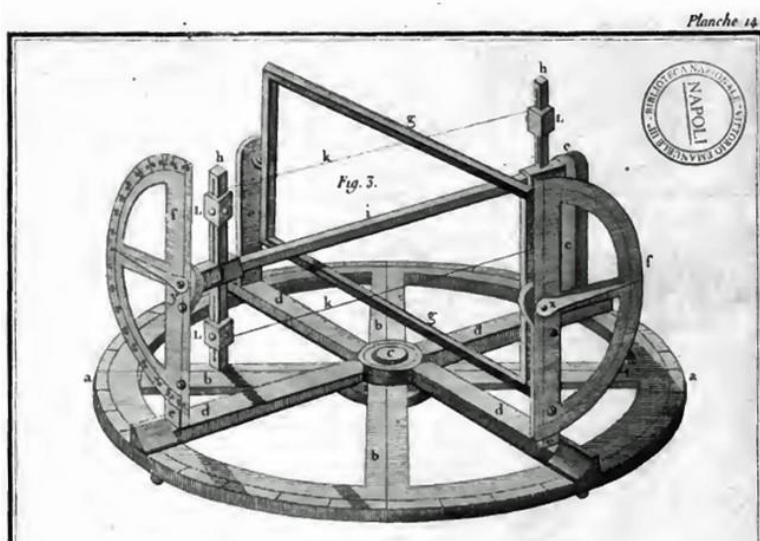


Fig. 72 Instrumento de Geometría Subterránea.
[Imprimerie royale. (1787)] Source Google Book

5.4.2.1.2 Real Seminario de la Minería de México

Previamente hay que recordar que en este periodo va a cambiar el nombre de Virreinato de Nueva España a México como país independiente, con dos fechas relevantes, ligadas a la guerra de independencia de México. Que se inicia en 1810 y finaliza en 1821. [Escudero, A. G. (2008)].

Como se ha visto en el punto 5.2.6.3 en 1783 se publica las “Ordenanzas para la dirección, régimen y gobierno del importante cuerpo de la minería de Nueva España, y de su real tribunal general”. Dentro de esta orden conviene pararse en dos títulos:

- Título 17 “*De los Peritos en. el laborío de las Minas y en el beneficio de los Metales*” En este título es importante la descripción que hace de los conocimientos que deben de tener los Peritos Facultativos de Minas y los Peritos Beneficiadores que son las siguientes:
 - Peritos Facultativos de Minas: “*Sugetos inteligentes, instruidos y prácticos en la Geometría, y. en la Arquitectura subterranea é Hidráulica, y tambien en la Maquinaria, y en las artes de . Carpintería, Herrería y Albañilería en la parte que se usa de ellas. en el éxercicio de las Minas*”

- Peritos Beneficiadores: *Hombres hábiles en, el conocimiento de los Minerales, que llaman Mineralogía, y en su tratamiento para sacarles. Todo lo que tuvieren de metales, y en el modo de reducir-éstos al estado en que se hace uso de ellos así por mayor como por menor, que es lo que se llama Metalurgia.*
- Título 17 “*De la educacion y enseñanza de la Juventud destinada á las Minas, y del adelatamiento de la Industria en ellas.*” En este título es importante los siguientes artículos:
 - Artículo 1 en el que se establece que va a existir Colegio y Escuelas para tener gente formada
 - Artículo 4 sobre profesores: *En dicho Colegio se han de poner los necesarios Profesores seculares, y bien dotados, para que enseñen las Ciencias, Matemáticas, y Física experimental conducentes al acierto y buena direccion de todas las operaciones de la Minería.*
 - Artículo 5 sobre los formadores en las Artes Mecánicas: Asimismo ha de haber Maestros de las Artes mecánicas necesarias para preparar y trabajar las maderas, metales, piedras y demás materias de que se forman las Oficinas, Máquinas é Instrumentos que se usan en el laborío -de las Minas y beneficio de sus metales, y-tambien un Maestro de dibuxo y delineacion.
 - Artículo 6 en donde se establece que el nombre el colegio será *Real Seminario de Minería*
 - Artículo 13 acerca de los roles de los profesores “*Los mencionados Profesores Maestros del Colegio, ademas de enseñar diariamente por lecciones teóricas y pricticas, estarán obligados á presentar cada uno de seis en seis meses una Memoria: ó Disertacion sobre algun asunto útil y conducente. á la Minería, y -perteneciente á. las facultades aplicables á este ejercicio, las cuales Memorias se han de leer al Real Tribunal, y conservarse en su Archivo con-cuidado para darlas impresas al público quando pareciere conveniente*”
 - Artículo 14. Se establece las prácticas “*Los enunciados Jóvenes quando hayan concluido sus estudios deberán ir á los Reales de Minas á asistir tres años, y practicar las operaciones con el Perito Facultativo de Minas, ó con el Perito Beneficiador del distrito á que fueren destinados*”. Y se establecen los títulos a

recibir por los egresados, después de superar la formación y las prácticas: “y se les desinará para Peritos Facultativos ó Peritos Beneficiadores de los Reales de Minas”. [sic]

En 1786 se nombra Director General del Tribunal de la Minería al profesor de la Real Sociedad Bascongada de Amigos del País el mineralogista Fausto de Elhuyar que se incorpora en 1788. De acuerdo con [Flores Clair, E. (1999)] en 1789 Elhuyar presenta un programa de estudios que se aprueba en octubre. Este plan establece un periodo de enseñanza de una duración de seis años cuatro de teoría y dos de prácticas. Este plan tras algunas modificaciones fue el que se puso en marcha en la inauguración del seminario el 7 de enero de 1792. Este plan sufrió cambios a lo largo de su aplicación entre 1792 y 1821.

El plan distinguía entre asignaturas principales y prácticas, a continuación, se indica las diferentes asignaturas y su periodo de aplicación entre paréntesis: [Flores Clair, E. (1999)]

- Asignaturas principales:
 - Matemáticas (1792-1797). Posteriormente se divide en:
 - Matemáticas 1 (.1797-1821)
 - Matemáticas 2 (1797-1821)
 - Física (1793-1821)
 - Química (1796-1821)
 - Mineralogía (1795-1821)
- Asignaturas auxiliares:
 - Dibujo (1792-1821)
 - Francés (1792-1821)
 - Gramática Castellana
 - Latín (1799-1809)
 - Geografía (1802-1805)
 - Lógica (1807-1809)
 - Religión y política (1792-1821)

A partir de 1800 Elhuyar estableció que los cuatro tipos de tesis debían de presentar los practicantes para obtener la titulación: [Bravo, M. H. G.]

1. Con la descripción geognóstica de un Real de Minas

2. Con la descripción y el plano de una mina
3. Con la descripción de los beneficios por el azogue, del oro y la plata, tal como los viera practicar en una mina
4. Con informes acerca del beneficio de los minerales de plata, por el fuego, tal como fuera practicado en un Real de Minas.

La traslación del temario de Elhuyar a la programación anual en el apartado de asignaturas principales ha sido analizada por [Camacho Ríos, A. (2016)], se basaba en un curso de 42 semanas por año con una dedicación diaria de 16 horas (5 de clases y 3.5 de estudio)⁶³. Se da la distribución de las asignaturas por curso:

- Primer curso
 - Matemáticas puras:
 - Aritmética
 - Álgebra
 - Geometría Elemental
 - Trigonometría Plana
 - Secciones Cónicas
- Segundo curso
 - Geometría práctica
 - Geometría subterránea
 - Dinámica
 - Hidrodinámica
- Tercer curso:
 - Química
 - Mineralogía
 - Metalurgia
 - Prácticas
- Cuarto curso
 - Física subterránea
 - Teoría de las montañas

⁶³ Clai, E. F. (2004).

- Excavación, extracción y faenas fuera del terreno
- Prácticas
- Quinto curso
 - Práctica profesional en un Real de Minas
 - Operación y laboreo de Minas
- Sexto curso
 - Práctica profesional en un Real de Minas
 - Preparación de la tesis.

El profesorado, como se ha indicado al frente del Seminario estuvo Fausto Elhuyar científico reconocido y que busca un claustro de un alto nivel, del grupo de profesores cabe destacar por su preminencia científica al alumno de Almadén Andrés del Rio para Mineralogía.

Como textos a utilizar disponían de:

- En el área de matemáticas se utilizó una edición reducida a tres volúmenes de Benigno Bails *Principios de Matemáticas* -Reimpreso para uso de los alumnos del Real Seminario de la Minería Tomos I, II y III. Estos textos se siguieron utilizando posteriormente a la independencia como muestra la portada de uno de ellos con fecha 1828. (ver figura 73)
- En física la traducción del *Traité Élémentaire ou principes de physique* de Mathurin Jacques Brisson
- En química la traducción del *Traite Élémentaire de Chimie* de M.Lavoisier
- Orictognosia Elementos De Orictognosia, Ó Del Conocimiento De Los Fósiles: Dispuestos, Según Los Principios De A. G. Wérner Para El Uso Del Real Seminario Del Minería De México, de Andrés Manuel del Rio
- Mineralogía las *Tablas Mineralógicas* de D.L.G. Karsten, traducida por Andres Manuel del Rio
- *Tratamientos Nueva Teórica y Práctica del Beneficio de los Metales de Oro y Plata por Fundición y amalgamación* de Joseph Garcés y Eguia
- Para la geometría subterránea, probablemente utilizaran los libros de Genssane y Jarss, ya citados. Recientemente se ha encontrado un manuscrito de autor anónimo que pudo ser utilizado “*Nociones generales de la teoría y práctica de la geometría subterránea*” [Omar Escamilla, Francisco, López Alejandre , R. (2013)]

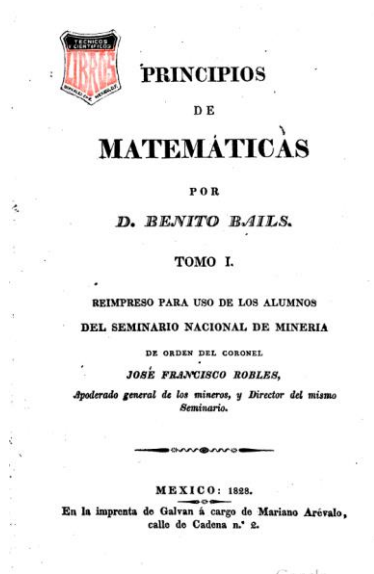


Fig. 73 Principios de matemáticas de Benito Bails en el Seminario de la minería. source Google Book.

En la figura 74 se puede ver una fotografía del edificio en donde se instaló el Real Seminario a en la calle Guatemala No. 90, de México D.F. posteriormente se trasladó al Palacio de la Minería.



Fig. 74 Antigua sede del Real Seminario de la Minería
<https://historiabiouniversidad.blogspot.com/2017/05/facultad-de-ingenieria.html>

Como resumen del Real Seminario es que, fue un ejemplo de rigor y el origen de la formación reglada de ingeniería en la República de México. Su director fue posteriormente el que presenta en 1825 una propuesta para la minería española [Elhuyar, F. (1825).]

5.4.2.2 Estudios de la Inspección General de Caminos y Canales

El 12 de junio de 1799, finalizando el siglo, el nuevo secretario de Estado, Mariano Luis de Urquijo encarga al Conde de Guzmán (José Naudín y Guzmán) la puesta en marcha del plan que había propuesto acerca de la Creación de la Inspección General de Caminos y Canales) Nombrándole Inspector General [Sánchez Miñana, J. (2019)].

Este es el principio de la tercera escuela de ingenieros del Reino de España, primero fueron las dos de ingeniería de minas de Almadén y de México. Como en estas hay una presión por parte de la demanda, en el primer y segundo caso por parte de la minería del mercurio y de metales preciosos y en el tercero por parte de las infraestructuras.

5.4.2.2.1 Antecedentes

En 1771 bajo el reinado de Carlos III el 12 de junio de 1761 se emite un “*Real Decreto expedido para hacer Caminos rectos , y sólidos en España, que faciliten el Comercio de unas provincias á otras , dando principio por los de Andalucía, Cathaluña, Galicia y Valencia*” en citado Real Decreto se indica:

*“pues sobre pagar unos crecidos portes los interesados en las cargas, experimentan los conductores muchas fatigas , que perjudican, y embarazan notablemente la frecuencia, y multiplicacion de los transportes, que son tan utiles al Estado: y reflexionando tambien, que los buenos Caminos , con algunos Canales para riego , y navegacion **pueden asegurar al mismo Estado todas las comodidades , que produce el continuo facil movimiento del Comercio interior** : Por estos motivos, llevado del amor, que tengo à mis Vasallos, y del deseo de su mayor felicidad , he deliberado por aora, que se continue de cuenta de mi Real Hacienda el Canal de Castilla, examinandose nuevamente por Ingenieros de experimentada habilidad el Proyecto , y su direccion, para que no se aventure el acierto, y-se gasten inutilmente los crecidos caudales con que atiende mi Real Hacienda á su construccion, y que se hagan sólidamente todos los Caminos convenientes para la utilidad comun de mis Pueblos, comenzando por los principales desde la Corte a las*

Provincias , con asignacion fija ; y que concluidos estos se vayan executando todos los demás , que aseguren la facil comunicacion de unas Provincias con otras, y aun de unos Pueblos con otros.....” [sic]

Esta pujante demanda de infraestructuras se junta con la nueva división en el cuerpo de ingenieros militares en 1774, en el que las nuevas ordenanzas se habían dividido en tres ramos:

- Plazas y Fortificaciones del Reino
- Caminos, Puentes Edificios, Arquitectura civil y Canales de Riego y Navegación
- Academias Militares

Junto con la presión de la minería, ponen de manifiesto una demanda de ingenieros.

Conviene poner el punto de mira en la actividad que van a realizar en París dos figuras Agustín de Betancourt y Juan López Peñalver Los dos serán pensionados en París. [Fernández Pérez, J. Gonzalez Tascon, I .(1991)]

En 1784 con posterioridad a la publicación de la Memorias de las Reales Minas de Almadén por parte de Agustín de Betancourt, y en base, probablemente al análisis de los procesos que hace de ellas, por lo que es enviado como pensionista a París con el propósito de estudiar Geometría y Arquitectura subterránea. Al llegar a París Betancourt tras hablar con el Conde Floridablanca, cambia el objetivo de su viaje y su objetivo pasa a ser formarse en hidráulica y maquinaria en *L'École des Ponts et Chaussées*.

Juan López Peñalver, que había trabajado con el director de Minas Francisco Angulo es pensionado para ampliar sus estudios en la Escuela de Minas de Schemnitz, por problemas de salud pide cambiar su destino por Paris en 1788 para formarse en hidráulica

Parece ser que ya en 1785 en un viaje a España de Betancourt y en una conversación con el conde de Floridablanca le propone, según explica [Rumeu de Armas, A. (1980)], la réplica de la institución que gestionaba Perronet en España La propuesta es la crear en España una Escuela de Ingenieros Hidráulicos y como paso previo a crear un cuerpo facultativo⁶⁴.

⁶⁴ Justo en orden inverso a como había sido en Francia que a partir de un cuerpo técnico (la demanda) se crea posteriormente la Escuela (la oferta)

“A fin de tener siempre sujetos hábiles capaces de dirigir y entretener con inteligencia acierto y economía en el reino las muchas obras públicas que son necesarias para su felicidad”⁶⁵ [sic]

En 1791 Betancourt y López Peñalver elaboran en París la “memoria sobre los medios de facilitar el comercio interior presentada al Excmo Sr. Conde de Floridablanca” (Ver figura 75)

En esta memoria se vuelve al modelo francés que es el de crear la demanda, mediante un cuerpo facultativo, antes de la oferta, hay que recordar que en 1716 en Francia el Gobierno de la Regencia instituyó «*le Corps des ponts et chaussées pour surveiller l'exécution de certains projets de constructions d'Etat*» [Artz 1938].

En esta memoria se propone:

*Estas y otras muchas mas ventajas se conseguirán formando una **Junta de caminos y obras hydraulicas** á cuyo cargo esten estos dos ramos. Formada esta Junta que precisamente deberia **componerse de facultativos que reuniesen todos los conocimientos** que se requieren para desempeñar ambos objetos, pues de otro modo seria mas bien perjudicial que util, en la qual se deben suponer reunidos todos los conocimientos necesarios para desempeñar ambos objetos, se le deberian **encargar los proyectos de las obras Reales, correspondientes á estos ramos**, que se hayan de hacer, y tambien convendría que se confiasen á su examen todos los demas que se hubiesen de executar en el Reyno; é informada la Junta del grado de utilidad de lo que se le proponia, daria su dictamen fundado, é informaria al Ministerio de los asuntos que le hubiese encargado. Para dirigir las obras tendria el Rey en este cuerpo sugetos instruidos á quienes encargarlas, quando lo juzgase conveniente, dexando á las Provincias y particulares la livertad de hacerlas executar por las personas que gustasen habiendo precedido la aprobacion mencionada. En la **Junta quedarian depositadas las copias de los proyectos aprobados; de los informes que hubiese dado, de las memorias que se la presentasen, y juzgase útil conservarlas, y los planos y modelos que procuraria adquirir, tanto de varias obras del Reyno, como de otras de los paises estrangeros; con lo qual podria siempre responder a lo que se la consultase, y poseeria un fondo de instruccion con que formar sugetos que procurarian á la Nacion la mayor utilidad. Para lograr mas directamente***

⁶⁵ Carta de Fernán Núñez a Floridablanca (15 de septiembre de 1788 [Rumeu de Armas, A. (1980)])

este objeto, convendria establecer la enseñanza de la Mecanica é Hydraulica, con sus aplicaciones á la practica, la delineacion, y los cortes de piedras y enmaderaciones, cuya instrucción hace suma falta en España. [sic] [López Peñalver, Juan. (1992)].

Como se puede observar, en la parte final de esta cita se recomienda la necesidad de formación.

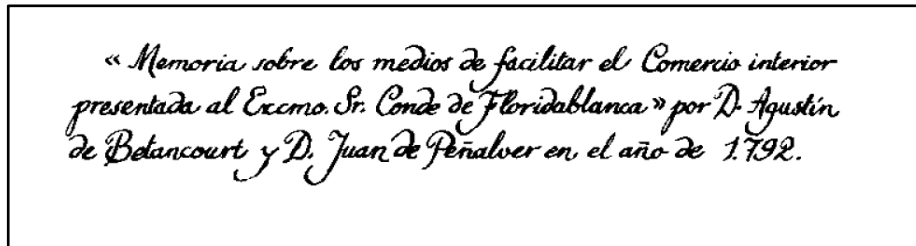


Fig. 75 Memoria a Floridablanca Edición Facsímil del CICCP colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

La constitución de la institución va a tener dos componentes, la primera es la constitución en 1792 del Real Gabinete de Máquinas y posteriormente en 1799 la creación de Inspección General de Caminos y Canales.

5.4.2.2.2 Real Gabinete de Máquinas

Agustín de Betancourt, se desplaza a París para formarse en Máquinas e Hidráulica. Y una de sus encomiendas es la realización de los planos de *“cuantas máquinas pudieran ser útiles y provechosas para obras hidráulicas, construyendo de paso minuciosa maquetas”* [sic] [Rumeu de Armas, A. (1980)]. El conde de Fernán Núñez visita la colección y propone la creación de un Gabinete de Máquinas con Betancourt como director con el objetivo de que:

“...hubiese catálogo de las máquinas para su uso, que se vendiese al público y que en el expresaría lo que costaría el dibujo o un modelo de cada máquina. De este modo cualquiera podría hallar allí la que le conviniese para los adelantamientos de sus posesiones...”[sic]⁶⁶

⁶⁶ Vida de Carlos III de Fernan Nuñez, citada por [Rumeu de Armas, A. (1980)].

La colección de máquinas que logra Agustín de Betancourt se traslada a Madrid para su montaje en el Palacio del Buen Retiro, en la que posteriormente se montaría la Escuela de Caminos y Canales.

Por tanto, el objetivo de este gabinete era poner a disposición de la ciudadanía multitud de máquinas y mecanismos para lo que disponían de documentación de uso y diseño. La práctica totalidad de las máquinas que se incluían en el Real Gabinete era de utilidad en la realización de infraestructuras.

Para el inventario de las máquinas, así como su descripción se dispone de dos textos de Juan López Peñalver: *“Catálogo del Real Gabinete de Máquinas”*. [de Peñalver, J. L. (1794)] y *“Descripción de las máquinas de mas general utilidad hay en el Real Gabinete de ellas establecido en el Buen Retiro hecha de Orden de S.M.”*, [de Peñalver, J. L. (1798)].

En el primer libro conviene destacar los puntos de “Advertencia” y “Discurso sobre la construcción de máquinas en grande” en ellos el autor insiste en llamar la atención sobre las reglas de la semejanza física para lo cual recomienda leer el prólogo del *Tomo IV de Elementos de Matemática* de Benito Bails [Bails, B. (1780)] que en la página XXXIV y siguientes alertas acerca del diseño:

“Hoy dia no se ven sino arbitristas, y ningun verdadero ingeniero, los quales no proponiéndose más objeto que ganar mucho con una obra mala, executan las cosas aprisa, y con tantos defectos, que bien se echa de ver que todo su fin es deshacerse luego de su obra, y muchas veces empeñan à los particulares en gastos inútiles que los arruinan” [sic]

López Peñalver da tres advertencias para los que pasan de maquetas a máquinas reales: [de Peñalver, J. L. (1794)]

- I. *“Se debe desconfiar de todo modelo, que produzca, con exactitud, el mismo efecto que se espera en grande.*
- II. *Quando se haya de hacer una máquina en grande, por un modelo, es necesario informarse, si éste se ha copiado exactamente y en qué escala; y si se ha de construir la máquina con las mismas dimensiones, se seguirán proporcionalmente las del modelo.*

III. *Si se hubiese de construir una máquina variando la escala del modelo o plano, se examinarán cuáles son las partes que influyen para producir su efecto, y se variarán según la ley de las líneas, cuadrados o cubos.” [sic]*

La Clasificación de los modelos y planos del Real Gabinete: [de Peñalver, J. L. (1794)], sirve para explicar porque se quiso que fuera el Laboratorio de la Escuela de Caminos.

Montea; Enmaderaciones; Carruages; Máquinas para aserrar estacas debaixo del agua; Máquinas para elevar el agua; Puentes y cimbras; Inclusas para canales, ríos y puertos; Máquinas relativas a la conducción de aguas; Puertos de mar; Máquinas relativas a Artes; Instrumentos para dibuxar, nivelar etc.

Como se puede ver con la excepción de las máquinas relativas a Artes el resto son ligadas a las infraestructuras y edificación. Como ejemplo se puede ver la figura 76 del [de Peñalver, J. L. (1798)] que ilustra el capítulo “Descripción de la prensa hidráulica del Señor Bramack”.

Este gabinete será también una referencia en el Conservatorio de Artes en 1825.

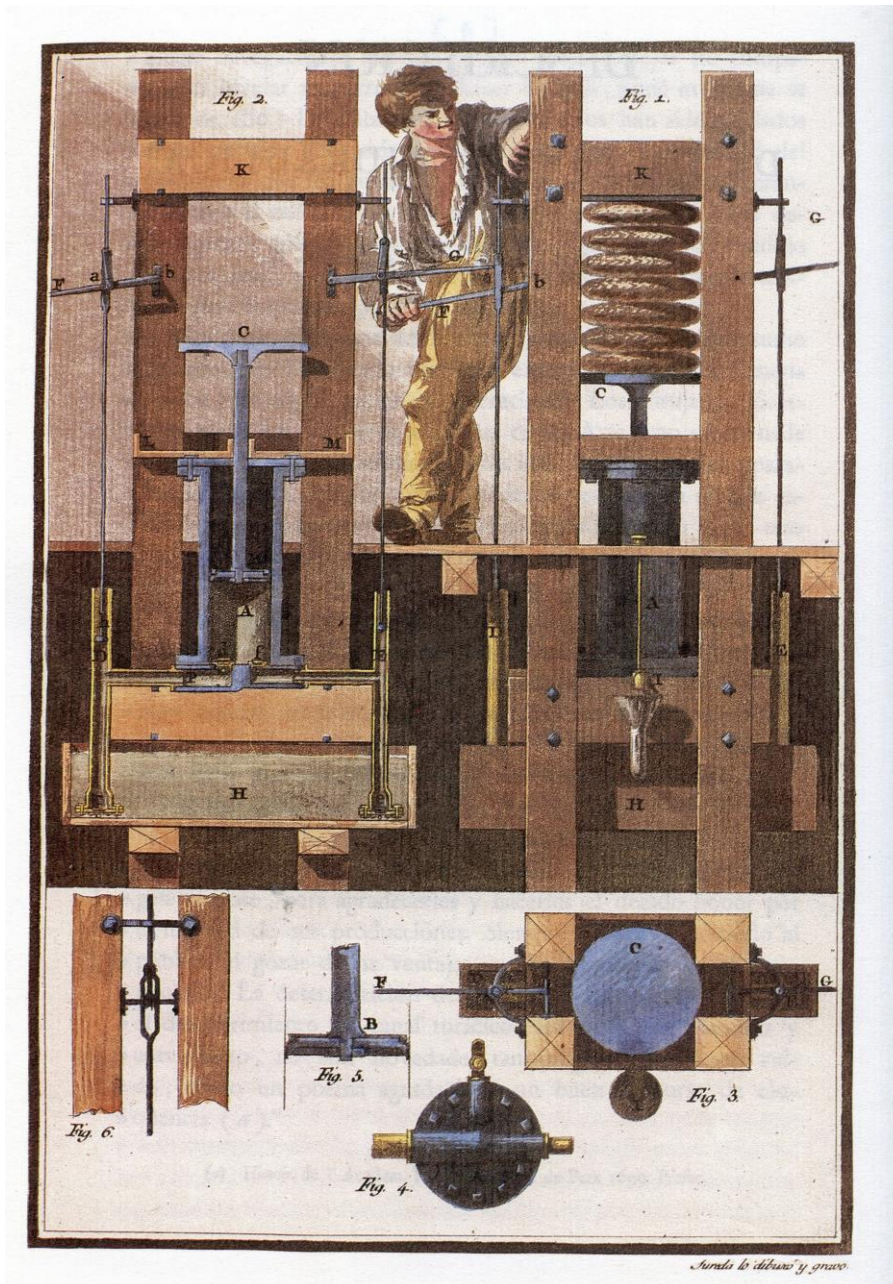


Fig. 76 Prensa Hidráulica del Sr. Bramack de [Peñalver, J. L. (1798)]

Este Gabinete desapareció prácticamente a partir de dos causas: la invasión francesa por un lado y la dejadez de las autoridades por otro.

5.4.2.2.3 Inspección General de Caminos y Canales

En 1799, 83 años después de la creación en Francia por parte de del Gobierno de la Regencia del « *Corps des ponts et chaussées pour surveiller l'exécution de certains projets de*

constructions d'Etat» [Artz 1938]. Y mediante la Real Orden de 12 de junio de 1799; en España se crea el cuerpo facultativo de funcionarios que dependerán de un inspector.

En esta Real Orden se aprueba la consulta realizada por el conde Guzmán acerca del arreglo de Correos y Caminos el 20 de febrero de 1799. De esta orden se debe de destacar que:

...El nombramiento de Inspector recaiga en persona instruida en los ramos facultativos y que haya dado pruebas de mucha inteligencia, integridad y demás buenas qualidades....

...Que al ramo de Caminos se una en un todo el de Canales del Reino, por dirigirse ambos á facilitar la comunicación interior del Reino por la unión de la parte facultativa que hai entre sí, y conocimiento que deben tener las personas encargadas de la Dirección de Caminos, por la economía que necesariamente ha resultar de ser unos mismos los empleados, por las maiores luces que esto ha de producir para facilitar con más ventajas y prontitud la comunicación, pues de nada sirven los canales si no hai caminos por donde conducirse á ellos.....

.....Que para conseguir que se planteen bien los proyectos relativos al trazado y alineación de Caminos y Canales, y las obras de mampostería, puentes y demás relativo á la Comisión, parece indispensable que el ramo de Caminos y Canales se componga de tres Comisarios de la Inspección, ocho facultativos sobresalientes en calidad de Aiudantes, de cuatro facultativos de los caminos de sitios Reales é Imperiales, de un facultativo en calidad de celador para cada diez leguas de las comprendidas en las seis carreteras principales del Reino, y de un Peón caminero en cada legua: cuos empleados, á saber, los de primera, segunda y tercera clase, deberán proponerse por la Junta al Señor Superintendente para su aprobación en personas facultativas que tengan las calidades que requieren y exigen cada una de estas clases, con especialidad los Comisarios, que deberán ser sujetos instruidos en Matemáticas, exercitados en la Geometría práctica y uso de instrumentos, particularmente en los ramos de arquitectura civil é hidráulica, además del mucho ingenio y buenas qualidades que los hagan dignos de optar al empleo de Inspector, y todos los demás empleados se nombrarán por la Junta en los mismos términos que se ·execute en el d!a.....

....Que será de cargo del Inspector formar desde luego las Instrucciones á cada clase de estos empleados, para que examinadas en Junta con vista de todas las que hasta ahora se han dado se remitan á la aprobación del Señor Superintendente: como también deberá el Inspector proponer quanto estime útil á la maior economía, perfección de las obras y prontitud en la comunicación con los planes y presupuestos que se forman para ellas, sin cuio examen no deberán subir á la aprobación del Señor Superintendente, así como no es permitido al Director de Correos ni demás Vocales hacer consulta alguna sin acudir antes á la Junta como está mandado [sic]....

Como se puede observar no solo se establece la demanda, sino que se especifica la necesidad de una oferta de formación, recuerda la metodología de Trudaine en la creación del *Bureau des dessinateurs* en 1744.

El primer Inspector de Caminos fue José Naudin Conde de Guzmán. El 27 de diciembre de 1801 fue nombrado Inspector General de Caminos y Canales Agustín de Betancourt.

Inicialmente el cuerpo de la Inspección está formado por tres Comisarios y ochos ayudantes (facultativos sobresalientes) [Oroz, A. S. (2016)]

El 26 de julio de 1803 mediante una Real Orden aparece el título de Ingeniero de Caminos [Muñoz Álvarez, J. (2007)] en la pag 76 se puede ver el literal de la denominación, como un cuerpo facultativo del estado.:

“Todos estos individuos, en sus respectivas clases, se denominarán ingenieros de Caminos y Canales, iniciándose con este nombre una carrera de honor y de personas facultativas que dedican sus tareas al servicio del rey y del público en un ramo tan importante para la prosperidad del estado”. [sic]

5.4.2.2.4 1802-1807

La rotura de la presa de Puentes el 30 de abril de 1802⁶⁷, probablemente, hizo de catalizador para la convocatoria del primer examen de ingreso cuya convocatoria aparece en la Gaceta del

⁶⁷La tragedia de Puentes generó 608 víctimas, por la rotura del embalse de Puentes en la comarca de Lorca [Olcina, A. G. (2014)].

19 de octubre de 1802, Oroz, en su tesis transcribe el texto de la gaceta que se da a continuación [Oroz, A. S. (2016)]:

*“Para la instrucción de los lo sucesivo hayan de obtener las plazas de Comisario, Ayudante y demás de que se forma la Inspección General de camino, ha resuelto S.M. se establezcan estudios de los varios ramos en que deben estar versados los que se destinen á dichos empleos. El objeto de este establecimiento será pues la **enseñanza de la mecánica, lá arquitectura hidráulica, con todas las aplicaciones necesarias á la construcción de caminos, puentes, canales, y à las demás obras y objetos particulares que tienen conexión con ellos: agregándose á esto la delineación de planos y demás que se requiere para la perfecta instrucción.** Parar ser admitidos a esta enseñanza deberán los pretendientes presentar memorial al Inspector general de caminos expresando los estudios que hayan seguido anteriormente. Antes de ser admitidos serán exâminados en aritmética, álgebra, geometría, trigonometría plana y esférica , secciones cónicas, cálculo diferencial é integral, y en los principios de física experimental: todo ello según se enseña en los estudios públicos de esta corte; pero sin necesidad de que acrediten haber asistido á ellos: pues en el exâmen se ha de comprobar la suficiencia de los aspirantes. Los exâmenes mencionados se empezarán por este año el 20 del presente mes de Octubre; y concluidos que sean se dará principio á la enseñanza y á los demás ejercicios en que deben ocuparse los que sean admitidos”*

El primer plan de estudios diseñado por Agustín de Betancourt tenía su comienzo en la primera quincena del mes de noviembre y se finalizaba el 31 de julio.

El primer profesor fue José Lanz ⁶⁸

El programa tenía una duración de dos cursos [Rumeu de Armas, A. (1990)]

- Primer curso
 - Mecánica
 - Hidráulica
 - Geometría descriptiva

⁶⁸ Coautor con Agustín de Betancourt del « Essai sur la composition des machines »

- Empuje de tierras y Bóvedas
- Estereotomía
- Dibujo
- Segundo Curso
 - Conocimientos de materiales
 - Construcción de máquinas
 - Puentes
 - Encauzamiento de ríos
 - Construcción de caminos y canales tanto de navegación como de riego.

Para el uso de los alumnos se tradujeron la Geometría descriptiva de Monge y el Tratado de Mecánica elemental de Francœur, en una edición dedicada por su uso a la Escuela, ver figura 77

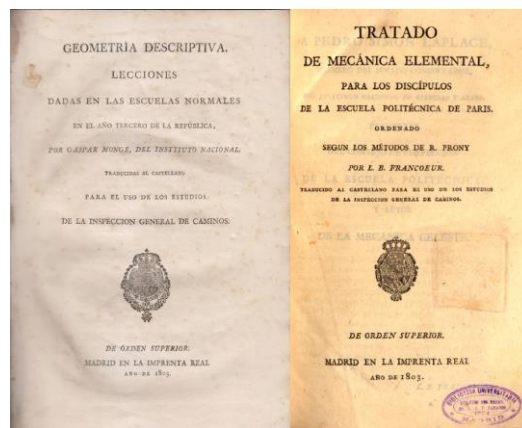


Fig. 77 Portadas de las obras traducidas para el uso en los estudios de la Inspección General de Caminos, source Google book

Se tiene una descripción de la formación de los primeros alumnos en el escrito que eleva Betancourt al ministro D. Pedro Cevallos acerca del estado de los caminos. [Betancourt, A. D. (1803)]⁶⁹.

⁶⁹ Publicada en la Revista de Obras Públicas nº 14 1843

“Felizmente vemos ya venir el día en que se cortarán de raíz los desaciertos causados por la ignorancia; y esta importantísima obra estaba reservada para V.E., quien muy en breve tendrá el gozo de ver los frutos de la protección con que ha favorecido el establecimiento de los estudios de la Inspección general de Caminos y Canales.

Éstos principiaron en el mes de Noviembre próximo anterior, habiendo recibido siete discípulos de los once que se presentaron à ser examinados sobre los principios que debían tener; dos de ellos se ausentaron por motivos particulares, y los cinco restantes han continuado con una aplicación tanto más laudable cuanto no tenemos ejemplo en ninguno de los establecimientos, científicos de España. Tres horas por día es lo que se les obliga à asistir, y el que ménos, ha estado ocho; consiguiente à. esta perseverancia, al acertado método que usa el sabio profesor que los instruye , y à la emulación que ha sabido infundirles, han sido los progresos que han. hecho.

Se han dado ya en estos seis meses la mecánica é hidráulica, la. geometría. descriptiva , el tratado de empujes de tierras y bóvedas, y están siguiendo el corte de piedras y enmaderaciones , con lo que concluirán los tratados del primer año. Pero además se han ejercitado en el dibujo, en cortar por si mismos varios arcos de piedras, y en levantar planos y hacer nivelaciones con una exactitud que no se conocía. aún entre nosotros.

*Durante los tres meses del mayor calor de este verano, se ocuparán en **formar algunos proyectos de puentes**, dando razón de todas las operaciones necesarias para su construcción y coste individual de todas sus partes ; y en el curso próximo se destinarán à seguir la aplicación de la teoría à. la práctica, **empezando por el conocimiento de los materiales que se emplean en las obras , sus mezclas y combinaciones, y continuarán los métodos para la construcción de todas las máquinas que se emplean en las mismas obras, sea para trasportar ó para levantar cuerpos sólidos, aguas, etc. ; se manifestarán los medios de formar las ataguías y malecones para la fundación de los puentes , métodos de hacerlos, ya de piedra, de madera. ó hierro; se enseñarán las operaciones que deben practicarse en los ríos para prevenir sus estragos, y medios de conducir sus aguas; y finalmente, se tratará de la construcción de las obras de los caminos y de los canales, tanto de riego como de navegación.”** [sic]*

En este comentario autolaudatorio, en el que explica los avances de la primera promoción, Betancourt demuestra al escribir que **“han continuado con una aplicacion tanto más laudable cuanto no tenemos ejemplo en ninguno de los establecimientos, científicos de España”** tener un gran desconocimiento de los programas que, en ese momento, tenía la ingeniería militar y de minas en España y en Nueva España.

Desde 1802 hasta 1808 hay cuatro promociones con un número de egresados 14.

En 1807 Betancourt abandona España. Y la Guerra de la Independencia conlleva el cierre de la Escuela.

Aunque Betancourt había sido alumno de Perronet no aplica el método mutuo, sino que es una metodología que recuerda a la de Mézières

El Real Gabinete de Máquinas formó parte de la Escuela y fue utilizado como laboratorio.

5.4.2.2.5 1821-1823

1. La vuelta al absolutismo cierra la Escuela durante todo su periodo 1814-1820. En 1820 el gobierno liberal por medio del ministro de la Gobernación Agustín Argüelles lleva a la Cortes una orden que es la siguiente. [Rumeu de Armas, A. (1980)].

*“Excmo. Sr.: Convencidas las Cortes de la imposibilidad de realizar en su tiempo el grandioso proyecto de las comunicaciones generales por agua y por tierra, sin el concurso de los facultativos que dirijan los trabajos necesarios, han resuelto que se prevenga al gobierno **el inmediato restablecimiento y apertura de la Escuela de Ingenieros de Caminos y Canales que existía en esta corte.** De acuerdo de las Cortes lo comunicamos a V. E. para que, dando cuenta a S. M., se sirva disponer su cumplimiento. - Dios guarde a V. E. muchos años. Madrid, 8 de noviembre de 1820.- Marcial Antonio López, diputado secretario. -Antonio Díaz del Moral, diputado secretario. Señor secretario de Estado y del Despacho de la Gobernación de la península”[sic]*

La dirección de la Escuela de acuerdo con [Rumeu de Armas, A. (1980)] recae en Antonio Gutierrez que se había quedado en los Reales Estudios de San Isidro. Y el 11 de enero de 1821 se vuelve a convocar el examen de ingreso, el texto de la convocatoria de este examen se ha obtenido de [Oroz, A. S. (2016).]

Programa de los conocimientos que se exigen para la admisión en la escuela de Caminos y Canales en año 1821

1. *La aritmética de los números enteros, quebrados fracciones decimales, y de los números llamados complejos, dando a conocer nuestro sistema de pesas y medidas, y comparándole con el sistema decimal.*
2. *El álgebra, que comprenderá la resolución de las ecuaciones de los dos primeros grados, la de las indeterminadas de primero; la composición general de las ecuaciones, la demostración del binomio de Newton en todos los casos, y extracción de raíces; la resolución de las ecuaciones de dos términos, y de las que pueden resolverse por las de segundo grado; el método de los divisores conmensurables y raíces iguales de las ecuaciones numéricas por aproximación; la teoría general de la eliminación entre cualquier número de ecuaciones; las propiedades de las raíces de la ecuación de primer grado; la resolución de las ecuaciones de tercero y cuarto grado, y examen del caso llamado irreducible; los métodos para desenvolver en series fraccionarias y logarítmicas; la construcción y uso de las tablas de logaritmos y la resolución de varias cuestiones de interés y población.*
3. *La geometría elemental, que comprenderá las principales propiedades de la línea recta y circular, y combinación de las dos; la determinación de las áreas de los espacios determinados por líneas rectas y circulares las principales propiedades de los planos y ángulos sólidos de caras planas, que son la pirámide y prisma triangulares; la determinación del volumen de estos cuerpos extendiéndola a otros poliedros; la generación de los cuerpos llamados redondos y modo de determinar su área y su volumen.*
4. *La trigonometría rectilínea, que comprenderá la necesidad, ventajas y definición de las líneas rectas llamadas trigonométricas para representar los valores de los arcos o ángulos; las principales relaciones que tienen entre si las líneas trigonométricas, bien con respecto a un mismo arco, o bien con respectos arcos diferentes; la construcción y uso de tablas de senos y tangentes; la aplicación de las líneas trigonométricas a la resolución de los triángulos, manifestando el principio o analogía general de la resolución de estos; la aplicación de esta parte de la trigonometría a medir alturas accesibles o inaccesibles y a medir distancias.*

5. *La trigonometría esférica, que comprende el principio o analogía general para la resolución de los triángulos esféricos, manifestando los modelos analíticos para darla la forma más sencilla y más adecuada al cálculo logarítmico, según los diversos casos de los triángulos esféricos.*
6. *La geometría analítica o aplicación del álgebra o la geometría de dos dimensiones, que comprenderá la discusión de la ecuación de primer grado entre dos incógnitas la resolución de los problemas elementales que presenta la combinación de dos rectas; la discusión completa de la ecuación de segundo grado de dos incógnitas, y examen particular de cada una de las tres curvas que resultan; la combinación de la ecuación de la línea recta con la de cada una de esta curvas, deduciendo el modo de tirar tangentes y normales; la identidad de estas tres curvas con las secciones que resultan de cortar un cono cualquiera de base circular por un plano; la transformación de coordenadas rectangulares en oblicuas y polares, y viceversa aplicando esta doctrina a las líneas del primero y segundo orden ; la construcción o representación de las ecuaciones de primero, segundo tercero y cuarto orden por medio de las líneas de primero y segundo orden.*
7. *La geometría analítica de tres dimensiones, que comprenderá las ecuaciones de una recta en el espacio, la ecuación de la superficie plana, y la resolución de los problemas elementales de rectas y planos, bien sea combinados entre si o consigo mismos; la discusión de la ecuación general de segundo grado en tres incógnitas, y clasificación de las diferentes superficies que da lugar en dos especies, unas que tienen centro y otras que no le tienen; la transformación de las coordenadas en el espacio, y aplicación de esto al examen de las diferentes superficies de segundo orden.*
8. *El cálculo diferencial, que comprenderá sus principios fundamentales presentados, bien sea por los infinitamente pequeños, por las razones evanescentes o método de los límites, o por el método de álgebra pura de Lagrange, la diferenciación de las cantidades algebraicas y trascendentes y diferenciaciones sucesivas; los teoremas de Maclaurin y de Taylor; la diferenciación de las ecuaciones de dos variable; el método de las tangentes, aplicándose a las curvas de segundo orden, y determinar las asíntotas de la*

curvas; la investigación de la máxima y mínima de funciones de una sola variable, manifestando que significan en geometría los coeficientes diferenciales; y como se determinan los puntos singulares de las curvas, la teoría de las curvas oscultrices, radios de curvatura, evolutas y evolventes, aplicándola a las curvas algebraicas de segundo orden y algunas trascendentes; los medios para transformar las funciones diferenciales, o mudar de variable independiente; el desenvolvimiento de las funciones de dos variable, según sus incrementos, y consecuencia fundamental de ello resulta; la diferenciación de funciones de dos o más variables, y aplicación de esto a la eliminación de funciones arbitrarias, a la investigación de máxima y mínima de funciones de dos variables, a tirar tangentes a las líneas de doble curvatura, a determinar el plano oscultriz y plano normal, y a la diferencial de un arco de una curva considerada en el espacio; y por último a determinar el plano tangente y normal de una superficie curva.

9. *El cálculo integral, que contendrá la integración de funciones enteras, fraccionarias, racionales, trascendentes e irracionales de la forma $\sqrt{A + Bx + Cx^2}$; la integración de las diferencias bonhomías, la integración por partes, la integración por series, y de las integrales entre límites, la aplicación a la cuadratura, y rectificación de las curvas planas y de doble curvatura, a las superficies y volúmenes de revolución, y a cualquiera otra superficie o volumen; la integración de las ecuaciones diferenciales de todos los ordenes de una sola variable, y de las ecuaciones diferenciales de órdenes superiores de dos variables; la interpretación geométrica de las soluciones particulares de las ecuaciones diferenciales de primer orden; la integración de las ecuaciones diferenciales parciales, las ecuaciones de condición,, por cuyo medio se conoce sui una función de cualquier orden de tres variables es una diferencias exacta; el modo de determinar las funciones arbitrarias que entran en las integrales de las ecuaciones diferenciales parciales de primero y segundo orden*
10. *Aun conociendo los conocimientos de matemáticas que se exigen debieran ser de condición precias para la admisión, no obstante, se tendrá en consideración debida con los jóvenes que sin poseer alguna de las teorías del programa,*

manifiesten en los exámenes capacidad y disposición para progresar en las ciencias.

- 11. A igualdad de conocimientos en las matemáticas serán preferidos los jóvenes que o bien sepan alguna ciencia de las naturales, o bien alguna lengua viva de Europa, especialmente el francés o el inglés; o bien el dibujo, así el de figura como el de campiña y paisaje; o bien posean ya conocimientos prácticos del arte de construcción.*
- 12. La enseñanza de la escuela durara tres años, divida en tres clase , que comprenderán la mecánica racional de sólidos y fluidos , la geometría descriptiva con sus aplicaciones, la mecánica aplicada, y las nociones fundamentales de física, química y mineralogía con la arquitectura civil y el dibujo ; y por último, la topografía y geodesia y curso de construcción; y para pasar de una a otra sufrirán los exámenes respectivos los discípulos, y al cabo del tercer año podrán ser nombrados Ingenieros de Caminos y Canales; no obstante , si alguno o algunos por su gran aplicación y talento, o por poseer de antemano conocimientos propios del destino, manifestasen suficiencia y capacidad para desempeñar las funciones de ingeniero, podrán ser nombrados antes de los tres años.*
- 13. Las personas que aspiren a entrar en esta escuela dirigirán los memoriales a la dirección general de Correos y Caminos en los primeros 15 días, contados desde la fecha, si se hallasen en esta capital, y para las personas que se hallen en las provincias se dan 20 días más, a fin de que tengan tiempo de dirigir sus solicitudes, y presentarse al examen en esta capital. Madrid 7 de Enero de 1821[sic]*

Como se puede ver el nuevo plan incrementa en un curso la duración de los estudios y se incluyen nuevas asignaturas. La distribución de las asignaturas del punto 12 del decreto fue la siguiente de acuerdo con [Oroz, A. S. (2016).]

- Primer curso
 - Mecánica Racional
 - Geometría Descriptiva, con sus aplicaciones a las sombras y a la estereotomía
 - Dibujo

- Segundo curso
 - Mecánica aplicada (nueva)
 - Principios de arquitectura civil
 - Dibujo
 - Nociones fundamentales de física y química (nueva)
 - Mineralogía y Geología (nueva)
- Tercer curso
 - Topografía y Geodesia (nueva)
 - Proyectos de construcciones de caminos, puentes y canales
 - Obras en ríos
 - Dibujo

Desgraciadamente este plan ni siquiera permitió una promoción pues en mayo de 1823 fue clausurada la Escuela, la Escuela volverá a estar operativa en 1833 tras la muerte de Fernando VII.

Esto significa que en un periodo desde 1802 hasta 1833 la Escuela estuvo operativa menos de ocho años. En este periodo se puso en marcha un currículo que va a dar plenos frutos a partir de 1833 con el segundo cuerpo de ingenieros civiles de España que tendrán un gran protagonismo en todo el siglo XIX.

En este caso la desalineación de lo que pasó vino por el lado de la demanda, dado que en este caso la principal demanda era el Estado, y es el Estado el que, por criterios nada económicos, la red de infraestructura de España era pésima, como una referencia, y aun así el Estado decide unilateralmente que se cierre la Oferta, que también estaba controlado por el mismo estado. En resumen, se puede decir que existe una alineación total ya que el Estado controla las dos caras de oferta y demanda.

En la figura 78 se puede ver la sede de la Dirección de Correos en la que residió en su origen la Junta de Caminos.

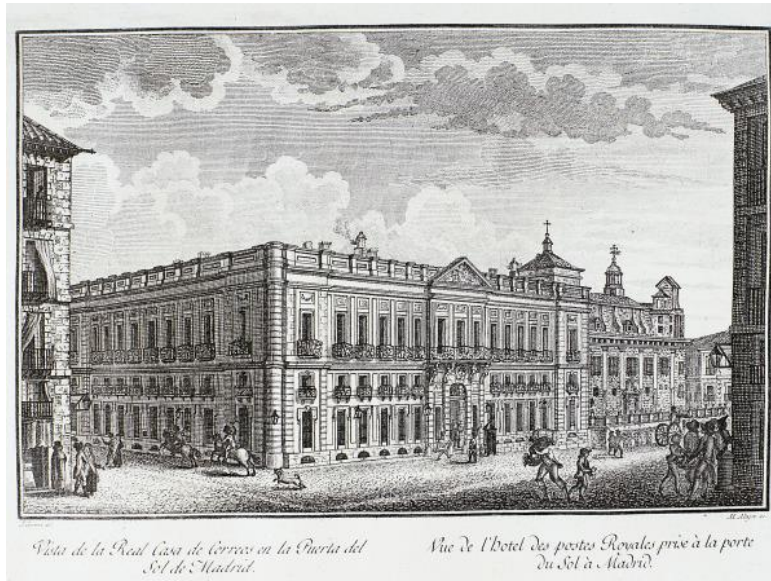


Fig. 78 Vista del edificio de Correos. Madrid Autor: José Gómez de Navia Manuel Alegre 1815

5.4.2.3 Conservatorio de Artes

Como ya se ha comentado la formación reglada en la industria manufacturera apareció con mucho retraso.

Es opinión del autor que puede ser revelador el discurso de Charles Dupin que está incluido en el prólogo del libro que escribe para para La Conservatoire des Arts et Metiers [Dupin, C., & Dupin, F. P. C. B. (1827)].: y que traduce para el mismo objetivo el Conservatorio de Artes de España Juan López Peñalver. En este prólogo Charles, que había visitado Inglaterra para analizar el progreso de la Industria inglesa escribe, en 1825:

“El único medio que sea eficaz para hacer vanos todos los esfuerzos de los pueblos rivales; para destruir el contrabando, y no temer la concurrencia, es fabricar realmente mejor que todos nuestros émulo. Entonces no pediremos á la autoridad suprema que invente leyes fiscales que nos den la superioridad mercantil en el extranjero dentro de nuestro mismo país, ni tratados que nos den la preferencia en otras naciones sobre unos antagonistas á quienes preferirán, á pesar de todos los tratados posibles, si nos llevan ventaja en su fabricacion.

*Entre los medios mas seguros de adquirir este género de superioridad, se deben poner **los que la geometría y la mecánica presentan** para que los productos de la industria adquieran cualidades que los hacen desear, que son:*

1. *La conveniencia rigurosa de las formas con arreglo al uso que han de tener los productos.*
2. *La elegancia y hermosura de dichas formas, resultado de una eleccion atinada de las justas proporciones que ha de tener cada parte para concurrir á. la perfección del todo.*
3. *La exactitud de los dibujos, la continuidad bien distinta de los contornos y superficies, la exactitud de las uniones, la solidez de ellas, y el hermoso pulimento de las superficies.*

*Todas estas cualidades de los productos de la industria **no pueden lograrse sino por los medios que suministran las reglas y. métodos de la geometría.***

Al propio tiempo es menester fabricar estos productos con herramientas, instrumentos, máquinas y motores que sean adecuados en su forma, fáciles en su uso, económicos en el empleo de la fuerza; porque este es el único camino que proporciona la baratura, sin la cual no puede conseguirse superioridad en la industria.

La mecánica bien aplicada es la sola que puede dar á estos medios de operar la excelencia á que son capaces de llegar.

En el dia no pueden perfeccionarse las artes en sus innumerables detalles, si las mejoras prácticas que aseguran el buen éxito de los mas felices inventos no dimanen de los mismos operarios, que á cada instante tienen que practicar -y repetir todas las operaciones. Muchas veces la mayor ventaja de tales operaciones proviene de la destreza inteligente de las personas que las ejecutan. Es necesario pues que la inteligencia de los operarios esté bastante ejercitada para comprender cada método industrial en razon de su objeto, de su naturaleza y de sus consecuencias. Dar á los artistas el hábito de reflexionar sobre sus operaciones manuales, de apreciar las ventajas de ellas, y de discernir los defectos para buscar los medios de corregirlos, es el modo de proporcionar á la industria progresos esenciales é innumerables, que redundarán en utilidad del fabricante, al cual estos artesanos consagran su fuerza y su saber".[sic]

Como se puede observar Dupin (Ingeniero politécnico) reclama la necesidad de la formación para la industria manufacturera.

En España, el origen de la formación reglada, que dará lugar a que en 1850 se constituya el Real Instituto Industrial, comienza, con la constitución del Real Conservatorio de Artes en 1824.

El 18 de agosto de 1824 [De Nieva, J. M. (1829)] el ministro López Ballesteros siguiendo los consejos de López Peñalver va poner en marcha una institución de origen francés, ver punto 5.2.2.3 *Le Conservatoire des Arts et Métiers*. Esta institución se va a denominar el Real Conservatorio de Artes, esta institución no va a ser una institución de formación reglada sensu strictu. Por su relevancia se reproduce parcialmente la Orden:

*“Deseando ,el ·REY ·nuestro Señor acelerar los progresos de la prosperidad pública en sus dominios protegiendo los ramos productivos: persuadido ,de que su fomento pende principalmente de la propagacion de las artes y conocimientos útiles, que no se consigue sin que la ilustracion ,del **Gobierno forme establecimientos centrales** en donde se aprendan prácticamente las aplicaciones, y se toquen sus resultados, de cuyos·medios se han valido las naciones cultas para promover su industria y llevarla al grado de perfeccion en·que se halla: y enterado tambien de que en varios parages existen dispersas las máquinas é instrumentos artísticos, costeados antes de ahora por la Real munificencia, los cuales en este estado no sirven de uso ni beneficio, y reunidos con sistema pueden desde luego proporcionar sin mas dispendios el de que tus vasallos **perfeccionen con facilidad las atrasadas operaciones fabriles** , y se despierte en ellos el gusto á la invencion y construcción de los utensilios propios para mejorar las artes necesarias, empleando productivamente en uno y otro muchos capitales que pasan .al extranjero en cambio de sus ricas manufacturas; se ha servido S. M. mandar que se organice un depósito de máquinas é instrumentos artísticos con la planta que contienen las reglas siguientes:*

- 1. **La mejora y adelantamiento de las operaciones industriales, tanto en las artes y oficios, como la agricultura, forman el objeto de este establecimiento, el cual por lo mismo será público.***
- 2. Tendrá la denominacion de. Real Conservatorio de Artes*
- 3. Constará de dos departamentos ó divisiones: en la una se situará el depósito de objetos artísticos; y en el otro un·taller de construccion.*

4. *En la primera se colocarán máquinas en grande, modelos en pequeño, planos, descripciones y escritos de. cuanto. se pueda adquirir y corresponda á este objeto.*
5. *Tambien se reunirán en , ella las muestras de materias primeras mas principales, ya sean de las que admiten mejora, ya de las que convenga comparar, con las de distintos paises: materias elaboradas asi en el Reino como fuera; y muestras de las minas que se benefician ó se descubran, agregándose á cada cosa las noticias y datos convenientes.*
6. *Igualmente se depositarán alli los modelos, planos y descripciones que presenten los que soliciten patente ó privilegio de invencion ó introduccion de algún artefacto.*
7. *Asimismo se llevarán las máquinas, instrumentos,.modelos, descripciones y noticias que en la instrucción de. expedientes se. presentan al Gobierno, á fin de que no se extravíen ó queden olvidados como sucede, por no haber donde colocarlos.*
8. *Se dará lugar á las, máquinas, instrumentos é invenciones que donen al establecimiento los inventores y, constructores, y. los paniculares aficionados á la. Prosperidad de la industria del Reino.*
9. *Estarán en ejercicio algunas: máquinas-que parezcan convenientes para hacer ensayos; y. propagar ciertas operaciones, industriales, y. donde podrán los particulares trabajar de su cuenta.*
10. *El fundamento del Real Conservatorio será el antiguo gabinete de máquinas, los modelos y objetos sueltos que existen, en el departamento del fomento y balanza, y cualesquiera otros que pertenezcan á S. M. y no tengan aplicacion exclusiva.*
11. *En el segundo departamento habrá. un taller ú obrador para. la construccion-de máquinas é; instrumentos con destino al Conservatorio, y para la compostura y reparacion de las que haya en él.*
12. *El taller trabajará tambien en construir las máquinas é instrumentos que encarguen-los particulares, pagándolas al precio que antes se contrate.*
13. *Se instruirán en el taller algunos artistas en la parte de construcción de máquinas.*

14. *Para arreglar el régimen interior directivo del establecimiento se formará una instrucción particular.*
 15. *Para cuidar del orden, buen gobierno, observancia de la instrucción y mejoras del establecimiento habrá un Director, que será persona zelosa y posea nociones de las artes, con quien se entenderá la superioridad en lo relativo á estos puntos.*
 16. *Será el jefe de todo, y bajo de este concepto se obedecerán sus disposiciones*
 17. *.....*
 18. *Habrá un encargado del Conservatorio con 120 reales de dotación al año: **será inteligente en el manejo de máquinas, sabrá dar explicaciones á quien se las pida**, y cuidará de que todo se conserve en el mejor orden ...*
 19. *Habrá otro encargado para el taller, que conozca las artes, y posea con perfección la habilidad de construir máquinas, al cual por ahora no se le señala sueldo alguno por este encargo.*
 20. *Habrá un Secretario-contador-bibliotecario con la dotación anual de 120 reales.*
 21. *Estará á su cargo todo lo concerniente á libros, manuscritos. índices• registros, memorias , cuenta y razón, notas sobre el estado de la industria del Reino y extranjera , y las demás tareas de, esta clase relativas al establecimiento. También llevará-el registro de las patentes de privilegio de invención ó introducción que se expidieren, procediendo en esto con arreglo á lo que se establezca y mande en la materia.*
 22. *. Habrá un portero con el sueldo anual de 20 reales y el beneficio de habitación.”*
 23. *.....*
- Y. ordena S. M. á todas las autoridades y corporaciones del Reino faciliten al Real Conservatorio los auxilios que les pidiere , y las noticias y datos que fueren necesarios para que cumpla con los importantes objetos de su instituto, **que es el adelantamiento de las artes españolas**; siendo la voluntad de S. M: **que se anuncie al público este establecimiento, para que los empresarios de industria , los artistas , los estudiosos , y cuantos se interesen en promoverlas, sepan .que -tienen .un***

centro de comunicacion adonde dirigirse en .este punto. Madrid 18 de Agosto de 1824= Luis Lopez Ballesteros.

Si utilizáramos el lenguaje actual se podría decir que se está fundando un modelo de networking, realmente era un punto, para entre otras funciones formar a los profesionales. Para su establecimiento se eligió de acuerdo con el decreto el emplazamiento de la extinta Real fábrica de aguardientes y licores de esta corte, sita en la calle del Turco, hoy calle de Marqués de Cubas ver figura 79, este edificio hoy es la sede de la Real Academia de Jurisprudencia.



Fig. 79 Antigua sede del Real Conservatorio de Artes foto de Manuel Martín Rodríguez

Esta institución a partir de 1833 hasta convertirse en el Real Instituto Industrial en 1850, tuvo sedes en Valencia, Sevilla, Málaga y Granada.

Al frente de la institución se puso a los antiguos pensionados de París y del Real Gabinete de Máquinas: Juan López Peñalver y Bartolomé Sureda.

Aunque no aparece el concepto de formación, de forma explícita, en su decreto fundacional, de 1824 al final de la década se establecen tres cátedras [Ramón Teijelo, J. (2012)].

- Geometría física y mecánica, al frente de la cual se sitúa a Antonio Gutierrez, que había sido el director de caminos en la versión de 1820
- Delineación, al frente de la cual se sitúa a Bartolomé Sureda ilustrador de del Real Gabinete de Máquinas y procedente del grupo de los pensionados de París
- Química, al frente se sitúa a Luis Casaseca y Silva, que era hijo de un afrancesado exiliado

Para disponer de textos de referencia se traducen textos franceses, de todos estos textos, merece especial referencia la traducción, que realiza Juan López Peñalver, de los textos que el Barón Charles Dupin realiza para la Aplicación a una institución similar en Francia. De los tres libros que había editado en Francia:

- Géométrie et mécanique des arts et métiers. Tome premiere geometrie (1825)
- Géométrie et mécanique des arts et métiers. Tome seconde mechanique (1826)
- Géométrie et mécanique des arts et métiers. Tome troisieme dynamique (1826)

Estos tres libros se reducen en España, con la traducción a dos (ver figura 80)

- Geometría y mecánica de las artes y oficios y de las bellas artes: curso normal para el uso de los artistas y menestrales, y de los maestros y veedores de los talleres y fábricas Tomo I Contiene la Geometría. (1830)
- Geometría y mecánica de las artes y oficios y de las bellas artes: curso normal para el uso de los artistas y menestrales, y de los maestros y veedores de los talleres y fábricas Tomo II Contiene la Mecánica (1835) (resume los volúmenes dos y tres originales)

Como ejemplo de que estos textos tiene aplicaciones a la manufactura en el tomo de geometría, en cada capítulo viene sus aplicaciones como ejemplos tenemos

- Aplicación al torneado de cuerpos que están fijos (pag 38)
 - Al movimiento de las ruedas de los carruajes
 - A los movimientos paralelos
 - A la construcción de máquinas

Se entiende que el director eligiera estos textos por su utilidad, y probablemente por la relación que tenía con ex polytechnique.

El desarrollo de este conservatorio va a ser de una gran importancia para la Ingeniería Industrial española. Pero se sale del alcance de esta tesis que como se ha indicado llega hasta el Decreto de constitución del Real Conservatorio en 1824

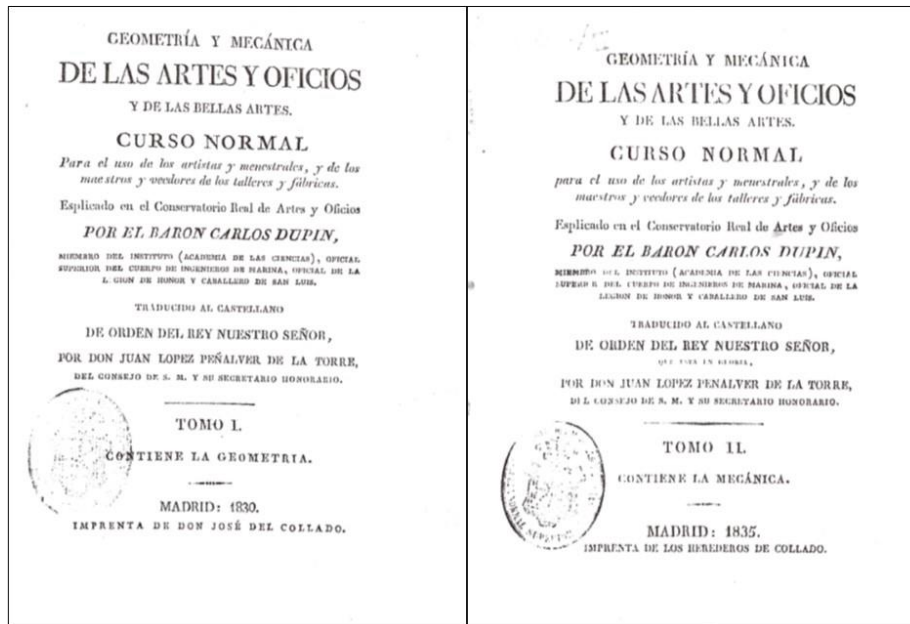


Fig. 80 Portadas de los dos libros de Carlos Dupin para el Real Conservatorio de Artes y Oficios Source Google Book

López Peñalver fue un ejemplo de un ingeniero de su época, que aplicaba el concepto de prioridad de necesidades para establecer los proyectos. Como ejemplo de reflexión está un texto que escribe en el Periódico del Ministerio de la Gobernación de la Península de 20 de abril de 1823, el título del texto era “De la influencia de la industria en la situación política de las naciones”. En él López Peñalver escribe: [López Peñalver, Juan. (1992).]

“Nosotros miramos como una verdadera desgracia que casi todos los ánimos se hayan ocupado desde 1820 acá casi exclusivamente en las especulaciones políticas, y se hayan consagrado tan pocos momentos, tan pocas personas y tan pocas reflexiones á la materia mas importante de todas, es decir, á la mejora y prosperidad de nuestra industria. Si, esta es la materia mas importante de todas, no solo porque de ella depende nuestra subsistencia, nuestros gozes, nuestra civilización, sino también porque sin industria no hay que esperar libertad. La industria es no solo el signo y el efecto, sino también el fundamento de la libertad.

- a. *Si se nos pregunta la causa de nuestros infortunios tanto interiores como exteriores, no echaremos la culpa como otros á las personas, ni á los partidos, ni á los sucesos: sino á que tenemos sectas políticas y no tenemos canales: tenemos discordias civiles y no tenemos industria ni comercio: tenemos*

muchos escritos acerca del mejor modo de gobernarnos, y muy pocos acerca del mejor modo de trabajar y subsistir.”

5.4.2.4 Otras ofertas

Hubo otras ofertas formativas, no con el alcance de todo el estado y aunque no se va a entrar en ellas si conviene citarlas. De todas las que existieron destacan las siguientes.

1. El Real seminario Patriótico de Vergara, perteneciente a la Real Sociedad Vascongada de Amigos del País. Este seminario, en el que se educa Lanza, que será el coautor, junto con Betancourt del "Essai sur la composition des machines", propone en 1777 la creación de dos cátedras, una de química y otra de meteorología y mineralogía. En la de química la lección inaugural la dio Proust y en la de Mineralogía a cargo de Elhuyar ambas incluían laboratorios adicionales. [Bohórquez, R. G. (1984)].
2. Hay un importante intento fallido de la Sociedad Económica Matritense de Amigos del País. [Roncal, A. M. M. (1996)]. Dentro de ella su primer director D. Antonio Quadra y Llano presentó en 1775 un proyecto de la "Escuela Patriótica de Maquinaria Práctica" el objetivo era formar a los alumnos en la construcción de instrumentos y máquinas, y que la diseminación de sus trabajos ayudara al conocimiento de los adelantos técnicos. Este proyecto sucumbió por falta de apoyo económico.
3. La Real Sociedad Económica Aragonesa de Amigos del País En 1784 establece la Escuela de Matemáticas de la que se hizo cargo el ingeniero Militar Luis Rancaño de Cancio. Cuando ocupó el cargo decidió estructurar el estudio de las matemáticas en cuatro cursos, otorgándole la categoría de enseñanza superior, lo que supuso un importante incremento del nivel de formación científica proporcionado por este centro. Al finalizar todos los cursos hacía exámenes públicos de matemáticas puras y mixtas, siguiendo el modelo que se aplicaba en la Academia Militar de Matemáticas de Barcelona. El programa se estabiliza a partir de 1788 que es cuando se establece el Reglamento de la Escuela. El programa de la Escuela es el siguiente: [González, M. S. P. (2011, January)]. [Blánquez, M. H. (1980)]
 - a. Primer curso: Aritmética y Algebra
 - b. Segundo curso: Geometría, Trigonometría plana, Aplicación del Algebra a la Geometría y Cónicas. Junto con prácticas y manejo de instrumentos y máquinas.

- c. Tercer curso: Cálculo infinitesimal, Dinámica y Mecánica
- d. Cuarto curso: Maquinaria, Hidrodinámica y Astronomía

En 1792 se establecieron Exámenes Generales

- 4. Las Juntas de Comercio de Cataluña establecieron un conjunto de cátedras en el periodo de 1769 a 1845 de las que se destacan las siguientes [Lusa Monforte, G., & Roca Rosell, A. M. C. (2005)]. [Roca-Rosell, A., & Puig-Pla, C. (2010)]
 - a. 1805 cátedra de Química aplicada a las Artes
 - b. 1808 cátedra de mecánica
 - c. 1814 cátedra de Física experimental
 - d. 1819 cátedra de matemáticas
 - e. 1819 cátedra de Aritmética y Geometría

Tiene especial interés la cátedra de mecánica, que la impulsa Francesc Santponç i Roca que había proyectado y puesto en marcha una máquina de vapor de Watt en una fábrica textil en Cataluña.

C'est donc calculer en politique, que d'ôter tout prétexte à l'ignorance, à la fainéantise, et de faire en sorte que rien ne soit à meilleur compte que la science et la vertu.

Grégoire, H. (1794). Rapport sur l'établissement d'un conservatoire des arts et métiers:

6.-COMPENDIO DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

6.1 Introducción

En la introducción se planteaba el objetivo de esta tesis era verificar que la oferta y demanda que coexiste a lo largo del siglo XVIII está alineada, y que en base a esta hipótesis esta dualidad se ha mantenido y ampliado a partir de este siglo, y hoy somos sus herederos de aquella aventura.

A lo largo del recorrido de tres siglos, hemos podido revisar los intentos que se realizaron, algunos fallidos, pero como la idea que comenzó en la mente de Juan de Herrera y de Stevin, de transmitir el conocimiento en base a un modelo académico fructificó siglo y medio después. De este recorrido se pueden destacar algunos hechos que se detallan a continuación.

Issac Newton dijo que había cabalgado a hombro de gigantes. Es opinión del autor que la ingeniería ha cabalgado en base al esfuerzo continuo de generaciones que como la estatua de la antorcha han ido traspasando y ampliando generación tras generación el conocimiento. Un ingeniero americano que conoció el autor en un proyecto de su carrera profesional hablaba de los baby steps y la formación reglada ha sido una continuidad de baby steps que de una forma estructurada ha devenido en lo que hoy se conoce..

6.2 Compendio de resultados

De la investigación realizada se pueden destacar, entre otros los siguientes resultados

- El modelo de oferta como se da en el siglo XVI tanto en Holanda como en el Reino de España a través de la Duytsche Matematique de Stevin como la Academia Real Matemática de Juan de Herrera, no está respaldado por una clara demanda, aunque sean buenas soluciones adelantadas para su tiempo. En el caso del Reino de España la falta de apoyo de las cortes castellanas es un aviso de que socialmente la oferta de titulaciones que se ofrece no tenía el soporte de la sociedad, por tanto, en cuanto los creadores desaparecen, desaparece su liderazgo y dado que eran soluciones ligadas a las personas que las crearon o sea Felipe II y Juan de Herrera. Esto no debería de sorprendernos porque los hiper-liderazgos ponen siempre en riesgo la durabilidad de las empresas sino se establece un proceso claro de sucesión.
- El problema del lenguaje, la necesidad de una lengua accesible. Cuando Juan de Herrera y Stevin se plantean la formación y se tropiezan con que lengua seleccionar para la formación, y eligen no la lengua de uso en las universidades sino la lengua

común. Esto continuará a través de las distintas cátedras del siglo XVII y será reivindicado por Sebastián Medrano en la Academia de Bruselas. Y ya, en el siglo XVIII no se planteará como opción, La Academia de Matemáticas de Barcelona, l'École de de Mézières de Francia todas utilizarán la lengua común. Curiosamente el uso de la lengua de la calle era el hallazgo que había encontrado Lutero cuando traduce la Biblia al alemán moderno.

- Debilidad del modelo de Juan de Herrera, la fortaleza de considerar múltiples profesiones fue a la vez una debilidad pues no estaban reconocidas socialmente como se ha podido comprobar al analizar la idea social del ingeniero en el punto 2.1
- Hechos relevantes del modelo inglés. Hay dos hechos que son relevantes para el avance de la técnica y difusión del conocimiento, estos van ligados al derecho de patentes y a lo que hoy diríamos networking.
 - a. En el primer caso lo que se denomina el Statute of Monopolies la monarquía inglesa externaliza el proceso de la invención dejándolo en manos de la iniciativa privada. Esto va a ser un impulso que favorecerá tanto el modelo protoindustrial y la posterior revolución industrial.
 - b. Tanto en Inglaterra como posteriormente en Gran Bretaña no va a existir la formación reglada en la ingeniería, salvo en el caso de los Royal Engineers. Pero hay un fenómeno que tiene su origen en los profesionales y es un proceso asociativo primero la Royal Society y posteriormente en el siglo XVIII la Smeatonian Society of Civil Engineers que desembocará en la Society of Civil Engineers. Este asociacionismo va a permitir, como se ha indicado un punto de comunicación de experiencia, de revelación de avances y todo esto lo va a permitir fuera del poder político. Como se ha indicado en la Tesis en el primer número de la Philosophical Transactions el editor estable como objetivo el conocimiento la puesta en comun y la diseminación del conocimiento. El mejor ejemplo es cuando Jorge Juan en el primer tomo del *Examen Marítimo Theórico Práctico, ó Tratado de Mechanica aplicado á la construcción, conocimiento y manejo de los navíos y demás embarcaciones* hace referencia a un largo artículo de Smeaton (78 páginas) comentado en el apartado 4.2.3. Jorge Juan no está leyendo un libro está leyendo un artículo sobre el estado del arte de la potencia del agua y del viento sobre molinos o ruedas motrices.

Por tanto, estamos ante un proceso de intercambios de conocimientos entre profesionales.

- La existencia previa de cuerpos facultativos. Previo a la formación reglada es la existencia de cuerpos facultativos en Francia tanto en el plano militar, ya en el siglo XVII y en el plano civil en el siglo XVIII. En el caso de España el cuerpo facultativo militar es previo a los planes de formación reglada con la excepción de los ingenieros de minas que lo que precede a la formación son las necesidades productivas de las minas.
- Una formación común, como base de los distintos estudios de ingeniería. En Francia hay un fenómeno de ruptura que obliga a revisar la formación puesta en marcha a mediados del siglo XVIII, que es la Revolución francesa y una de sus consecuencias es el modelo modelo politécnico que quiere dotar de una base común con un alto nivel de formación como un escalón previo a todas las ingenierías. De hecho, este modelo se utilizó parcialmente en España en los planes de estudio anteriores al Plan 1964, a título de ejemplo en el Plan 1957 el primer curso era común (Selectivo de Ciencias) a todas las ingenierías.
- El uso del calificativo *mathématique*/matemática en los nombres de las Academias de ingeniería. En la formación reglada en el Reino de España aparece sistemáticamente, ligado al nombre de las distintas instituciones la palabra *matemática*, como se ha podido comprobar en el punto 3.1 esto iba ligado a que la idea que había del ingeniero en esa época estaba incluida en lo que se conoce como *matemáticas mixtas* según D’Alambert. Y en un ejemplo de alineación entre profesión y matemáticas es por lo que se añade el calificativo *matemático*/*mathematica* a las distintas instituciones. Este calificativo deja de tener actualidad a partir del libro de Belidor *“La science des ingénieurs ..”*.
- Grado de alineación entre oferta y demanda. En el caso del Reino de España al igual que pasa en Francia la alineación entre oferta y demanda es absoluta, dado que ambas estaban en manos de una misma institución, el Estado. Y se diseñan unos procesos formativos que tratan de desarrollar unos conocimientos necesarios para las funciones que deben de tener los ingenieros, roles y responsabilidades que previamente han sido establecidas por el Estado. En el caso del Reino de España hay una variedad que es la minería, en este caso a partir de la identificación de las necesidades de esta industria se plantea el desarrollo del correspondiente proceso formativo, que también está

perfectamente alineado, dado que los alumnos debían de realizar prácticas constantes en las explotaciones mineras..

- Programas de formación y metodología de enseñanza. Los programas de formación de la Academia de Matemáticas de Barcelona (que es la institución más relevante de este siglo en España) siguen de alguna manera la metodología de cualquier proyecto. Se comienza con una revisión inicial, la de Matheo Calabro de 1724 (que había comenzado sin programa escrito en 1720) y que recibe tres revisiones a largo de un siglo. En cuanto a metodología de estudio se obvia la de la Academia de Bruselas y se pasa de disponer textos a trabajar mediante apuntes que se toman de las clases, los alumnos disponen de una excelente biblioteca para consulta. El nivel de innovación/actualización de materias en la enseñanza fue bajo, hay que esperar a la mudanza a Alcalá de Henares para cambios relevantes. Aunque no se incluyen asignaturas tales como la descriptiva, solo aparecerá esta asignatura en la carrera de Caminos.
- Las Reales Fábricas como un modelo fallido de transmisión del conocimiento. El caso de la Reales Fábricas que podría haber sido una sólida base para la industrialización del Reino, fue un proceso fallido, el apartado que interesa para esta tesis que es el impacto que tuvo en el desarrollo de las capacidades técnicas. Pero no se establecieron procesos de transferencia de tecnología y de transferencia de conocimientos, en gran cantidad de casos, directamente se importan los técnicos, pero no existe ningún plan, para que el conocimiento de estos se traslade a técnicos locales. Todo lo contrario, a lo que sucede en la incorporación de la tecnología austríaca de acuñación de moneda en la CECA de Segovia sobre este apartado se puede consultar [García-Ahumada, F., & Gonzalez-Gaya, C. (2019)].
- El origen de la Ingeniería Industrial. Durante todo el siglo XVIII en España como en Francia la ingeniería ligada a los procesos manufactureros no es reconocida como tal (cosa que si lo era en Gran Bretaña) y por tanto no existe demanda de formación reglada. El proceso de puesta en marcha se basa en ambos países Los Conservatorios de Artes que comienzan siendo centros de diseminación del conocimiento y de puesta en común del conocimiento. SE podría decir que son puntos de networking tecnológico.

- La necesidad de ingenieros como representantes del estado, que es el origen de la demanda de los estados absolutistas. Como demanda de formación.
- Desconocimiento del papel avanzado del Reino de España en el desarrollo de la formación reglada. En la búsqueda de información para la elaboración de esta tesis, ha sorprendido al autor la ausencia de conocimiento sobre la posición de adelanto del Reino de España en la formación reglada en España, tanto a nivel nacional/internacional. Recordar a título de ejemplo a Juan de Herrera en el siglo XVI, la Academia de Bruselas en el XVII, o que la Academia de Matemáticas de Barcelona se adelanta en 27 años a Mèzières o la Escuela des Ponts et Chaussées.

parte desto ay falta en la republica de artífices
entendidos y perfectos para muchos vsos, y
ministerios necessarios a la vida política

Herrera, J. D. (1995).

7.-CONCLUSIONES

7.1 Introducción

Las conclusiones, que aquí se presentan, se van a estructurar de la siguiente forma: en primer lugar, se establecerán, conclusiones generales, a continuación, conclusiones específicas del Reino de España y por último desarrollos futuras líneas de investigación.os

7.2 Conclusiones generales

- Falta de relevancia acerca de la aparición de la formación reglada en la historia de la ingeniería. La razón es que, no es un proceso puntual sino de largo recorrido. Como ejemplo se puede comparar con la aparición del telar mecánico.
- La formación reglada en ingeniería como demandante del uso de la lengua común de cada país, frente al uso del latín. Esto conllevará la traducción de los textos precedentes y por supuesto un impacto en costes.
- El impacto en el desarrollo de la tecnología del derecho de patentes como ventaja competitiva, el caso de “Statute of monopolies” y su impacto en la revolución industrial.
- El modelo asociativo inglés que tiene su origen en la Royal Society. Como punto de comunicación entre profesionales.
- El estado absolutista como un demandante de ingenieros profesionales, Básicamente ligados a fortificaciones, infraestructuras, transporte, flotas, Explotación de los recursos mineros. Gestión de proyectos, Gestión de contratistas etc.
- En Gran Bretaña como excepción a la no oferta de formación reglada durante el siglo XVIII, excepto en el caso militar (que en este caso se cumple el punto anterior).
- La demanda de formación como una decisión estratégica tanto en el apartado militar como en el civil y en el medio y largo plazo. Ya que va a permitir disponer de forma homogénea, estable y programada de profesionales de la ingeniería y programar proyectos de medio y largo plazo.
- La creación de cuerpos facultativos como etapa previa al establecimiento de la formación reglada.
- El modelo del Conservatorio de Artes como base para el desarrollo de la ingeniería manufacturera.

7.3 Conclusiones en el Reino de España

- El reino de España como adelantado en la formación reglada. Comenzando por la institución de Juan de Herrera y finalizando en la Academia Real Matemática. Una realidad poco conocida, como ejemplo este año se cumplen trescientos años la repercusión en los medios sociales ha sido nula.
- La formación reglada como un proceso de mejora continua, En el caso militar desde la Academia de Bruselas en 1675 hasta la Academia de Alcalá de Henares en 1803. La formación en estos centros es la de mayor nivel del Reino.
- Militarización de la ingeniería. Durante el siglo XVIII los ingenieros como funcionarios del estado son militares. Dado que los ingenieros de caminos y de minas comienzan su andadura a la finalización del siglo. Y que el impacto de la guerra y del reinado de Fernando VII hace que se vaya al primer tercio de siglo.
- Escasa producción nacional de textos de ingeniería propios junto con un reducido número de profesores. Lo que implica un bajo nivel presupuestario. Compárese con el cuadro de profesores de la Polytechnique ver punto 5.2.2.2
- Ejemplo de redacción de un plan de estudios. El del seminario de la minería de Nueva España, que se elabora en base a un plan de necesidades y no como respuesta al establecimiento de un cuerpo facultativo.
- En el caso de la ingeniería de Minas, no existe cuerpo facultativo, en el Reino de España, sino la necesidad de formar profesionales para resolver problemas de productividad y seguridad.
- En el caso de la Ingeniería de Caminos, se produce una traslación del modelo francés, pero no con la metodología de Ponts et Chaussées, sino con una metodología que recuerda a la de Mezières.
- El Real Gabinete de Máquinas como laboratorio y diseminador del conocimiento. Tanto en su uso por parte de la Escuela de Caminos como, escaparate de aplicación de máquinas a diversos problemas.
- La falta de estrategia en el proyecto de la Reales Fábricas. Que hubiera repercutido en estado de la ingeniería en el Reino.
- Los Arsenales como *factory system*. En los arsenales se conjugan una suma de actividades empresariales orientadas a un único fin la optimización del ciclo de vida de los barcos en ellos acogidos.

- Alineación Oferta Demanda. El Reino de España es un ejemplo de alineación entre la oferta y la demanda, básicamente porque ambas están en manos del Estado.

7.3 Futuras líneas de investigación

- Comparar el fenómeno de la formación reglada de España y Portugal. Ambas naciones tienen un desarrollo territorial similar en cuanto a los territorios de ultramar.
- Analizar las causas de la no demanda de la ingeniería manufacturera tanto en España como en Francia
- Analizar el modelo económico que sustenta la ingeniería en el siglo XVIII
- Analizar el impacto en el desarrollo de la ingeniería del derecho de patentes.

“Scientists study the world as it is, engineers
create the world that never has been.”

Theodore von Kármán

[https://www.nsf.gov/news/special_reports/medalofscience50/vonkarman.jsp]

8.-A MODO DE EPÍLOGO

La idea de esta tesis subyacía en la mente del autor desde que comenzó sus estudios de ingeniería en el año 1964. En ese año el autor inició sus estudios de Ingeniería Aeronáutica en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada, en la que estudió el primer curso para luego, al año siguiente, continuarlos en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos de Madrid.

Lo primero que le llamó la atención fue las asignaturas que tenía que cursar, en el primer curso eran Álgebra, Cálculo, Física, Química y Dibujo y en el segundo curso fueron: Ampliación de matemáticas, Mecánica, Electricidad y Electrotecnia, Dibujo y geometría descriptiva, Topografía y Geodesia, Química de los Materiales Aeroespaciales y Termodinámica y Física Nuclear. Ante este temario el alumno se preguntaba ¿cuáles eran las razones de esta distribución de asignaturas? y ¿Dónde estaba la aeronáutica? Pero el asombro del Alumno se acrecentó, cuando descubrió, las materias incluidas en la asignatura de Ampliación de Matemáticas que eran: Ecuaciones Diferenciales, Ecuaciones en Derivadas Parciales, Espacios Funcionales, Calculo Tensorial, Variable Compleja, Estadística, Teoría de Colas y Teoría de Juegos. Ante esta situación el alumno aplico la máxima de ingeniería de que ante un problema hay que ocuparse y no preocuparse y ahora pasados 56 años solo puede estar agradecido a esa onda de choque a la que fue sometido. Pero había una pregunta entonces que era ¿Por qué el currículo estaba estructurado en esa forma? A esa pregunta a lo largo de la vida profesional del autor se fueron añadiendo otras preguntas tales como:

- ¿Por qué se siguió este modelo de formación? Esta pregunta se planteó tras conocer otros modelos de formación de ingeniería.
- ¿Este formato de currículo cuando comenzó? ¿Siempre había sido así?
- ¿Por qué en España había tantas ramas de ingeniería?
- ¿Qué papel había desarrollado España en la historia de la Ingeniería?
- ¿Porque las escuelas de ingeniería no estaban englobadas en las Universidades? La Universidad Politécnica comienza su andadura en 1971
- ¿Por qué a lo largo de nuestro currículo académico no estaba incluida la historia?

La respuesta a estas preguntas comenzó a elaborarse hace mucho tiempo, tanto como la vida que lleva existiendo la ingeniería. Pero comienzan a precipitarse, como si de una dilución se tratase, a partir del siglo XVI y se concretarán, con la existencia de programas a lo largo del

siglo XVIII. En ese periodo la formación se irá ajustando al modelo de ingeniero que la sociedad necesita y reconoce. Modelo que también ira variando, esto, implicará que frente a la formación en centros académicos subsistirá con procesos de aprendizaje basados en la transmisión profesional aprendiz. Pero la alineación entre formación reglada y necesidades sociales se irá fortaleciendo sin dejar de crecer. Al árbol de la ingeniería le irán creciendo ramas a partir del siglo XVIII, y la alineación entre demanda y oferta de formación se irá fortaleciendo con el paso del tiempo.

Esta tesis ha representado para el autor un viaje a los orígenes, no de la ingeniería, que también dado que esta se remonta a la historia de la humanidad, sino a los orígenes de como unos esforzados ingenieros se pusieron como tarea la de transmitirnos el conocimiento a generaciones de ingenieros que han acudido a los centros a recibir enseñanza para poder realizar de una forma óptima su profesión.

ANEXO 1 ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1	Telar Jacquard	Telar Jacquard en el Museo de la ciencia y la industria,	Pág 22
Fig. 2	Diccionario de Terreros		Pág 28
Fig. 3	Encyclopedie		Pág 29
Fig. 4	Dictionnaire de Furetière		Pág 30
Fig. 5	Cyclopædia		Pág 31
Fig. 6	Dictionnaire portatif de l'ingénieur		Pág 33
Fig. 7	Diccionario Militar		Pág 34
Fig. 8	Examen de Ingenios		Pág 43
Fig. 9	Esquema de las matemáticas, elaborada en base al esquema que incluye D'Alambert en el Artículo "Explication détaillée du système des connoissances humaines"		Pág 50
Fig. 10	Portada del texto de Juan de Herrera		Pág 57
Fig. 11	El perfecto bombardero		Pág 71
Fig. 12	Plano de una fortificación con seis bastiones pentagonales		Pág 77
Fig. 13	Midiendo la distancia entre dos vértices de montaña A y B desde la base C y D		Pág 79
Fig. 14	Discurso del Método de René Descartes		Pág 80
Fig. 15	Le directeur général des fortifications		Pág 83
Fig. 16	Lettre de Vauban à Louvois		Pág 84
Fig. 17	Novum Organum		Pág 90
Fig. 18	Philosophical Transactions Volume 1		Pág 94
Fig. 19	R.O. de 4 de julio de 1718		Pág 103
Fig. 20	Construcción de un acueducto		Pág 105
Fig. 21	Mapa de las Calzadas Romanas		Pág 106
Fig. 22	Itinerario español o guía de caminos para ir desde Madrid a todas las ciudades de España		Pág 106
Fig. 23	Planta y perfil de la casa de compuertas y presa		Pág 107
Fig. 24	Puentes de cantería sobre el río Papagayo		Pág 108
Fig. 25	Muelle de Santiago de Cuba		Pág 108
Fig. 26	Enclaves a proteger en Filipinas		Pág 111
Fig. 27	Fortificaciones españolas en América. Siglos XVI a XVIII		Pág 112
Fig. 28	Plano del Fuerte de la Concepción.		Pág 113
Fig. 29	Ydea del Fuerte que se considera [sic] a propósito para el Frente de Tierra de la Ciudad de Montevideo en la América Meridional		Pág 114
Fig. 30	Regla de medida con las escalas en varas de Burgos		Pág 114
Fig. 31	Descripción de la Varenga Maestra		Pág 117
Fig. 32	La fábrica de la Nave. que llaman Quilla		Pág 119
Fig. 33	Plano del proyecto para construir un Arsenal de Marina en el puerto de Cartagena		Pág 122
Fig. 34	Plano del dique pequeño de carenar del Arsenal de Cartagena; Cartagena (Murcia)		Pág 122
Fig. 35	Máquina de vapor para agotar los diques de carena del Arsenal de Cartagena		Pág 123
Fig. 36	Nuevas Poblaciones de Sierra Morena		Pág 125

Fig. 37	Plano de la antigua ciudad de Osorno: repoblada de orden de S.M. por el Exmo Señor Baron de Ballinary, presidente, gobernador y capitán general de este reino de Chile, año de 1796	Pág 126
Fig. 38	Relación normalizada de símbolos a utilizar en la cartografía	Pág 129
Fig. 39	Pedro Murillo Velarde, Carta hydrographica y chorographica de las Ylsas Filipinas	Pág 130
Fig. 40	Portada del Atlas Marítimo de España	Pág 133
Fig. 41	Patio de amalgamación	Pág 138
Fig. 42	Perfil de las minas de Almadén delineado en 1796 por Diego de Larrañaga y D. Braulío Corras	Pág 139
Fig. 43	Escudo Academia de Almadén	Pág 140
Fig. 44	Ordenanzas para la dirección, régimen y gobierno del importante cuerpo de la minería de Nueva España	Pág 145
Fig. 45	Encyclopédie_méthodique-Planches,T8,PI2-Manuf.&.Arts-2-2. Carribary o Lanzadera Inglesa	Pág 158
Fig. 46	Verser et Rouler	Pág 165
Fig. 47	L'opération de sortir les glaces des carcaises	Pág 166
Fig. 48	Glaces, coupe et Elévation de la Machine à polir les Glaces prise selon la longueur du Courssier	Pág 167
Fig. 49	Glaces, Elévation perspective de la Machine à polir les Glaces , Etablie à Saint Idelfonse	Pág 168
Fig. 50	Water Frame	Pág 172
Fig. 51	Royal Military Academy de Woolwich (1773)	Pág 177
Fig. 52	Portadas del libro de fortificación de Muller	Pág 179
Fig. 53	Les surfaces, par rapport a leurs courbures	Pág 182
Fig. 54	Aplicación de la geometría descriptiva a engranajes	Pág 184
Fig. 55	Jean-Rodolphe Perronet. (1783) Saint-Aubin	Pág 187
Fig. 56	Vue imaginaire de l'école des Ponts et Chaussées	Pág 191
Fig. 57	Journal de l'Ecole Polytechnique 1794-1795	Pág 197
Fig. 58	Défilé du 14 juillet 2019 pour les élèves de l'Ecole polytechnique promotion 2018	Pág 200
Fig. 59	Rapport sur l'Établissement d'un Conservatoire des Arts et Métiers	Pág 201
Fig. 60	Correlación escala de ingenieros vs escala militar	Pág 207
Fig. 61	Ex libris de la Academia de Barcelona	Pág 209
Fig. 62	Planos del Convento de San Agustín de Barcelona	Pág 209
Fig. 63	El Grafómetro y la Plancheta	Pág 212
Fig. 64	Aula de Examen. Documento de Calabro	Pág 214
Fig. 65	Prueba de acceso al cuerpo de ingenieros	Pág 226
Fig. 66	Tratado de Fortificación	Pág 224
Fig. 67	Dibujo del uniforme del Cuerpo de Ingenieros	Pág 226
Fig. 68	Tratado V del Volumen IV del libro del capitán Pedro Padilla de Arcos	Pág 227
Fig. 69	Fachada de la Academia de Ingenieros. Alcalá de Henares, 1803	Pág 229
Fig. 70	Ordenanzas de 1770 y 1772	Pág 230
Fig. 71	Casa Academia de Minas	Pág 235
Fig. 72	Instrumento de Geometría Subterránea	Pág 238

Fig. 73	Principios de matemáticas de Benito Bails en el Seminario de la minería	Pág 244
Fig. 74	Antigua sede del Real Seminario de la Minería	Pág 244
Fig. 75	Memoria a Floridablanca	Pág 245
Fig. 76	Prensa Hidráulica del Sr. Bramack	Pág 248
Fig. 77	Portadas de las obras traducidas para el uso en los estudios de la Inspección General de Caminos	Pág 252
Fig. 78	Vista del edificio de Correos	Pág 258
Fig. 79	Antigua sede del Real Conservatorio de Artes	Pág 263
Fig. 80	Portadas de los dos libros de Carlos Dupin para el Real Conservatorio de Artes y Oficios	Pág 265

ANEXO 2-CRONOLOGÍA DE LA INGENIERÍA EN 1556-1824

Para analizar la implantación de la formación reglada se ha considerado indispensable incluir un marco histórico, ligado a la ingeniería y la tecnología, que permita visualizar la situación del Reino de España y de las distintas naciones, incluidas en el alcance y en el marco temporal de este análisis.

Para el origen de la cronología se ha tomado como referencia la publicación por parte de George Bauer "De Re Metallica" y como término la fecha de la fundación del Conservatorio de Artes.

Para la realización de este apartado se ha utilizado como modelo de referencia el realizado en la "Cronología básica" incluida en la pp 171-174 de [Suárez, M. S. (2005)].

- 1556. George Bauer (Georgeii Agricolae) publica en Basilea el libro XII *De Re Metallica* (Sobre los metales) en este libro estudia con detalle el estado del arte de la: minería, y la metalurgia [Donaldson, I. M. (2015)].
- 1582. Fundación de la Institución de la Academia Real Matemática por Juan de Herrera [Herrera, J. D. 1995]] Es la primera vez que se plantea formación para Ingenieros, Arquitectos, Mecánicos etc.
- 1586. Simon Stevin ((1548-1620), publica el libro *De Beghinselen der Weeghconst* (Los Principios del arte de pesar, es decir, principios de la estática) se publicó en 1586, e incluyó las primeras afirmaciones claras sobre el equilibrio de fuerzas en dos y tres dimensiones. [Addis, B. 2013]
- 1600. Simon Stevin en colaboración con la Universidad de Leyden funda la primera escuela de ingeniería la "Duytsche Matematique", bajo los auspicios de Mauricio de Orange" y donde se estudiaban, entre otros, los textos de Simón Stevin. Es el primer caso de colaboración entre estudios de ingeniería y universidad [Merino, E. (1994)], la escuela de fortificación holandesa será una referencia junto con la de francesa de Vauban.
- 1600. Antonio de Acuña funda una Cátedra de Matemática Artillería y Fortificación [Loidi, J. N. (2004)].
- 1603. Creación del Colegio Imperial de la Compañía de Jesús, tras la expulsión de los jesuitas en 1767, a partir de 1770 pasará a denominarse Reales Estudios de San Isidro.[Simón Díaz, J. (1952).]

1604. El Ingeniero Cristobal Lechuga propone al Rey la fundación de la Academia de Milán [Désos, C. (2016).]
1605. El Rey Felipe III funda la catedra de Matemáticas y Fortificación al servicio de la Artillería, en Madrid y pone al frente a Jules César Firrufino ingeniero y matemático, que dará las lecciones en el palacio del Marqués de Leganés. [Loidi, J. N. (2004).]
1620. Francis Bacon publica el "*Novum organum*" que va a ser una referencia en el modelo del empirismo. Según con Farrington su idea principal consistía en que "el conocimiento debe de dar su fruto en obras y que ciencia debe aplicarse a la industria" que los hombres deberían tomar como un deber sagrado el organizarse con vistas a mejorar y transformar las condiciones de vida" [Farrington, B., & de la Cuesta, R. R. (1971)].
1622. William Oughtred diseña una regla de cálculo basada en logaritmos [Fraile, Á. R. (2019)]
1624. En este año se promulga, bajo el reinado de Jacobo I, el "*Statute of Monopolies*", que deroga todos los privilegios existentes en Inglaterra hasta entonces, reservándolos para los que, en el futuro, se basaban en el derecho de la invención auténtica durante 14 años. Esta promulgación va a impactar de forma notoria en el desarrollo de la tecnología. [Valenzuela 1999], [García Sandoval, A. (2018)].
1625. Se incorporan, en el Colegio Imperial unos "Estudios Generales " con una cátedra dedicada al arte militar. [Loidi, J. N. (2004)].
1637. De forma anónima en Leiden, Descartes publica el "*Discours de la méthode pour bien conduire la raison, & chercher la verité dans les sciences plus la Dioptrique les meteores et la geometrie*" Que pone las bases del modelo racional y el inicio de la geometría analítica. [Descartes, R., & Gilson, E. (1987)].
1638. Galileo Galilei publica "*Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno a due nuove Scienze attenenti allá Mecánica & i Movimenti Locali*" con este libro, Galileo marca un hito en la historia de la mecánica, [Galilei, G. (1945)]
1652. El matemático John Wallis hace un cálculo de estática para calcular las cargas soportadas por los distintos componentes de la estructura, de vigas de madera, y con ello calcular las dimensiones publica su libro *Mechanica, sive de motu Tractatus geometricus* (1669 -71) contiene el primer ejemplo publicado de la utilización de la estática para calcular las cargas soportadas por los distintos miembros de una

- estructura y, por lo tanto, para determinar sus dimensiones, para el Teatro Sheldonian La metodología utilizada la expone en un libro que publica (1669-1671) "*Mechanica, sive de motu Tractatus geometricus*". [Addis 2013]
1660. El 28 de noviembre tiene lugar la primera reunión de un grupo de filósofos naturales y científicos para fundar le Royal Society, aunque su primitivo nombre fue 'The Royal Society of London for Improving Natural Knowledge' (<https://royalsociety.org/about-us/history/>)
1666. Se funda, bajo en el reinado de Luis XIV, por parte de su ministro Colbert y la colaboración entre otros de: René Descartes, Blaise Pascal y Pierre de Fermat *La Academia de Ciencias Francesa (Académie des sciences)* [Clément, P., Colbert, J. B., & De Brotonne, P. (1865)]
1675. Entre los años 1666 - 1675 Leibnitz e Isaac Newton por distintos caminos desarrollan el cálculo infinitesimal [Muñoz-Lecanda, M. C., & Román-Roy, N. (1999)]
1675. Vauban funda "*Corps des ingénieurs du génie militaire*" [Manders, D. (2011).]
1675. José Zaragoza publica "*Fabrica y usos de varios instrumentos matemáticos*" Loidi, J. N. (2004).
1675. Abre sus puertas la Academia de Bruselas [Loidi, J. N. (2004)].
1678. Hooke publica por primera vez en "*De Potentia Restitutiva*" (De la elasticidad) en el que se incluye la ley de la elasticidad como un anagrama, *ceiinossttuv*, por temor a la divulgación de su secreto. (El anagrama consistía en colocar todas las letras de la frase en orden alfabético. Esta ley sería conocida más adelante por la *ley de Hooke* [Addis (2013)]
1679. Se crea, por Real Decreto de 29 de enero de 1679 "La Junta de Comercio y Moneda. Este organismo está relacionado con la actividad inventiva del que se tiene constancia, desempeña labores de fomento y coordinación de actividades industriales y tecnológicas. "*Su creación tiene un objetivo mercantilista: favorecer el crecimiento económico para así aumentar los ingresos de la Hacienda...*" [González, J. P. S. (1995).]
1687. Newton publicara sus "*Philosophiae naturalis Principia Mathematica*" [Maraval 1988]
1687. José Chafrion publica "*Plantas de las fortificaciones del Estado de Milán*" [Loidi, J. N. (2004)].

1687. Sebastián Fernández Medrano publica "*El Ingeniero*" Loidi, J. N. (2004).
1693. Atribuido a Chafrión. Se publica en Milán con un prólogo de José Chafrión, Maestro de Campo el libro, "*ESCUELA DE PALAS O SEA CURSO MATEMÁTICO DIVIDIDO EN XI. TRATADOS, QUE CONTIENEN La Arithmetica,, Geometria, Especulativa, Practica, Lugares planos, Dados de Euclides, Esphera, Geographia, Algebra, Numerosa, y Especiosa, Trigonometria, y Logarithmica, y ultimamente el ARTE MILITAR, Donde se proponen, y dibujan con primor las Construcciones de los Autores famosos Antiguos, y Modernos. Se explica, con facilidad la Fortificacion Regular, Irregular, y manera de delinear todas sus partes sobre el Terreno. Se discurre con claridad de la forma, de marchar, acampar, alojar, y a, quartelar los Exercitos. Se describe y pinta la Artilleria, Morteros, Fuegos, y quanto se necesita, para atacar, y defender las Plazas. Se enseña con brevedad el modo de mandar, y executar los Exercicios Militares de la, Infanteria, Española. ES OBRA CURIOSA Y PROVECHOSA PARA LA NOBLEZA, Y MILITARES Sale la, primera, vez enriquecida, de muchas y primorosas Laminas* En Milán en la Imprenta, Real, por Marcos Antonio Pandulpho Malatesta. Año MDCXCIII CON LICENCIA DE LOS SUPERIORES "[Loidi, J. N. (2004).]
1696. L'Hôpital publica, "*Analyse des infiniment petits pour l'intelligence des lignes courbes*", que se considera como el primer libro dedicado a la formación del cálculo diferencial [Blanco M (2007)]
1700. EL 22 de enero de 1700 el Rey Varlos II firma el decreto para la fundación de la Academia de Matemáticas de Barcelona con un modelo de formación similar a la Academia de Bruselas. Las tropas austracistas la cierran en 1705 tras la toma de Barcelona. [Sáez, H. C., Sánchez, J. E., & Moncada, O. (1988)].
1701. Escuela de Mathematics y Navegación de Moscú [Gouzévitch, I., de Matos, A. C., & Martykánová, D]
1705. El 8 de octubre se clausura la Academia de Bruselas, tras la toma de la ciudad por las tropas del Archiduque Carlos. [Ávila, C. J. M. (2014)].
1707. Wren introduce la ventilación forzada. En la restauración de la sala de debate de la Cámara de los Comunes en 1707, [Addis (2013)]
1707. Tomás Vicente Tosca publica "*Compendio Matemático, en que se contienen todas las materias más principales de las ciencias que tratan de la cantidad*" [Tosca, T. V. (1757)]

1711. El 17 de abril de 1711. Se emite el Real Decreto "Plan general de los Ingenieros para los Ejércitos y Plazas de la Península de España", que junto con el emitido con 17 de abril de 1711 en el que se nombra a Jorge Próspero de Verboom como *Ingeniero general de mis Ejércitos, plazas y fortificaciones de todos mis Reinos, provincias y Estados*, se considera la creación del **Cuerpo de Ingenieros**. [Sáez, H. C., Sánchez, J. E., & Moncada, O. (1988)].
1712. Newcomen, con su socio Thomas Savery, construyen una *máquina de vapor* atmosférica utilizada para bombear agua fuera de las minas de carbón y estaño existentes en la zona nativa de Newcomen, en el suroeste de Inglaterra. [Lozoya, H. A. P. (2019).]
1716. Fundación de la **Real y Militar Academia de Matemáticas** de Barcelona. [Sáez, H. C., Sánchez, J. E., & Moncada, O. (1988).]
1716. Gautier publica "*Traité des Ponts ou il est parlé de ceux romains*" [Gauthey, E. M. (1728)].
1716. En Francia el Gobierno de la Regencia instituye «le Corps des ponts et chaussées pour surveiller l'exécution de certains projets de constructions d'Etat» [Artz 1938]
1717. En Inglaterra se instituye en Woolwich el Corps of Engineers (renombrado the Corps of Royal Engineers en 1787) [Jones, P. M. (2011).]
1717. El Rey 1717 Felipe V aprueba su "R.O de Ingenieros a lo que importa a la limpieza de puertos y fábricas de muelles" estableciendo unas determinadas competencias y funciones estrictamente portuarias para unos individuos llamados "Ingenieros de Marina" [CARRIÓN, J. M. S., & GONZÁLEZ, F. F. (2009)].
1718. El 4 de julio de 1718 la Real Ordenanza e Instrucción para los Ingenieros, y otras personas, que define sus funciones militares y civiles, así como la formación que sus miembros han de recibir. [Sáez, H. C., Sánchez, J. E., & Moncada, O. (1988)].
1720. El 15 de octubre abre sus puertas la Real y Militar Academia de Matemáticas de Barcelona (del Ejercito en general): los dos primeros cursos son para todas las armas; el 3º alcanzan solo a ingenieros y artilleros. [Sáez, H. C., Sánchez, J. E., & Moncada, O. (1988)].
1721. Belidor publica "Nouveau cours de mathématique, à l'usage de l'artillerie et du génie" [Galindo, J. A. (2000)].

1726. Creación de los tres departamentos marítimos: Cádiz, Cartagena y El Ferrol. El secretario de marina, José de Patiño, diseña la política marítima proyectando nuevas bases navales, arsenales y construcciones navales en El Ferrol, San Fernando y Cartagena [Santalla López, M. (2006)].
1726. La Real Academia Española publica el primer volumen. DICCIONARIO DE LA LENGUA CASTELLANA: EN QUE SE EXPLICA EL VERDADERO SENTIDO DE LAS VOCES, SU NATURALEZA Y CALIDAD, CON LAS PHRASES O MODOS DE HABLAR, LOS PROVERBIOS O REFRANES, Y OTRAS COSAS CONVENIENTES AL USO DE LA LENGUA. DEDICADO AL REY NUESTRO SEÑOR DON PHELIPE V (QUE DIOS GUARDE) A CUYAS REALES EXPENSAS SE HACE. [Real Academia Española, 1726]
1729. Belidor publica, un libro que utiliza procedimientos matemáticos en su aplicación a la ingeniería, por primera vez "**La science des ingénieurs dans la conduite des travaux de fortification et d'architecture civile**" [Galindo, J. A. (2000).]
1730. Se crea una Academia de Matemáticas en Cartagena de Indias por iniciativa de Juan de Herrera y Sotomayor. Inició sus tareas el 9 de abril de 1731. [Meliá J. RT. Pedro de Lucuce].
1731. Jehtro Tull publica su libro "La nueva labranza por medio de la tracción equina (The New Horse-Hoeing Husbandry)". En 1701 perfeccionó la máquina sembradora, ya en uso desde mediados del siglo XVI. Su invento, mucho más robusto y eficaz que las otras máquinas en uso, permitía, con pocos hombres, arar y sembrar extensos campos, repartiendo, además, las semillas con regularidad, lo que facilitaba un mejor aprovechamiento del suelo y un crecimiento y maduración más homogéneo de los sembradíos. [Deleito, J. C. C. (1993)]
1732. Se constituye la Real Academia de Matemáticas de Orán. [Suárez, M. S. (2005)].
1734. A partir de este año las leyes inglesas exigirán que la solicitud de patente vaya acompañada de la descripción del invento que se pretende patentar, y en caso de no cumplirse este requisito la solicitud será rechazada. [García Sandoval, A. (2018)].
1737. Belidor publica su libro « Architecture Hydraulique ou L'Art de Conduire D'Elever, et de Menager Les Eaux pour Differens Besoins de la Vie » [Galindo, J. A. (2000).]
1739. Se publica "*La Real Ordenanza é Instrucción 22 de Julio de 1739. PARA LA ENSEÑANZA DE LAS Mathemáticas en la Real y Militar Academia que se ha establecido en Barcelona y las que en adelante se formaren, en que se declara el pié*

sobre que deberán subsistir: lo que se ha de enseñar en ellas; las partes que han de concurrir en los sugetos para ser admitidos; y los premios y ascensos con que se les remunerará á los que se distinguieren por su aplicación”. Que recoge el proyecto de Lucuce. [Sáez, H. C., Sánchez, J. E., & Moncada, O. (1988)].

1739. Se pone en marcha la Real Academia de Matemáticas de Ceuta. [Suárez, M. S. (2005)].
1741. Se funda la Royal Military Academy, (RMA) en Woolwich, en donde se formaban los Royal Engineers. [Jones, P. M. (2011)]
1743. D’Alembert publica su libro *“Traité de dynamique”* [Maravall, D. (1988)]
1744. Para la fundación de la Real Academia de Nobles Artes se reúne la Junta Preparatoria [Oliver, M. F. (2009)].
1744. Daniel Trudaine crea un organismo central encargado de centralizar la información de infraestructuras que se denomina *Bureau des dessinateurs* en Paris. [Picon, A. (1992)].
1747. Se pone al frente del Bureau des dessinateurs Jean Rodophe Perronet, y establece una doble misión, tanto profesional como educativa, esta decisión puede considerarse como el acto fundador de la Ecole des Ponts et Chausees El componente pedagógico se irá imponiendo y en 1760 se conoce oficialmente como L’Ecole des Ponts et Chaussees. [Picon, A. (1992)].
1748. Se pone en marcha la «Ecole du corps royal du génie à Mézières» Este centro instituyó, desde 1751, rigurosos exámenes de admisión de aritmética, geometría y dibujo, que los candidatos se sometían frente a un miembro de la Academia de Ciencias. [Artz, F. B. (1938).]
1748. Se decide la construcción de los grandes arsenales peninsulares en los tres departamentos marítimos de Cádiz, Ferrol y Cartagena. [Suárez, M. S. (2005).]
1749. Raymundo Sanz publica su traducción del francés del *“DICCIONARIO MILITAR, O RECOLECCIÓN ALPHABETICA de todos los términos propios del Arte de la Guerra. Explicación, y practica de los trabajos que sirven al Ataque, y Defensa de las Plazas: Sus ventajas, y defectos; según sus diferentes situaciones; con un detalle Histórico del origen, y naturaleza de diferentes especies; tanto de Empleos antiguos, y modernos; como de las Armas que se han usado en diferentes tiempos de la Monarquía Francesa, hasta hoy. BREVE, Y EXTRACTA EXPLICACIÓN de la obligación*

de los Oficiales de Infantería, Caballería, Dragones, Artillería, è Ingenieros; sea en Guarnicion, ò Campaña, según el método preferente de hacer la Guerra"
[Raymundo Sanz, 1749]

1750. José Hermosilla de Sandoval publica el manuscrito "*La Arquitectura Civil*"
[Hermosilla y de Sandoval. J (1750)]
1751. Diderot y D'Alembert comienzan la publicación del primero de los 35 volúmenes de la "*ENCYCLOPEDIA, OU DICTIONNAIRE RAISONNE DES **SCIENCES, DES ARTS ET DES METIERS***" la finalización será en 1772 [Moscoso, J. (2005).]
1751. Se instituye la Academia de Matemáticas del Cuartel de Guardias de Corps, en Madrid [Suárez, M. S. (2005)]. En ella el Ingeniero en segunda Pedro Padilla y Arcos imparte, en el curso de matemáticas conocimientos de cálculo infinitesimal. [Padilla y Arcos, P. (1756).]
1752. Tras la misión de espionaje naval e industrial que Jorge Juan lleva a cabo en Inglaterra entre 1749 y 1750. En 1752 constituye la Junta de Constructores de donde salieron las directrices, líneas y diseños para la construcción de los nuevos buques. [Die Maculet, R., & Alberola Romá, A. (2002)]
1752. Por Real Decreto de 12 de abril de 1752 se funda La Real Academia de las Bellas Artes de San Fernando con su aprobación definitiva en 1.752, para posteriormente aprobación de los estatutos en 1.757. Institucionalizará la enseñanza de arquitectura y ejercerá una rígida "dictadura clasicista". Su primer director será D. Jose Hermosilla de Sandoval. [Suárez, M. S. (2005).] [Padrón Díaz, C. (1988).]
1752. Jorge Juan lidera un nuevo proyecto para el diseño de buque. En este proyecto se diseñaron y trazaron los planos para toda clase de buques y sus diferentes piezas, estableciendo un nuevo método de construcción naval basado en modelo inglés que mejoraba el sistema español de Gaztañeta, mejorando asimismo los defectos que había observado en la técnica inglesa. Se establece, un sistema propio de arquitectura de buques en el que aplicó sus conocimientos de mecánica, hidráulica y cálculo diferencial e integral; innovaciones que no se limitaron a la carpintería del buque, sino que abarcaron también todo lo relativo al aparejo y disposición de la jarcia en el navío. Una vez aprobado, fue el que se implantó en todos los astilleros y estuvo vigente hasta que, a partir de 1765, [Die Maculet, R., & Alberola-Romá, A. (2013)].

1752. Jorge Juan renueva las enseñanzas de la Academia de Guardias Marinas de Cádiz: impone la utilización de textos impresos frente al tradicional sistema de dictado copiado de las lecciones. [Suárez, M. S. (2005).]
1753. Jorge Juan junto con el científico francés Luis Godin, fundan en Cádiz el primer Observatorio Astronómico de España, dotado de libros e instrumentos adquiridos en Londres y que se concibió como institución aneja a la Academia y complementaria a la enseñanza de los cadetes [Die Maculet, R., & Alberola-Romá, A. (2013)]
1754. Se funda, en Londres, la "*Society for the Encouragement of Arts, Manufactures, and Commerce*" con el objetivo de auspiciar el desarrollo de Las Artes, la industria, la ciencia. [Míguez, Á. J. (2017)]
1755. Fundación del Real Jardín Botánico de Madrid [Suárez, M. S. (2005)]
1755. Se publica en Inglaterra el texto de John Muller (profesor de artillería y fortificación) "*Elements of Mathematics. For the use of the Royal Academy of Artillery at Woolwich*" que es un libro de cálculo de construcción con leyes de la estática [Díaz, J. A. G. (2002).]
1755. Belidor publica en París «*Dictionnaire portatif de l'ingénieur, où l'on explique les principaux termes des sciences les plus nécessaires à un ingénieur, à savoir : l'arithmétique, l'algèbre, la géométrie, l'architecture civile, la charpenterie, la serrurerie, l'architecture hydraulique, l'architecture militaire, la fortification, l'attaque et la défense des places, les mines, l'artillerie, la marine, la pyrotechnie*», que nos ofrece el punto de vista del ingeniero sobre el vocabulario de su profesión.[de Belidor, B. F. (1755)]
1756. REAL TITULO de 8 de agosto de 1756. Suprimiendo el empleo de Capitán General de Artillería, y haciendo creación de Director General de ella, y Cuerpo de Ingenieros. Reorganización del Cuerpo de Ingenieros uniendo ingenieros y artilleros. Esta reestructuración tuvo corta vida, durará hasta 1758 y estuvo ligada al conde de Aranda. [Sáez, H. C., Sánchez, J. E., & Moncada, O. (1988)].
1756. El conde de Aranda, consciente de la carencia de ediciones en castellano y la obligada utilización de los libros franceses en la enseñanza en las Academias Militares, quiso crear en Madrid una institución, la Real Sociedad Militar de Matemáticas que, partiendo de los textos más importantes escritos en cualquier

- lengua, fuese responsable de elaborar unos textos propios en español sobre las ciencias de Matemáticas, Maquinaria, Fortificación y Tormentaria. Esta Real Sociedad Militar de Matemáticas estuvo bajo la dirección de Pedro Lucuce. [Ceballos González, M., Núñez Valdés, J., & Villacampa Gutiérrez, R. (2013)]
1756. El Ingeniero Militar de Pedro Padilla y Arcos, publica, el "*Curso Militar de Mathematicas sobre las partes de estas ciencias pertenecientes al Arte de la Guerra, para el uso de la Real Academia establecida en el Quartèl de Guardias de Corps*" En este libro se introduce el cálculo Diferencial, a través de Tratado V "*De los cálculos Diferencial, è integral, ò método de las Fluxiones*" [Padilla y Arcos, P. (1756)].
1757. Los primeros estatutos de la Academia de San Fernando establece que se declara nulo cualquier título expedido por centros distintos del oficial y se especificaba que «el que lo obtuviese, además de las penas en que han de incurrir todos los que practiquen las tasas y medidas sin título legítimo, quedará inhábil aun para ser admitido a examen por tiempo de dos años. [Sanz, M. M. V. S. (1990, January)].
1760. El 17 de noviembre de 1760 fue publicado el Real Decreto por el cual se disolvía la Sociedad Militar de Matemáticas. [Ceballos González, M., Núñez Valdés, J., & Villacampa Gutiérrez, R. (2013)]
1762. En esta fecha, en Francia se establecen diferencias entre los privilegios sobre inventos (quince años, no heredables, obligación de poner en práctica...) y el resto, se establecen unas normas que hacen que el sistema funcione de manera similar a una ley de patentes moderna. [González, J. P. S. (1995)].
1765. Estando la secretaría de Guerra, presidida por Ricardo Wall, en 1765 se constituye el «Nuevo Pie del Cuerpo de Ingenieros» Los ingenieros militares se separan de los Artilleros. [Alberola Romá, A., & Pradells Nadal, J. (2010)]. [Suárez, M. S. (2005)].
1765. Se funda la primera sociedad económica de amigos del país. Que es la Real Sociedad Vascongada de Amigos del País. Que en su artículo I Indica "*El objeto de esta sociedad es el de cultivar la inclinación, y el gusto de la Nación Bascongada hacia las Ciencias, bellas letras, y Artes: corregir y pulir sus costumbres; desterrar el ocio, la ignorancia, y sus funestas consecuencias: y estrechar más la unión de las tres Provincias Bascongadas de Alaba, Vizcaya, y Guipuzcoa*" [de los Amigos, R. S. B. (1765)].

- 1765 Por una real orden se establece en Francia el Cuerpo de Ingenieros Navales conocidos como *ingénieurs-constructeurs de la marine* y se establece una nueva escuela llamada, por el Duque de Choiseul "*L'École des élèves ingénieurs-Constructeurs*" con Duhamel du Manceau como su director. [Guedj, Y. (2016)]
- 1766 El comandante General e Inspector General de Fortificaciones del Reino Juan Martín Cermeño, propone, en ese año, aumentar el número de ingenieros, así como la creación de una Sección especializada en Puentes, Caminos y Canales, sobre la base de los 24 Ingenieros Militares que estaban destinados en trabajos de este tipo, en alguna de las partes del reino. La propuesta de crear un cuerpo especializado en Puentes Caminos y Canales no prosperó [de Albornoz, J. C. (2012).]
- 1767 La Spinning Jenny Hargreaves. James Hargreaves inventa la máquina de hilar que denominó spinning Jenny. Permitía montar hasta 80 hilos y la podía poner en marcha una sola persona. Contaba con ocho carretes en un extremo, que eran girados por una rueda más grande que en las máquinas. Se considera como el inicio de la mecanización de la industria textil. Puesto que elimina un cuello de botella en la industria textil que era la provisión de hilo. [Domínguez, A. B. (2000)].
- 1768 Benito Bails es contratado por la Academia de San Fernando como director de la clase de matemáticas y para escribir el curso de matemáticas. Contó el apoyo de D. Pedro Campomanes y el dictamen de Jorge Juan. Por parte de los ingenieros militares D. Pedro Martín Cermeño propuso la contratación de Benito Bails y de Francisco Subirats [Bails, B. (1983).]
1768. Comienza la publicación, en Edimburgo, del primero de los tres volúmenes de la *Encyclopaedia Britannica*. [Quijano, P. R.]
1769. Arkwright patenta una máquina que al girar hilaba y trenzaba la fibra de algodón, mecanizando lo que se hacía manualmente. La energía se generaba mediante una rueda movida por agua (water frame) esta máquina se conoció como la Water Frame (Bastidor hidráulico de hilar). Y produce un hilo de algodón más resistente que el obtenido con la Spinning Jenny de Hargreaves. [Domínguez, A. B. (2000).]
1769. El profesor de la Academia Real Matemática Miguel Sánchez Taramás, traduce el libro de John Muller. Traducción a la que añade un gran número de comentarios e ilustraciones. Esta traducción fue un gran avance en su momento. [Muller, J., Sánchez Taramás, M., & Paunier, D. (1769)]

1769. François Gautier (llegado a España en 1765) es nombrado "Director de construcción de bajeles, igualmente de carenas, independiente de Comandantes Generales e Intendentes de los Departamentos" [Carrillo de Albornoz, J. (2004).]
1769. El mecánico escocés James Watt patenta la máquina de vapor. Tiene su origen en que en 1764 se le encarga una reparación de una de las máquinas de vapor de Newcomen, y a partir de su estudio realiza una mejora de su eficiencia. [Domínguez, A. B. (2000)].
1770. Se funda la Academia de Minas de Schemnitz en Hungría, dentro del imperio Austro Húngaro [Maffei, E. (1877)]
1770. Se crea el Cuerpo de los Ingenieros de Marina mediante R.O. de 24 de diciembre su organización, proyectada por Francisco Gautier que fue nombrado Ingeniero General. [CARRIÓN, J. M. S., & GONZÁLEZ, F. F. (2009)]
1770. Jorge Juan asume el último gran encargo que el Rey confió a su cuidado: la dirección del Seminario de Nobles, institución que se orientaba a la formación de las futuras clases dirigentes dentro de la carrera militar y de la Administración del Estado. [Die Maculet, R., & Alberola-Romá, A. (2013).]
1770. El rey Carlos III sancionaba la denominada "*Ordenanza de V.M. para establecimiento del Cuerpo de Yngenieros de Marina*" Se transfieren al cuerpo de ingenieros de marina las competencias de las obras en puertos Real Ordenanza 1770 .[Fernández-Turégano, C. P. (2018).]
1771. Richard Arkwright funda la primera factoría hidráulica de algodón del mundo en Cromford, Derbyshire, en 1771, siendo uno de los catalizadores de la revolución industrial. Este modelo de fabricación exige la concentración de numerosa máquinas y obreros bajo un mismo edificio situado al lado de un corriente importante de agua. En ellas se realizaban todas las fases de la industria textil, desde el cardado hasta el ovillado [Domínguez, A. B. (2000).]
1771. John Smeaton, el primero en titularse "Ingeniero civil" lidera junto con un pequeño grupo de ingenieros, la fundación de la asociación Smeatonian (1771), convertido con posterioridad en el Institute of Civil Engineers (1828), destinados a conseguir este reconocimiento profesional. [Portilla, P. G. (1986).]
1771. Jorge Juan publica su Examen Marítimo, obra fundamental sobre arquitectura naval y que sería en la Europa del siglo XVIII como uno de los principales libros de marina

- por sus aportaciones a la ingeniería naval y a la mecánica de fluidos". [Die Maculett, R., & Alberola-Romá, A. (2013)].
1772. Lucuce publica el libro "*Principios de Fortificación*" que contienen las definiciones de los términos principales de las obras de Plaza, y de Campaña con una idea de la conducta regularmente observada en el Ataque y Defensa de las Fortalezas"[De Lucuce, P. (1772).]
1772. "*Ordenanza de S.M. para el mejor método de conservar los pertrechos de los vageles de la Real Armada y mando militar de los arsenales de Marina.*" A partir de esa fecha el mando y gobierno de los arsenales, al margen del negociado económico, pasaba a estar en manos de una Junta, la denominada Junta de Departamento y Apostadero. [CARRIÓN, J. M. S., & GONZÁLEZ, F. F. (2009)]
1772. Benito Bails Publica "*Elementos de Matemáticas (vol. I de X)*". Su otra obra "*Los Principios de Matemática*" (3 vols.) serán publicados en 1776; esta última será libro de texto en el Seminario Nacional de la Minería de México en 1828. [Bails, B. (1793)].
1772. Johann Beckmann utiliza por primera vez la palabra Tecnología (Technology) para describir "*the science of manufacturing and the history of arts*". En 1777 publica su libro titulado "*Anleitung Zur Technology*". La definición que estableció fue "*the science describing the processing of natural products or the knowledge of their manufacture*" [Gekeler, O.]
1773. Se inaugura la escuela de marina real fundada en Le Havre por Boynes con una capacidad de 80 alumnos, debían de tener una edad de 14 años saber leer y escribir y conocer las cuatro reglas de la aritmética. [Artz, F. B. (1938)].
1773. La Real Sociedad Vascongada de Amigos del País, Esta institución crea un nuevo foco de enseñanza, mediante la apertura en 1773 del Real Seminario de Vergara, donde impartirían las clases de química y de física Proust, LP" y Chabaneau, F, respectivamente. En su primer artículo, de la Sociedad, establece, "*El objeto de esta sociedad es el de cultivar la inclinación, y el gusto de la Nación Bascongada hacia las Ciencias, bellas letras, y Artes: corregir y pulir sus costumbres: desterrar el ocio, la ignorancia, y sus funestas consecuencias: y estrechar mas la unión de las tres Provincias Bascongadas de Alaba, Vizcaya, y Guipuzcoa*" [de los Amigos, R. S. B. (1765)].

1774. Nuevas Ordenanzas para el Cuerpo de Ingenieros Militares, que se estructura En tres ramos: 1) Plazas y Fortificaciones del Reino; 2) Caminos, Puentes, Edificios de Arquitectura Civil y Canales de Riego y Navegación (se ha eliminado puertos que se han pasado a los ingenieros de la marina) 3) Academias Militares. [Alberola Romá, A., & Pradells Nadal, J. (2010)].
1774. Pedro Rodriguez Campomanes: Publica el "*Discurso sobre el fomento de la industria popular*." Revisa el modelo de trabajo e industria, comenta la necesidad de formación, pero solo a nivel profesional (artesano). Su modelo de industria no incluye el concepto de ingeniero. [Rodríguez Campomanes y Sorriba, P. (1774)].
1775. Pedro Rodriguez Campomanes: "*Discurso sobre la educación popular de los artesanos*". No se concreta nada acerca del tipo de educación necesario para los gremios. [Campomanes, P. R. (1775)]
1775. Mediante Real Cédula el 9 de noviembre de 1775 se funda la Fundación de la Sociedad Económica Matritense de Amigos del País. [González, J. R., García, C. C., & de Amigos, R. S. E. M. (2018)].
1775. Propuesta de creación en la Sociedad Económica Matritense de las *Escuelas patrióticas de Maquinaria práctica* a la Junta del 3 de Setiembre de 1775. Esta propuesta no prosperó [Matritense, R. S. E. (1780)].
1776. Fundación de la Real Sociedad Económica Aragonesa de Amigos del País. [Suárez, M. S. (2005)].
1776. Se establece el Real Seminario Patriótico Vascongado, en Vergara. En él estudiaría José Lanz. [Suárez, M. S. (2005)].
1776. Publica la Ordonnance du roi, concernant le corps du génie. Du 31 décembre 1776. A Paris [Source gallica.bnf.fr / BnF]
1777. Mediante Real Orden de Carlos III con fecha de 14 de julio de 1777, se dispone la fundación de la Academia de Enseñanza de Minas en Almadén, primer centro de estudios superiores técnicos de minería del país. El título que van a recibir los alumnos será el Geometra subterráneo o delineador [Gutiérrez, M. F. F., & Plaza, L. M. (2004)]
1778. El 15 de septiembre de 1777 por Real Orden se crea, en el Real Seminario Patriótico de Vergara las cátedras de Química y Metalurgia y la de Mineralogía y Ciencias

- Subterráneas. De la primera fue profesor J.L.Proust (discípulo de Rouelle) y de la segunda Juan José de Elhuyar. [Bohórquez, J. R. G. (1978)]
1778. Se funda 1778, pero no recibirá su nombre, hasta que en el 19 de marzo de 1783 se constituya *le Corps des ingénieurs des mines*, la primera escuela de ingeniería de minas fue instalada en el Hôtel des Monnaies en París. [Artz (1938) pag. 384]
1779. Samuel Crompton diseña una máquina capaz de producir hilo resistente en grandes cantidades. En un principio fue conocida como la hiladora de muselina sería conocida como la “*Spinning-mule*” [Domínguez, A. B. (2000)]
1780. Establecimiento, por parte del duque de La Rochefoucauld-Liancourt en una propiedad en Châlons-sur-Marne et d'Angers de una granja escuela para los hijos de los soldados del regimiento de dragones en la que se dará formación sobre: ebanistería, carpintería, cerrajería, etc. La escuela había sido subvencionada por el Rey. Esta Escuela será el origen de *L'Ecole d'arts et métiers*. [Grelon, A. (1996)]
1781. Gaspard Monge inventa la *Geometría Descriptiva* [Artz, F. B. (1938)].
1780. El secretario de las Indias (J. Galvez) ordena la edificación de la Casa-Academia de Minas de Almadén mediante una Real Orden de 1781, la sede se ocupará en 1785. [Gutiérrez, M. F. F., & Plaza, L. M. (2004)].
1781. Se abre al tráfico el primer puente de hierro fundido Iron Bridge, este puente cruza el río Severn a la altura de la garganta de Ironbridge, en Shropshire, Inglaterra. Diseñado por Thomas Farnolls Pritchard. [Domínguez, A. B. (2000)]
1783. Tofiño elaboró un programa formativo para el Curso de Estudios Mayores de las Academias de Guardia Marinas, bajo el encargo del comandante de las Compañías de Guardia Marinas, Miguel José Gascón en 1783. Este curso, denominado de “*matemáticas sublimes*”, fue aceptado por Mazarredo para la Academia de Cartagena, hasta que entró en vigor, por Real Orden de 14 de noviembre de 1785. Se crea el Curso de Estudios Mayores de la Marina (cuatro años). Se impartirá en las tres academias departamentales. [Valero, A. D. L. C. R. (2015)].
1783. En 1783 Peter Onions y en 1784 Henry Cort patentaron dos nuevos procesos metalúrgicos, los de *pudelación* y *laminado*. Con el proceso de pudelación se reduce el contenido en carbono a unos niveles bajos y se elimina casi todo el azufre, lo que permite que el hierro resultante puede ser forjado y laminado. Este proceso siguió

- hasta finales del siglo XIX que fue sustituido por el acero. (como ejemplo de uso de hierro pudelado es la Tour Eiffel).[Domínguez, A. B. (2000)].
1783. Ordenanzas para la Dirección, Régimen y Gobierno del Importante Cuerpo de la Minería de Nueva España y su Real Tribunal general. Antecedentes a la creación del Real Seminario de Minería [GONZÁLEZ, X. M. (2012)]
1783. Real Cedula de S.M y señores de Consejo por la cual se declara que no solo el oficio de curtidor, sino también los demás Artes y Oficios de Herrero , Sastre, Zapatero , Carpintero y otros á este modo , son honestos y honrados ; y que el uso de ellos no envilece la familia , ni la persona del que los ejerce , ni la inhabilita para obtener Jos empleos municipales de la República en que estén avecindados los Artesanos ó Menestrales que los ejerciten , con lo demás que se expresa . Orden del Rey a favor de la consideración de los profesiones viles
1783. El 25 de diciembre de 1783, Carlos III aprobó la fundación de una Academia Real de Nobles Artes titulada San Carlos de la Nueva España, México. [Carrasco López, M. D. C.]
1784. El Ingeniero Charles-Augustin Coulomb Diseña la balanza de torsión que utilizará para medir la atracción electrostática y posteriormente fue utilizada por Cavendish en 1798, para medir las fuerzas gravitatorias [Miyoshi, K., Maeda, C., & Masuo, R. (1988)]
1784. *L'Ecole des mines* fue creada en marzo 1783 para capacitar a los "inspectores y subinspectores de minas responsables de controlar las instalaciones mineras del reino y de gestionarlas. Se suspenderá en 1790 y tendrá diversos cambios has su definitivo diseño en el siglo XIX. [Grelon, A. (1996)]
1784. Bajo la dirección del ingeniero militar Luis Rancaño de Cancio, que con este cometido llegó a Zaragoza en 1784 en comisión de servicios. Cuando ocupó el cargo decidió estructurar el estudio de las matemáticas en cuatro cursos, otorgándole la categoría de enseñanza superior, lo que supuso un importante incremento del nivel de formación científica proporcionado por este centro. Al finalizar todos los cursos hacía exámenes públicos de matemáticas puras y mixtas, siguiendo el modelo que se aplicaba en la Academia Militar de Matemáticas de Barcelona. El programa se estabiliza a partir de 1788. [González, M. S. P. (2011, January)]. [Blánquez, M. H. (1980)]

1786. Para la racionalización del análisis de los proyectos arquitectónicos. Se crea mediante una Real Cedula de 22 de marzo de 1786, emitida por el conde de Floridablanca, una Comisión de Arquitectura dedicada en exclusiva, su primer director fue Pedro Arnal su objetivo era la fiscalidad y crítica de todos los proyectos financiados con fondos público, homogeneizando e imponiendo el gusto de la monarquía ilustrada.[Melero, J. E. G. (1991)]
1787. Esteban Terreros publica el primer volumen del *"Diccionario Castellano con las voces de ciencias y artes y sus correspondientes en las tres lenguas francesca latina e italiana"* [Terreros. E. 1786].
1787. Se publica el *"Proyecto Económico en que se proponen varias providencias dirigidas a promover los intereses de España, con los medios y fondos necesarios para su planificación"* Escrito en 1762, tras un viaje por Europa, en el que el autor realiza propuestas para el modelo de desarrollo del Reyno, Habla de los gremios como elemento retardador, y también recomienda los procesos de Kaufsystem y Velagssystem. [Ward, B. (1787)]
1787. La circular del 28 de febrero de 1787 disponía que *"ni los arquitectos ni los maestros de obras pudieran ser nombrados para ejercer sus profesiones sin que antes pasaran un riguroso examen en la Academia de San Fernando o en la de San Carlos en el Reino de Valencia"*. [Melero ,J.E.G. (1996)]
1788. Joseph-Louis Lagrange, publica su *"Mécanique Analitique"* base de la mecánica analítica. [Maravall 1988]
1789. Francisco Angulo es nombrado Directo de Minas del Reino y solicita el cambio En el título de los alumnos de Almadén de **Geómetras subterráneos o delineadores a Ingenieros de minas.**
1788. En una carta al Secretario de Estado, Sr. Floridablanca, del conde Fernán Núñez (embajador español en París). Se insta a la creación del, del que será el germen y primer antecedente, entre otros, de lo que en nuestros días es la Oficina Española de Patentes y Marcas. [González, J. P. S. (1995). pág. 49]
1789. La Escuela de Mineralogía comienza su andadura en el año de 1789, contando con dos espaciosos locales, situados en las calles de Hortaleza y del Turco Inicialmente en el año 1785 Carlos III encomienda al arquitecto Juan de Villanueva la construcción de un edificio para albergar a la Academia de Ciencias, el Gabinete de

- Historia Natural, la Real Escuela de Mineralogía de Indias y otras dependencias científicas, junto al Jardín Botánico. Fernando VII convertirá estas instalaciones en pinacoteca, que es la que hoy conocemos como Museo del Prado. [Puche Riart, O., & Mata Perelló, J. M. (1992)].
1789. Lavoisier publica el «Traité élémentaire de chimie», en el que entre otros temas explica la «conservation de la masse» [Sánchez, J. M. (2019).]
1789. Fundación del Deposito Hidrográfico de la Marina. Que englobará la Biblioteca Marítima que había propuesto crear en 1787 Juan de Mendoza y Rios. [Valdés, J. N. (2016)]
1790. La Escuela de Agricultura de la RSE aragonesa se transforma en Catedra de Agricultura; mayor nivel técnico, reglamentación y control de las enseñanzas. [Suárez, M. S. (2005)].
1790. Se publica en Paris la obra de Prony más conocida y sin duda la más extensa, "*Nouvelle Architecture Hydraulique Contenant l'art d'élever l'eau au moyen de différentes machines, de construire dans ce fluide, de le diriger, et généralement de l'appliquer, de diverses manieres, aux besoins de la société.*" [Prony, R. (1790)]
1790. Se emite, en los EEUU, la Patent Act de 1790, reconociendo a cualquier inventor de alguna utilidad aplicable a la industria y previa descripción de la misma, disponer de ella como derecho en la forma más amplia posible [Valenzuela, J. G. (1999)].
1791. En Francia establecen *la patente como consecuencia del derecho natural del hombre a la propiedad de sus ideas*. [González, J. P. S. (1995). Pag 40]
1792. Bajo la dirección de Agustín de Betancourt abre sus puertas el Real Gabinete de Maquinas (fundado en 1788) en los pabellones del Buen Retiro de Madrid. [Suárez, M. S. (2005)]
1792. Agustín de Betancourt y Juan López Peñalver remiten al conde de Floridablanca la "*Memoria sobre los medios de facilitar el Comercio interior*" presentada al Excmo Conde Floridablanca. En la misma se analizan las infraestructuras de carreteras y canales, no hablan de puertos, pues en ese momento estaban encomendados a los ingenieros de la Marina. Analizan la alineación entre método de transporte e infraestructura (quieren actuar sobre modelo de transporte eficaces tasas de penalización etc) y plantean el tema de los estudios específicos. [de Betancourt A, Lopez de Peñalver (1792)]

1792. El Real Seminario de la Minería de México que se inauguraría el 1 de enero de 1792. Poco más tarde, Elhuyar, F. es nombrado director de este. [Puche Riart, O., & Mata Perelló, J. M. (1992)].
1793. Se funda la Real Academia de las Tres Nobles Artes de San Luis, de Zaragoza, heredera de la Escuela de Dibujo de la Sociedad Económica Aragonesa (1784). [Suárez, M. S. (2005)]
1794. Se inaugura el Real Observatorio de Madrid y se pone al frente a Salvador Jiménez Coronado que Jorge Juan había enviado a París El proyecto de este observatorio había tenido una recomendación de Jorge Juan cuando dirigía el Seminario de Nobles. El proyecto fue encargado por Carlos III al arquitecto Juan de Villanueva. La primera piedra se puso bajo el reinado de Carlos IV. [Tinoco, J. (1951)].
1794. Se crea en París l'Ecole Centrale des Travaux Publics (L'Ecole Polytechnique) Esta escuela reemplazó a las antiguas escuelas de ingenieros fundadas bajo la monarquía [Grelon 1996]
1794. Se crea en París el Conservatorio de Artes y Oficios (Le Conservatoire des Arts et Métiers.); su objetivo no era capacitar ingenieros para el Estado, sino propagar la innovación técnica en los círculos empresariales. Artesanos e industriales parisinos. Esto implicaba mostrar modelos de máquinas o prototipos recientes para que los visitantes puedan inspirarse en ellos para sus propias prácticas. En este se inspiró Lopez de Peñalver para la creación del Conservatorio de Artes. [Grelon 1996]
1796. Jiménez Coronado propuso la creación del *Real Cuerpo de Ingenieros Cosmógrafos de Estado*, cuyas ordenanzas se aprueban por el Rey en 19 de agosto de 1796. El primer director fue Salvador Jiménez Coronado [Tinoco, J. (1951).]
1799. J.L. Proust dirige el Real Estudio de Mineralogía de Madrid, creado a partir de tres instituciones previas, entre ellas el Laboratorio de Química segoviano. [Suárez, M. S. (2005)].
1799. El 12 de junio el nuevo secretario de Estado, Mariano Luis de Urquijo encarga al Conde de Guzmán (José Naudín y Guzmán) la puesta en marcha del plan que había propuesto acerca de la Creación de la Inspección General de Caminos y Canales Nombrándole Inspector General [Sánchez Miñana, J. (2019)]
1801. El 27 de diciembre es designado Agustín de Betancourt Inspector General de Caminos y Canales. [González Tascón, I. (1996)].

1801. Joseph-Marie Jacquard inventó un telar gobernado por una serie de tarjetas perforadas. Éstas permitían o impedían el paso de unas varillas, según ciertas pautas fijadas en un diseño modelo. El telar reproducía en el tejido el dibujo del modelo. Para cambiar el dibujo bastaba con diseñar una nueva tarjeta perforada. En cierto sentido, éste fue el paso más primitivo hacia los ordenadores. [Domínguez, A. B. (2000)]
1802. Creación de los estudios de la Inspección de Caminos y Canales, bajo la dirección de Agustín de Betancourt, se convocan los primeros exámenes de ingreso para los Estudios de la Inspección General de Caminos y Canales, que se considera el inicio de la Escuela de Caminos promovida por Betancourt y dirigida por él los primeros años, integrándose en ésta el Real Gabinete de Máquinas. Betancourt diseña los dos primeros años de estudios y reclama como profesores a José María de Lanz, a Juan López de Peñalver, a José Chaix y otros, que formarán el primer grupo de profesores de la Escuela. El centro se llamó "*Estudios de la Inspección General de Caminos y Canales*". [González Tascón, I. (1996)]
1802. Benito Bails publica, póstumamente, el "*Diccionario de arquitectura civil*." [Bails, B. (1802)].
1802. La Real Academia de la Purísima Concepción de Valladolid, es reconocida por el Consejo de Castilla, pasa a serlo por la de San Fernando. [Suárez, M. S. (2005)].
1803. Se cierra la Real Academia de Matemáticas de Barcelona [Sáez, H. C., Sánchez, J. E., & Moncada, O. (1988)].
1803. Ordenanza que S. M. manda observar en el servicio del Real Cuerpo de Ingenieros. Supone su concentración en tareas militares, el cierre de la Academia de Barcelona y la creación de la de Alcalá de Henares. [Imprenta Real 1803]
1803. Por decisión de Betancourt se cambia el nombre del centro de "*Estudios de la Inspección General de Caminos y Canales*" pasando a llamarse "*Escuela de Caminos y Canales*" la inclusión del término de Puertos se produce en 1835 [González Tascón, I. (1996)].
1803. Tras la tragedia del derrumbamiento de la presa del Gasco en 1802 Agustín de Betancourt publica "*Noticia del estado actual de los caminos y canales de España, causas de sus atrasos y defectos y medios de remediarlos en adelante*" [González Tascón, I. (1996)].

1804. Se suprime el Cuerpo de Ingenieros Cosmógrafos. [Tinoco, J. (1951)].
1807. Claudio Boutelou se encarga de la docencia de la Agricultura y Botánica Agrícola en el Real Jardín Botánico de Madrid. [Suárez, M. S. (2005)]
1808. José María de Lanz y Agustín de Betancourt publican en Paris el «*Essai sur la Composition des Machines*». Este libro se publicaría en Londres en 1820 con el título “*Analytical Essay on the Construction of Machines*” [Suárez, M. S. (2005)]
1808. La Junta de Comercio de Cataluña funda la Cátedra de Mecánica impulsada por Santpoç i Roca. [Lusa Monforte, G., & Roca Rosell, A. M. C. (2005)].
1811. Sobre el derecho de patentes se emite un Real decreto de 16 de septiembre de 1811, firmado por el Secretario de Estado Mariano Luis de Urquijo. Se adopta el sistema menos costoso, que es la protección temporal de la propiedad del invento. Esto se concibe como un pacto entre los propietarios particulares y la nación en pro del desarrollo económico. Los veinticinco artículos en que se desarrolla el Real decreto son prácticamente una copia de la legislación revolucionaria francesa de 7 de enero de 1791 relativa a patentes de invención. [González, J. P. S. (1995). Pag 54]
1820. El telar Jacquard de tarjetas perforadas se introduce en la industria de la seda española, en la fábrica Garín de Montcada [Pagán, E. A., & Fuentes, C. M. (2018)].
1824. El ingeniero Nicolas Léonard Sadi Carnot publica el libro «*Réflexions sur la Puissance Motrice du Feu et sur les Machines Propres à Développer Cette Puissance*», que se puede considerar como la base de la termodinámica. [Carnot, S. (1824)].
1824. Con la Real Orden de 18 de agosto de 1824 Juan López de Peñalver logra en 1824 crear el Conservatorio de Artes con los materiales que habían pervivido del Real Gabinete de Máquinas. Centro que será la semilla de la futura ingeniería industrial en España. [Ramón Teijelo, J. (2002).]

BIBLIOGRAFÍA

- Addis, B. (2013). Las contribuciones de Christopher Wren y Robert Hooke al nacimiento de ingeniería de la construcción moderna. In Actas del Octavo Congreso Nacional de Historia de la Construcción (pp. 1-11).
- Alberola Romá, A., & Pradells Nadal, J. (2010). Un cuerpo de élite en el ejército de la España del siglo XVIII: los ingenieros militares.
- Alcaide González, R., & Capel Sáez, H. El curso de Cosmografía de Lucuce en las academias de matemáticas militares: el problema de los textos científicos y el desarrollo de la ciencia española del siglo XVIII. en línea]. www.ub.edu/geocrit/tcestin.htm [Consulta: 1 maig 2014].
- Amigó, G., & Alvarez, D. Ratio studiorum oficial 1599
- Aracil, J. La ingeniería, una peculiar conjunción de creatividad y conocimiento.
- Artz, F. B. (1938). L'education technique en France au XVIIIe siecle (1700-1789). *Revue d'histoire moderne*, 13(35), 361-407.
- Ávila, C. J. M. (2014). Ávila, C. J. M. (2014). De la Escuela a la Academia. Los centros de formación de artilleros. *Revista de historia militar*, (1), 13-72
- Bacon, F., & Bastos, T. (1999). *Novum organum: aforismos sobre la interpretación de la naturaleza y el reino del hombre*. Folio,.
- Bails, B. (1780). *Elementos de matemática (Vol. 4)*. en la Imprenta de la Viuda de D. Joaquín Ibarra.
- Bails, B. (1802) *Diccionario de arquitectura civil*
- Bails, B. (1983). *De la arquitectura civil_ Texto. Tomo 1 (Vol. 1)*. Colegio oficial de aparejadores y arquitectos técnicos.
- Ballesteros, A. G. (1975) *La real fábrica de paños de Guadalajara en el siglo XVIII*. *Estudios Geográficos*, 36(138), 373.
- Barreno, P. G (2006) Avatares de la academia de Academia de Matemáticas de Felipe II, en: *Institución de la Academia Real Matemática*. Juan Antonio Yeves Andrés, Ed. Madrid: Instituto de Estudios Madrileños, 2006. pp 135-195.
- Belhoste, B., Picon, A., & Sakarovitch, J. (1990). Les exercices dans les écoles d'ingénieurs sous l'Ancien Régime et la Révolution. *Histoire de l'éducation*, 53-109.
- Betancourt, A. D. (1803). Noticia del estado actual de los caminos y canales de España, causas de sus atrasos y defectos y medios de remediarlos en adelante. Año de 1803.

- Blanco, M. (2013). The Mathematical Courses of Pedro Padilla and Étienne Bézout: Teaching Calculus in Eighteenth-Century Spain and France. *Science & Education*, 22(4), 769-788.
- Bohórquez, J. R. G. (1978). Bicentenario de la fundación de la Cátedra del Química de Vergara: el proceso de constitución. Lull: *Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, (2), 5-18
- Bousquet-Bressolier, C. (2008). Etudes et formation des ingénieurs sous Vauban. *Le Monde des cartes*, 195, 15-26.
- Bowles, W. (1789) Introducción a la historia natural ya la geografía física de España (Vol. 288). en la Imprenta Real.
- Brisson, M. J. (1803). *Traité élémentaire ou principes de physique: fondés sur les connoissances les plus certaines, tant anciennes que modernes, et confirmés par l'expérience* (Vol. 3). Chez Bossange, Masson et Besson.
- Bruneau, O. (2020). The teaching of mathematics at the Royal Military Academy: Evolution in continuity. *Philosophia Scientiae*, 24(1), 137-158.
- Bureaux de Pusy, J. X. (1883). Mémoire de M. Bureaux de Pusy sur le corps royal du génie, en annexe de la séance du 10 mai 1790. *Archives Parlementaires de la Révolution Française*, 15(1), 463-476.
- Calabro, M. (1991). *Tratado de fortificación o arquitectura militar dado por el Capitán de Infantería Don Mateo Calabro: estudio introductorio, notas y glosario*. Universidad, Salamanca.
- Camacho Ríos, A. (2016). La matemática escolar en el Colegio Nacional de Minería de mediados del siglo XIX. *Revista iberoamericana de educación superior*, 7(20), 94-112.
- Cámara Muñoz, A. (2005). *Esos desconocidos ingenieros*.
- Campomanes, P. R. (1775). *Discurso sobre la educación popular de los artesanos*. Imprenta de D. Antonio Sancha
- Capón, F. J. S. (2016). *Derecho de autor: propiedad o regulación* (p. 1). Universidad Complutense de Madrid
- Carlos III *Copia del Real Decreto expedido para hacer caminos rectos, y sólidos en España, que faciliten el comercio de unas... (1761) - España*. Rey (1759-1788: Carlos III)
- Carnot, S. (1824). *Réflexions sur la Puissance Motrice du Feu et sur les Machines Propres à Développer Cette Puissance* (Bachelier, Paris),

- Carrasco López, M. D. C. Una mirada a "la academia de San Carlos". Goliardos. Revista estudiantil de Investigaciones Históricas, (22)
- Carrillo de Albornoz, J. (2004). La academia de Ingenieros dos siglos de historia. Memorial de Ingenieros n 70
- Carrillo de Albornoz, J. (2004) "Los planes de estudio de la Academia de Matemáticas y su funcionamiento interno, La Academia de Matemáticas de Barcelona, el legado de los ingenieros militares. Secretaría General Técnica del Ministerio de Defensa. 2004
- Carrillo de Albornoz, J. C. (2012). La edad de oro de la fortificación abaluartada en España y ultramar. Revista de historia militar, (1), 33-98.
- Carrión, J. M. S., & González, F. F. (2009)] Los ingenieros de marina motores de la renovación y tecnificación de la construcción naval española (1770-1827). VOLUMEN I. Tesis Doctoral
- Castillo Martos, M. 2019 Minería: La savia del imperio. Cuatro siglos de Ingeniería española en ultramar, ASICA 2019
- Ceballos González, M., Núñez Valdés, J., & Villacampa Gutiérrez, R. (2013). Pedro de Lucuce y Ponce y las instituciones matemático-militares españolas del siglo XVIII. La Gaceta de la Real Sociedad Matemática Española, 16 (1), 147-168.
- Chafrion, J. 1693. Escuela de Palas ò Sea Curso Mathematico, 1.
- Chambers, E. (1741). Cyclopædia_ Or, an Universal Dictionary of Arts and Sciences. (Vol. 1). D. Midwinter.
- Chesneau, G. (1931). Histoire de l'École des mines. Paris, École des Mines.
- Cioranescu, A. (1965). Agustín de Betancourt: su obra técnica y científica (Vol. 11). Instituto de Estudios canarios.
- Clai, E. F. (2004). Tiempo y sociedad, en el Real Seminario de Minería, 1792-1821. revista brasileira de história da educação, 4(2 [8]), 225-242.
- Clairaut, A. C. (1746) Éléments d'algèbre . Chez les Freres Guerin, à S. Thomas d'Aquin
- Clément, P., Colbert, J. B., & De Brotonne, P. (1865). Lettres, instructions et mémoires de Colbert (Vol. 2). Imprimerie impériale.
- Colamar Albajar. M.A. 2019 "Cuatro siglos de ingeniería española en Ultramar"
- Comas Roqueta, J., & Ausejo Martínez, E. (2015). La enseñanza de las matemáticas en la armada española en el siglo XIX. Zaragoza: Universidad de Zaragoza. <https://zaguan.unizar.es/record/32763/files/TESIS-2015-085.pdf>.

- Cuadrado, Á. P. (1991) Notas para la historia del Mapa Topográfico Nacional de España. *Militaria: revista de cultura militar*, (3), 83-100.
- Cuesta Domingo, M. (1997). Filipinas: Imagen cartográfica y testimonio toponímico hispánico. *Actas de las VII Jornadas Nacionales de Historia Militar. El Lejano Oriente Español: Filipinas (Siglo XIX)*, Sevilla
- de Belidor, B. F. (1729) *La science des ingénieurs, dans la conduite des travaux de fortification et d'architecture civile*. Chez Claude Jombert.
- De Bélidor, B. F. (1739). *Architecture hydraulique ou l'art de conduire, d'élever et de ménager les eaux pour les différents besoins de la vie (Vol. 2)*. Chez Charles-Antoine-Jombert.
- De Belidor, B. F. (1755). *Dictionnaire portatif de l'ingénieur, où l'on explique les principaux termes des sciences les plus nécessaires à un ingénieur, à savoir: l'arithmétique, l'algèbre, la géométrie, l'architecture civile, la charpenterie, la serrurerie, l'architecture hydraulique, l'architecture militaire, la fortification, l'attaque et la défense des places, les mines, l'artillerie, la marine, la pyrotechnie*. CA Jombert, imprimeur-libraire du roi.
- De Belidor, B. F. (1725) *Nouveau cours de mathématique, à l'usage de l'artillerie et du génie*. Chez Nyon, Fils, Quay des Augustins, près la Pont Saint Michael , à l'Occasion.
- de Betancourt A, Lopez de Peñalver (1792) "Memoria sobre los medios de facilitar el comercio interior" Edición Facsimile del CICCPColegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
- De Covarrubias, S. (1611). *Tesoro de la lengua castellana, o española*
- De Gamboa, F. X. (1761). *Comentarios a las ordenanzas de minas. en la oficina de Joachin Ibarra*.
- De los Amigos, R. S. B. (1765). *Estatutos de la Sociedad Bascongada de los Amigos del Pais, según el acuerdo de sus Juntas de Vitoria por abril de 1765*.
- De Lucuce, P. (1772). *Principios de fortificación*. Barcelona, Impresor real Thomas Piferrer.
- De Miranda, P. Á. (2005) de Miranda, P. Á. (2005). *Consideraciones sobre el léxico " técnico" en el español del siglo XVIII*. In *Técnica e ingeniería en España* (pp. 263-290).
- De Nieva, J. M. (1829) *Decretos del rey nuestro señor don Fernando VII, y reales órdenes, resoluciones y reglamentos generales expedidos por las secretarías del Despacho Universal y Consejos de SM.: Desde 1o. de enero hasta fin de diciembre de 1828 (Vol. 13)*. En la Imprenta Real. Real orden mandando organizar un depósito de máquinas i instrumentos artísticos bajo la planta que se señala, cuyo establecimiento se titulará .Real Conservatorio de Artes pag 178

- De Peñalver, J. L. (1794). Catálogo del Real Gabinete de Máquinas. en la imprenta de D. Benito Cano.
- De Peñalver, J. L. (1798). Descripción de las máquinas de mas general utilidad hay en el Real Gabinete de ellas establecido en el Buen Retiro hecha de Orden de SM. Imprenta Real.
- Delaunay, B. (2013). La pensée technique de l'Académie Royale des Sciences (1699-1750) (Doctoral dissertation, Université Panthéon-Sorbonne-Paris I).
- Deleito, J. C. C. (1993). Ciclos del desarrollo tecnológico. *Arbor*, 144(566), 59.
- Demeulenaere-Douyère, C., & Sturdy, D. J. (2010). Les sciences au service de l'économie: stratégies gouvernementales en Grande-Bretagne et en Franceau début du XVIIIe siècle. *Documents pour l'histoire des techniques. Nouvelle série*, (19), 223-228.
- Descartes, R. (1986). Discours de la méthode pour bien conduire sa raison, & chercher la verité dans les sciences. Plus La dioptrique, les météores et la géométrie, qui sont des essais de cete méthode. De l'imprimerie de Ian Maire.
- Descartes, R., & Gilson, E. (1987). Discours de la méthode. Vrin.
- Désos, C. (2016). Les ingénieurs du roi de France auprès de la couronne d'Espagne, 1704-1715.
- Díaz, J. A. G. (2002). El conocimiento constructivo de los ingenieros militares españoles del siglo XVIII. *Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)*.
- Diderot, D. (1751). Encyclopédie: ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers. (Volumen 1)
- Diderot, D. (1762). Recueil de planches, sur les sciences, les arts libéraux et les arts mécaniques.
- Diderot, D. (1765). Encyclopédie: ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers.
- Die Maculet, R., & Alberola Romá, A. (2002). La herencia de Jorge Juan: muerte, disputas sucesorias y legado intelectual.
- Die Maculet, R., & Alberola-Romá, A. (2013). Jorge Juan Santacilia. Síntesis de una vida al servicio del Estado.
- Doctor Mateo Calabro (1722) Libro de matemática [Manuscrito] / por el doctor Mateo Calabro

- Domínguez, A. B. (2000). La Revolución Industrial: algunos logros de la ingeniería. ANI-Academia Nacional de Ingeniería.
- Donaldson, I. M. (2015). Agricola's De re metallica 1556. Part 1. The journal of the Royal College of Physicians of Edinburgh, 45(2), 180.
- Dupain de Montesson, L. C. (1750). La science des ombres, par rapport au dessein. (en Español)
- Dupin, C. (1824). Voyages dans la Grande-Bretagne: entrepris relativement aux services publics de la guerre, de la marine, et des ponts et chaussées, en 1816, 1817 et 1819 (Vol. 1). Bachelier.
- Dupin, C. (1830) Geometría y mecánica de las artes y oficios y de las bellas artes: curso normal...
- Dupin, C., & Dupin, F. P. C. B. (1827). Programa de un curso de geometría y mecánica, aplicadas á las artes: para uso de los artesanos, y de los maestros y demás personas que dirigen talleres ó fábricas. Imprenta Real.
- d'Wartelet, J. (1863) Diccionario militar: contiene las voces técnicas, términos, locuciones y modismos antiguos y modernos de los ejércitos de mar y tierra.
- Elhuyar, F. (1825). Memoria sobre la formación de una ley orgánica para gobierno de la minería en España: dirigida con una exposición al señor secretario de estado... de hacienda... en la Imprenta Real.
- Escribano, J. M. (1767). Itinerario español o Guia de caminos para ir desde Madrid à todas las ciudades y villas más principales de España: y para ir de unas ciudades à otras: y à algunas Cortes de Europa. en la Imprenta de Miguel Escribano.[se hallará en su Librería...].
- Escudero, A. G. (2008). El inicio de la independencia en México: el cura Hidalgo. Araucaria, 10(19).
- Esteve, E. H. (2017). Aproximación al estudio del pensamiento contable español. De la Baja Edad Media a la consolidación de la Contabilidad como asignatura universitaria. De Computis-Revista Española de Historia de la Contabilidad, 12(23), 434-862.
- Farrington, B., & de la Cuesta, R. R. (1971). Francis Bacon, filósofo de la revolución industrial. Ayuso.
- Fernández de Medrano, S. 1691 El perfecto bombardero, y practico artificial
- Fernández de Mesa, T. M. (1756). Tratado legal, y politico de caminos publicos, y possadas: dividido en dos partes, la una, en que se habla de los caminos, y la otra, de las possadas.../su autor el Dr. D. Thomas Manuel Fernandez de Mesa; parte II, De las possadas.

- Fernández Pérez, J. Gonzalez Tascón, I. (1991) Estudio Preliminar, Descripción de las Máquinas del Real Gabinete. 1991. Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología.
- Fernández, J., & González, I. (1991). Descripción de las Máquinas del Real Gabinete. Ediciones Doce Calles, Madrid.
- Fernández-Turégano, C. P. (2018). Las ordenanzas de 1770 y 1772 del cuerpo de ingenieros de marina en el marco del enfrentamiento entre “la pluma y la espada”. *Revista Aequitas: Estudios sobre historia, derecho e instituciones*, (12), 13-47.
- Ferraz, V. (1800). Tratado de castrametacion ó Arte de Campar: dispuesto para el uso de las Reales Escuelas Militares, del cargo del Real Cuerpo de Ingenieros. en la Imprenta Real, por D. Pedro Pereyra, impresor de Camara de SM.
- Flores Clair, E. (1999) El Colegio de Minería: una institución ilustrada en el siglo XVIII novohispano. *Estudios de historia novohispana*, (20), 33-65.
- Fogg, C. D. (1999). Implementing your strategic plan: How to turn "intent" into effective action for sustainable change. Amacom Books.
- Forest, J., Chouteau, M., & Nguyen, C. (2011). Conceptions de l'innovation et formations de l'ingénieur. *Les Cahiers du Musée des confluences*, 7, pp-37.
- Fourcy, A. (1828). Histoire de l'Ecole polytechnique.
- Fraile, Á. R. (2019). Instrumentos de cálculo y geometría en la colección Rico y Sinobas del Museo Arqueológico Nacional. *Boletín del Museo Arqueológico Nacional*, (38), 133-148.
- Francoeur, L. B. (1803). Tratado de mecánica elemental, para los discípulos de la Escuela Politécnica de Paris, ordenado según los métodos de R. Prony. en la imprenta Real.
- Furetière, A. (1727). Dictionnaire universel; contenant généralement tous les mots françois tant vieux que modernes, et les termes de toutes les sciences & des arts... Le tout extrait des plus excellens auteurs anciens et modernes (Vol. 2). A La Haye.
- Galilei, G. (1945). Diálogos acerca de dos nuevas ciencias. Losada.
- Galindo Díaz, J. A. (1996). El conocimiento constructivo de los ingenieros militares del siglo XVIII. Un estudio sobre la formalización del saber técnico a través de los tratados de arquitectura militar (Doctoral dissertation, Tesis doctoral en línea, disponible en http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-1014102-085840//01TESIS.pdf (consulta: 01/05/2009)).
- Galindo, J. A. (2000). La ciencia de los ingenieros en la primera mitad del siglo XVIII. *Informe de la Construcción*, 52(467), 47-54.

- Garcés, J. (1802). Nueva teórica y práctica del beneficio de los metales de oro y plata por fundición y amalgamación. División Químico Minera, Cynamid.
- García-Ahumada, F., & Gonzalez-Gaya, C. (2019). The contribution of the Segovia mint factory to the history of manufacturing as an example of mass production in the 16th century. *Applied Sciences*, 9(24), 5349.
- García Garrosa, M. J. (1993). La Real Cédula de 1783 y el teatro de la Ilustración. *Bulletin hispanique*, 95(2), 673-692.
- García Sandoval, A. (2018). Derecho de patentes sobre invenciones biotecnológicas.
- García, J. J. (1782). Elementos de aritmética, álgebra y geometría. por D. Joachin Ibarra.
- García, M. D. C. L. (2006). Reconocimiento territorial y obra cartográfica de los ingenieros militares en Nueva España durante la segunda mitad del siglo XVIII. *Scripta Nova: revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, (10), 55.
- Garrote, F. A. Recopilación para la Nueva Fábrica de Baxeles Españoles.
- Gauthey, E. M. (1728). *Traité de la construction des ponts*. Chez Andre Cailleau.
- Gaztañeta Iturribalzaga, a. 1720 *Proporciones de las medidas mas esempciales*.
- Gekeler, O. Johann Beckmann and the "consideration of commodities and technology in their entirety. *Sarton Chair of the History of Sciences University of Ghent, Belgium*, 139.
- Genssane, Antoine de (1708-1785) *La Géométrie souterraine, ou Traité de géométrie pratique appliqué à l'usage des travaux des mines*, par M. de Genssane.
- Giménez López, E. (2006). La militarización de las ciencias útiles.
- Gondra, J. M. (1994). Juan Huarte de San Juan y las diferencias de inteligencia. *Anuario de psicología*, 60, 13-34.
- González Tascón, I. (1996). Betancourt. Los inicios de la ingeniería moderna en Europa". Ministerio de Obras Públicas y Medio Ambiente.
- González, F. F. (2001). La construcción y la arquitectura naval. In *Historia de la tecnología en España* (pp. 473-498). Valatenea.
- González, J. P. S. (1995). Propiedad industrial y revolución liberal: historia del sistema español de patentes (1759-1929). OFICINA ESPAÑOLA PATENTES MA.
- González, J. R., García, C. C., & de Amigos, R. S. E. M. (2018). La Real Sociedad Económica Matritense de Amigos del País. *La Gatera de la Villa*, (32), 58-66.

GONZÁLEZ, X. M. (2012). Prensa escrita, disciplinas escolares y libros en la educación científico-militar de México. (EL COLEGIO MILITAR, 1823-1860).

Gottschalk, L. R., MacKinney, L. C., & Pritchard, E. H. (1969). The foundations of the modern world [1300-1775] (Vol. 4). Published for the International Commission for a History of the Scientific and Cultural Development of Mankind by Allen & Unwin. [Tomo 6 encyclopaedia de la Unesco]

Gouzévitch, I., de Matos, A. C., & Martykánová, D. La Russie, l'Espagne, le Portugal et l'Empire ottoman.

Green, O. H. (1957). El ingenioso hidalgo. *Hispanic Review*, 25(3), 175-193.

Grégoire, H. (1794). Rapport sur l'établissement d'un conservatoire des arts et métiers: Séance du 8 vendémiaire, l'an 3 de la République une et indivisible. Imprimé par ordre de la Convention nationale. De l'Impr. nationale, an III.

Grelon, A. (1996). La naissance de l'enseignement supérieur industriel en France. *Quaderns d'història de l'enginyeria*. 1996, vol. 1.

Guedj, Y. (2016) "L'ingénieur, le génie maritime et l'idée de progrès théoriques de l'architecture navale à l'aube du XIXe siècle. Université Paris Diderot Département d'Histoire et Philosophie des Sciences Mémoire de Master II LOPHISS"

Guettier, A. (1865) Histoire des écoles impériales d'arts et métiers: Liancourt, Compiègne, Beaupréau, Chalons, Angers, Aix. Lacroix.

Guimaraens Igual, G. (2008). El último hábito de la fortificación abaluartada: el fuerte de San Julián de Cartagena (Doctoral dissertation, Tesis doctoral, Director: Juan Francisco Noguera Giménez, Departamento de Composición Arquitectónica, ETS Arquitectura de la Universidad Politécnica de Valencia).

Gutiérrez, M. F. F., & Plaza, L. M. (2004). La Academia de Minas de Almadén: doscientos veinticinco años de historia. In *Historia de las ciencias y de las técnicas* (pp. 859-870). Universidad de La Rioja.

Hamey, L. A., & Hamey, J. A. (1990). Los ingenieros romanos (Vol. 18). Ediciones AKAL.

Henderson, J. C., & Venkatraman, H. (1999). Strategic alignment: Leveraging information technology for transforming organizations. *IBM systems journal*, 38(2.3), 472-484.

Heras Molinos, A.E. (2011) Instrumentos Topográficos de la E.T.S. de Ingenieros de Minas de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, 2011

Hermosilla y de Sandoval. J (1750) La Arquitectura Civil

- Herrera, J. D. (1995). Institución de la Academia Real Mathematica en castellano, que la Magestada del Rey Don Phelippe II Nuestro señor mando fundar en su corte. Impreso en Madrid en casa de Guillermo Dray impressor de libros Año de 1584
- Huarte de San Juan, J. (1575) Examen de ingenios para las ciencias (1575), *Electroneurobiología* 1996 Vol. 3 pp 1-322.
- Hutton, C. (1812). A treatise on mensuration, both in theory and practice. The second edition, with many additions. Rivington.
- Ibáñez, J. (Ed.). (1998). Nuevos avances en la investigación social: la investigación social de segundo orden. Anthropos Editorial.
- Imprimerie royale. (1787) Géométrie souterraine, élémentaire, théorique et pratique. Où l'on traite des filons ou veines minérales, & de leurs dispositions dans le seins de la terre; de la trigonométrie appliquée à la connoissance des filons, à la conduite des travaux de mines & à la confection de leurs plans & profils. Avec figures, et des tables qui, sans calcul, indiquent la valeur des deux côtés de tout triangle rectangle, dont l'hypothénuse est connue. Par M. Duhamel,... Tome premier. de l'Imprimerie Royale.
- ISO/TS 55010 2019-09 Asset management _Guidance on the alignment of financial and non-financial functions in asset management
- John, S. (1760). An Experimental Enquiry Concerning the Natural Powers of Water and Wind to turn Mills, and other Machines, Depending on a Circular Motion
- Jones, P. M. (2011). Becoming an engineer in industrialising Great Britain circa 1760–1820. *Engineering Studies*, 3(3), 215-232.
- Journal de l'École Polytechnique troisieme cahier, (1795) Organisation de l'Ecole politechnique" [Journal de l'École Polytechnique troisieme cahier, (1795)]
- Juan, J, 1771 Examen marítimo theorico practico, o tratado de mechanica aplicado a la construccion, conocimiento y manejo de los navios y demas embarcaciones.
- Kagan, D., Ozment, S. E., Turner, F. M., & Rogers, P. M. (1998). The western heritage: Since 1300. Prentice Hall.
- Kriedte, P. (1982). Feudalismo tardío y capital mercantil: líneas maestras de la historia económica europea desde el siglo XVI hasta finales del XVIII.
- Kriedte, P., Schlumbohm, J., & Medick, H. (1986). Industrialización antes de la industrialización
- Krüger, J. Lessons from early 17th century for current mathematics curriculum design.

- Kulacki, F. A. (1999). Engineering, Engineers and the Public Good. *Wm. Mitchell L. Rev.*, 25, 157.
- Langins, J. (1991) La codificación y matematización de la ingeniería francesa en el siglo XVIII_el caso de Bernard Forest de Belidor, *MATHESES Vol. VII/No. 3/agosto 1991*
- Langins, J. (1991). La préhistoire de l'Ecole polytechnique. *Revue d'histoire des sciences*, 61-89.
- Le Blond, G. (1775). Éléments de fortification, contenant la construction raisonnée des ouvrages de la fortification, les systèmes des ingénieurs les plus célèbres, la fortification irrégulière, le tracé des redoutes, forts de campagne, &c., avec un plan des principales instructions pour former les jeunes officiers dans la science militaire. C.-A. Jombert.
- Loidi, J. N. (2004). Las ciencias matemáticas y las enseñanzas militares durante el reinado de Carlos II (Doctoral dissertation, Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea).
- López Peñalver, Juan. (1992). Escritos de López Peñalver, ed. Instituto de Estudios Fiscales, Madrid.
- Lopez, T (1810) Atlas geográfico de España que comprende el mapa general de la península, todos los particulares de nuestras provincias y el del Reyno de Portugal
- Lozoya, H. A. P. (2019). Diseño, construcción y automatización de una máquina de vapor de Newcomen.
- Luengo Gutiérrez, P. (2017). La fortificación del archipiélago filipino en el siglo XVIII: la defensa integral ante lo local y lo global. *Revista de Indias*, 77 (271), 727-758.
- Lusa Monforte, G., & Roca Rosell, A. M. C. (2005). Historia de la ingeniería industrial. La escuela de Barcelona (1851-2001). Documentos de la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona, 2005, núm. 15.
- Lutun, B. (1993). La survie d'une institution de l'Ancien Régime ou L'invention de l'Ecole polytechnique (1789-1801). *Revue historique*, 289(Fasc. 2 (586), 383-420.
- Madrazo, S. M. (1982). Portazgos y tráfico en la España de finales del Antiguo Régimen. *Moneda y crédito*, (160), 39.
- Madrazo, S. M. (2001). La trascendencia de las rutas de transporte en la España moderna. La formación del espacio histórico: transportes y comunicaciones. Duodécimas Jornadas de Estudios Históricos organizadas por el Departamento de Historia Medieval, Moderna y Contemporánea, 169-90.

- Madrazo, S., & Fontana, J. (1984). El sistema de transportes en España: 1750-1850. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Maffei, E. (1877) Centenario de la Escuela de Minas de España: 1777-1877. Imp. de M. Tello.
- Manders, D. (2011). Research and Development in the US Army Corps of Engineers: Improving the Common Stock of Knowledge. Ordnance and Technical Services Branch, St. Louis District, US Army Corps of Engineers.
- Maravall, D. (1988). Desarrollo de la mecánica y de la física matemática en el siglo XVIII. Historia de la Matemática en los siglos XVII y XVIII, 153-178.
- Maroto, M. V., & Piñeiro, M. E. (2006). Aspectos de la ciencia aplicada en la España del Siglo de Oro (Vol. 5). Junta de Castilla y León, Consejería de Cultura y Turismo.
- Martínez, E. A., & Sánchez, F. J. M. (2010). Construyendo la modernidad: nuevos datos y enfoques sobre la introducción del Cálculo Infinitesimal en España (1717-1787). Lluç: Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas, 33(71), 25-56.
- Martín Mora, Pepa (2017) Pensando en el Transporte. Revista del Ministerio de Fomento julio agosto 2017 pp 42-49
- Mata, V., Arruabarrena, Y., & Ottati, A. El sistema de fortificación colonial de montevidео, una experiencia de gestión en el área de ciudad vieja. Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano–Series Especiales, 1(3).
- Matritense, R. S. E. (1780). Memorias de la Sociedad Económica (Vol. 2). Antonio Sancha.
- Maya, J. O. M. (2011). La Cartografía Española en America durante el siglo XVIII: La actuación de los Ingenieros Militares. Navigator, 7(14), 20-31.
- Medrano S (1688) Los seis primeros libros onze, y, doze de los Elementos de Euclides Megareense.. en casa de Lamberto Marchant.
- Medrano S (1689) El Ingeniero de la moderna arquitectura militar. Brusselas Lamberto Merchant
- Melero, J. E. G. (1991). Arquitectura y burocracia: el proceso del proyecto en la Comisión de Arquitectura de la Academia (1786-1808). Espacio Tiempo y Forma. Serie VII, Historia del Arte, (4).
- Merdinger, C. J. (1949). A history of civil engineering (Doctoral dissertation, University of Oxford).

- Merino, E. (1994). Los autores españoles de los tratados "De Re Military": fuentes para su conocimiento, los preliminares.
- Miguel Copin Editor 1790 Definiciones y elementos de todas las ciencias: obra util para la educacion de la juventud. P. Aznar, 1784. UNED, Madrid 2014
- Míguez, Á. J. (2017) Fundamentos del diseño industrial. Eudeba.
- Miyoshi, K., Maeda, C., & Masuo, R. (1988). Miyoshi, K., Maeda, C., & Masuo, R. (1988). Development of a torsion balance for adhesion measurements.
- Mokyr, J., & de la Población, y. T. (1987) . La Revolución Industrial y la Nueva Historia Económica (y II). Revista de Historia económica, 5(03), 441-482.
- Monge, G. (1794). Développemens sur l'enseignement adopté pour l'Ecole centrale des Travaux publics. Décrétée par la convention nationale , Le 21 Ventôse, an 2e . de la République Cf. J. Langins, op. cit. ci-dessus, Annexe I, 227-269.
- Monge, G. (1798) Géométrie descriptive: leçons données aux écoles normales, l'an 3 de la République. Baudouin, Imprimeur du Corps législatif et de l'Institut national.
- Monge, G. (1811) Géométrie descriptive. J. Klostermann fils.
- Monge, G. (1803). Geometría descriptiva, lecciones dadas en las escuelas normales en el año tercero de la República.
- MOP (1950) Plan de modernización de la red de carreteras españolas
- Moreno Martín, J.M. (2019) Instalaciones en tierra para la construcción naval: La Arquitectura de los arsenales de la Corona española en el siglo XVIII, Cuatro Siglos de ingeniería española en ultramar, edita ASICA ISBN 978-84-09-09682-4, 2019
- Moreno Moreno, F. (2018). Extranjeros en las academias de la Real Armada: entre la formación y el prestigio internacional, 1717-1824. Proyecto de investigación:.
- Morrison, E. D., Ghose, A. K., Dam, H. K., Hinge, K. G., & Hoesch-Klohe, K. (2011, December). Strategic alignment of business processes. In International Conference on Service-Oriented Computing (pp. 9-21). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Moscoso, J. (2005). Ciencia y técnica en la Enciclopedia. Diderot y D'Alembert.
- Mountain, A. C. (1900). President's Address 1896.
- Moureau, F. (1984). Diderot et le portrait de Perronet: trois lettres inédite
- Moureau, F. (1984). Diderot et le portrait de Perronet: trois lettres inédites. Dix-huitième siècle, 16(1), 243-252.

- Muller, J. (1736). A Mathematical Treatise: Containing a System of Conic-sections; with the Doctrine of Fluxions and Fluents, Applied to Various Subjects; Viz. to the Finding the Maximums and Minimums of Quantities; Radii of Evolution, Refraction, Reflection; Superficial and Solid Contents of Curvilinear Figures; Rectification of Curve-lines; Centers of Gravity, Oscillation and Percussion. As Also to the Resolution of a Select Collection of the Most Useful, and Many New, Physicomathematical Problems. T. Gardner.
- Muller, J. (1774). A Treatise Containing the Elementary Part of Fortification, Regular and Irregular... J. Nourse.
- Muller, J. (1807). A treatise containing the elementary part of fortification, regular and irregular... For the use of the Royal Academy of Artillery at Woolwich. Illustrated with thirty-four copper plates. F. Wingrave, successor to Mr. Nourse.
- Muller, J., Sánchez Taramás, M., & Paunier, D. (1769). Tratado de fortificación, ó Arte de construir los edificios militares, y civiles/escrito en ingles por Juan Muller; traducido en castellano, dividido en dos tomos y aumentado con notas... por D. Miguel Sanchez Taramas...; tomo primero.
- Muñoz Álvarez, J. (2007). Anatomía de la ingeniería. Silva de varia lección. Madrid: Fundación ESTEYCO.
- Muñoz-Lecanda, M. C., & Román-Roy, N. (1999). Origen y desarrollo histórico del cálculo infinitesimal. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Ocampo Suárez-Valdés, J. C. (2011). La ilustración económica española en el espejo inglés. Dieciocho: Hispanic enlightenment.
- Olcina, A. G. (2014). Perduración de los Planes Hidráulicos en España. Boletín CF+ S, (27), 7-27.
- Oliveras, J. (1998). Nuevas poblaciones en la España de la Ilustración (Vol. 2). Fundación Caja de arquitectos.
- Olivier, T. (1847). Applications de la géométrie descriptive aux ombres, à la perspective, à la gnomonique et aux engrenages. Carilian-Goeury et V. Dalmont.
- Ordenanza de S.M 1772 Ordenanza de S.M. para el servicio del cuerpo de ingenieros de marina en los departamentos, y a bordo de los navios de guerra 1772
- Ordenanzas, R. (1783). para la dirección, régimen y gobierno del importante cuerpo de la minería de Nueva España, y de su real tribunal general. De orden de su Magestad. Madrid, año de 1783.

- Oroz, A. S. (2016). La formación del ingeniero de caminos y el entorno socio económico. Historia argumentada de los sucesivos planes de estudio para la formación del ingeniero de caminos en el siglo XIX (Doctoral dissertation, Universidad de Burgos).
- Padilla y Arcos, P. (1756). Curso militar de mathematicas, sobre las partes de estas ciencias, pertenecientes al Arte de la Guerra para el uso de la Real Academia establecida en el Quartèl de Guardias de Corps...[tratado 4 y 5].
- Padrón Díaz, C. (1988). El arquitecto y el derecho: formación, atribuciones y responsabilidades (Doctoral dissertation).
- Padrón Díaz, C. (1988). El arquitecto y el derecho: formación, atribuciones y responsabilidades (Doctoral dissertation).
- Padrón, R. (2015). Las Indias olvidadas. Filipinas y América en la cartografía imperial española. Terra Brasilis (Nova Série). Revista da Rede Brasileira de História da Geografia e Geografia Histórica, (4).
- Pagán, E. A., & Fuentes, C. M. (2018). La seda valenciana: turismo de patrimonio. Papers de Turisme, (61), 18-33.
- Parra, D., & Pelayo, F. (1996). Christian Herrgen y la institucionalización de la mineralogía en Madrid. Asclepio, 48(1), 163-181 <<http://books.openedition.org/pur/45892>>. ISBN: 9782753555662. DOI: <https://doi.org/10.4000/books.pur.45892>."
- Payen, J. (1969). Lueurs sur la genèse de l'enseignement technique supérieur au CNAM (1819). Revue d'histoire des sciences et de leurs applications, 22(1), 70-75.
- Peñalver Ramos, L. F. (1996). El complejo manufacturero de la Real Fábrica de Sedas de Talavera de la Reina (1785).
- Pesoa Marcilla, M. Sabaté Bel, J. 2019 Ciudad y Territorio, Cuatro siglos de Ingeniería española en ultramar, ASICA 2019
- Picon, A. (1992). L'invention de l'ingénieur moderne. L'Ecole des Ponts et Chaussées 1747-1851.
- Pleguezuelo, M. J. N. (2008). La Real Fábrica de Naipes de Macharaviaya. Péndulo: revista de ingeniería y humanidades, (19), 246-263.
- Portilla, P. G. (1986). El proceso de formación de la ingeniería civil. La creación del cuerpo y escuela de ingenieros de caminos. In Actas del III Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias: San Sebastián, 1 al 6 de octubre de 1984 (pp. 103-115). Editorial Guipuzcoana

Prony, R. (1790). Nouvelle architecture hydraulique: contenant l'art d'élever l'eau au moyen de différentes machines, de construire dans ce fluide, de le diriger, et généralement de l'appliquer, de diverses manieres, aux besoins de la société (Vol. 2). Firmin Didot.

Puche Riart, O., & Mata Perelló, J. M. (1992). Enseñanza de Mineralogía y Petrología con especial atención a las Escuelas de Minas.

Quijada, J. H. (1991). Las Reales Fábricas. In Historia de la empresa pública en España (pp. 51-88). Espasa Calpe.

Quijada, J. H. (2017). Un empeño fallido de reindustrialización: Las Reales Fábricas del siglo XVIII en Castilla y León. In Instituciones políticas, comportamientos sociales y atraso económico en España (1580-2000): Homenaje a Ángel García Sanz (pp. 211-246). Ediciones Universidad de Salamanca.

Quijano, P. R. Británica: la impresión final Buscar.

Ramírez, O. J. (2004). El beneficio de los minerales de plata por amalgamación. Agosto 18, 2014, Universidad Autónoma de Zacatecas [En línea]. Acceder al link aquí.

Ramón Teijelo, J. (2002). Aproximación al Real Conservatorio de Artes (1824-1850): precedente institucional de la ingeniería industrial moderna. Quaderns d'història de l'enginyeria. 2002-2003, vol. 5.

Ramón Teijelo, J. (2012). El Real Conservatorio de Artes (1824-1887) un intento de fomento e innovación industrial en la España del XIX. Universitat Autònoma de Barcelona,.

Raymundo Sanz, 1749 DICCIONARIO MILITAR, O RECOLECCIÓN ALPHABETICA de todos los términos propios del Arte de la Guerra. Explicación, y practica de los trabajos que sirven al Ataque, y Defensa de las Plazas: Sus ventajas, y defectos; según sus diferentes situaciones; con un detalle Histórico del origen, y naturaleza de diferentes especies; tanto de Empleos antiguos, y modernos; como de las Armas que se han usado en diferentes tiempos de la Monarquía Francesa, hasta hoy. BREVE, Y EXTRACTA EXPLICACIÓN de la obligación de los Oficiales de Infantería, Cavallería, Dragones, Artillería, è Ingenieros; sea en Guarnicion, ò Campaña, según el método preferente de hacer la Guerra”

Real Academia Española, 1726 DICCIONARIO DE LA LENGUA CASTELLANA: EN QUE SE EXPLICA EL VERDADERO SENTIDO DE LAS VOCES, SU NATURALEZA Y CALIDAD, CON LAS PHRASES O MODOS DE HABLAR, LOS PROVERBIOS O REFRANES, Y OTRAS COSAS CONVENIENTES AL USO DE LA LENGUA. DEDICADO AL REY NUESTRO SEÑOR DON PHELIPE V (QUE DIOS GUARDE) A CUYAS REALES EXPENSAS SE HACE.

Real Cedula de 1783 sobre profesiones viles Real Cedula de S.M y señores de Consejo por la cual se declara que no solo el oficio de curtidor, sino tambien los demas artes y oficios

- Rejón de Silva, D. A. (1788) Diccionario de las nobles artes: para instruccion de los aficionados, y uso de los profesores: contiene todos los terminos... de la Pintura, Escultura, Arquitectura y Grabado... segun el método del Diccionario de la Lengua Castellana compuesto por la Real Academia Española/por DDARD S.
- Rejón de Silva, D. A. (1788). Diccionario de las nobles artes para instruccion de los aficionados, y uso de los profesores... En la imprenta de D. Antonio Espinosa.
- Rey-Pastor, J. (1934) Los matemáticos españoles del siglo XVI (No. 1). Junta de Investigaciones Histórico-Bibliográficas
- Río, A. M. D. (1804). Tablas mineralógicas dispuestas según los descubrimientos mas recientes é ilustradas con notas por DLG Karsten [...] Tercera edicion alemana de 1800.
- Rodríguez Campomanes y Sorriba, P. (1774). Discurso sobre el fomento de la industria popular.
- Rodriguez de la Flor Fernando (1983) El fuerte de la Concepción: una obra ejemplar de la ingeniería militar en el siglo XVIII. Revista de historia militar año XXVII, 1983 Núm. 54. -51-62
- Rodríguez Villa, A. (1882). Don Sebastián Fernández de Medrano. Director de la Real Academia Militar de Bruselas (1646-1705). Revista Contemporánea, 147, 1-27.
- Rojas, Cristóbal de Sánchez (1598) Teorica y practica de fortificacion conforme las medidas y defensas destos tiempos A Res. 72/4/18 , Luis, 1590-1627 imp
- Roncal, A. M. M. (1996).Desarrollo tecnológico y proyectismo ilustrado en la Real Sociedad Económica Matritense (1775-1808). Lluill: Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas, 19(36), 161-176.
- Rumeu de Armas, A. (1980). Ciencia y tecnología en la España ilustrada. La Escuela de Caminos y Canales. Madrid: Turner.
- Rumeu de Armas, A. (1990). El Real Gabinete de Máquinas del Buen Retiro. Una empresa técnica de Agustín de Betancourt.
- Sáez, H. C., Sánchez, J. E., & Moncada, O. (1988). De Palas a Minerva: la formación científica y la estructura institucional de los ingenieros militares en el siglo XVIII (Vol. 23). Editorial CSIC-CSIC Press.
- Salomon, J. J. (1994). GRÉGOIRE, Henri-Baptiste (1750-1831). Fondateur du Conservatoire national des arts et métiers (1794) et démonstrateur (1799-1801). Publications de l'Institut national de recherche pédagogique, 19(1), 586-595.
- Sánchez Miñana, J. (2019). Los Primeros Facultativos de la Inspección de Caminos y Canales (1799). Quaderns d'història de l'enginyeria, 17, 67-111.

- Sánchez, A. (2010). Technology Transfer and Industrial Location. The Case of the Cotton Spinning Industry in Catalonia (1770-1840). *History of Technology*, 30, 95.
- Sánchez, J. M. (2019). Las revoluciones de Lavoisier. *Investigación y ciencia*, (515), 88-89.
- Santacana, J. E. V. (2005). La Fundación de Georgetown 1771. Patrick Mackellar y el Urbanismo Militar Británico. *Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)*.
- Santalla López, M. (2006). La Maestranza de los Reales arsenales de Marina de Ferrol en el siglo XVIII.
- Sanz, M. M. V. S. (1990, January). Docencia y titulación en las Reales Academias. Control académico en la construcción. In *Anales de Historia del Arte* (Vol. 2, pp. 155-178).
- Sarton, G. (1934). Simon Stevin of Bruges (1548-1620).
- Sástago, C. D. (1796). Descripción de los canales Imperial de Aragón y Real de Tauste. Ministerio de Fomento, Madrid.
- Secretaría de Guerra Legajo 2994 "Proyecto sobre establecimiento formal de la Academia de Barcelona, dispuesto por el Director de ella D. Matheo Calabro año de 1724"
- Shinn, T. (1978). Des corps de l'Etat au secteur industriel: genèse de la profession d'ingénieur, 1750-1920. *Revue française de sociologie*, 39-71.
- Sigaud-Lafond, J. A. (1787). Elementos de Física teórica y experimental. En la imprenta Real.
- Simón Díaz, J. (1952). Historia del Colegio Imperial de Madrid.
- Simon, H. A. (1996). The sciences of the artificial (Vol. 136).
- Simpson, T. (1747). Elements of Plane Geometry: To which are Added, An Essay on the Maxima and Minima of Geometrical Quantities, and a Brief Treatise of Regular Solids; Also, The Mensuration of Both Superficies and Solids, Together with the Construction of a Large Variety of Geometrical Problems. By Thomas Simpson, Fellow of the Royal Society, and Professor of Geometry in the Royal Academy at Woolwich. Designed for the Use of Schools. author.
- Solà, À. (2010). Silk Technology in Spain, 1683-1800. Technological Transfer and Improvements. *History of Technology*, 30, 111.
- Suárez, M. S. (2005). Institucionalización de la ingeniería y profesiones técnicas conexas: misión y formación corporativa. In *Técnica e ingeniería en España* (pp. 165-262).
- Tejedo-Herrero, F., & Gago-Jover, F. (2006). El Diccionario militar de Raimundo Sanz en el contexto de la lexicografía especializada del siglo XVIII. *Dieciocho*, 29(1), 85.

- Terreros y Pando, E. (1786). Diccionario castellano. Con las voces de Ciencias y Artes.
- Thomson, J. (2001). La introducció de les màquines jenny a Barcelona (1784-1789): les primeres etapes en la creació d'una tradició de construcció de maquinària. *Recerques: història, economia, cultura*, 125-146.
- Tinoco, J. (1951). Apuntes para la historia del Observatorio de Madrid. Talleres del Instituto Geográfico y Catastral.
- Tinoco, S. L. V. (2007). Juan López de Peñalver, un malagueño casi desconocido. *Péndulo: revista de ingeniería y humanidades*, (18), 86-99
- Tofiño de San Miguel, V. (1789). Atlas marítimo de España.
- Tosca, T. V. (1757) Compendio matemático: en que se contienen todas las materias principales que tratan de la cantidad TOMO I en la imprenta de Joseph Gacia.
- Tosca, T. V. (1757) Compendio matemático: en que se contienen todas las materias principales que tratan de la cantidad. Tomo II en la imprenta de Joseph Gacia.
- Tosca, T. V. (1757) Compendio matemático: en que se contienen todas las materias principales que tratan de la cantidad. Tomo V en la imprenta de Joseph Gacia.
- Valenzuela, J. G. (1999). Vigencia del Principio de Territorialidad en el moderno Derecho de Patentes y su adecuación a los resultados de la investigación científica. *Revista Chilena de Derecho*, 611-625.
- Valero, A. D. L. C. R. (2015). Arte y Ciencia: El Atlas Marítimo de España de Vicente Tofiño de San Miguel. *Imafronte*, (24), 73-102.
- Valero, E. J. (2016). Ingenieros e ingenios en la Real Fábrica de Cristales. In *Libros, caminos y días: el viaje del ingeniero* (pp. 125-137). Fundación Juanelo Turriano.
- Vauban, S. L. P. (1737). *De l'attaque et de la defense des places*.
- Vera, F. (1931). *Historia de la matemática en España* (Vol. 2). V. Suárez.
- Vérin, H. (1984). *Le mot: ingénieur. Culture technique*.
- Vérin, H. (1993). *La gloire des ingénieurs*. Albin Michel.
- Vérin, H. (1998) *Ingénieur»:«L'identité de " l'ingénieur" _ quelques repères historiques. Recherche & formation*, 29(1), 11-20.
- Vitrubio Polión, M. (1787) Los Diez libros de arquitectura de M. Vitruvio Polion traducidos del latín y comentados por Don Joseph Ortíz y Sanz,... Impr. real.

Von Tunzelmann, G. N. (1997). Engineering and innovation in the industrial revolutions. *Interdisciplinary Science Reviews*, 22(1), 67-77.

Ward, B. (1787). Proyecto económico: en que se proponen varias providencias dirigidas á promover los intereses de España... por la viuda de Ibarra, hijos y compañía.