

Instrumentos, métodos de elaboración y sistemas de representación del proyecto de fortificación entre los siglos XVI y XVIII¹

ALFONSO MUÑOZ COSME²
ETSAM. Director del IPCE

RESUMEN

Con el fin de conocer los procesos de elaboración del proyecto de fortificación, se estudian, en primer lugar, los instrumentos utilizados por los ingenieros militares para el dibujo, levantamiento o replanteo. Después se analizan los métodos de desarrollo del proyecto, a través de modelos de trazados, de tablas de medidas o trigonométricas y de máximas o reglas conceptuales, y los resultados a los que estos métodos conducen. Finalmente se estudian los sistemas de representación, tanto a través de maquetas y modelos, como en la representación planimétrica.

Mediante el análisis de estas variables y el cruce de los resultados obtenidos en cada uno de estos apartados, se alcanza un mayor conocimiento de la naturaleza del proyecto de fortificación entre los siglos XVI y XVIII. Así vemos cómo el proyecto de fortificación, ligado inicialmente a los condicionantes naturales, se transformó en la era barroca en una repetición de prototipos geométricos y posteriormente, en la transición al neoclasicismo, en un proceso de nuevo inductivo, pero reglado.

PALABRAS CLAVE

Instrumentos, métodos, sistemas, dibujo, proyecto, representación, fortificación.

LOS INSTRUMENTOS DE DIBUJO, LEVANTAMIENTO Y REPLANTEO

Los instrumentos que los ingenieros militares usaron desde el siglo XVI para el diseño y construcción de sus proyectos no se diferenciaban sustancialmente de los empleados por topógrafos y arquitectos para dibujar los proyectos, realizar los levantamientos de estructuras existentes o replantear nuevas construcciones. El compás, la escuadra y la regla fueron siempre los instrumentos básicos para trazar los proyectos, y ya aparecen en el tratado de Antonio Averlino Filarete³ y en el de Leon Battista Alberti, que añade a ellos la plomada y el nivel⁴.

Esos fueron durante mucho tiempo los instrumentos básicos para la delineación del proyecto, el levantamiento de edificios existentes o el replanteo de nuevas construcciones, aunque ya desde mediados del siglo XVI comenzaron a desarrollarse nuevos instrumentos para medir, levantar y replantear con mayor precisión. Así Cosimo Bartoli, en su tratado sobre el modo de medir las distancias, publicado en Venecia a mediados del siglo XVI, utilizaba el cuadrante simple o inscrito en un sector circular, el astrolabio y la cruz geométrica⁵.

A comienzos de la centuria siguiente, Andrés García de Céspedes, en su *Libro de instrumentos nuevos de geometría*⁶, describió tres instrumentos: un cuadrante de su invención, el báculo de Jacob y un nivel que vio en casa de Juan de Herrera. En la obra de Robert Fludd titulada *Utriusque Cosmi Maioris scilicet et Minoris Metaphysica, Physica atque Technica Historia*, publicada en Alemania en 1617⁷, se describían el báculo geométrico, la regla hipotenusa, la regla de delinear, el pie de báculo y el báculo de Jacob.

Muchos de los instrumentos eran ideados y fabricados por los arquitectos o ingenieros. Así Tiburcio Spannocchi construyó un ingenioso instrumento consistente en una regla en T de latón con brújula, que permitía medir ángulos y establecer la orientación de los paramentos. Lo describe Cristóbal de Rojas en su tratado, en el que también incluye otros dos instrumentos: el cuadrante para medir distancias y alturas, y un nivel para el trazado de cañerías y atarjeas⁸ [FIG. 1].

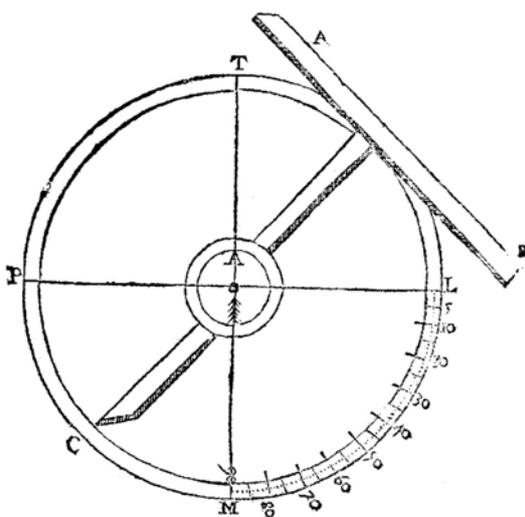


FIG. 1 CRISTÓBAL DE ROJAS. Instrumento de Tiburcio Spannocchi. En *Teórica y práctica de fortificación, conforme las medidas y defensas destes tiempos, repartida en tres partes*, Luis Sánchez, Madrid, 1598, fol. 82.

González de Medina Barba describió en su tratado un sistema rudimentario para replantear las obras mediante una plancheta y el método para la medición de distancias con dos reglas articuladas. Cristóbal Lechuga, por su parte, utilizaba el instrumento que él llamaba planisferio, un círculo graduado con visuales, dos de ellas móviles, para trasladar los ángulos del plano al terreno⁹ [FIG. 2]. Fray Lorenzo de San Nicolás copió en su tratado el nivel representado por Cristóbal de Rojas y mencionó también el cuadrante y el báculo mensorio o báculo de Jacob. En la segunda parte de su tratado describió el instrumento de la cruz, que servía para trazar elipses¹⁰.

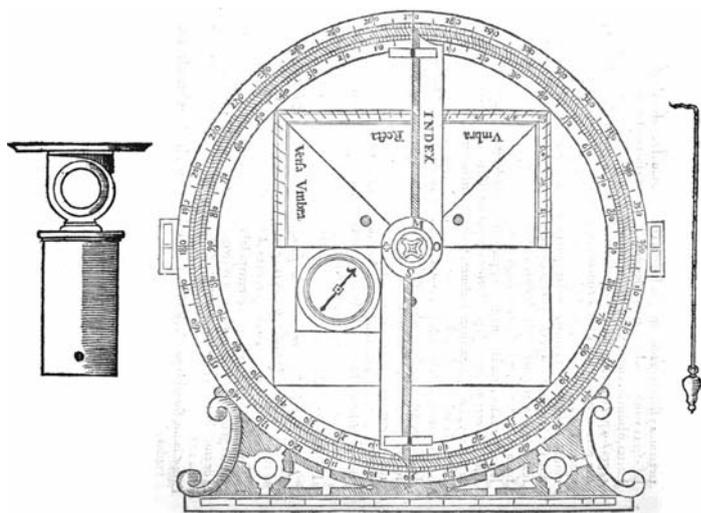


FIG. 2 CRISTÓBAL LECHUGA. Planisferio. En *Discurso del capitán Cristóbal Lechuga en que trata de la artillería y de todo lo necesario a ella*. Milán, Palacio Real y Ducal, Marco Tulio Malatesta, 1611, p. 246.

A pesar del desarrollo de nuevos instrumentos, numerosos son los autores que consideraban que todo el trabajo de trazado de fortificaciones podía hacerse tan solo con regla y compás. Así, Enríquez de Salamanca decía en su tratado que el ingeniero no necesita más instrumentos que «un compás, una regla, un lapicero, una pizarra del tamaño de la mano, un libro de senos, o de logaritmos»¹¹. Por su parte, Alonso de Zepeda y Adrada, tituló su libro publicado en Bruselas en 1669 *Epítome de la fortificación moderna, así en lo regular como en lo irregular, reducida a la regla y al compás...*¹², expresando que sólo utilizaría esos dos instrumentos para construir sus modelos y ejemplos.

Sin embargo, la complejidad de los trazados, la diversidad de escalas y la cada vez mayor dependencia de modelos geométricos, llevó a la generalización de la pantómetra o compás de proporción, instrumento cuya invención es atribuida a Galileo Galilei¹³ y que se difundió extraordinariamente en la segunda mitad del siglo XVII, como lo atestiguan los manuscritos sobre su uso que se encuentran en la Biblioteca Nacional de España¹⁴. Ya aparece en el libro de Miguel Pérez de Xea, que atribuye su invención a Daniel Iorez¹⁵, y también en el tratado de Julio César Ferrufino, junto a la escuadra, el compás, el cuadrante, y el nivel, instrumentos cuya fabricación describe el autor¹⁶ [FIG. 3].

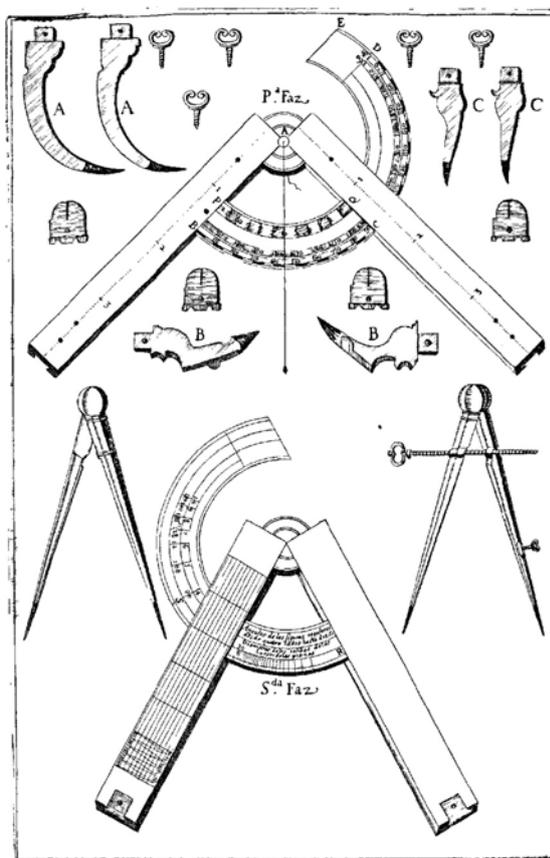


FIG. 3 JULIO CÉSAR FIRRUFINO. *El perfecto artillero. Teórica y práctica*. Madrid, Juan Martín del Barrio, 1642, p. 157.



FIG. 4 JOSÉ ZARAGOZA. Regla y pantómetra militar y armónica. Arca de instrumentos matemáticos de Carlos II. Museo de la Biblioteca Nacional de España. Instituto del Patrimonio Cultural de España. Fotografía de José Luis Municio.

En el tratado de Vicente Mut encontramos asimismo referencias a la pantómetra militar¹⁷ y a otros instrumentos, a los que se refiere el autor al describir cómo se replantean sobre el terreno y se ejecutan las fortificaciones. Sin embargo advierte de la falta de precisión de instrumentos pequeños: «Lo que importa para observar los ángulos es no enamorarse del planisferio de latón, compás óptico, brújula, paralelogramo gráfico, ni de cualquiera otro instrumento que sea pequeño, en que he visto engañarse muchos, con descrédito del arte»¹⁸.

Un extraordinario testimonio de los instrumentos habituales en el siglo XVII lo constituye la colección de catorce instrumentos matemáticos que fabricó José Zaragoza para Carlos II por encargo de Juan Francisco de la Cerda, Duque de Medinaceli, y que se conserva en el Museo de la Biblioteca Nacional de España. El encargo fue realizado con el fin de obsequiar al monarca en su decimocuarto cumpleaños, y aunque la colección de instrumentos fue realizada con cierta precipitación y posiblemente en muy pocas ocasiones fue utilizada por el monarca para el fin que había sido creada, constituye un valioso legado [FIG. 4].

La colección está contenida en un arca de madera forrada de cuero, en cuyo interior se encuentran, dispuestos en tres bandejas cubiertas de terciopelo, los siguientes instrumentos: Regla de latón, pantómetra militar, triángulo filar, cruz geométrica, rombo gráfico, triángulo equilátero, otro triángulo menor, un anteojos, un compás armónico, un compás de varilla, una cadenilla de medir, una mesa de palo santo, el pie de la mesa y una escuadra de una vara. La colección de instrumentos va acompañada de un libro, que es a la vez manual de instrucciones y tratado de arquitectura militar¹⁹.

Con el cambio de siglo se abandonará paulatinamente la pantómetra y se utilizará cada vez más el semicírculo graduado. Fernández de Medrano describe su uso para la construcción de los polígonos regulares y las plantas de las fortificaciones²⁰. También describe el círculo metálico graduado con una regla con miras o pínulas para medir ángulos, y el sistema para efectuar mediciones mediante este instrumento. Finalmente incluye una regla proporcional con diferentes escalas, que permite realizar operaciones equivalentes a las que se efectúan con la pantómetra²¹.

En la *Real Ordenanza e Instrucción de 22 de Julio de 1739 para la enseñanza de las Matemáticas en la Real y Militar Academia que se ha establecido en Barcelona* se enumeran los instrumentos que debe haber en la Academia para las demostraciones prácticas. Allí aparecen entre otros el semicírculo y el cuadrante con anteojos, niveles,

escuadras, saltarreglas, pantómetra, planchetas y compases, en un muestrario completo de los instrumentos de la época²². En la *Real Ordenanza de 29 de diciembre de 1751*, para las Academias de Barcelona, Ceuta y Orán, se incluye una relación similar²³.

Tenemos noticia de la llegada, a mediados del siglo XVIII, de un conjunto de instrumentos para las Academias de Artillería de Barcelona y Cádiz, remitidos desde Londres por el fabricante G. Adams, que incluía dos teodolitos, dos planchetas, niveles, anteojos, compases, semicírculos graduados, escuadras de artillería, cadenas de medir, trípodes y otros²⁴.

En la traducción del tratado de fortificación de John Muller, publicada por Miguel Sánchez Taramas, se incluyen como instrumentos para el replanteo de estructuras en el terreno la mesilla o plancheta y el teodolito²⁵. Finalmente, en la obra del arquitecto zaragozano Antonio Plo y Camín, titulada *El Arquitecto práctico civil, militar y agrimensor*, publicada en Madrid en 1767, se describen los instrumentos usados por arquitectos e ingenieros en el siglo XVIII, principalmente el compás y la regla para el dibujo, el semicírculo graduado y la escuadra para trazar líneas en el terreno, y finalmente, la pantómetra y el nivel, de los cuales, por ser instrumentos más elaborados, se incluye una detallada descripción de su fabricación y uso²⁶.

MÉTODOS DE DISEÑO Y CÁLCULO DE LAS FORTIFICACIONES

Los métodos para el trazado de fortificaciones experimentaron un notable cambio a finales del siglo XVI, coincidiendo con un cambio de escala en el diseño de las fortificaciones. La antigua fortificación estaba pensada para ser defendida con artillería, y por lo tanto su línea de defensa estaba determinada por el alcance de los cañones, pero las nuevas técnicas de asedio y los ejércitos cada vez más numerosos obligaron a calcular las nuevas fortificaciones para ser defendidas mediante el tiro de mosquete, lo que reducía considerablemente la longitud de línea de defensa e impedía el trazado de fortificaciones atenazadas, salvo para fuertes de muy reducida dimensión.

Esto se aprecia con claridad en el tratado de Jean Errard de Bar-le-Duc, de 1594 o en el de Cristóbal de Rojas, de 1598, que compara las medidas utilizadas por los antiguos con las propuestas por tratadistas italianos, que considera también demasiado grandes,

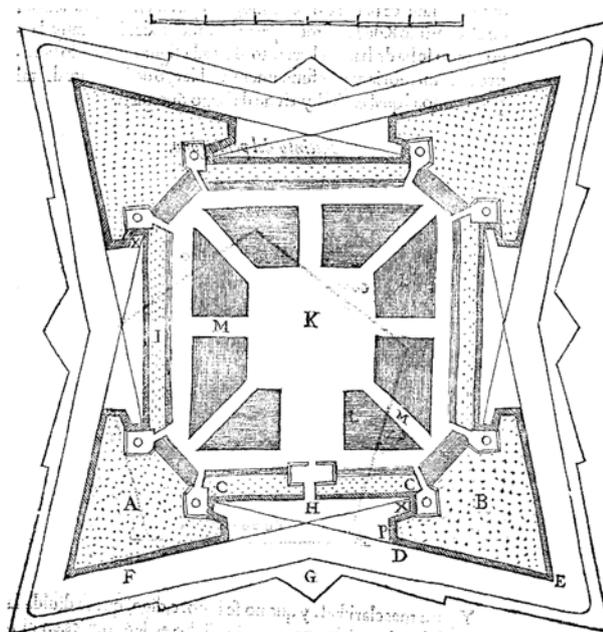


FIG. 5 CRISTÓBAL DE ROJAS. Recinto de una plaza de cuatro baluartes. En *Teórica y práctica de fortificación, conforme las medidas y defensas destes tiempos, repartida en tres partes*, Luis Sánchez, Madrid, 1598, fol. 42.

para aportar finalmente sus medidas, basadas en la experiencia: 360 pies para la cortina y 260 para el frente del baluarte, aunque admite medidas de largo de cortina entre 350 y 400 pies. Esta disminución de las distancias no solo tiene relación con el arma prevista para su defensa, sino también con la circunstancia de que la defensa es más eficaz en distancias cortas y supone menor gasto en las obras de fortificación²⁷.

Una vez definidas las medidas principales, y expresada la importancia y utilidad del pitipíe o escala, Cristóbal de Rojas hace diversas consideraciones relativas al sitio en el que se ha de asentar la fortificación y posteriormente traza los modelos básicos de la fortificación regular, en triángulo, cuadrado, pentágono, hexágono, heptágono y octógono, mediante el dibujo de un polígono regular de 600 o 660 pies de lado y la división del lado en cinco partes, de las cuales las tres centrales constituyen la cortina y las dos laterales las semigolas [FIG. 5]. Los frentes de los baluartes vienen determinados por la línea de defensa rasante que une el extremo de la cortina con el punto exterior del flanco, el cual es perpendicular a la cortina y mide 60 en el triángulo y 90 en polígonos superiores²⁸. Para la altura de las murallas propone 45 ó 46 pies sobre el horizonte, seis de ellos correspondientes al parapeto²⁹.

Este sistema proporcional de fortificación, en el que se divide el lado interior del polígono para hallar la cortina y la semigola, será el habitual en la tratadística española en el primer tercio del siglo XVII. Así, Diego González de Medina Barba también calcula la longitud de las cortinas en función del tiro de mosquete y propone unas medidas similares³⁰. En cuanto a la altura, declara que «han de tener cuarenta pies de alto, desde el plano del foso hasta el parapeto y cinco de parapeto, no más»³¹. Finalmente otorga al frente de baluarte una longitud de dos tercios de la cortina o 250 pies y de alto dos pies más que las cortinas³².

Un sistema proporcional similar, aunque algo mayor, propone el capitán Cristóbal Lechuga en su discurso publicado en Milán en 1611, para fortalezas de hasta seis lados. El autor parte de una medida inicial de 800 pies, de los que toma la mitad para la cortina y sobre sus extremos se forman los flancos de 120 pies, 30 pies para la casamata y 90 para la espalda. La altura es de 40 pies, 26 de fábrica y 14 de tierra³³.

El sistema proporcional de cálculo de la fortificación entró en crisis en la década de 1640, cuando como consecuencia de los alzamientos de Cataluña y Portugal, las derrotas de Rocroi y Lens, y la Paz de Westfalia, España perdió su hegemonía continental. Los modelos predominantes dejaron entonces de basarse en la tradición italo-española y penetraron con fuerza los modelos holandeses y centroeuropeos. Así en 1644 apareció por primera vez en la tratadística hispana el método de trazado mediante ángulos en el libro del ingeniero madrileño Juan Santans y Tapia, titulado *Tratado de fortificación militar destes tiempos breve e intelegible*³⁴ [FIG. 6]. Para este autor hay tres maneras de obtener el ángulo de baluarte. En la primera, ese ángulo es el resultado de dividir el ángulo de figura por dos y sumarle 20, tal como aparece en las tablas del tratado de Adam Freitag. En la segunda forma se le suma 15°, como en la propuesta de Samuel Marolois, y en la tercera se le suma 25°, siempre sin exceder los 90°.

El autor establece las tablas de longitudes de las figuras en dos proporciones, basadas en los ángulos hallados, con medidas constantes de la cortina y del frente de baluarte, que guardan la proporción 2/3, como en los tratados de Adam Freitag y de Mathias

Dogen. También establece, siguiendo a Freitag y a Dogen, tablas para fortificaciones de menor tamaño, y describe obras exteriores, concretamente los rellines, medias lunas, tenazas y coronas. A pesar de algunas inexactitudes y contradicciones, el tratado de Santans supone una auténtica revolución en la tratadística hispana, ya que introduce importantes innovaciones: el sistema de cálculo por ángulos, la posibilidad de cálculo de fortificaciones de diversas dimensiones y las obras exteriores.

Unos años después de la aparición del tratado de Santans, el ingeniero de origen portugués Diego Enríquez de Villegas, en su *Academia de fortificación de plazas y nuevo método de fortificar una Plaza Real*, enumera y compara todos los sistemas propuestos por autores italianos, franceses, holandeses y españoles y finalmente propone como óptimo el basado en el polígono de 1.100 pies de lado, que identifica con la potencia del mosquete bilbaíno, con 180 pies de semigola, lo que supone una cortina de 740 pies, flanco de 133, espalda de 120 y frente de baluarte algo menor que la mitad de la cortina. Este modelo, por sus dimensiones, parece anticuado para su época.

Pero la innovación fundamental que aporta Enríquez de Villegas es la introducción del sistema determinado. En efecto, aunque cita los métodos utilizados por los otros autores y parte de la división del lado del polígono interior para construir el proyecto, da ya medidas determinadas para los diversos elementos de la fortificación, una práctica que se generalizará en la segunda mitad del siglo XVII. El fundamento aducido para el cambio de sistema es la primacía de la práctica sobre los sistemas teóricos³⁵.

Algunas de las novedades que habían sido aportadas por Santans fueron recogidas veinte años después por el matemático, astrónomo e ingeniero mallorquín Vicente Mut en su tratado *Arquitectura Militar*. En él establece un sistema que parte de la distancia del tiro de mosquete, que dimensiona entre 800 y 1.000 pies geométricos. En función de ello establece el lado en 750 pies geométricos, con el fin de que todas las distancias estén dentro del alcance de esa arma. A continuación calcula la capital trazando desde el punto de dos quintos del lado una línea perpendicular al radio. Calcula la sagita sobre el medio de la cortina y, trasladando esta distancia a ambos lados, tiene los puntos desde donde trazar la línea de defensa rasante y los lados del baluarte. Los flancos se definen mediante perpendiculares al lado interior, trazados desde la transposición en el lado exterior de un tercio del interior³⁶ [FIG. 7].



FIG. 6 JUAN SANTANS Y TAPIA. Retrato incluido en el *Tratado de fortificación militar destes tiempos, breve e inteligible*, Bruselas, Guilielmo Scheybels, 1644. Nótese que porta una pantómetra en su mano izquierda.

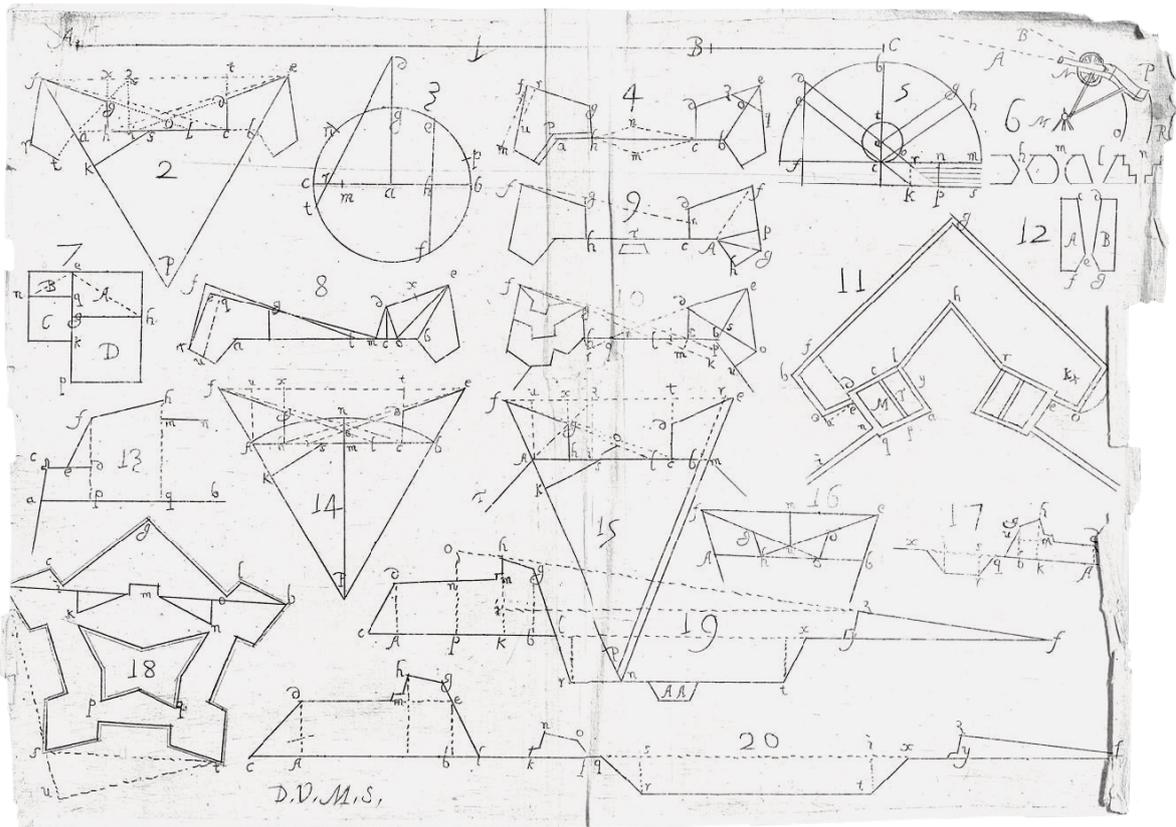


FIG. 7 VICENTE MUT. Sistemas gráficos de cálculo de las fortificaciones. *Arquitectura militar. Primera parte. De las fortificaciones regulares e irregulares, por don Vicente Mut, sargento mayor, ingeniero y cronista mayor del Reino de Mallorca.* Imprenta de Francisco Oliver, Mallorca, 1664, primera lámina.

Describe a continuación un segundo método de cálculo por ángulos, desde el lado exterior, con medidas fijas para la cortina y el lado del baluarte, y el resto de medidas en base a tres diferentes métodos de cálculo de los ángulos. Estos métodos de cálculo de Mut son similares en dos casos a los empleados por Santans, y en el tercero, el ángulo de baluarte es cuatro tercios del ángulo de figura, siempre sin exceder los 90° .

Vicente Mut explica también en su tratado la reducción de estos modelos de fortificación a otras dimensiones mediante la escala o el compás de proporción. Finalmente incluye asimismo las obras exteriores como revellín, media luna, tenaza y hornabeque, y define el perfil de las obras, en el que ya se advierte una reducción de la altura, pues tras considerar las ventajas e inconvenientes de las fortificaciones altas y bajas, opta por una medida intermedia: 20 a 24 pies sobre el horizonte. También incluye veinticuatro principios o reglas para la fortificación irregular, iniciando la tradición en la tratadística hispana de las máximas o reglas de fortificar.

Alonso de Zepeda, en su tratado publicado en Bruselas, incluye un conjunto de veintidós máximas y un compendio de los distintos métodos que existían en el siglo XVII para el trazado de las fortificaciones, ya que incluye trazados proporcionales, por ángulos, y determinados, además de alguno más ingenioso y posiblemente de su invención.

Así, calcula la fortificación, en primer lugar, por el método proporcional, dividiendo en seis partes el lado interior y utilizando la medida obtenida para la semigola y el través;

el lado del baluarte se traza con la línea desde el ángulo interior del través hasta la capital en el cuadrado y en el pentágono, desde un tercio de la cortina para el hexágono, heptágono y octógono, y desde la mitad en el eneágono y siguientes. Este método es similar al expuesto por Antoine de Ville en su tratado³⁷.

El modo segundo se calcula gráficamente mediante un ángulo de 20° dividido en dos partes desiguales de $8^\circ 30'$, y $11^\circ 30'$. Sobre este ángulo se traza con el compás un sector circular de la misma dimensión del lado interior. Las intersecciones con los tres ángulos indican las dimensiones de capital, semigola y flanco, de mayor a menor.

El tercer modo es determinado, a ajustar a otras dimensiones mediante la pantómetra o compás de proporción. Basándose en la dimensión de lado que da Cristóbal de Rojas y estableciendo unas medidas idénticas para semigola y través, construye un resultado muy parecido al del Conde de Pagan. El cuarto es la transposición mediante escala del método anterior.

El quinto método es de nuevo proporcional, tomando un tercio del lado para la capital, un quinto para la semigola y tres cuartos de esta para el flanco, salvo en el cuadrado que serán dos tercios. También describe un método gráfico mediante división del semiángulo de figura en tres (cuatro en el pentágono y hexágono), y trazado de las correspondientes líneas de defensa y flanco. En cuanto al perfil, propone una altura de 20 pies hasta el cordón y sobre él el parapeto de seis pies de alto y pie y medio de ancho³⁸ [FIG. 8].

En el año 1671 se publicó en Nápoles el libro *Geometría Militar*, de Pedro Antonio Ramón Folch de Cardona, en el que se establece también el sistema de construcción de las fortificaciones regulares por el método de cálculo de los ángulos, sumando veinte grados al semiángulo de figura, de manera análoga a como lo propusieron Freitag, Santans y Mut, y estableciendo la máxima línea de defensa en 60 vergas³⁹. Para la altura de la muralla propone un curioso sistema de alturas crecientes en función de los lados del polígono: desde 15 pies y medio para la fortaleza de cuatro baluartes a 24 para las de más de ocho baluartes. Sobre esta muralla va el parapeto, de 4 pies de medida exterior y 6 de interior⁴⁰.

El autor incluye en su tratado innumerables tablas polimétricas para el cálculo de una fortificación de cualquier tamaño, entre 6 y 82 vergas de lado exterior, y con ángulos

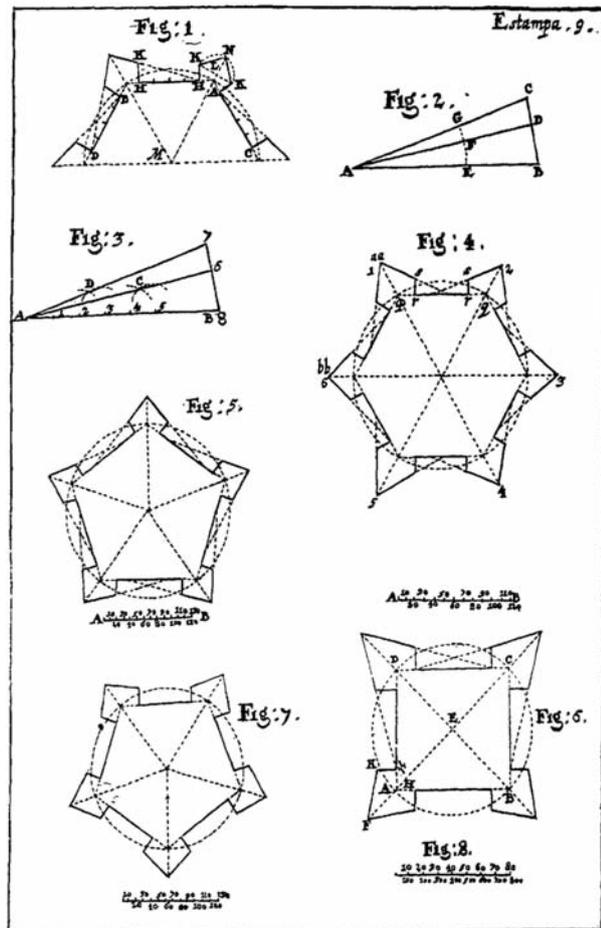


FIG. 8 ALONSO DE ZEPEDA Y ADRADA. *Epítome de la fortificación moderna, así en lo regular como en lo irregular, reducida a la regla y al compás, por diversos modos, y los más fáciles para mover la tierra.* Bruselas, Francisco Foppens, 1669, estampa 9.

variables, convirtiendo de esta forma el método de cálculo por ángulos empleado en un complejo sistema determinado, utilizable también para la fortificación irregular. Incluye asimismo tablas para el cálculo de todas las alturas de la sección, en función del tamaño de la plaza y de los ángulos.

En el libro *Fábrica y uso de varios instrumentos matemáticos*, de José Zaragoza, se fija, siguiendo a Antoine de Ville, el tiro de mosquete en 200 pasos geométricos, equivalentes a 1.172 pies castellanos. La construcción de la planta de la fortificación viene determinada por las dimensiones del lado, la semigola y el través en cada polígono, con un frente de baluarte igual para todos⁴¹. La altura del muro es de 45 y medio desde el plano del foso, de los que cuatro y medio corresponden al parapeto y veinte al foso⁴².

El método propuesto por José Zaragoza es ya completamente determinado, con dimensiones prefijadas de todos los elementos. Este sistema, que supone una simplificación de los anteriores, pudo haber sido elegido por Zaragoza al estar destinado el manual al joven monarca Carlos II, que solo contaba con catorce años. El autor incluye nueve reglas generales para las obras exteriores y seis para la fortificación irregular. La última indica que cuando hayan irregularidades se deje «todo al buen ingenio del artífice, pues no se pueden dar reglas generales para lo que puede suceder, que es infinito»⁴³.

En el tratado anónimo titulado *Escuela de Palas* se hace una revisión de los principales tratadistas de todas las nacionalidades, con la descripción y la construcción de cincuenta y tres modelos diferentes, y finalmente se expone el método propio [FIG. 9]. Parte éste de la línea de defensa, que debe ser de 900 pies geométricos, ya que el alcance del mosquete es de 1.000. El flanco será de 160 pies, salvo para el cuadrado, que será de 130. La media gola ha de ser de las mismas medidas que el flanco, y la distancia entre lado interior y exterior es de 300 pies⁴⁴. Se trata pues de un modelo determinado, como es frecuente en la

TABLA 1
MÉTODOS DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE FORTIFICACIÓN UTILIZADO POR LOS TRATADISTAS. SIGLOS XVI-XVIII

TRATADOS/ MÉTODOS	PROPORCIONAL	POR ÁNGULOS	DETERMINADO	OTROS	MÁXIMAS
1598. Cristóbal de Rojas. <i>Teórica y práctica de la fortificación</i> .					
1599. Diego G. de Medina Barba. <i>Examen de fortificación</i> .					
1611. Cristóbal Lechuga. <i>Discurso... con un tratado de fortificación</i> .					
1644. Juan Santans y Tapia. <i>Tratado de fortificación militar</i> .					
1651. Diego Enríquez de Villegas. <i>Academia de fortificación de plazas...</i>					
1664. Vicente Mut. <i>Arquitectura militar...</i>					24
1669. Alonso de Zepeda y Adrada. <i>Epítome de la fortificación moderna...</i>					22
1671. Pedro Folch de Cardona. <i>Geometría militar</i> .					
1675. José Zaragoza. <i>Fábrica y uso de varios instrumentos matemáticos</i> .					9+6
1693. Anónimo. <i>Escuela de Palas</i> .					28
1700. Sebastián Fernández de Medrano. <i>El arquitecto perfecto...</i>					15
1704. José Cassani. <i>Escuela militar de fortificación...</i>					11
1712. Vicente Tosca. <i>Compendio matemático</i> .					13
1744. Félix Prósperi. <i>La Gran Defensa. Nuevo Método de Fortificación...</i>					8
1757. Manuel Centurión Guerrero de Torres. <i>Ciencia de Militares...</i>					4+4
1772. Pedro de Lucuze. <i>Principios de fortificación...</i>					6+7

Datos extraídos de los correspondientes tratados. Elaboración propia.

segunda mitad del siglo XVII. El tratado incluye también veintiocho máximas, en un intento de normalizar completamente el arte de la fortificación⁴⁵.

Con la *Escuela de Palas* nos encontramos en un punto de inflexión en el desarrollo de los métodos de diseño de fortificaciones. La exposición conjunta de más de medio centenar de métodos diversos expresa un eclecticismo práctico, pero revela también una cierta devaluación de los métodos geométricos, que va a traducirse en el paulatino abandono de los métodos y modelos puramente geométricos, para confiar cada vez más el proceso de diseño a la experiencia del artífice y a la observación de unas máximas, que en este tratado alcanzan su más cuantiosa formulación.

Así, a comienzos del siglo XVIII se fueron paulatinamente abandonando las tablas de medidas o ángulos, así como los sistemas determinados, para confiar principalmente en las máximas o reglas de fortificación. Estas máximas existían ya en los tratados de fortificación desde la época de Jean Errard de Bar-le-Duc, pero en la literatura hispánica de fortificación se incorporaron en 1664, con el tratado de Vicente Mut, referidas a la fortificación irregular, y posteriormente aparecieron en todos los tratados importantes hasta finales del XVIII.

Hay una gran variedad entre las reglas que encontramos en los diversos tratadistas españoles, pero podemos clasificarlas en dos tipos básicos: las normas estratégicas de diseño y las referidas a dimensiones o proporciones. De las ochenta y cinco máximas enunciadas por los tratadistas españoles, aproximadamente dos tercios son estratégicas y funcionales y un tercio dimensionales. De las primeras, una tercera parte se refieren a obras exteriores.

Entre las más frecuentes máximas estratégicas se encuentran que todo punto debe estar flanqueado y defendido a tiro de mosquete, que todas las partes deben estar debidamente fortificadas, que las obras exteriores deben estar dominadas desde las más cercanas a la plaza, que la fortificación debe acercarse lo más posible a la regular, que debe tener el menor número de baluartes, etcétera. En cuanto al segundo tipo, las más repetidas son que el ángulo del baluarte debe estar entre 60° y 90° , que la línea de defensa no debe ser mayor que el tiro de mosquete o que las golas son mejores grandes que pequeñas. La más original es la que incluye Félix Prósperi como última máxima: «Que para bien fortificar no se repare en reglas de autor alguno ni en máximas particulares»⁴⁶.

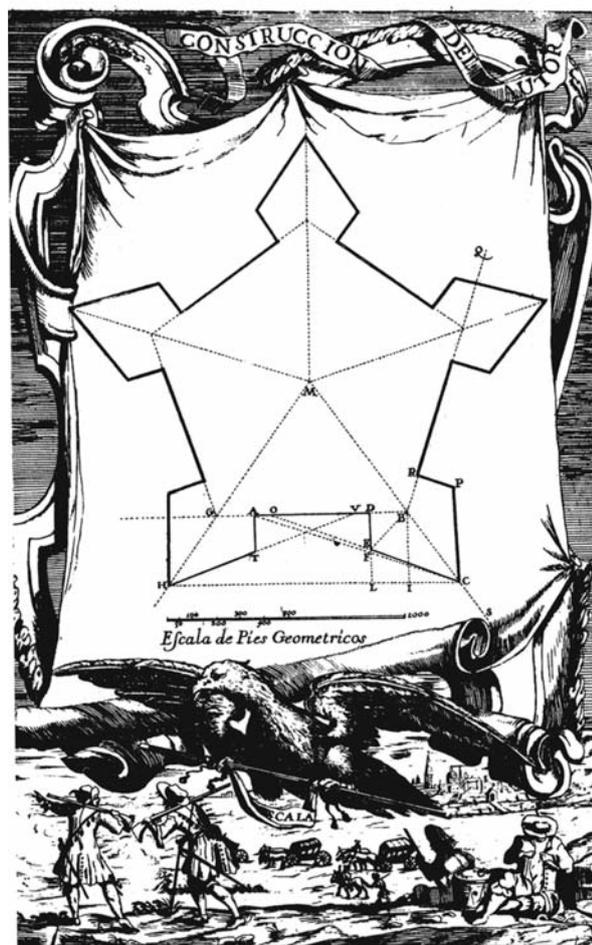


FIG. 9 Construcción del autor. *Escuela de Palas o sea Curso Mathematico*. Milán, Imprenta Real, 1693, p. 133.

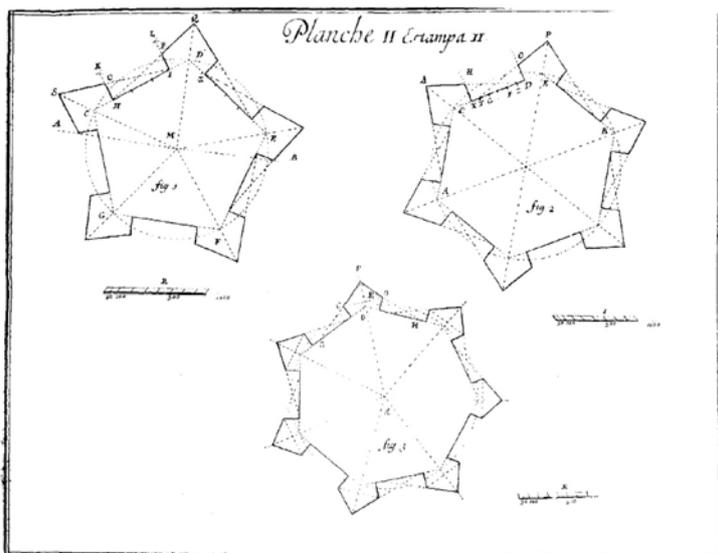


FIG. 10 SEBASTIÁN FERNÁNDEZ DE MEDRANO. Construcción del pentágono, del hexágono y del heptágono. *El arquitecto perfecto en el arte militar*. Henrico y Cornelio Verdussen, Amberes, 1708, estampa II.

En el tratado de Sebastián Fernández de Medrano, titulado *El arquitecto perfecto en el arte militar*, el autor incluye quince máximas, y vuelve a utilizar el sistema proporcional para fortificar el cuadrado, dividiendo el lado interior en cinco y dando tres quintos a la cortina y uno a cada semigola. El flanco es dos tercios de la semigola, perpendicular a la cortina y el frente del baluarte se traza como prolongación de la línea que une el vértice interior del flanco al extremo del flanco opuesto. La construcción del pentágono es similar, pero dando al flanco un sexto del lado interior. La del hexágono igual a la del pentágono, salvo que el frente del baluarte se traza desde tres décimos del lado interior al extremo del flanco opuesto. Finalmente, el heptágono se construye de manera análoga, salvo la línea de defensa, que se halla uniendo el vértice exterior del flanco con la prolongación del diámetro en una medida igual a la que resulta de trazar la perpendicular al flanco sobre dicho diámetro⁴⁷. La altura de las murallas debe ser entre quince y veinticinco pies sobre el horizonte, no excediendo nunca los treinta pies⁴⁸ [FIG. 10].

También incluye un «nuevo método de fortificación del autor», proporcional pero sin ángulos flanqueantes rectos. Para el cuadrado divide el lado en cinco partes y da una a cada semigola. Traza en los extremos de la cortina líneas con ángulos de 110° y en ellas, a trece dieciseisavos de la semigola, el extremo del flanco, que forma la línea de defensa. El flanco se dividirá en cinco partes y tomando dos desde el vértice del baluarte, se hallará un punto que unido con los dos quintos del flanco indicará la abertura de la casamata. Este método también lo describe para flancos con plazas bajas y para los otros polígonos, cambiando las proporciones en cada uno de ellos⁴⁹.

El matemático jesuita José Cassani, en su *Escuela militar de fortificación ofensiva y defensiva*, incluye once máximas, en gran parte coincidentes con las de la *Escuela de Palas* o las del tratado de Fernández de Medrano⁵⁰. Para la altura de la muralla propone 19 ó 20 pies castellanos sobre el horizonte, sin ser nunca menor de 12. La línea de defensa la fija en 900 pies, siguiendo «el doctísimo autor de *La Escuela de Palas*», y aporta varias tablas para fortificación por el método determinado⁵¹.

Propone también un método propio, que es una variante del método proporcional, dividiendo el lado interno en cinco partes, dando una a cada semigola y levantando per-

pendicular al centro de la cortina la distancia equivalente a la mitad de la semigola, para trazar las líneas de defensa, sobre las cuales una longitud equivalente a la cortina más un décimo de ella marcarán los límites de los baluartes. En el caso del pentágono se divide el semilado en siete partes, tres son la semigola y una la perpendicular en el centro de la cortina, hallando el extremo del baluarte con la cortina más un séptimo de ella⁵². Describe también la fortificación por tablas o mediante la pantómetra.

El matemático oratoriano Tomás Vicente Tosca expone las máximas «que debe tener el Ingeniero muy presentes por estribar en ellas todo el arte de la Fortificación»⁵³. En cuanto al diseño de la fortificación, Tosca establece un sistema determinado basado en una línea de defensa en 800 pies valencianos o geométricos, una semigola de 160 pies, una distancia de polígono interior y exterior de 300 pies, salvo en el cuadrado, que será de 200 y en el pentágono de 260, el ángulo de flanco y cortina de 100° y el ángulo flanqueado de siete lados en adelante de 85° y en los inferiores el que saliere (en el pentágono es de 70° y en el cuadrado de 61°).

El ingeniero italiano Félix Prósperi publicó su libro *La Gran Defensa. Nuevo Método de Fortificación...* en 1744 en México. En él incluye ocho máximas y un sistema de fortificación peculiar en el que la defensa de los baluartes está confiada a los revellines, única obra exterior que admite, mientras que la defensa de estos se hace desde los flancos. Este sistema contradice una de las máximas generalmente reconocidas: que las obras exteriores deben ser dominadas y defendidas por las más interiores.

En el tratado de Pedro de Lucuze se establecen tan solo seis máximas generales y otras siete reglas para obras exteriores, así como unas medidas principales orientativas en varas castellanas: lado exterior 420 varas, línea de defensa 315, flanco 63, cara 117 y cortina 178⁵⁴. Prefiere el baluarte lleno al vacío.

Las reglas o máximas generales que se exponen en el tratado de Manuel Centurión Guerrero de Torres, titulado *Ciencia de Militares*, son cuatro, aunque las acompaña de otras complementarias⁵⁵. El trazado de la fortificación lo hace imitando a Vauban, por lados exteriores: Se unen con una línea los extremos de las capitales y en su punto medio se traza una perpendicular hacia el centro del polígono y a un octavo del lado exterior, si es cuadrada la fortificación, un séptimo, si es pentagonal, y un sexto, si es hexagonal, se sitúa el punto que unido con el extremo de las capitales traza las líneas de defensa. En ellas, dos séptimos del lado exterior son los frentes de baluarte. Desde el punto de cruce de las líneas de defensa se traza un arco desde el final del frente para hallar el vértice de la cortina con el través y con ello se completa la fortificación⁵⁶.

En esta evolución de los métodos de diseño y trazado del proyecto de fortificación hemos podido presenciar cómo los sistemas de fortificación procedentes del siglo XVI se transforman a finales de ese siglo y comienzos del siguiente, reduciendo las dimensiones y aplicando el sistema proporcional. En la década de 1640 y por espacio de treinta o cuarenta años predominan los trazados mediante ángulos, siguiendo a los autores holandeses y centroeuropeos, mientras que en el último cuarto de siglo e inicios del XVIII se propaga el trazado determinado de la fortificación, con medidas fijas de longitudes y ángulos. Conforme avance el siglo XVIII, desaparecerán los trazados geométricos o determinados y la elaboración se confiará a la aplicación de las máximas o reglas de fortificar.

TABLA 1

TABLA COMPARATIVA DE LAS MÁXIMAS O REGLAS DE FORTIFICAR EN DIVERSOS TRATADISTAS DEL LOS SIGLOS XVII Y XVIII

	VICENTE MUT	ALONSO DE ZEPEDA	JOSÉ ZARAGOZA	ESCUELA PALAS	JOSÉ CASSANI	FERNÁNDEZ DE MEDRANO	TOMÁS V. TOSCA	FÉLIX PRÓSPERI	MANUEL CENTURIÓN	PEDRO DE LUCUZE
Todo punto flanqueado y defendido por mosquete	1ª	6ª, 15ª	1ª E	1ª	1ª	11ª	1ª	1ª	1ª G	1ª, 1ª E
Línea de defensa no mayor del tiro de mosquete		17ª		3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	2ª G	2ª
Todas las partes debidamente fortificadas	18ª	5ª		2ª	2ª		3ª		3ª P	5ª
Obras exteriores dominadas desde las más cercanas		21ª	2ª E	23ª	10ª	12ª			4ª G	6ª
Ángulo del baluarte entre 60° y 90°	6ª	11ª		4ª	8ª	6ª	8ª			
Menos baluartes, mejor	9ª	1ª	2º I	24ª		14ª	12ª			
Acercarse en lo posible a la regular	3ª	22ª	1ª I	25ª		15ª				
Grandes golas mejor que pequeñas		9ª		10ª		3ª	6ª			
Todas las partes resistentes a la artillería		7ª					10ª		3ª G	4ª
Flancos mayores de 100 y menores de 150 pies (flancos más grandes)		10ª		11ª	6ª	2ª				
Frentes baluartes defendidos por mosquete y artillería		16ª		15ª					1ª P	
Baluartes los más capaces		8ª						6ª	4ª P	
Ángulos no menores de 80°	7ª						9ª			
Necesidad de obras exteriores	22ª		4ª I							
Ángulo flanqueante mejor menos obtuso				5ª		7ª				
Baluartes terraplenados mejor que vacíos				6ª		13ª				
Frentes 2/3 cortina				16ª		5ª				
Fosos profundos				18ª			13ª			
Parapetos de tierra		19ª		27ª						
Terraplén y parapeto		18ª		28ª						
Foso de la grandeza del flanco		20ª				8ª				
Las partes que defienden deben aumentarse cuanto se pueda							5ª			3ª
Todas con su foso comunicado con el de la plaza con estacada			3ª E							4ª E
Hechas con la tierra de sus fosos y parapeto resistente			4ª E							5ª E
Mejor minadas			5ª E							7ª E
Baluartes no muy altos				9ª			11ª			
Desde cada flanco cortina, frente, foso, estrada cubierta...				12ª			4ª			
Cortinas, frentes y capitales de competente magnitud					7ª		7ª			
Traveses y frentes, partes fundamentales	2ª									
Frentes baluartes uniformes	4ª									
Evitar ángulos muy agudos y muy obtusos	5ª									
Uniformidad de fuerzas, no de líneas	8ª									
No importa la desigualdad de baluartes	10ª									
No es necesario que el ángulo de tenaza sea menos obtuso	11ª									
Lado al mar o río solo cortina escalada a traveses	12ª									
Partes flacas obras exteriores o cortaduras	13ª									
Poca guarnición: mejor demoler que ampliar el recinto	14ª									
Fuerzas propias y del enemigo, calidad del sitio, lo primero	15ª									
Basta sanar los mayores defectos de la irregularidad	16ª									
Primero perder parte defendida que la que defiende	17ª									
De tierra más expuestas a la brecha, de muralla, a la mina	19ª									
Puerta flanqueada de ambas frentes	20ª									
Calidad del sitio, fuerzas, socorro y fuerza del enemigo	21ª									
Buen segundo través que flanquee las frentes	23ª									
Fortificación más fuerte las leyes y la defensa de la razón, la justicia, la fe	24ª									
Para la defensa de un baluarte capaz bastan 200 hombres		2ª								
Las plazas que tienen algún padrasto no son tan buenas		3ª								
Plaza mejor si más defensa y menos que defender		4ª								

	VICENTE MUT	ALONSO DE ZEPEDA	JOSÉ ZARAGOZA	ESCUELA PALAS	JOSÉ CASSANI	FERNÁNDEZ DE MEDRANO	TOMÁS V. TOSCA	FÉLIX PRÓSPERI	MANUEL CENTURIÓN	PEDRO DE LUCUZE
Lado total no mayor de 160 pasos geométricos		12ª								
Cortina no menor de 300 pies de Bruselas ni mayor de 640		13ª								
Cortinas defendidas de dos flancos o con empalizada y contrafoso		14ª								
Piezas pequeñas que se retiren con facilidad			6ª E							
Si puesto levantado cercano, obra exterior			7ª E							
No importa que haya cortina o baluarte, se ha de socorrer a la necesidad			8ª E							
Según sea el puesto, revellín, hornabeque u obra coronada			9ª E							
Si los muros son fuertes, utilícenlos como cortinas			3ª I							
En las medidas, como en la regular			5ª I							
Lugares altos, profundos, etc. al buen ingenio del artífice			6ª I							
No baluartes de gran circuito				7ª						
No muy grandes los baluartes				8ª						
Flancos con casamatas para artillería				13ª						
Mejor casamatas que falsabragas				14ª						
Frente de un baluarte depende de los flancos				17ª						
No fosos anchos y poco profundos				19ª						
No fosos angostos y poco profundos				20ª						
Fosos secos mejor que con agua (Plaza grande)				21ª						
Fosos llenos de agua para plaza pequeña				22ª						
Mejor llano y raso				26ª						
Flancos oblicuos y cercanos					3ª					
Línea de defensa tocar el ángulo, no cortar el flanco					5ª					
El triángulo es figura inepta para fortificar					9ª					
Concordar y guardar todas las máximas					11ª					
Cortina de 400 a 500 pies						4ª				
Estrada encubierta 25 a 30 de ancho						9ª				
Explanada 60 a 100						10ª				
Flancos ocultos grandes, con fuego continuado y perenne							2ª			
Se defiende mucho terreno con poca gente							4ª			
Fosos anchos y llenos							5ª			
Que para bien fortificar no se repare en máximas particulares							7ª			
Flancos no muy expuestos								2ª P		
Si hornabeque o tenaza delante de cortina, revellín en su gola										2ª E
Si dos hornabeques, el más próximo debe dominar al otro										3ª E
Descubierta por el lado de la plaza, sin terraplén ni parapeto										6ª E
E: reglas para obras exteriores; I: reglas para fortificaciones irregulares; G: reglas generales; P: reglas particulares										

Datos extraídos de los correspondientes tratados. Elaboración propia.

LOS SISTEMAS Y LAS NORMAS DE REPRESENTACIÓN

La cartografía militar había evolucionado en los siglos XVI y XVII hacia un sistema de proyecto y representación cada vez más normalizado y reglado [FIGS. 11-12]. Si los dibujos del siglo XVI suelen ser rasguños o bocetos, frecuentemente sin escalas, sin orientación, y en ocasiones con diversas vistas superpuestas, a lo largo del siglo XVII, y como consecuencia de la existencia de tratados y de la enseñanza reglada en las Academias de Matemáticas, fue haciéndose la representación cada vez más normalizada, con una utilización mayor de las reglas geométricas y de las escalas. Pero no será hasta finales del siglo XVII y sobre todo en el XVIII, cuando la cartografía militar alcanzará un sistema universal reglado, con códigos de representación plenamente establecidos.

A comienzos del siglo XVII seguía siendo la maqueta el principal instrumento de representación del proyecto, y su construcción fue algo habitual en todos los proyectos de fortificación importantes⁵⁷ En el manuscrito de Juan Bautista Antonelli se recomienda trazar primero la planta, «y sobre esta planta se hará un modelo de tierra, o de otra materia, con la altura de la muralla, profundidad del foso, y finalmente con todo la apariencia de una ciudad fortísima, sobre el cual modelo se harán muchas consideraciones, con el parecer de arquitectos y de hombres expertos en la guerra»⁵⁸.

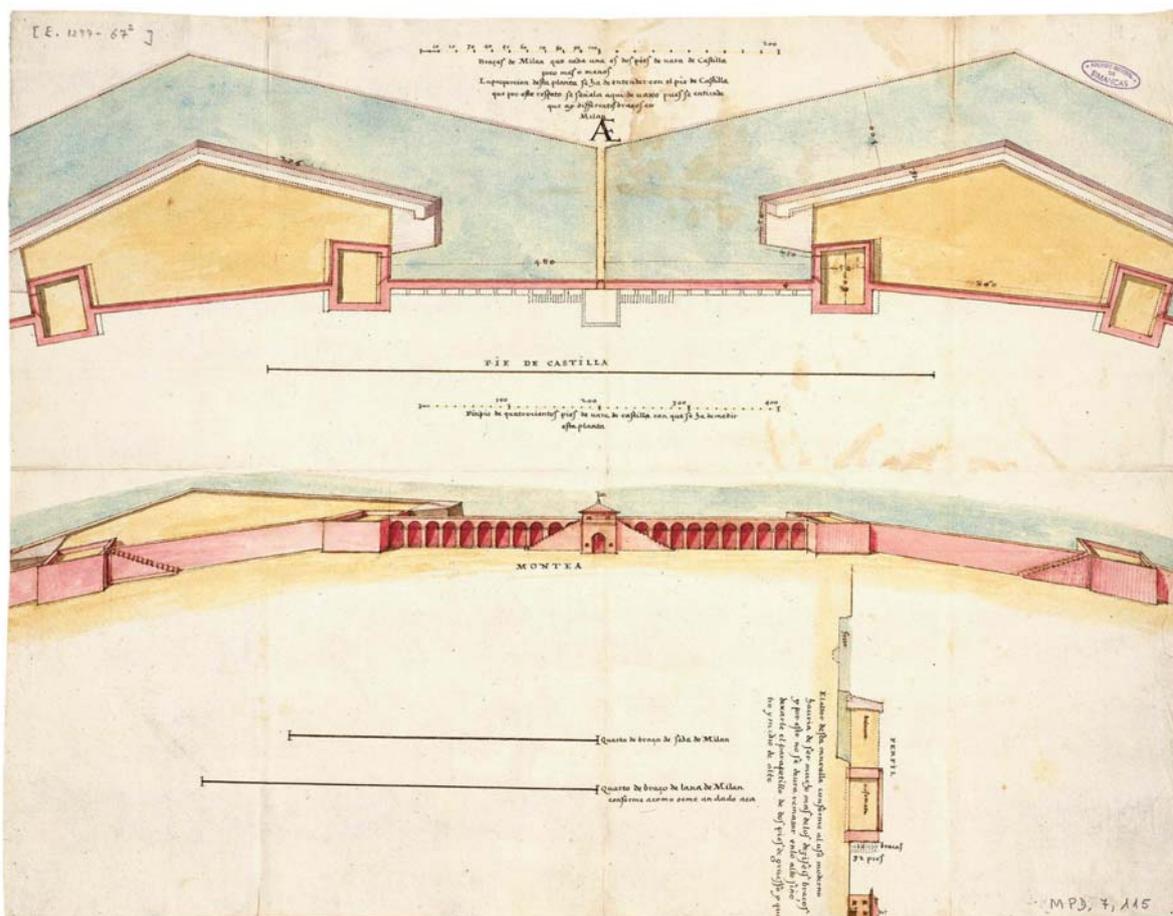


FIG. 11 TIBURCIO SPANNOCCI. *Traza como se habría de proseguir la cerca de la ciudad de Cremona*, 1595. España. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Archivo General de Simancas. MPD, 07, 115.

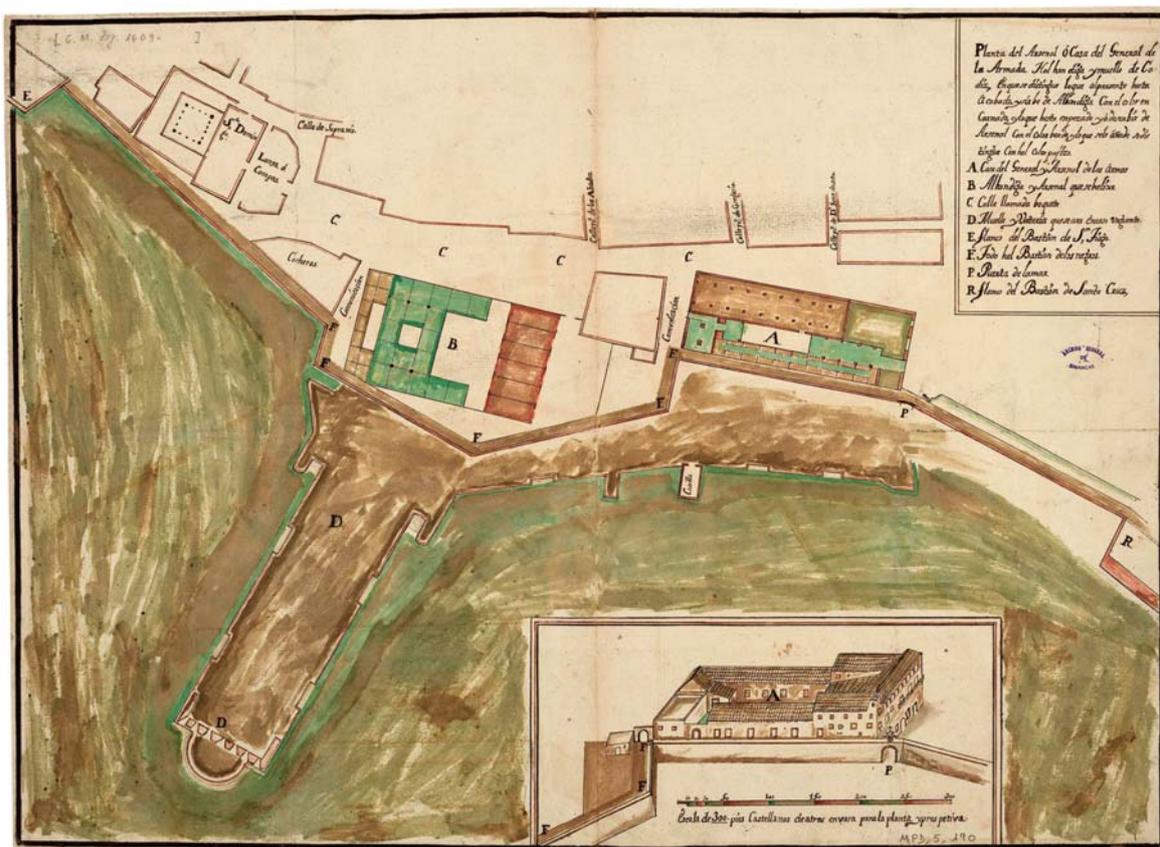


FIG. 14 DIEGO LUIS ARIAS. *Planta del Arsenal o Casa del General de la Armada, Alhóndiga y muelle de Cádiz, en que se distingue lo que al presente hesta acabado y sirbe de Alhóndiga con el color encarnado y lo que hesta empezado y a de serbir de Arsenal con el Color Berde, y lo que se añade se distingue con el color pajizo*, 1716. España. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Archivo General de Simancas. MPD, 05, 190.

Cristóbal Lechuga, en su tratado, también confiaba la representación del proyecto a la planta y a la maqueta: «Sabidas las medidas y partes que ha de tener una fuerza, lo primero que debe hacer el que quisiere fabricarla, es hacer la planta en papel tan cumplida de baluartes, traveses y plataformas que quisiere tenga, y sean necesarias con su escala, para que no se pueda errar y dando el tiempo lugar, que por la de líneas se haga relevada de madera, piedra blanca, cartón o de alguna composición, porque todo lo que ha de tener se vea mejor»⁵⁹.

Las maquetas no solo eran herramienta del proyecto y guía de la construcción, sino también instrumento de estrategia militar, por lo que fueron coleccionadas por los monarcas. Tenemos noticias de la colección de los Austrias en el Alcázar de Madrid, donde pudo existir un cuarto dedicado a esta colección, que posiblemente se perdió en el incendio del Alcázar.

Hacia mediados del siglo XVII decae considerablemente el interés por las maquetas y los trazados de las fortificaciones se realizan mediante planos, utilizando la geometría para la representación según las proyecciones diédricas y normalizando la representación. La proliferación de tratados y de métodos de trazado mediante reglas geométricas, contribuyó a este proceso, como también la extensión de la imprenta y del grabado como medios de transmisión de los proyectos.

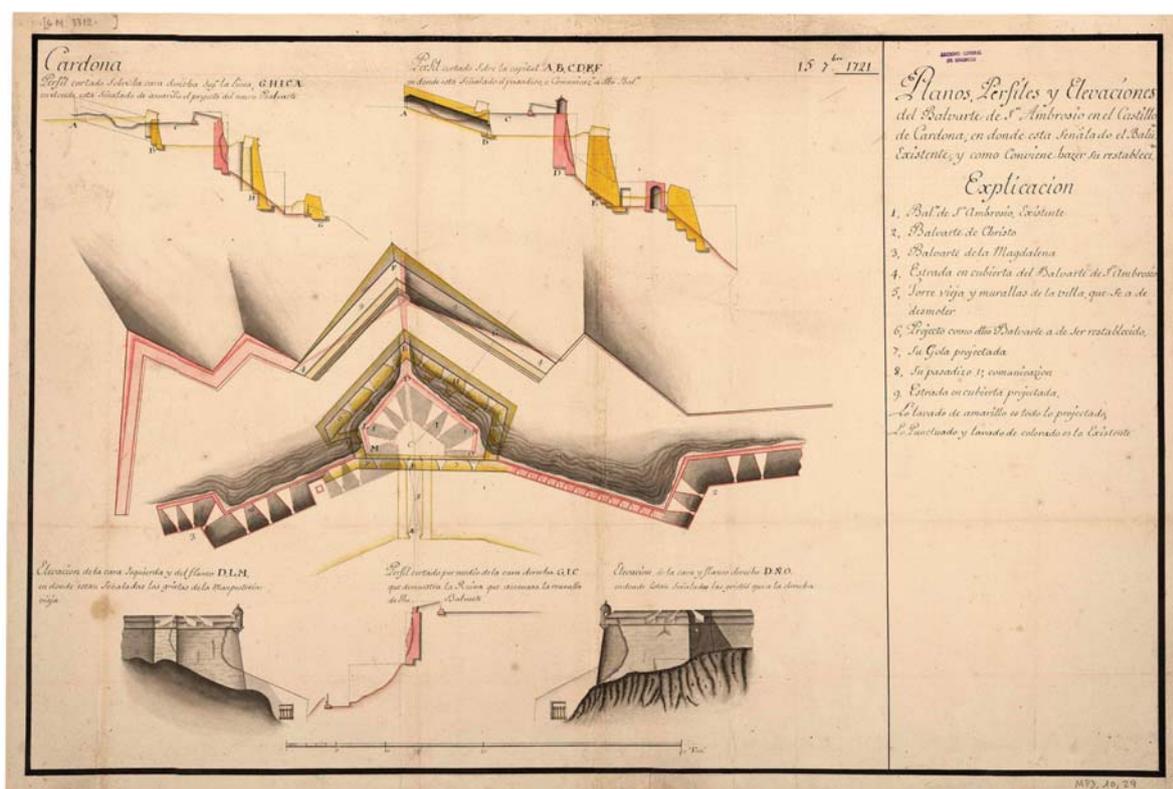


FIG. 15 Planos, perfiles y elevaciones del Baluarte de S^o Ambrosio en el Castillo de Cardona, en donde esta señalado el Baluarte existente, y como conviene hacer su restablecimiento, 1721. España. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Archivo General de Simancas. MPD, 10, 029.

Las maquetas continuaron existiendo, pero más por interés didáctico o para expresión del poder real, que como instrumento de elaboración y transmisión del proyecto. En las colecciones reales se documenta en 1711 la lujosa maqueta llamada *Estudio de fortificación* ejecutada en madera de ébano y plata dorada, y en el reinado de Carlos III se ordenó se levantaran «bajos relieves de todas las plazas y fortificaciones de España y sus adyacentes capaces de defensa». En el Salón de Reinos del Palacio del Buen Retiro hubo un «cuarto de modelos» en el que se custodiaban estas piezas, que junto con otras, como la colección comprada a la viuda de Montalembert, pasaron en 1803 al Real Museo Militar⁶⁰.

Conforme la utilización de la maqueta fue decayendo, se desarrollaron y evolucionaron las normas de delineación de planos. Así podemos apreciar, a partir de la mitad del siglo XVII, una frecuente separación gráfica entre obra realizada y proyecto, expresada mediante colores distintos, que son explicados en la leyenda, a falta de una normalización general [FIGS. 13-18]. En esta época aún tiene escasa presencia en los planos el entorno de la obra y el territorio circundante.

Francia fue el primer país que procedió a la regulación del código de representación en los planos: «La gran diversidad de prácticas cartográficas todavía en uso por los ingenieros militares en los años 1670 conducirá a Vauban a normalizar las reglas del dibujo

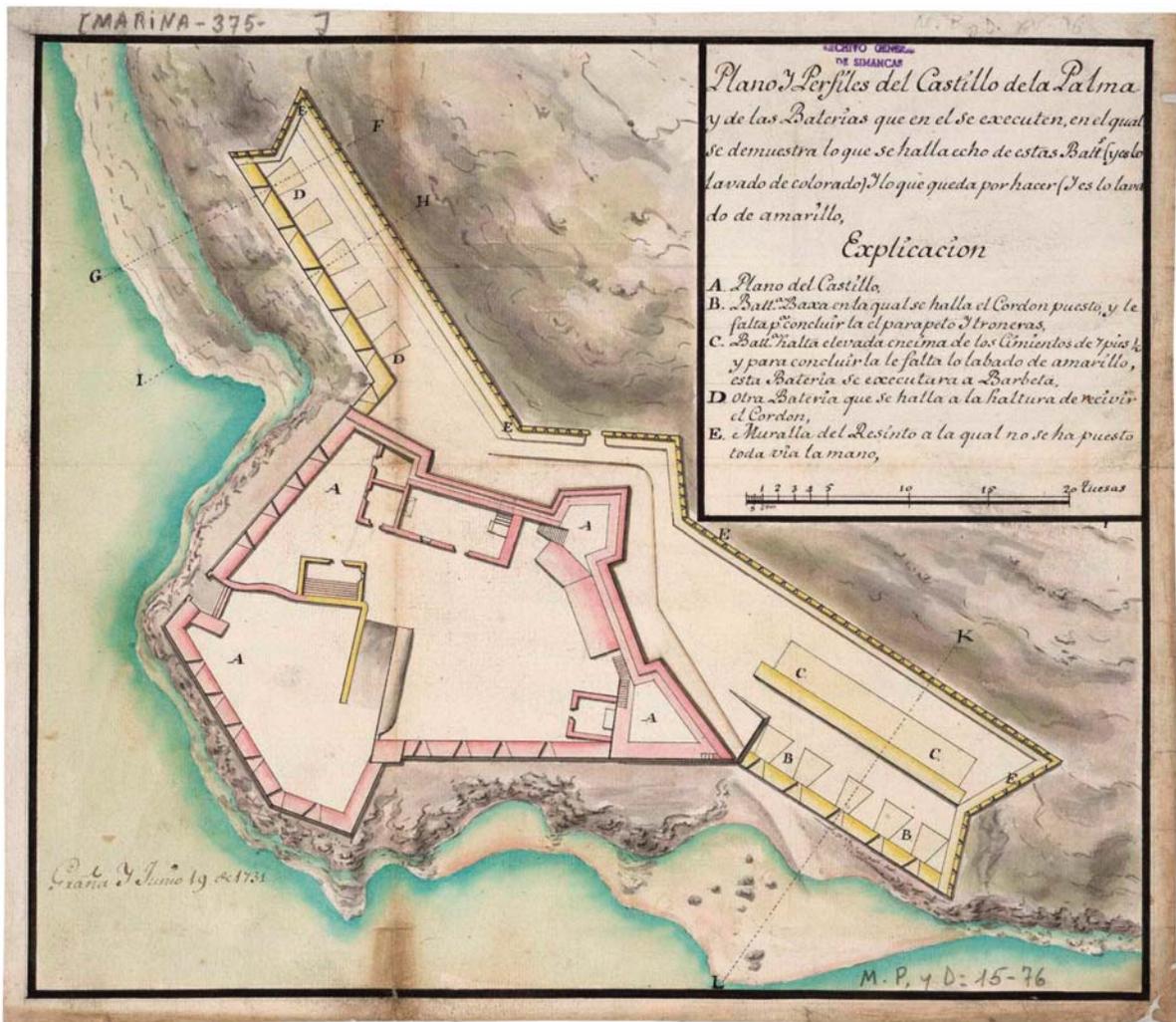


FIG. 16 JUAN DE LAFERIÉRE y VALENTÍN. Ferrol. Plano y Perfiles del Castillo de la Palma y de las Baterías que en él se executen, en el cual se demuestra lo que se halla echo de estas baterías (y es lo lavado de colorado) y lo que queda por hacer (y es lo lavado de amarillo), 1731. España. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Archivo General de Simancas. MPD, 15, 076.

y los códigos de representación cartográfica, a fin de que cada ingeniero utilice el mismo lenguaje gráfico, inmediatamente inteligible para todos»⁶¹. Esta normalización de la representación cartográfica será observada en la posterior actividad cartográfica, y aparecerá publicada en algunos tratados como *L'art de laver ou la nouvelle maniere de peindre sur le papier, suivant le Coloris des Desseins qu'on envoie à la Cour*⁶², de Henri Gautier, o el tratado anónimo titulado *L'Art de dessiner proprement les Plans, Porfiles, Elevations Geometrales & Perspectives, soit d'Architecture Militaire ou Civile*⁶³, publicado en París en 1697.

En España este sistema de representación normalizada es difundido fundamentalmente por las Academias. Así, en la *Real Ordenanza e Instrucción de 22 de julio de 1739* para la enseñanza de las Matemáticas en la Academia de Barcelona, se expresa que: «se enseñará el modo de delinear con limpieza, y de aplicar los colores, según práctica, para la demostración de sus partes, su distribución y decoración, con los adornos pertenecientes a todos los Edificios Militares, haciendo a este fin sus respectivos Planos, Perfiles y Elevaciones»⁶⁴.

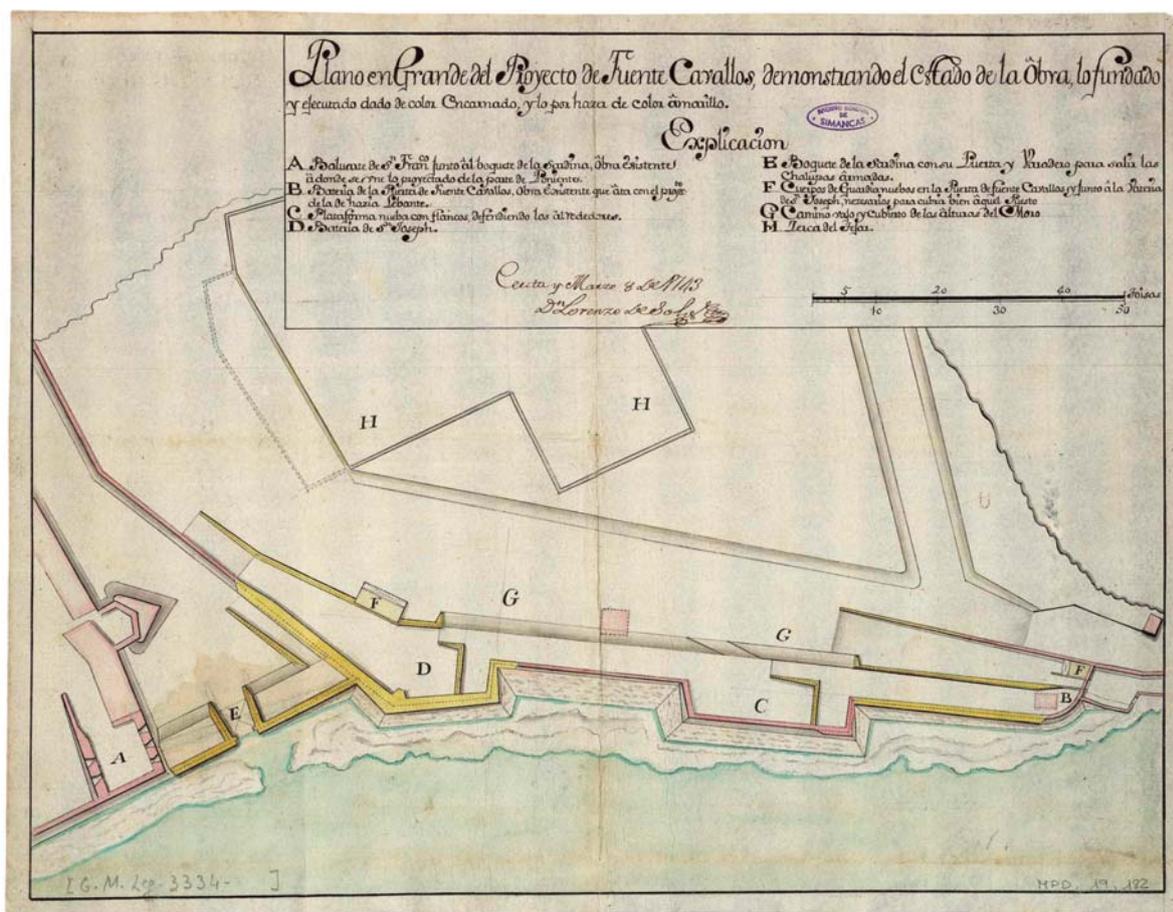


FIG. 17 LORENZO DE SOLÍS. Ceuta. Plano en grande del proyecto de Fuente Cavallos demostrando el estado de la obra, lo fundado y ejecutado dado de color encarnado y lo por hacer de color amarillo, 1743. España. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Archivo General de Simancas. MPD, 19, 182.

Si analizamos la utilización del color en los planos de fortificaciones, podemos ver cómo hasta bien entrado el siglo XVIII no hay una utilización normalizada y en cada caso se aplican los colores de una forma elegida individualmente, que debe ser explicada en la leyenda. Así vemos cómo la parte proyectada en algunas ocasiones es verde o roja y la existente amarilla. También descubrimos utilizaciones por materiales, coloreando, por ejemplo, de amarillo lo que es de tierra. Esta ambigüedad cromática cambió conforme las Academias fueron difundiendo el código de representación francés, que se impuso a partir del final de la guerra de Sucesión, aunque persistió alguna utilización heterodoxa del código cromático.

En el tratado de Manuel Centurión se exponen, al final, las normas de representación y el código de colores: tinta de China para todas las líneas menos las de fábrica, que serán de carmín, amarillo para lo proyectado, verde para zonas con vegetación, color agua para los fosos, pardo para tierra y madera, azul para hierro, etc.⁶⁵. También expresa que las obras destruidas se marcan con líneas de puntos, de carmín para obras de fábrica y de tinta china para las demás. También de puntos son las líneas subterráneas. Finalmente

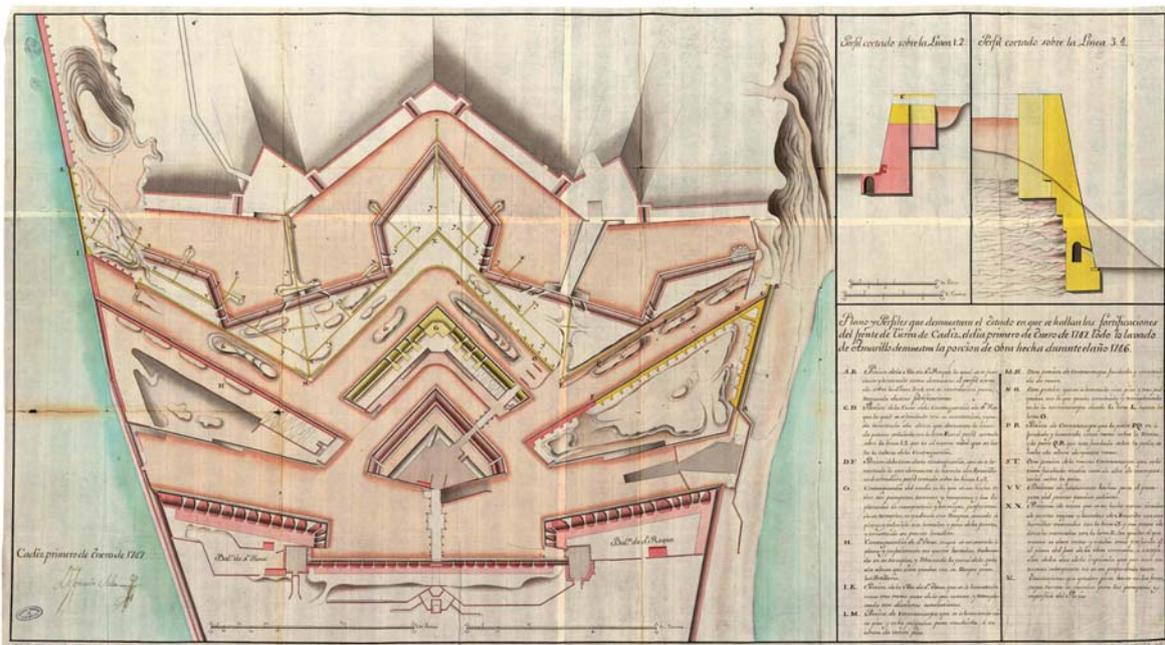


FIG. 18 IGNACIO SALA. Cádiz. Plano y Perfiles que demuestran el estado en que se hallan las fortificaciones del frente de tierra de Cádiz, el día primero de enero de 1747. Todo lo lavado de amarillo demuestra la porción de obra hecha durante el año 1746. España. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Archivo General de Simancas. MPD, 53, 030.

todo plano se ilumina desde el ángulo superior de la izquierda del papel, creando sombras a la derecha y abajo⁶⁶.

En el *Tratado de Castrametación o Arte de Campar*, de Vicente Ferraz, se hace en un anexo una detallada descripción de los colores que han de utilizarse en la cartografía militar: tinta de china parda para montañas, barrancos, etc., tinta de china negra para obras de tierra o tapial, carmín para obras de fábrica, amarillo para lo proyectado, líneas de puntos para obras subterráneas, bóvedas o ruinas, estas últimas lavadas, etc.⁶⁷, y también describe la forma de representar el territorio y los accidentes naturales.

El contenido de estas normas ha llegado también hasta nosotros a través de algunos manuscritos, como el conservado en la Fundación Lázaro Galdiano⁶⁸, el del cadete del Regimiento de Saboya José Fernández de Olarte, conservado en la Biblioteca Nacional⁶⁹, o el publicado por Carmen Hidalgo, este ya del siglo XIX⁷⁰.

A través de esta codificación, los planos de fortificaciones del siglo XVIII son el resultado de la aplicación sistemática de una técnica gráfica depurada en los dos siglos anteriores. Los dibujos son precisos, la separación entre obra preexistente y proyecto es nítida y la representación del terreno es detallada y acompaña siempre al diseño de las construcciones. El significado de los distintos colores ya no aparece en la leyenda, puesto que forma parte de un código universal, y los planos de fortificaciones se convierten en una representación topográfica detallada del territorio en torno a la obra.

CONCLUSIONES

El estudio de los instrumentos, los métodos de elaboración del proyecto y los sistemas de representación nos han arrojado luz sobre diversos aspectos de la práctica de los arquitectos e ingenieros militares en el proyecto de fortificación. Así, hemos visto cómo la utilización inicial de la regla, la escuadra y el compás fue complementada en el siglo XVII con instrumentos más complejos, y especialmente con el compás de proporción o pantómetro, llamada frecuentemente pantómetro militar.

Ello coincide con el desarrollo de los métodos cada vez más complejos de trazado y cálculo de las fortificaciones. Si a finales del siglo XVI y comienzos del XVII se calculaba la planta mediante el sistema proporcional, en el centro del siglo se impone el modelo de cálculo por ángulos, y en el último cuarto de siglo, el sistema determinado, para el que una adaptación mediante escalas era casi siempre necesaria, y para lo cual era imprescindible la pantómetro.

La representación de los proyectos también sufre una evolución paralela. De la representación mediante planta y maqueta de las primeras décadas del XVII, se pasa a una delineación cada vez más exacta y más geoméricamente determinada, que comienza a finales del XVII a estar normalizada en su forma de representación y que en el XVIII comienza a abarcar el entorno y el territorio.

Coincide esa representación del territorio con la extensión de la fortificación mediante obras exteriores cada vez más extensas y con unos sistemas de diseño que ya no se encuentran enclaustrados en la geometría, sino que fluyen mediante la aplicación libre de las máximas o reglas de fortificación.

Los instrumentos también evolucionan, el uso de la pantómetro decae en el siglo XVIII y la utilización de los niveles y los teodolitos se impone en una práctica cada vez más condicionada por la realidad del territorio sobre el que se asienta el proyecto.

De esta forma vemos cómo el estudio de los instrumentos, de los métodos de elaboración del proyecto y de los sistemas de representación confirman la apreciación de que el proyecto de fortificación parte de un proceso inductivo en el siglo XVI, se convierte en una aplicación de modelos geoméricos previamente determinados en la era barroca, y evoluciona en el siglo XVIII de nuevo hacia un proceso inductivo, pero reglado, de creación del proyecto sobre el territorio.

NOTAS

1. Este trabajo forma parte del proyecto de I+D+i *El dibujante ingeniero al servicio de la monarquía hispánica. Siglos XVI-XVIII (DIMH)*. HAR2012-31117, Ministerio de Economía y Competitividad (España).
2. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid. Avenida Juan de Herrera, 4. 28040 Madrid. muozcosme@arquired.es.
3. AVERLINO «FILARETE», hacia 1465 (1990), p. 363.
4. ALBERTI, 1485, pp. 63, 64, 74, 114, 297, 316.
5. BARTOLI, 1564.
6. GARCÍA DE CÉSPEDES, 1606.
7. FLUDD, 1617.
8. DE ROJAS, 1598. Parte segunda, capítulo XXII.
9. LECHUGA, 1611, pp. 244-246.
10. SAN NICOLÁS, 1639, fols. 126 y 127; y segunda parte, 1667, pp. 200-205.
11. ENRÍQUEZ DE VILLEGAS, 1651, pp. 84-85.
12. ZEPEDA Y ADRADA, 1669.
13. NAVARRO LOIDI, 2005, p. 89.
14. ANÓNIMO, siglo XVII; BULLET, 1701; ANÓNIMO, s.f.; DE CASTRO Y ASCÁRRAGA, 1758. (OJO ANÓNIMO, siglo XVII no está referenciado en la bibliografía como tal) ????
15. PÉREZ DE XEA, 1632, hojas 16 y 17.
16. FIRRUFINO, 1648, fols. 8-10.
17. MUT, 1664, p. 8.
18. *Ibidem*, pp. 63-64 y 136-137.
19. ZARAGOZA, 1675.
20. FERNÁNDEZ DE MEDRANO, 1708, pp. 37-38 y 414.
21. *Ibidem*, pp. 439-442.
22. REAL ORDENANZA E INSTRUCCIÓN DE 22 DE JULIO DE 1739.
23. REAL ORDENANZA DE 29 DE DICIEMBRE DE 1751, art. 55.
24. Citado por CAPEL, SÁNCHEZ y MONCADA, 1988, p. 361.
25. MULLER, 1769, pp. 245-267.
26. PLO Y CAMÍN, 1767, pp. 175-236 y 531-559.
27. DE ROJAS, 1598. fols. 33-34.
28. *Ibidem*, fols. 40-44.
29. *Ibidem*, fols. 37 y 39.
30. GONZÁLEZ DE MEDINA BARBA, 1599, p. 22.
31. *Ibidem*, p. 22.
32. *Ibidem*, p. 24.
33. LECHUGA, 1611, p. 140.
34. SANTANS Y TAPIA, 1644.
35. ENRÍQUEZ DE VILLEGAS, 1651, pp. 136-137.
36. MUT, 1664.
37. VILLE, 1629, pp. 18 y 29. (OJO no está referenciada en la bibliografía) ????
38. ZEPEDA Y ADRADA, 1669, pp. 47-48.
39. FOLCH DE CARDONA, 1681, pp. 12 y 13.
40. *Ibidem*, p. 21.
41. ZARAGOZA, 1675, pp. 30-35.
42. *Ibidem*, p. 54.
43. *Ibidem*, p. 85.
44. ANÓNIMO, 1693, Tratado XI, pp. 124-133.
45. *Ibidem*, pp. 8-9.
46. PRÓSPERI, 1744, p. 9.
47. *Ibidem*, pp. 13-20.
48. *Ibidem*, p. 120.
49. *Ibidem*, pp. 59-75.
50. CASSANI, 1704, pp. 9-15.
51. *Ibidem*, pp. 17 y 24.
52. *Ibidem*, pp. 35-38.
53. TOSCA, 1757, Tratado XVI, p. 256.
54. LUCUZE, 1772, pp. 22-23 y 51-52.
55. CENTURIÓN GUERRERO DE TORRES, 1757, pp. 78-87.
56. *Ibidem*, pp. 102-104.
57. CÁMARA MUÑOZ, 1998, p. 134.
58. ANTONELLI, 1560, p. 10.
59. LECHUGA, 1611, pp. 242-243.

60. *Ibidem*, pp. 71-74.
61. WARMOES, 2008, p. 56.
62. GAUTIER, 1687.
63. ANÓNIMO, 1697.
64. REAL ORDENANZA E INSTRUCCIÓN DE 22 DE JULIO DE 1739, artículo 14.
65. CENTURIÓN GUERRERO DE TORRES, 1757, pp. 286-287.
66. *Ibidem*, p. 287.
67. FERRAZ, 1800, pp. 480-481.
68. ANÓNIMO, hacia 1770. Citado en GIMÉNEZ PRADES, SAN ANDRÉS MOYA y DE LA ROJA DE LA ROJA, 2009, p. 143.
69. FERNÁNDEZ DE OLARTE, 1776.
70. HIDALGO BRINQUIS, 1978, pp. XXXX.

BIBLIOGRAFÍA

- ALBERTI, L. B. (1485), *De re aedificatoria*, Florencia. Versión española: (1582) *Los diez libros de Arquitectura*, Madrid, Alonso Gómez.
- ANÓNIMO (1693), *Escuela de Palas o sea Curso Mathematico*, Milán, Imprenta Real.
- ANÓNIMO (1697), *L'Art de Dessiner proprement les Plans, Porfils, Elevations Geometriales & Perspectives, soit d'Architecture Militaire ou Civile, avec tous les secrets les plus rares pour faire les couleurs avec lesquelles les Ingenieurs represent les divers materiaux d'une Place. Et la manière de s'en servir dans les veuës des Sieges, Campemens, & autres morceaux de Paysage*, París, Christophe Ballard.
- ANÓNIMO (hacia 1770), *Arquitectura Militar i Civil*, Cuaderno manuscrito conservado en la Fundación Lázaro Galdiano (nº inventario 15010).
- ANÓNIMO (s.f. ¿s. XVIII?), *Tratado de la fábrica y uso de las pantómetras*, Biblioteca Nacional de España, Mss/9614.
- ANTONELLI, G. B. (1560), *Epitomi delle fortificationi moderne*, Manuscrito, Biblioteca del Museo del Ejército, PLAN 4/2/1(01).
- AVERLINO «FILARETE», A. (1990), *Tratado de Arquitectura*, edición de Pilar Pedraza, Vitoria-Gasteiz, EPHIALTE, Instituto de Estudios Iconográficos. Primera edición hacia 1465.
- BARTOLI, C. (1564), *Del modo di misurare le distantie, le superficie, i corpi, le piante, le prouincie, le prospettive, & tutte le altre cose terrene, che possono occorrere a gli huomini, secondo le uere regole d'Euclide, & de gli altri piu lodati scrittori*, Venecia, Francesco Franceschi Sanese.
- BULLET, P. (1701), *Tratado del uso de la pantómetra*, Biblioteca Nacional de España, Mss/5877.
- CÁMARA MUÑOZ, A. (2006), «Medir para el rasguño y dibujar para el atlas. Los ingenieros mayores de Felipe III», en catálogo de la exposición *España en el Mediterráneo. La construcción del espacio*, Madrid, CEDEX-CEHOPU.
- CÁMARA MUÑOZ, A. (1998), *Fortificación y ciudad en los reinos de Felipe II*, Madrid, Nerea.
- CAPEL, H., SÁNCHEZ, J. E. y MONCADA, O. (1988), *De Palas a Minerva. La formación científica y la estructura institucional de los ingenieros militares en el siglo XVIII*, Madrid, Serbal / CSIC.
- CASSANI, J. (1704), *Escuela militar de fortificación ofensiva y defensiva*, Madrid, Antonio González de Reyes.
- CASTRO YASCÁRRAGA, P. DE (1758), *Construcción y uso del compás de proporción*, Madrid, Imp. de Don Gabriel Ramírez.
- CENTURIÓN GUERRERO DE TORRES, M. (1757), *Ciencia de Militares*, Cádiz, Manuel Espinosa de los Monteros.
- DÍAZ MORENO, F. (2005), «Don Diego Enríquez de Villegas en el solar de Marte. Rasguear con la espada en el siglo XVII», *Anales de Historia del Arte*, nº 15.
- ENRÍQUEZ DE VILLEGAS, D. (1651), *Academia de fortificación de plazas y nuevo modo de fortificar una Plaza Real*, Madrid, Alonso de Paredes.
- ERRARD DE BAR-LE-DUC, J. (1594), *La Fortification démontrée et réduite en art*.
- FERNÁNDEZ DE MEDRANO, S. (1708), *El arquitecto perfecto en el arte militar*, Amberes, Henrico y Cornelio Verdussen.
- FERNÁNDEZ DE OLARTE, J. (1776), *Apuntes sobre dibujo y arquitectura*, Manuscrito, Biblioteca Nacional de España, Mss/13694.
- FERRAZ, V. (1800), *Tratado de castrametación o Arte de campar, dispuesto para el uso de las Reales escuelas Militares, del cargo del Real Cuerpo de Ingenieros*, Madrid, Imprenta Real.
- FIRRUFINO, J. C. (1648), *El perfecto artillero. Theórica y práctica*, Madrid, Juan Martín del Barrio.
- FLUDD, R. (1617), *Utriusque Cosmi Maioris scilicet et Minoris Metaphysica, Physica atque Technica Historia*, Frankfurt, Herederos de Johann Theodor de Bry.
- FOLCH DE CARDONA, P. A. R. (1681), *Geometría Militar*, Nápoles, Imprenta Real de Egidio Longo.
- GARCÍA DE CÉSPEDES, A. (1606), *Libro de instrumentos nuevos de geometría, muy necesarios para medir distancias y alturas sin que intervengan números, como se demuestra en la práctica*, Madrid, Juan de la Cuesta.
- GAUTIER, H. (1687), *L'art de laver ou la nouvelle maniere de peindre sur le papier, suivant le Coloris des Desseins qu'on envoye à la Cour*, Lyon, Thomas Almaury.

- GIMÉNEZ PRADES, M., SAN ANDRÉS MOYA, M. y DE LA ROJA DE LA ROJA, J.M. (2009), «El color y su significado en los documentos cartográficos del Cuerpo de Ingenieros Militares del siglo XVIII, *GE-Conservación*, nº 0.
- GONZÁLEZ DE MEDINA BARBA, D. (1599), *Examen de fortificación*, Madrid, Imprenta del Licenciado Varez.
- HIDALGO BRINQUIS, C. (1978), «Hallazgo de un breve tratado del siglo XIX con recetas para barnizar papel y una descripción detallada de los materiales usados para el diseño y coloración de los planos», en *Actas II Congreso de Conservación de Bienes culturales*, Teruel.
- LECHUGA, C. (1611), *Discurso del capitán Cristóbal Lechuga en que trata de la artillería y de todo lo necesario a ella*, Milán, Palacio Real y Ducal, Marco Tulio Malatesta.
- LUCUZE, P. DE (1772), *Tratado de fortificación*, Barcelona, Thomas Piferrer.
- MULLER, J. (1769), *Tratado de fortificación o Arte de construir los Edificios Militares y Civiles*, (primera edición en lengua inglesa de 1756), traducido por Miguel Sánchez Taramas, Barcelona, Thomas Piferrer.
- MUT, V. (1664), *Arquitectura militar. Primera parte. De las fortificaciones regulares y irregulares, por don Vicente Mut, sargento mayor, ingeniero y cronista mayor del Reino de Mallorca*, Mallorca, Imprenta de Francisco Oliver.
- NAVARRO BROTONS, V. (1979), «Física y Astronomía modernas en la obra de Vicente Mut», *Llull*, vol. 2, diciembre.
- NAVARRO LOIDI, J. (2005), «El compás de proporción, compás geométrico y militar o pantómetra», en *Actes sobre la II Jornada sobre la Història de la Ciència i l'Ensenyament*, Barcelona.
- PÉREZ DE XEA, M. (1632), *Preceptos militares. Orden y formación de escuadrones*.
- PLO Y CAMÍN, A. (1767), *El Arquitecto práctico civil, militar y agrimensor*, Madrid, Imprenta de Pantaleón Aznar.
- POLINAIRE, ABBÉ (s. f.), *Usage du compas de proportion, transcrit desus un ms. de Mr. L'Abbé Polinaire*, Biblioteca Nacional de España, Mss/9792 y 9793.
- PRÓSPERI, F. (1744), *La Gran Defensa. Nuevo Método de Fortificación, dividido en tres Órdenes*, s.e.
- Real Ordenanza de 29 de diciembre de 1751, para la subsistencia, régimen y enseñanza de la Real Academia Militar de Matemáticas, establecida en Barcelona, y las particulares de Ceuta y Orán, unas y otras al cargo y dirección del Cuerpo de Ingenieros, para la enseñanza de Oficiales y Cadetes del Ejército.*
- Real Ordenanza e Instrucción de 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 à los que se distinguieren por su aplicación.*
- ROJAS, C. DE (1598), *Teórica y práctica de fortificación, conforme las medidas y defensas destes tiempos, repartida en tres partes*, Madrid, Luis Sánchez.
- SAN NICOLÁS, L. DE (1639), *Arte y uso de la Arquitectura*, segunda parte (1667), Madrid.
- SANTANS Y TAPIA, J. (1644), *Tratado de fortificación militar destes tiempos, breve e inteligible*, Bruselas, Guilielmo Scheybels.
- TORRE ECHÁVARRI, J. I. DE LA (2014), «Del secreto de Estado a la didáctica militar. La fabricación y el coleccionismo de modelos y maquetas militares en España», en M. I. HERRÁEZ (coord.), *Modelos y maquetas: la vida a escala*, Madrid, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.
- TOSCA, T. V. (1757), *Compendio Mathematico*, Valencia, Imprenta de Joseph García.
- WARMOES, I. (2008), «La rationalisation de la production cartographique à grande échelle au temps de Vauban», *Le Monde des cartes*, nº 195.
- ZARAGOZA, J. (1675), *Fábrica y uso de varios instrumentos matemáticos con que sirvió al rey N. S. D. Carlos Segundo en el día de sus catorce años el excelentísimo señor D. Juan Francisco de la Cerda, Duque de Medinaceli, Segorbe, Cardona y Alcalá, Sumiller de Corps de su Majestad*, Madrid, Antonio Francisco de Zafra.
- ZEPEDAYADRADA, A. DE (1669), *Epítome de la fortificación moderna, así en lo regular como en lo irregular, reducida a la regla y al compás, por diversos modos, y los más fáciles para mover la tierra*, Bruselas, Francisco Foppens.

Volver al índice