

INGENIERÍA MILITAR E INGENIERÍA CIVIL, DOS INGENIERÍAS INTIMAMENTE VINCULADAS

MANUEL FERNÁNDEZ CÁNOVAS

Dr. Ingeniero de Armamento y Construcción. Catedrático

ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid

RESUMEN: Indiscutiblemente en la historia de la civilización la ingeniería ha jugado un papel trascendental en el bienestar de la sociedad, papel que ha ido evolucionando progresivamente de acuerdo con la época en que nos situemos. Dentro de la ingeniería, la relacionada con la construcción es la que más impacto social ha tenido, pues gracias a la creación de infraestructura de todo tipo se ha conseguido, a pesar de lo que indican algunos detractores, hacer al planeta más habitable. En este artículo se resumen algunos de los acontecimientos históricos que demuestran el papel desempeñado dentro de la construcción, durante siglos, por los ingenieros militares y hasta la aparición de la ingeniería civil.

PALABRAS CLAVE: INGENIERÍA CIVIL. INGENIERÍA MILITAR. FORTIFICACIÓN. ENSEÑANZA MILITAR.

ABSTRACT: Unquestionably in the history of civilization engineering has played a fundamental role in the well-being of society, a role which has changed gradually depending on the era we live in. In the science of engineering, the one related with construction has had the most social impact, due to the creation of all kinds of infrastructures that have been possible to achieve – in spite of some detractors – to make a more habitable planet. In this paper we summarize some historical happenings which demonstrate the role of military engineers during centuries in construction until the creation of civil engineering.

KEYWORDS: CIVIL ENGINEERING. MILITARY ENGINEERING. FORTIFICATION. MILITARY EDUCATION.

ANTECEDENTES

Este artículo trata de exponer de forma sucinta el papel desempeñado por la ingeniería en el desarrollo de la construcción en España, aunque en ocasiones tengamos que referirnos, forzosamente también, al prestado a su desarrollo en Europa, dado la influencia y vinculación que siempre ha tenido la ingeniería europea con la española. Somos conscientes que el tema tocado es de una gran importancia y amplitud y que sobre él podrían escribirse muchos tomos por historiadores muy cualificados, pues son muchos los acontecimientos que forman la historia de la ingeniería de la construcción y en los que han intervenido figuras muy relevantes, desde el punto de vista técnico y científico, y que han sido los verdaderos forjadores de la misma.

Al hablar de ingeniería no queremos hacer distinción entre la *ingeniería militar* y la llamada *ingeniería civil*, dado que ambas han estado muy unidas durante bastantes siglos a una misma figura, sin apellidos, llamada "ingeniero".

Como es sabido hubo una época, bastante extensa por cierto, en la que la arquitectura y la ingeniería la desempeñaban maestros o técnicos que podríamos considerar como "arquitectos". Con el paso del tiempo al complicarse la construcción y diversificarse las técnicas, los papeles del arquitecto y del ingeniero quedan totalmente diferenciados.

Aunque parezca paradójico, durante bastantes siglos y por razones de defensa, la construcción queda en manos de los ejércitos y, al ser estos los que más conocimientos y experiencia acumulaban era lógico que tuvieran que ocuparse también de la construcción de caminos

y abastecimiento de aguas, que en definitiva estaban en aquellos tiempos bastante relacionados con la defensa. Como consecuencia de esto, la ingeniería militar aplicada a la construcción y creación de infraestructura ha desarrollado un papel muy importante durante siglos en toda Europa; al principio, sin una organización estructurada que en España termina consiguiéndose a principios del siglo XVIII.

El "ingeniero civil", como tal, se puede decir que aparece en Inglaterra con John Smeaton quién en 1750 acuña el nombre, quizá para diferenciarlo del "ingeniero militar", sin darse cuenta que ingenieros civiles eran también los de minas, los metalúrgicos, etc., existentes ya en aquellos tiempos.

Durante muchas décadas, especialmente en el siglo XVIII, ingenieros militares e ingenieros civiles han trabajado conjuntamente en obras de edificación, de construcción de carreteras, puentes, puertos, etc. Es interesante a este respecto leer el artículo publicado en la Revista de Obras Públicas por A. Sánchez Rey, "Los caminos de España hacia 1750 y los medios para su financiación, según un informe de un ingeniero de la época" —el ingeniero de la época era el gaditano Capitán D. Miguel Roncali—, y leer también el libro "Puentes militares y paso de ríos" de Suárez de la Vega, y de Lagarde Carriquiri y en el que se describen los puentes construidos por ingenieros militares y que llaman la atención por su importancia y especialmente, por las técnicas y medios tan ingeniosos que utilizan, como ocurre, por ejemplo, en el puente colgante sobre el río Agus en Filipinas, construido por el Comandante de Ingenieros D. Rafael Rivera.

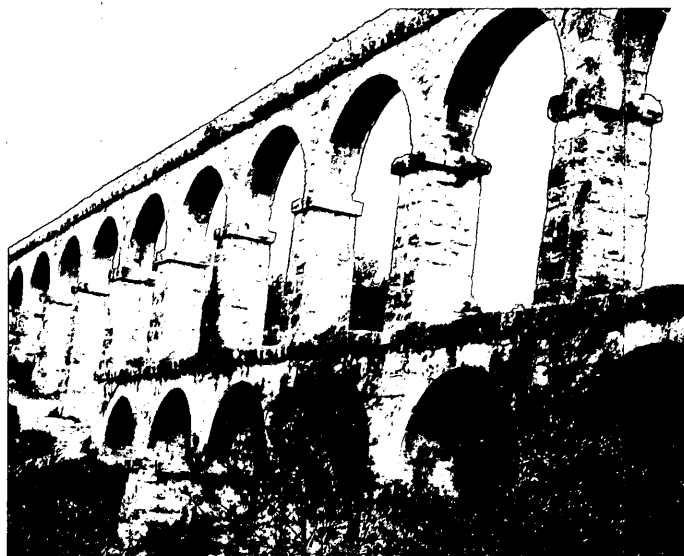
LA INGENIERÍA ANTES DE LA RECONQUISTA

Se puede decir que la construcción, como tal, aparece con el hombre que la emplea de forma rudimentaria durante la prehistoria en la edificación de chozas y palafitos con los que se protege de las inclemencias del tiempo y del ataque de las fieras, así como en la erección de monumentos funerarios. Es en Mesopotamia, Asiria y Egipto, donde se desarrolla, aunque es en Grecia y posteriormente en Roma, donde se perfecciona. La ingeniería tiene un gran desarrollo y perfección en Roma como lo demuestra la construcción de abastecimientos de agua a poblaciones con toda la infraestructura de canales y acueductos que esto conlleva, el saneamiento de ciudades, las defensas y las vías de comunicación (calzadas y puentes) que tanta importancia tuvieron en el Imperio, hasta el punto que, solamente en España y Baleares la longitud de las calzadas romanas alcanzaba la considerable cifra de 30.000 kilómetros. Puede decirse que mientras Grecia fue Arquitectura, Roma fue Ingeniería.

Las técnicas utilizadas en la edificación por los romanos eran muy depuradas empleando, ya en aquellos tiempos, en sus edificios públicos el hormigón y el ladrillo, construyendo grandes bóvedas, como la del Panteón de Roma de 44 m de luz, realizada en el siglo II (a.C.) e impresionantes acueductos. Estas técnicas no fueron superadas en Europa hasta cerca del 1800.



Arriba, calzada romana que salva la sierra de Gredos por el puerto del Pico, Avila, abajo acueducto de Las Ferreras en Tarragona.



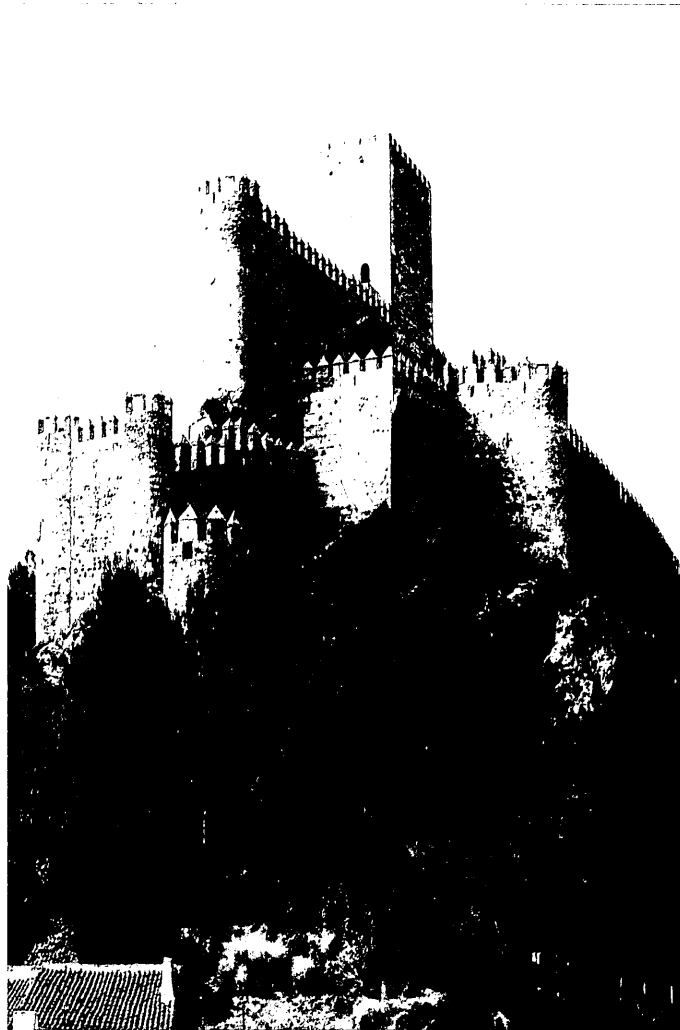
Con el fracaso de Augusto en lograr la unificación de la Europa Occidental al no poder conquistar la Germania tras su derrota en la batalla de Teoloburgo y con la posterior caída del imperio romano por los bárbaros, Europa entra en una recesión constructiva muy importante, mientras que esto no ocurre en los países islámicos mediterráneos ni incluso en otros más lejanos como China e India.

El resurgir de la construcción europea empieza en la época medieval con la erección de castillos y posteriormente de catedrales. En esa misma época, y gracias al Islam, en España existía un desarrollo técnico, e incluso científico, muy superior al del resto de Europa, como lo demuestran los conocimientos de astronomía, química y medicina existentes gracias a la influencia de Damasco y Bagdad y la importancia y perfección de los sistemas de riego y diques construidos en nuestro país y superados únicamente por los romanos. Hay que tener en cuenta que gran parte de los conocimientos y comprensión de las culturas griega y romana la adquirieron los europeos a través de los árabes que fueron los herederos y depositarios de estas culturas.

Una gran parte de los conocimientos logrados por los árabes en enseñanza y en técnica y que se depositaron en España durante la Reconquista, fueron absorbidos posteriormente por la cultura europea en un proceso que, se puede decir, duró dos siglos y finalizó aproximadamente en el año 1100.

Centrándonos de nuevo en la ingeniería, vemos que durante toda la Edad Media los reyes y los nobles sintieron la necesidad de disponer de hombres, que sin ser precisamente soldados, tuviesen los conocimientos y experiencia suficientes que les permitieran resolver los problemas del ataque y la defensa propios de las guerras. En esta época los castillos eran fortificaciones elementales que no exigían una gran especialidad y los construían los arquitectos y alarifes encargados de las obras civiles que, generalmente, solían salir de los obreros aventajados. Con el paso del tiempo los diseñadores de armas y construcciones defensivas tendrían que poseer unos conocimientos más amplios y una experiencia más notable, no siendo de extrañar que individuos pertenecientes a la milicia empezasen a ocuparse de estos temas y que algunos de ellos alcanzasen gran prestigio lo que llevó a que los ejércitos de aquella época viesan la necesidad de formar a estas personas.

Las prolongadas contiendas de la Edad Media, fundamentalmente en España entre el Islam y el Cristianismo, hicieron que se diera gran importancia a la construcción de castillos, muchos de los cuales han llegado hasta nosotros mostrándonos la exquisita técnica y el gran sentido común de los arquitectos que los diseñaron. En aquella época el castillo era un elemento defensivo de extraordinaria importancia por su enclave, generalmente en lo alto de una colina rocosa de laderas escarpadas, por la resistencia de sus muros y por su diseño, como lo demuestran el Alcázar de Segovia, los castillos de Peñafiel, de Olite, Peñíscola, La Mota, etc. La construcción de ciudades amuralladas es otro tipo de fortificación medieval y ejemplos típicos de ellas, que hoy día son motivo de orgullo, son las murallas de Ávila y



Castillo de Almansa en la provincia de Albacete.

las de Lugo, aunque las de esta última ciudad ya tenía existencia en época de los romanos.

Durante y después de la Reconquista, los Reyes Católicos hicieron una gran labor de restauración de castillos y de construcción de puentes y caminos. Los encargados de realizar estos trabajos recibían nombres diferentes según el tipo e importancia de los mismos y así existían: arquitectos, maestros mayores, maestros de fortificación, obreros mayores, etc. Estos técnicos generalmente recibían las consignaciones de la Hacienda Real u otras entidades. En 1474, los Reyes Católicos mediante cédula prohiben la construcción de nuevos castillos en España, tal vez apoyándose en razones políticas.

Conviene resaltar, a propósito de la ingeniería, que el primer puente sobre pontones del cual se tiene referencia lo construyeron los ingenieros militares en la toma de Sevilla por Fernando III el Santo, en 1248, para facilitar el paso de las tropas por el río Guadalquivir. De aquí que San Fernando fuese elegido patrón de los ingenieros militares desde hace muchos años.

LA INGENIERÍA DESDE LA RECONQUISTA HASTA EL SIGLO XVI

En la Edad Media el castillo feudal era la base de la defensa; de su importancia militar, por lo que de fortaleza tenía y por lo elegido de su enclave, nadie dudaba. Es en la época de la Reconquista cuando las defensas y puntos fuertes tomados a los árabes y estratégicamente bien situados, sirvieron de base a los Reyes Católicos para utilizar o reformar aquellas fortalezas y alcazabas que tomaban al enemigo, o bien para construir nuevos castillos dando lugar a líneas defensivas que podemos considerar modélicas en sus tiempos por lo bien concebidas que estaban.

Tras la toma de Granada, los Reyes Católicos conscientes de la importancia que tendría la Artillería en el futuro, el 2 de Mayo de 1502 nombran "Proveedor y Veedor General de Artillería" a Mosén San Martín quién dispondría de tres "Capitanes de Artillería" (Diego de Vera en Italia, Juan Rejón en Andalucía y Ramiro López en el Rosellón), con esto se establece la primera jerarquía corporativa que luego se extendería. De esta forma nacía la Artillería Real que se establecería en las Plazas de España y en los trenes de artillería de Italia, Alemania, Francia, Flandes, etc.

Los ingenieros seguirían en estos tiempos siendo individualidades aunque sometidos a la autoridad y fiscalización de los Capitanes Generales de Artillería que actuaban al mismo tiempo como Inspectores Generales de Fortificación. La vinculación del ingeniero a la artillería era tan fuerte que no era extraño verlo actuar unas veces como ingeniero y otras como artillero.

Tras la Reconquista, España se dividió administrativamente en regiones y por primera vez aparecen las Comandancias de Ingenieros, dependientes de Artillería, que unifican sistemas y criterios para la ejecución de obras de defensa. Sus cometidos estaban dirigidos no sólo al ámbito de la ingeniería militar, aunque éste fuese predominante, sino también al que podríamos denominar civil dado que las Comandancias diversificaban sus actividades con la construcción de caminos, puentes, canales, etc. Hay que tener en cuenta que ya durante las campañas de los Reyes Católicos en Andalucía junto a las tropas combatientes se encontraban los cuerpos de trabajadores que con herramientas adecuadas habilitaban caminos, realizaban obras de tierra y construían obras de fábrica y puentes. Estos cuerpos de trabajadores con el tiempo formarían los "Parques y Talleres del Cuerpo de Ingenieros del Ejército". Su organización era muy variable en función de las campañas en las que les tocaba actuar: en España; con el Gran Capitán en Italia; con el Duque de Alba en Alemania; Flandes, etc. Entre sus misiones estaba la construcción de fortificaciones, recintos amurallados de poblaciones, líneas de circunvalación, etc.

Realmente, los trabajos de fortificación empezaron a compliarse de forma importante en los siglos XV y XVI al empezar a aplicarse la pólvora que había sido descubierta por el fraile alemán Bertoldo Schwartz en el siglo XIV.

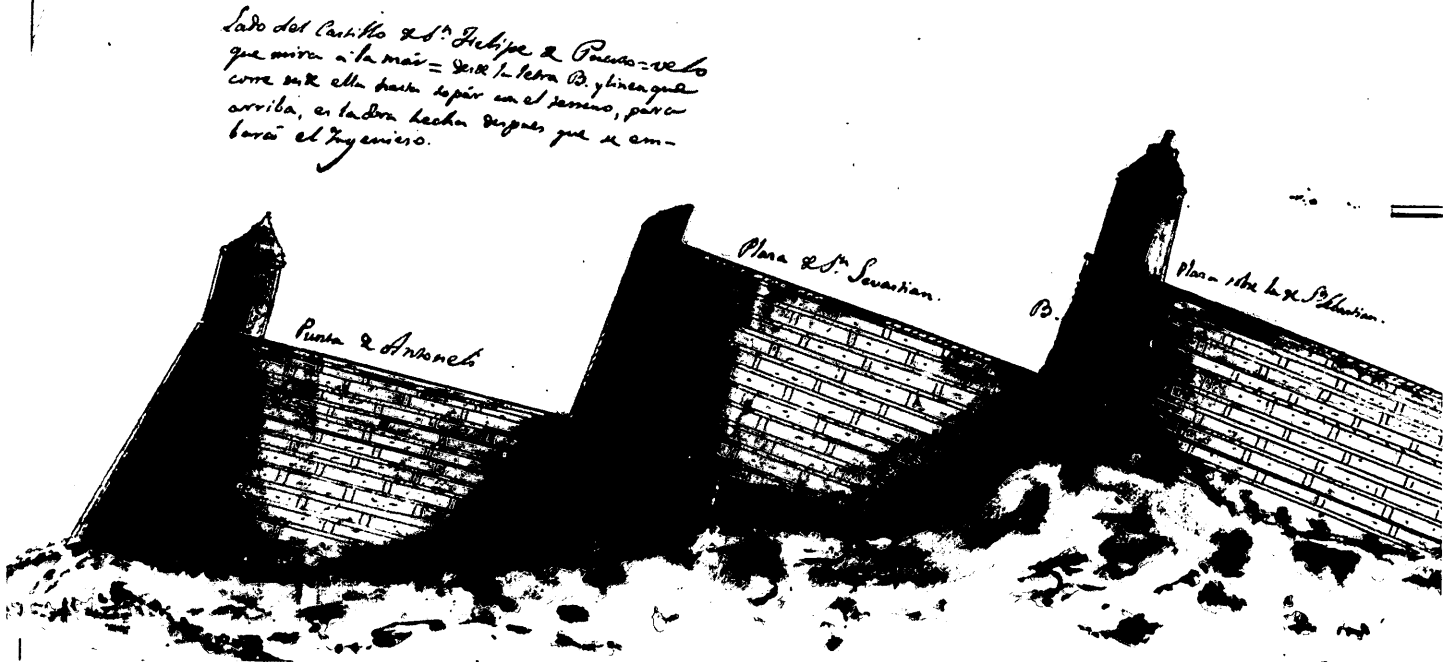
Los primeros que emplearon la pólvora como propulsor de proyectiles fueron los árabes, siendo la primera descripción de un arma de fuego la aparecida en un documento árabe del 1304. Alfonso X en las crónicas del Sitio de Niebla relata como "*los moros se defendían lanzando piedras y dardos con máquinas y tiro de trueno de fuego*". En los sitios de Alicante (1331), de Tarifa (1340) y Algeciras (1342) se empleó el mismo sistema que en Niebla.

Hasta tal punto es importante el invento de la pólvora que muchas Historias Militares se dividen en dos épocas: la de antes y la de después de la pólvora. La aplicación de la pólvora hace que desaparezcan las ballestas y aparezca Artillería con lo cual el concepto defensivo de fortificación tiene que cambiar totalmente debido a la mayor eficacia y precisión de los cañones. Las fortificaciones antiguas evolucionarían aumentando sus adarves y creándose en ellas baluartes y torreones para situar las piezas de artillería. Estas modificaciones no nacen de la noche al día sino que son fruto de un continuado estudio y experimentación. Al complicarse la fortificación se hace necesaria su separación de la arquitectura civil apareciendo los Ingenieros Militares, los Maestros Mayores de Fortificación, etc., que eran profesionales con un amplio bagaje de conocimientos que les permitía no sólo construir las fortificaciones sino también dirigir las operaciones de ataque y defensa de fortalezas. Estos ingenieros militares no recibían formación alguna en academias o escuelas, dado que en aquellos tiempos éstas no existían, formándose, generalmente, al lado de ingenieros o arquitectos de experiencia, muchos con grado militar y algunos de ellos procedentes de Italia, Flandes o Alemania, y de los que aprendían matemáticas, geometría, dibujo y fortificación.

El conseguir el mayor alcance de los proyectiles, su mayor precisión y eficacia frente al blanco, la explicación de las leyes que regulan la trayectoria de los proyectiles, el que las pólvoras fuesen más potentes y los cañones más resistentes, dio lugar a que la artillería se convirtiera en una ciencia en la que el conocimiento de las matemáticas, la física y la química era totalmente imprescindible. Por otra parte, la fortificación como arte y ciencia destinada a la defensa de las plazas se complica al mismo tiempo de forma notable ante la cada vez mayor eficacia de la artillería, haciendo necesario que el ingeniero poseyese unos conocimientos amplios de geometría, matemáticas, materiales de construcción y técnicas constructivas.

Durante los siglos XV y XVI tienen también lugar desarrollos importantes en la dinámica moderna que permiten abandonar los postulados de Aristóteles que se habían estado utilizando prácticamente hasta entonces y que quedaban obsoletos.

Se puede decir que fue Leonardo da Vinci el creador del armamento tal como hoy se concibe. En sus trabajos habla de los morteros, cañones de ánima rayada, revólveres, espoletas para proyectiles cargados de explosivos, e incluso de un carro de combate. Realmente Leonardo fue el iniciador de la nueva etapa de lo que serían las armas modernas.



"Escenographia" del frente de tierra que mira a la bahía de Portobelo, comenzado a construir en 1567 por el ingeniero Bautista Antonelli, del "Castillo de San Felipe de Sotomayor" (Copia de Aparici. Serv. Hist. Mil. Madrid).

Mientras los siglos XIV y XV se caracterizan por el desarrollo de la construcción, especialmente, de castillos, alcázares, atalayas y torres vigías de defensa de la costa, el siglo XVI se distingue por el desarrollo de la construcción de palacios y edificios de gran calidad arquitectónica debido a arquitectos de la talla de Juan de Herrera, constructor de El Escorial, de la fachada de la Catedral de Valladolid, de la Casa de Contratación de Sevilla, etc., creador del estilo herreriano, pero a quien se debe también el haber llevado a cabo trabajos de fortificación de una gran importancia en España, junto con Cristóbal de Rojas, Juan de Oviedo, etc.

Algunos ingenieros de aquella época procedían del extranjero como es el caso de Juan Bautista Antonelli quien dirigió varias obras de fortificación en España e incluso en ultramar, siendo de destacar, entre otras, los castillos del Morro y de la Punta en La Habana empezados a construir en 1581. A Antonelli se le debe el enlace fluvial Madrid-Lisboa por el Tajo, Jarama y Manzanares, que permitía, en época de Felipe II, navegar en chalupa desde Madrid hasta Lisboa.

En aquellos tiempos España estaba considerada como el país más avanzado de Europa en cuanto a conocimientos de fortificación y empleo de armas de fuego (arcabuces y lombardas para la infantería y cañones para la artillería) siendo el primero en conocer las reglas, principios y enseñanzas del Arte del Ingeniero y Artillero que se enseñaba en su Academia de Ciencias de Madrid, ochenta años antes de que hubiese sido creada la Real Sociedad de Londres y la Academia Real de Ciencias de París.

Las primeras noticias que se tienen sobre enseñanza en nuestro país indican que la instrucción y ejercicio de los artilleros novicios se realizaba colectivamente en las Fortalezas donde éstos sentaban sus plazas. La eficacia de esta enseñanza era tan dudosa que pronto se sustituyó por una más amplia, sólida y continua realizada en escuelas. La primera escuela de artillería de la que se tiene noticias fue la de Burgos que gozaba de prestigio y que según algunos tratadistas fue fundada por Felipe II en 1559, aunque otros indican que existía con anterioridad a esta fecha, fundamentándose en el hecho de que a mediados del siglo XV existía en Burgos una fábrica de cañones y pólvora y es muy posible que en ella funcionase ya la citada escuela.

La necesidad de artillar a las naos de la flota de las "Armadas de Guarda de Carrera" cuya misión era guardar los mares de Poniente de los ataques de los piratas franceses a las flotas de las Indias (1522), hizo que el Consejo de Indias en Sevilla ordenase crear una "Escuela y terrero" con la misión de formar personal con un nivel técnico suficiente para la construcción y servicio de los cañones que armaban las naves de la Carrera de Indias.

Posteriormente se crearía en Sevilla otra escuela de artillería bajo la dirección de Ferrufino, que posteriormente fue profesor de la Academia de Matemáticas y Artillería de la Corte.

De la importancia de los conocimientos de fortificación que en aquella época ya se tenían puede ser muestra el que en 1598, se editara en Madrid, mucho antes de que naciera en Francia el celebre ingeniero militar Vauban, un libro sobre fortifi-

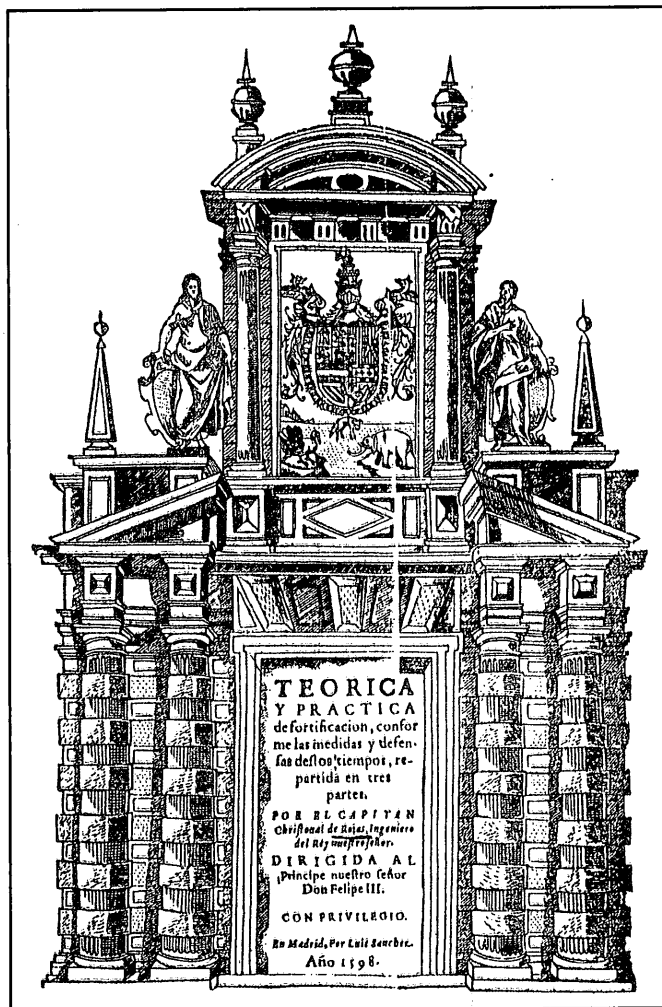
cación escrito por el Capitán D. Cristóbal de Rojas, Ingeniero del Rey Nuestro Señor, titulado "Teoría y práctica de la Fortificación, conforme a las medidas y defensas de estos tiempos, repartida en tres partes". En él se trata de Geometría, Táctica, Fortificación, Construcción y Fabricación de relojes de sol.

En Europa y especialmente en Italia, aparecen grandes figuras de la arquitectura y de la ingeniería de la construcción como Leone Battista Alberti quién fue un intelectual, arquitecto e ingeniero, cuyos métodos se apartaban de los que se empleaban normalmente en la construcción, que en aquella época estaba en manos de albañiles y carpinteros. Alberti trabajó en Roma al servicio del Papa e hizo un estudio muy detallado sobre las ruinas de los edificios de la época romana haciendo un análisis de los mismos apoyado en las teorías de Vitruvio. Se puede decir que Alberti fue un ingeniero polifacético, además de arquitecto, dado la variedad de trabajos en los que intervino, tales como: saneamiento de ciudades, abastecimiento de agua a poblaciones e industrias, cimentaciones, fortificación, uso de ríos para navegación, e incluso construcción de barcos. La publicación, en 1485, del primer libro de arquitectura indica la inquietud que sentía por la divulgación del conocimiento.

No se puede decir que Alberti tuviese unos fuertes conocimientos matemáticos, pero lo que sí es cierto es que conocía muy bien los trabajos de Arquímedes, Vitruvio, etc.

En la década de 1550 se hizo también famoso en Ferrara, Giovanni Battista Aleotti, por la construcción de iglesias y edificios públicos importantes, sistema de drenaje y abastecimiento de aguas, y por el diseño de fortificaciones en las que actuó como ingeniero militar.

Por aquella época de esplendor para Italia, nace en Florencia, en 1564, Galileo Galilei, quién aparte de estudiar música y la transmisión de las vibraciones y el efecto de las mismas sobre el oído, se distinguió por sus proyectos sobre drenaje al pretender desecar las costas venecianas y dedicarlas al cultivo agrícola. Galileo se distingue entre sus muchas actividades como ingeniero militar al interesarse por la defensa de Venecia amenaza-



Portada del libro de Cristobal de Rojas.

da por su vecina Austria. Fruto de aquella época es la construcción de la ciudad fortificada de Palmanova empezada a construir en 1593 bajo proyecto de Lorini y formada por un recinto amurallado en forma de polígono regular de nueve lados con bastiones en sus ángulos.

Galileo impartió enseñanza de fortificación y según indica A. Pacey, "en una ocasión se le pidió consejo sobre el conocimiento de matemáticas que habría de exigírsele a un perfecto caballero o soldado en una academia o escuela militar que estaba instalada en Padua para preparar a los hijos de los caballeros. La lista de Galileo sobre las asignaturas a impartir incluía varias de las ramas de la ingeniería que se habían contemplado en el libro de Alberti sobre arquitectura, entre ellas se encontraban: mecánica, navegación, dibujo, arquitectura militar y, asimismo, la instrucción relativa al alcance de un cañón."

La vida activa de Galileo está llena de aciertos, de descubrimientos y de aportaciones a la ciencia. La contribución más importante a la construcción, que podemos considerar, es la "teoría sobre las vigas"

que tuvo su origen en el análisis comparativo entre las estructuras de los grandes barcos de madera y la de los botes, realizado en el Arsenal de Venecia y que tanta transcendencia tendría posteriormente en la teoría de la mecánica.

En el siglo XVI fue preciso impulsar la agricultura y crear nuevas zonas de regadío lo que obligó a la construcción de redes de canales, acueductos y presas. En España y concretamente en el sur se construyeron muchos diques y canales, y en las proximidades de Alicante se construyó en 1594 el celebre dique de Tibi que durante muchos años, con sus 41 m de altura, fue el más alto de Europa, pudiendo decir con A. Pacey, que "la moderna construcción de diques comenzó en España".

La red de caminos de la Edad Media difería poco de la seguida por las calzadas romanas. A partir del siglo XVI y por necesidades de transporte de material militar se inicia la construcción de vías militares, siendo la técnica utilizada la que posteriormente se emplearía en la construcción de caminos de enlace entre poblaciones de nueva creación y que al estar apartadas del trazado de las calzadas romanas no podían hacer uso de las mismas.

LA INGENIERÍA A PARTIR DEL SIGLO XVII

La primera consecuencia que trae la pólvora es que, a principios del siglo XVI, la artillería en España adquiere una gran importancia al ser un arma empleada de forma muy eficaz por Carlos V en todas sus campañas. Con la construcción masiva de cañones se inicia lo que podríamos denominar la primera revolución industrial, al aumentar de forma extraordinaria la demanda de hierro, y por consiguiente al mejorarse los procedimientos de producción del mismo (la posterior gran demanda de acero aparecería mucho después, como consecuencia del desarrollo del ferrocarril y la necesidad de construir raíles). La segunda consecuencia de la pólvora es la gran transformación que experimenta el sistema defensivo de fortificaciones que tiene que acomodarse a una nueva amenaza de mayor precisión, potencia y eficacia. Durante muchos años coexistieron los cañones de bronce con los de acero debido a que los primeros eran más fáciles de fundir y no se corroían, especialmente, en las costas y buques. Sin embargo, estos eran más caros por el precio elevado del estaño. Posteriormente las necesidades de incrementar el número de piezas de artillería hicieron que la construcción se decantase totalmente hacia el acero pudiendo decirse que prácticamente en 1660 los cañones de bronce dejaron de fabricarse.

La necesidad de construir cañones y proyectiles en España sin la dependencia de países extranjeros hizo que se creara por Juan Morell, en 1540, una fundición en Sevilla y décadas después, en 1620, otra en Vizcaya, iniciándose un proceso industrializador muy importante y la formación de muchos especialistas muy necesarios en nuestro país. Hay que tener en cuenta que en estas fábricas no sólo se producía metal para aplicaciones militares sino también para otros usos civiles.

En estos años, a la vez que se perfeccionaba la artillería y el estudio de la balística lo hacía también la construcción de fortificaciones, de caminos, de puentes para comunicarse y, así, lograr mayor eficacia en la defensa o el ataque, naciendo de esta forma la figura de lo que podríamos considerar el "ingeniero militar".

Se ha indicado anteriormente que, la acción eficaz de la artillería hizo que en la defensa de las ciudades tuviese que evolucionar la fortificación, modificándose los diseños en cuanto a espesor y forma de los muros, creándose bastiones y baluartes donde se situaban las piezas de artillería, etc. Ya en los primeros años del 1500, el ingeniero español Maestre Ramírez gozaba de alto prestigio europeo como diseñador y constructor de fortalezas. Aunque en España la artillería iniciara su andadura de una forma muy eficaz a principios del siglo XVI, con las culebrinas, hay que decir que los Reyes Católicos ya las emplearon al final del XV en el sitio de Granada, siendo además, como se ha indicado, los creadores de la primera organización racional de Artillería.

A finales del siglo XVII el ingeniero militar francés Sebastien Le Preste Vauban, muy vinculado a España al estar incorporado a las tropas españolas al mando de Condé, se distingue por sus trabajos de fortificación, construyendo, o bien reconstruyendo

un total de 333 plazas fuertes y dirigiendo 53 sitios con pleno éxito y llegando a alcanzar el grado de Mariscal de Francia en 1703. A Vauban se le puede considerar como un ingeniero militar sin rival y como el padre de toda la fortificación moderna que se hace en Europa. Además de gran ingeniero, y autor de varios libros, Vauban fue un gran estratega y a él, en cierta forma, se debe la creación del Corps de Ponts et Chaussées.

En aquellos años es curioso observar la importante contribución de los jesuitas en el campo de las matemáticas y de la fortificación, siendo de destacar la labor realizada en el Colegio Imperial de Madrid por los profesores jesuitas nombrados por Felipe IV, entre los que hay que señalar al padre Claudio Richard que impartió la enseñanza de matemáticas durante 40 años. El papel de los jesuitas fue también importante en la divulgación científico y técnica, especialmente durante los siglos XVII y XVIII, colaborando en la educación al difundir nuevos conocimientos y al contribuir en la enseñanza de las técnicas que se empleaban en el Lejano Oriente. A ellos se deben, entre otras muchas cosas, los informes sobre la fabricación de porcelana y del estado de la ingeniería en China donde, en 1667, según descripción de Athanasius von Kircher, ya se empleaban los puentes de acero en suspensión en los valles del norte. Los puentes suspendidos no se construyeron en Occidente hasta finales del siglo XVIII. Por su parte, en China los jesuitas enseñaron la astronomía de Copernico y ayudaron en Pekín a la construcción de relojes.

En España y bajo el reinado de Felipe II se funda, en 1583, la Academia de Matemáticas y Artillería de Madrid que existió hasta 1696. Su primer director fue D. Juan de Herrera. En ella había dos secciones fundamentales, una de conocimientos generales en los que se aprendía Matemáticas, Física y Dibujo, y la otra de conocimientos militares. En la primera sección hay que destacar al Dr. Julián Firrufino, que había sido director de la Escuela de Artillería de Sevilla, con sus celebres lecciones sobre Geometría de Euclides y el Tratado de la Esfera y en la segunda sección al ilustre Capitán de Artillería e Ingeniero militar D. Cristóbal de Rojas que enseñaba Teoría y práctica de la Fortificación. La enseñanza en esta academia era muy completa y rigurosa. De esta academia saldrían los primeros ingenieros que en muchos casos volverían a servir en Artillería, como oficiales de artillería, o bien como ingenieros, proyectando y dirigiendo obras de carácter militar o civil.

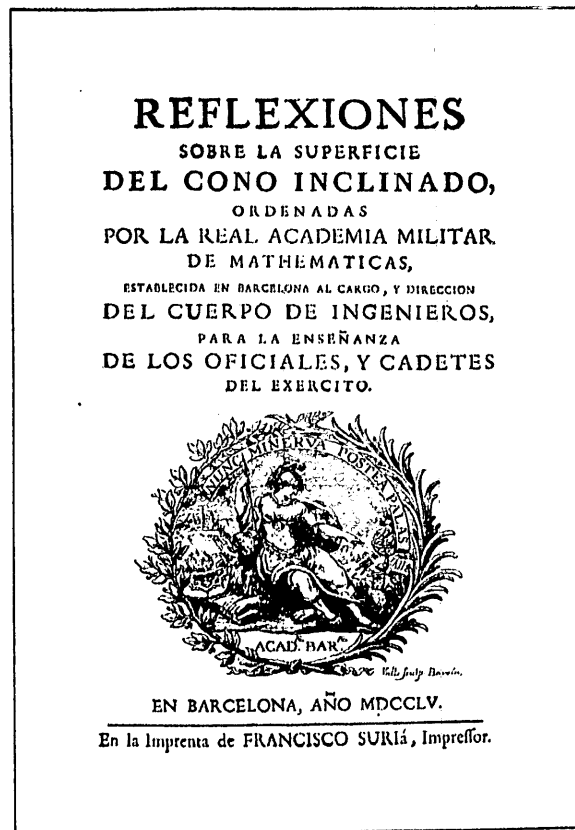
En aquellos tiempos y al contrario de lo que ocurría en Francia e Italia, en España la figura del ingeniero militar no estaba institucionalizada y la profesión tampoco estaba corporeizada con lo cual las obras de fortificación no necesariamente las dirigían ingenieros militares que hubiesen estudiado en la Academia, sino que podían dirigirlas oficiales que tuvieran conocimientos de fortificación, e incluso muchas veces esta dirección corría a cargo de ingenieros militares procedentes del extranjero.

Además de la Academia de Matemáticas de Madrid, en aquella época de gran preocupación por la enseñanza de las matemáticas y la fortificación, existían otros centros de enseñan-

za en España como son la Escuela de Artillería de Sevilla, inaugurada en 1591 por D. Julián Firrufino; la Escuela de Burgos anterior a la de Sevilla y con la misma meta; la Escuela de Valladolid que pasó luego a Madrid (1608) al trasladarse la Corte a esta ciudad y la Escuela de Cádiz en la que Fernando Coen impartió clases de Fortificación y Pilo-taje entre 1648 y 1655.

España fundó también escuelas de matemáticas en esta época en Milán, Palermo, Napoles, Orán y Cerdeña, siendo digna de mención la Academia Militar de Bruselas que a mediados del siglo XVII llegó a ser bastante famosa. Esta Academia, que fue fundada en 1675 por Carlos Gurrea Aragón, Duque de Villahermosa, fue posteriormente reformada y dirigida por el ilustre militar Sebastián Fernández de Medrano, hombre de grandes conocimientos matemáticos y autor de obras de un gran valor en su tiempo. En ella predominaban los estudios de Artillería y Fortificación, Aritmética, Geometría, Dibujo, Tratado de la Esfera y Navegación. El nivel científico de la Academia era muy elevado no siendo de extrañar que de ella saliesen los mejores y más famosos ingenieros de la época, siendo de destacar entre ellos al Marqués de Verboóm. Hay que indicar que al finalizar sus estudios en la Academia los alumnos recibían el título de Ingeniero.

La Real Academia Militar de Matemáticas de Barcelona tuvo su origen en el aula de Matemáticas y Fortificación que ya funcionaba en 1694 bajo la dirección del ingeniero Capitán D. Francisco Larranda de Mauleon. Fue fundada por Felipe V el 22 de Enero de 1700 pero tuvo que cerrar sus puertas en 1705 debido a la lucha entre los Austrias y los Borbones, comenzando a funcionar nuevamente en 1720 bajo la dirección de D. Mateo Calobro. En el año 1803 se cerró definitivamente. Esta



Portada de un libro de la Real Academia Militar de Matemáticas de Barcelona, abajo Jorge Próspero Verboóm.



Academia tuvo un gran prestigio especialmente durante los cuarenta años que estuvo bajo la dirección de Lucuze. De ella salieron los ingenieros que ingresarían en el Cuerpo de Ingenieros que organizó el Tte. General Marqués de Verboóm.

La llegada a España de los Borbones con Felipe V supuso un gran avance para la Artillería e Ingenieros, e incluso la separación de artilleros e ingenieros que ya se vislumbraba en las Ordenanzas de Flandes. En 1709, el Secretario de la Guerra el Marques de Bedmar, trae de Flandes y nombra Ingeniero General de los Ejércitos, Plazas y Fortificaciones el ingeniero D. Próspero de Verboóm, quien organiza el Cuerpo de Ingenieros que aprueba Felipe V en abril de 1711, produciéndose la separación de ingenieros y artilleros que habían permanecidos unidos desde la época de los Reyes Católicos. Para la formación de los oficiales de ambos cuerpos se crearon tres Escuelas Teóricas de Matemáticas, que aunque estaban a cargo de ingenieros, formaban también a oficiales de artillería y en las que se empleaban prácticamente los mismos métodos que había empleado Medrano en la Escuela de Bruselas.

Carlos III fue un gran impulsor de la renovación de la artillería española al traer con él desde Nápoles a su Jefe de Artillería en Italia, el Conde de Gazola, quién tomó como primera medida, antes de elevar el nivel científico de los futuros artilleros, el lograr la unificación de la enseñanza para lo cual creó el nuevo Reglamento del Cuerpo de Artillería de 29 de mayo de 1762 y clausuró todos los centros de enseñanza de Artillería a la vez que fundó el Real Colegio de Artillería de Segovia, con sede en el Alcázar, que empieza a funcionar con un reglamento aprobado el 13 de agosto de 1763. La preparación que se daba en el Colegio de matemáticas, mecánica, hidráulica, fortificación, artillería e idiomas era muy elevada, al igual que lo era la

de química cuya enseñanza estuvo a cargo del celebre químico francés Proust quien impartió su asignatura desde 1784 a 1799, creando en el Colegio un laboratorio de química que llegó a ser famoso en su tiempo.

El prestigio de la formación del Colegio de Artillería era tan elevado que las familias de más linaje del Reino enviaban a sus hijos a estudiar en él, pero se daba el caso frecuente de que al terminar la carrera abandonaban el Cuerpo al poco tiempo. Esto dio lugar a que en 1796 se vetase el ingreso a los primogénitos de las casas de Grandeza, excepción hecha de los que carecían de rentas de Mayorazgos y esto "porque aquellos no solían continuar la carrera y no aumentaban en la debida proporción el número de oficiales". El Real Colegio de Artillería, al que mucho debe la ingeniería industrial española, desaparece como tal en 1825 y a partir de entonces la enseñanza de artillería sufre muchos avatares incluyendo traslados, aunque sin por esto perder su alto nivel científico. Finalmente volvería a su casa natal de Segovia.

Se puede decir que hasta el siglo XIX fueron estas escuela o academias las que dieron, casi en exclusiva, una formación técnica, profunda y cualificada, para el ejercicio de la profesión, especialmente de la ingeniería metalúrgica o industrial, de la ingeniería de la construcción, o bien para el estudio e investigación de matemáticas, física, química, balística, metalurgia, hidráulica, resistencia de materiales, etc.

Volviendo de nuevo a la pólvora, es curioso observar como su empleo en el cañón hizo pensar en los primeros motores de explosión, y así a finales de la década de 1670, Huygens, celebre por el invento de los relojes de péndulo, mostró al ministro de Hacienda del Gobierno francés Colbert, un motor que funcionaba con una pequeña cantidad de pólvora y que podía levantar hasta 1600 libras, se puede decir que fue el primer motor de explosión que se inventaba.

Colbert fue un político ilustre preocupado por las ciencias, especialmente por la navegación y las matemáticas. En 1666 fundó la Académie Royale des Sciences, similar a la Real Sociedad que se había creado en Londres en 1662. Su preocupación por el desarrollo naval de Francia para luchar contra la primacía holandesa le llevó a fundar escuelas de Construcción Naval en Brest y en Roquefort, y academias de preparación de oficiales y de artillería. Colbert, al mismo tiempo, desarrolló de forma importante la construcción de caminos y canales navegables en Francia llegando a unir el Loire y el Sena por un canal. En la época de Luis XIV Francia acomete obras de una gran importancia como son, entre otras, el canal de Languedoc y el palacio de Versalles. Es de destacar la preocupación de Colbert por la calidad en la construcción, y por lo que hoy denominamos "durabilidad", como queda reflejado en que, con ocasión de la construcción del canal de Languedoc le dijese a su proyectista Riquet que, "procurase que sus obras se construyesen de tal forma que durasen para siempre".

Según Colbert, la construcción de caminos, canales y en general, las obras públicas, debía ser iniciativa del estado y gra-

cias a esta idea, puesta en práctica, vemos como Francia se adelanta al resto de Europa en construcción de carreteras y canales de calidad, aun cuando estos, en muchos casos, no fuesen necesarios por razones económicas (el absolutismo de Luis XIV indiscutiblemente tuvo sus cosas malas pero también las tuvo buenas). Esto llevó al desarrollo de un cuerpo profesional de ingenieros civiles, creándose en 1747 la École des Ponts et Chaussées que coexistirá con las escuelas militares y navales ya existentes. Con esto la educación técnica francesa llegó a ser muy completa no siendo de extrañar que durante el siglo XVIII y XIX los ingenieros más eficaces y mejor preparados del mundo fuesen los franceses. Hay que tener en cuenta que a pesar de tener Francia, al final del siglo XVIII, la citada École des Ponts et Chaussées, y además la Escuela para Oficiales del Ejército de Mézières y la École de Génie, en 1794 crea en París la École Polytechnique con un gran componente militar en la formación que impartía y que ha perdurado a través de los tiempos.

Durante la década de 1820 en muchas ciudades alemanas se fundaron escuelas politécnicas siguiendo el patrón de la École Polytechnique como la de Karlsruhe y la Academia minera de Freiberg. Los libros técnicos de ingeniería franceses se estudiaban en Inglaterra donde carecían prácticamente de textos y donde existía un desconocimiento casi total del álgebra y del cálculo.

Es en Inglaterra precisamente donde John Smeaton (1718-1785) se distinguió como ingeniero constructor diseñando puentes, puertos, canales y obras de desecación. Smeaton no sólo trabajó en obras públicas sino también en otras muchas ramas de la ingeniería tradicional como en el diseño de motores para minas, fabricación de instrumentos para la navegación y astronómicos, en el estudio del rendimiento de los motores, etc. En 1754 Smeaton se dedicó fundamentalmente a la ingeniería de la construcción creando escuela en Inglaterra entre sus ayudantes sobre lo que sería la ingeniería racionalizada.

A Smeaton se debe la invención del primer cemento hidráulico que utilizó en 1759 en la construcción del faro de Eddystone. Se puede decir que Smeaton era un gran ingeniero que actuaba guiado más por su intuición y experiencia práctica que por sus conocimientos matemáticos, lo cual no restaba para que fuese un ingeniero completísimo con aportaciones muy importantes al mundo de la construcción, de la hidráulica y hasta de la astronomía, sobre la que escribió varios informes para la Real Sociedad de Londres. A. Pacey indica que, "el editor de los Reports de Smeaton comentaba en 1812, que unos cincuenta años antes, la situación general de las cosas hizo surgir a una nueva profesión y clase de hombres llamados Ingenieros Civiles. En todas las naciones de Europa ésta era y es una profesión por sí misma".

Indica Pacey que, no obstante en Inglaterra, no existía una institución pública, excepto escuelas comunes, para el conocimiento básico y necesario de las artes navales, militares, mecánicas y otras, y la educación de los ingenieros era dejada "al azar". Para dar forma a la naciente profesión de ingeniero y ante la ausencia de toda formación matemática, en 1771, se fun-

dó una Sociedad de Ingenieros Civiles cuyas reuniones se celebraban inicialmente en la taberna King's Head de Londres coincidiendo con las sesiones del Parlamento que tenían lugar los viernes. Si bien el término "ingeniero" tenía una connotación eminentemente militar, Smeaton fue el primero en llamarse "ingeniero civil", término en el que incluía el trabajo mecánico y el de construcción. A partir de entonces los miembros de la Sociedad pasaron a denominarse "ingenieros civiles"

Es curioso observar que mientras en países como Francia, Alemania o España, la iniciativa para formar ingenieros partía del Estado, en Gran Bretaña la formación de estos partía de los talleres.

Concretándonos al caso de España, como se ha indicado, durante los siglos XVI y XVII la Corona creó muchas escuelas de artillería e ingeniería militar siendo de destacar, entre otras, la escuela de Artillería de Burgos que tenía gran prestigio a nivel europeo y donde además de trayectoria de proyectiles (balística) se estudiaba matemáticas, geometría, dibujo, fundición, técnicas de fortificación, etc.

En el siglo XVIII se produce en España una renovación en la forma de adquirir conocimientos y saber, produciéndose una verdadera transformación, no sin choques entre el sistema nuevo y el viejo. El reformismo intelectual y las dificultades que planteaba la transformación dieron lugar a que el Estado recurriese al ejército y a la marina para aplicar las nuevas ideas. Todo esto conlleva a que durante esa época las actividades científicas estuvieran vinculadas, en su mayoría, a los ingenieros militares. J. Cepeda indica que *"no fue sólo una serie de militares notables la que jugó un papel destacadísimo en la Ciencia y Cultura del siglo, sino que las instituciones militares fueron fundamento para el desarrollo científico, cultural y tecnológico de la España de la Ilustración"*.

Paralelamente a los centros de enseñanza militares aparecen en España centros de enseñanza, en cierto modo independientes, aunque con un gran número de profesores militares como ocurre, por ejemplo, en los Reales Estudios de San Isidro de Madrid donde al final del siglo XVIII se enseñaban álgebra, análisis matemático, trigonometría, mecánica, dibujo, etc.

El humanismo había hecho ya su aparición, tratando de mejorar las condiciones sociales en que el hombre se desenvolvía y que realmente eran penosas en aquellos tiempos. Así es curioso observar la evolución, qué podríamos llamarla "filosófica", que en el siglo XVII se produce en el pensamiento científico en virtud de la cual se llega al convencimiento, como indica el francés Bacon, de que *"el verdadero fin del saber debe estar encaminado a la mejora de la vida humana, a acrecentar la felicidad de los hombres y a mitigar sus sufrimientos"*. Esto se dice curiosamente en una época en que el hombre estaba sometido a una penuria social tremenda.

Como se ha indicado, fue el famoso ingeniero Mayor Verboom quien organizó en España la ingeniería de forma similar a como estaba en Francia creándose el 17 de Abril de 1711 el Cuerpo de Ingenieros que en principio estaba formado por los

ingenieros españoles, los que vinieron de Flandes e Italia y por algún extranjero. A fin de incrementar el número de ingenieros Verboom se valió en 1720 de la Academia de Matemáticas de Barcelona fundada a finales del siglo XVII.

A partir de 1774, a la formación de estos ingenieros se suma la enseñanza de caminos, puentes, edificios de arquitectura civil y canales de riego y navegación, siendo nombrado el arquitecto Francisco Sabatini, después de su admisión en el Cuerpo de Ingenieros, como jefe del ramo de caminos y puentes. Son muchas las obras importantes que se hicieron en aquellos años bajo el reinado de Carlos III, como la Fábrica de porcelanas del Retiro, la Fábrica de Armas de Toledo, el Arsenal de la Carraca, la Iglesia de San Francisco el Grande, la Puerta de Alcalá, por poner sólo unos ejemplos.

Se puede decir que la historia en España de la ingeniería en general, y muy en particular la de la construcción, ha estado durante muchos siglos muy relacionada con los ejércitos o fuerzas armadas, que se preocuparon por crear en Fortalezas las primeras academias conocidas, para posteriormente pasar a las Academias de Matemáticas y Artillería que tanto prestigio tuvieron en nuestro país y fuera de él; por crear fábricas y una industria metalúrgica importante; por construir arsenales y maestranzas; por construir caminos, puentes, puertos, obras hidráulicas y finalmente, por contribuir al desarrollo técnico y científico de la sociedad española.

El Ingeniero de Caminos español puede decirse que aparece el 12 de julio de 1799 cuando Carlos IV refrenda por Real Orden y a propuesta de la Dirección General de Correos y Caminos, la creación de la Inspección General de Caminos y el cuerpo facultativo de ella dependiente. En 1801 es nombrado Inspector General de Caminos y Canales al ilustre y ya famoso ingeniero español D. Agustín de Betancourt y Molina.

Hay que indicar que en 1801 se suprimieron, prácticamente, las Academias de Matemáticas que habían funcionado en nuestro país. Anteriormente habían empezado los ingenieros militares a ceder la responsabilidad que habían tenido en la ingeniería civil durante siglos a favor de otros especialistas que no fuesen estrictamente militares, entre otras cosas debido a que éstos habían llegado a un grado de madurez científica que les permitía asumir esta responsabilidad, naciendo así la primera escuela desvinculada del ejército que fue la de Ingenieros de Minas de Almadén, creada en 1777 y posteriormente, en 1802 la Escuela de Ingenieros de Caminos y Canales de Madrid fundada, siguiendo el modelo de la École de Ponts et Chaussées de París, por Agustín de Betancourt y que sería la encargada de formar a los ingenieros que habrían de dirigir las obras públicas en lo sucesivo en España.

Volviendo a los ingenieros militares conviene recordar que a pesar de que durante muchos años no llegaron a constituir un Cuerpo organizado con su consiguiente jefatura y escalones, esto no fue óbice para que en la época de Carlos V y Felipe II llegasen a gozar de un prestigio e influencia notable. La importancia y necesidad del ingeniero militar en España hizo que Felipe

V, el 13 de Enero de 1710, nombrase Ingeniero General de los Reales Ejércitos, Plazas y Fortificaciones al Marqués de Verboom quien organizó en nuestro país la ingeniería en forma similar a como estaba en Francia creándose el Cuerpo de Ingenieros el 17 de Abril de 1711 que agrupaba a los ingenieros militares por Regiones en Comandancias bajo la dependencia de un Director General. A fin de incrementar el número de ingenieros Verboom se valió, en 1720, de la Academia de Matemáticas de Barcelona fundada a finales del siglo XVII.

En una Ordenanza de 1718 se asignaba a la ingeniería funciones muy amplias además de las puramente militares que eran prioritarias, como eran las de reconocimientos del territorio, construcción de obras públicas necesarias para el fomento de la riqueza y la felicidad de los súbditos. De aquellos tiempos son dignas de mención las carreteras de Galicia, Santander, Valencia y Andalucía; el Canal Imperial de Aragón; las Aduanas de Barcelona y Cádiz; el Paseo del Prado de Madrid, etc.

Es lógico que, al igual que ocurrió en Europa, la ingeniería militar tuviese que dedicarse a su campo, que por otra parte era cada vez más complejo, y dejase la construcción civil en manos de los nuevos ingenieros que ya disponían de una gran capacidad de maniobra propia y que tenían que enfrentarse con serios y amplios problemas de infraestructura. Así se hace ver en los escritos que en 1788 el Conde de Fernán Nuñez dirige al Gobierno recomendando la separación de la ingeniería militar de la civil.

Ocurrida esta separación, se funda en 1803 la Academia de Ingenieros del Ejército de Alcalá de Henares debido a la iniciativa del Ingeniero General D. Juan Urrutia de las Casas que viene a consolidar para la posterioridad el Cuer-

po de Ingenieros, estableciéndose un reglamento para el empleo de las unidades de ingenieros con un cuerpo de doctrina aplicable a un conjunto de tropas que quedan englobadas en el nombre de "ingenieros". Al tomar los franceses Alcalá, la Academia desaparece para posteriormente establecerse, en 1903, en Guadalajara donde durante prácticamente un siglo ha impartido enseñanza a un nivel técnico muy elevado y formando ingenieros con una gran preparación y que a pesar de la separación de las dos ingenierías siguieron siendo muy útiles en el desarrollo científico y económico de nuestro país.

La complejidad de las armas y la necesidad de crear cuadros de mando con una gran preparación táctica hizo que la preparación técnica de la Academia del Arma de Ingenieros tuviese que simplificarse y que la enseñanza técnica superior se impartiese en la Escuela Politécnica Superior del Ejército creada el 27 de Septiembre de 1940. Los alumnos que ingresaban en esta escuela, que hasta hace poco tenía un plan de estudios de siete años, tenían procedencia militar (Oficiales del ejército) o universitaria (Licenciados en Ciencias Exactas, Químicas, Físicas, Arquitectos, Ingenieros de Caminos, Industriales, etc.), al finalizar sus estudios ingresaban en el Cuerpo de Ingenieros de Armamento y Construcción, creado el 19 de Enero de 1943. Los ingenieros de Armamento son los responsables del proyecto y fabricación de armas y pólvoras y explosivos para usos militares y los ingenieros de Construcción son los responsables del proyecto y ejecución de las obras de acuartelamientos, y centros relacionados con la defensa y de toda la infraestructura que requieran. ■

BIBLIOGRAFÍA

- Suárez de la Vega y Lamas, J., Lagarde y Carriquiri, N.- "Puentes militares y paso de ríos.- Imp. Rubiños.- Madrid 1886.
- Martín Arrúe, F.- "Historia Militar".- 5ª Edición.- Toledo 1907.
- Sarmiento, A.- "Bosquejo sobre la ingeniería militar en España".- Dossat Ed.- Madrid 1950.
- Arnold, P.- "El laberinto del ingenio".- Ed. Gustavo Gili.- Barcelona 1980.-
- López Muiños, J.- "Las enseñanzas de los ingenieros militares".- ASINTO nº129-130.- Madrid, Abril-Sept. 1986.-
- Capel, H.- "Las academias militares en la época de Carlos III y la ciencia de la Ilustración".- Alianza Editorial.- Madrid 1988.
- López Muiños, J.- "Cuerpos Técnicos y organismos a él pertenecientes".- ASINTO nº 136-137.- Madrid, Ene-Jun. 1988.-

- Lechuga, C.- "Tratado de Artillería de la fortificación".- Milán 1611.- Reimpreso por la Secretaría General Técnica del Ministerio de Defensa.- Madrid 1990.
- López Muiños, J.- "Algunos aspectos de la ingeniería militar española y el Cuerpo Técnico".- Secretaría General Técnica del Ministerio de Defensa.- Madrid 1993.
- Sánchez Rey, J.A.- "Los caminos en España hacia 1750 y los medios para su financiación, según un informe de un ingeniero de la época".- Revista de Obras Públicas, nº 3360.- Madrid 1996.
- González Tastón, I.- "Betancourt. Los inicios de la ingeniería moderna en Europa".- Ministerio de Obras Públicas y Medio Ambiente.- Madrid 1996.-
- Aláez Zazurca, J.A.- "Contribución de la ingeniería militar a la ingeniería civil y al desarrollo de España".- ASINTO nº 181-182.- Madrid, Jul-Dic. 1999.-