

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona

Programa de doctorado:
AMBITOS DE BÚSQUEDA EN LA CONSTRUCCIÓN Y LA ENERGÍA EN LA ARQUITECTURA,
Departamento de Construcciones Arquitectónicas I

**EL CONOCIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LOS
INGENIEROS MILITARES DEL SIGLO XVIII**

*Un estudio sobre la formalización del saber técnico a través de
los tratados de arquitectura militar*

TESIS DOCTORAL
de
Jorge Alberto Galindo Díaz

Dirección: José Luis González Moreno -Navarro
Codirección: Margarita Galcerán Vila

Barcelona, marzo de 1996

AGRADECIMIENTOS

*La realización de esta tesis ha sido posible mediante el usufructo de una beca ICI-UPC concedida a través de la **Agencia Española de Cooperación Internacional**, a la que se sumó una Comisión de Estudios patrocinada por la Vicerectoría Académica de la **Universidad del Valle** (Cali, Colombia) y los entonces Departamentos de Planificación y Proyectos de su Escuela de Arquitectura.*

Sin duda, debo destacar también el permanente interés que ella despertó en su director, José Luis González Moreno-Navarro, a quien se sumó mediante su valiosa asesoría Margarita Galcerán Vila. Además quiero manifestar mi sentido de gratitud con Jaume Rosell en Barcelona y Miguel Angel Quintanilla y su equipo de colaboradores en la Universidad de Salamanca, personas todas ellas sin cuyo concurso la gestación de muchas de las ideas expresadas no hubiese sido posible.

Finalmente, debo reconocer el apoyo decidido y constante de mi pequeña familia que padeció y disfrutó conmigo durante los tres últimos años todos los momentos que han acompañado la elaboración de este trabajo.

Jorge A. Galindo Díaz
Universidad del Valle
Escuela de Arquitectura
Cali, Colombia
A.A. 25360

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

UNA LECTURA DE LOS TEXTOS HISTÓRICOS	2
LOS TRATADOS DE FORTIFICACIÓN: SUS CONTENIDOS	2
LOS TEMAS CONCERNIENTES A LA CONSTRUCCIÓN ARQUITECTÓNICA EN LOS TRATADOS DE FORTIFICACIÓN	7
CLASIFICACIÓN ESTABLECIDA DE LOS TRATADOS PARA LA EXPOSICIÓN DE SUS CONTENIDOS	10

CAPÍTULO I

PRIMER DESARROLLO Y TRANSFORMACIÓN

DE LOS CONTENIDOS: SIGLOS XVI Y XVII

1. LAS FUENTES CLÁSICAS Y LA TRANSICIÓN MEDIEVAL	14
1.1. VITRUVIO Y LA ARQUITECTURA MILITAR	14
1.2. EL VALOR RELATIVO DEL TRATADO DE VEVECIO	18
1.3. LA FORTIFICACIÓN MEDIEVAL	20
1.3.1. <i>¿Arte liberal o arte mecánica?</i>	20
1.3.2. <i>Manuscritos medievales y pre-renacentistas</i>	23
1.3.3. <i>Leonardo de Vinci como arquitecto militar</i>	25
1.3.4. <i>Los primeros tratados impresos</i>	27
1.3.5. <i>Durerro, o el último tratado de fortificación antigua</i>	28
1.4. ALBERTI, LA FORTIFICACIÓN COMO UN SISTEMA CONSTRUIDO	30
2. LA “FORTIFICACIÓN A LA MODERNA” DEL SIGLO XVI	34
2.1. LOS TRATADOS FUNDACIONALES DE LA ESCUELA ITALIANA DE FORTIFICACIÓN: 1554 - 1678	35
2.1.1. <i>El manuscrito de Francisco di Giorgio Martini</i>	35
2.1.2. <i>Los tratados impresos de Zanchi y Lanteri</i>	37
2.1.3. <i>Las propuestas de G. Cataneo y G. Maggi</i>	40
2.1.4. <i>Los tratados al completo de Busca y Marchi</i>	43
2.1.5. <i>Los procesos constructivos en los tratados italianos</i>	48
2.2. TRATADOS ESPAÑOLES DEL SIGLO XVI	50
2.2.1. <i>El conocimiento constructivo de Cristóbal de Rojas</i>	52
2.2.2. <i>El conocimiento constructivo de González de Medina Barba</i>	57
3. LA BÚSQUEDA DE UNA AUTONOMÍA DISCIPLINAR A LO LARGO DEL SIGLO XVII	60
3.1. LOS TRATADOS DE LOS “ESPECIALISTAS” FRANCESES	62
3.1.1. <i>Errard-le-duc: geometría y construcción</i>	63
3.1.2. <i>De Ville: la muralla como sistema</i>	67
3.1.3. <i>Mallet: suelos y cimientos</i>	72
3.1.4. <i>Marolois: ¿tepes o cantería?</i>	75
3.1.5. <i>Fritach: las herramientas de la construcción</i>	77
3.2. EL CASO ESPAÑOL, ENTRE ARTILLEROS Y PRÁCTICOS	80

3.2.1. <i>Los tratados de Cristóbal Lechuga y Juan Santans</i>	81
3.2.2. <i>El conocimiento “científico” de Vicente Mut y el saber práctico de Alonso de Cepeda y Francisco Larrando</i>	83
3.2.3. <i>Las propuestas de Juan Bayarte y Theodoro Barbo</i>	89
3.3. SACERDOTES Y ARQUITECTURA MILITAR	90
3.3.1. <i>George Fournier y Baltasar Siscara</i>	91
3.3.2. <i>Josep Zaragoza y Vicente Tosca</i>	93
3.3.3. <i>Otras recopilaciones, Cassani y Benavente</i>	98
3.3.4. <i>La obra de Milliet Dechales y Deidier</i>	98
3.4. LOS LIBROS DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	100
3.4.1. <i>García de Céspedes y Robert Fludd</i>	100
3.4.2. <i>M. Ozanam y Nicolás Bion</i>	101

CAPÍTULO II

LA CRISTALIZACIÓN DEL SISTEMA TÉCNICO

DURANTE EL SIGLO XVIII

1. VAUBAN Y FERNÁNDEZ DE MEDRANO	107
1.1. VAUBAN	108
1.1.1. <i>Su obra impresa</i>	108
1.1.2. <i>La versión francesa de Du Fay</i>	112
1.1.3. <i>La versión castellana de Ignacio de Sala</i>	114
1.1.4. <i>La teoría de Vauban acerca de los muros</i>	115
1.2. SEBASTIÁN FERNÁNDEZ DE MEDRANO	117
1.2.1. <i>El Arquitecto Perfecto en el Arte Militar ...</i>	118
2. LOS AJUSTES FINALES	125
2.1. MODELOS MATEMÁTICOS Y CONOCIMIENTO CONSTRUCTIVO EN LOS TRATADOS DE FORTIFICACIÓN DEL SIGLO XVIII	125
2.1.1. <i>Sistemas gráficos para cálculo de muros y arcos en la obra de Gautier</i>	126
2.1.2. <i>Las propuestas de Belidor</i>	130
2.1.3. <i>Las versiones de Müller y Sánchez Taramas</i>	138
2.1.4. <i>El tratado de Prony</i>	144
2.2. EL PERFECCIONAMIENTO DE LA PRÁCTICA	147
2.2.1. <i>El reparto de las tareas</i>	147
2.2.2. <i>Los efectos globales</i>	150
3. LA CRISIS DEL MODELO	155
3.1. FÉLIX PRÓSPERI: UNA VISIÓN DESDE LA PERIFERIA	155
3.1.1. <i>La crítica de Prósperi</i>	155
3.1.2. <i>La propuesta constructiva de Prósperi</i>	156
3.2. LA RESPUESTA FRANCESA DE MONTALEMBERT	158
3.3. LOS TRATADOS DE FINES DEL SIGLO XVIII Y LA SUPERVIVENCIA DE LAS IDEAS	160

CAPÍTULO III

LOS TRATADOS DE FORTIFICACIÓN

A TRAVÉS DE LAS ACADEMIAS DE INGENIEROS

1. EL CONOCIMIENTO CONSTRUCTIVO TRANSMITIDO	168
1.1. LA REAL ACADEMIA DE MATEMÁTICAS DE BARCELONA	168
1.1.1. <i>Antecedentes</i>	169
1.1.2. <i>Sinopsis histórica</i>	171
1.1.3. <i>Los contenidos del “Curso matemático” de Lucuze</i>	175
1.1.4. <i>La obra impresa de Pedro de Lucuze</i>	181
1.1.5. <i>Otras academias de matemáticas durante el siglo XVIII</i>	184

CONCLUSIÓN

BIBLIOGRAFÍA

- 1. BIBLIOGRAFÍA GENERAL ESTUDIOS SIGLOS XIX-XX**
- 2. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA DE TRATADOS IMPRESOS SIGLOS XV-XVIII**
- 3. BIBLIOGRAFÍA DE MANUSCRITOS CONSULTADOS**

INTRODUCCIÓN

En los albores del siglo XV se dio inicio en el continente europeo a una transformación tecnológica que habría de afectar las más diversas disciplinas humanas: en 1494 una nueva y poderosa arma batió rápidamente –de manos de las tropas francesas– las hasta ahora muy sólidas murallas italianas: se trataba del cañón accionado con pólvora. Con él, un novedoso conjunto de conocimientos especializados comenzó a estructurarse; la investigación y la experiencia obtenida en las acciones bélicas permitió conocer los efectos de las nuevas armas, la valoración de los ángulos de tiro, el efecto de las minas, e incluso procedimientos clínicos para la atención de los heridos en el campo de batalla ...; pero fue sin duda en el arte de construcción de fortificaciones en donde se produjo un cambio realmente significativo que tiró por los suelos –junto a los muchos recintos amurallados de las ciudades medievales–, todo un conjunto de saberes que hasta ahora se había servido del cuerpo doctrinal de dos remotos autores romanos: Vitruvio y Vegecio.

No fueron pocos los hombres del siglo XVI que dieron inicio al esfuerzo por lograr un mejor entendimiento de la aplicación de los materiales en la construcción de cortinas y baluartes, del asiento y espesor de cimentaciones y muros, de la profundidad y ancho de los fosos, de la inclinación de taludes, de la resistencia de las bóvedas y forjados, del suministro y evacuación de las aguas, e incluso de la aparentemente mágica relación que se establecía entre el trazado hecho sobre polígonos regulares y el perímetro perfecto capaz de resistir el peor de los asedios ... Portadores de ese extenso conjunto de conocimientos, se llevaron a las imprentas europeas un número indeterminado de libros dedicados al tema de la arquitectura y la ingeniería militar: los llamados *tratados de arquitectura militar* o *tratados de fortificación*, los mismos en donde todavía es posible apreciar el encomiable esfuerzo de sus autores por construir y reglar *una técnica*: la del ingeniero militar, la del arquitecto.

Tal proceso no fue fácil: él demandó una transformación en los métodos de elaboración de ideas y conceptos, tal y como lo expresan los muchos autores en las formas de sus discursos, en el uso de las palabras, en el orden en que se exponen las ideas, en la manera de relacionarse con las ciencias ... Y es que tuvieron que apropiarse de saberes ajenos inscritos dentro del marco común de las acciones propias del arte de construir y guiarse por la explícita necesidad de definir unos límites propios de su actividad con el fin de conformar un *corpus* doctrinal autónomo.

Se trata sin duda de una transformación no solo extensa en el tiempo sino interesante, especialmente para quienes creemos en la autonomía disciplinar de la arquitectura, vinculada por siempre a los componentes de la tríada vitruviana: *firmitas, utilitas, venustas*; autonomía desdibujada hoy en el ejercicio profesional cotidiano y sobre todo en el ámbito académico, autonomía que se hace necesario reinstaurar a través de la investigación histórica que sea también capaz de escudriñar en los patrones mentales que han enmarcado las relaciones entre los elementos de la tríada.

Aclaremos sin embargo, que esta ha sido una investigación sin mayores pretensiones: ella solo ha querido dar cuenta de que las formas del pensamiento técnico, en el arte de la construcción, han cambiado, incluso más profundamente que las maneras propias del quehacer y del oficio.

Una lectura de los textos históricos

Luego de haber consultado de manera directa 147 títulos de tratados de arquitectura militar publicados entre los siglos XVI y XVIII -un 58% del total que conforman la lista elaborada como parte de las tareas de construcción de la base documental primigenia-, trataremos de exponer aquí de manera ordenada y siguiendo una presentación cronológica, el contenido del conjunto de saberes propios de la construcción arquitectónica en ellos depositados. Sin embargo, es necesario establecer antes unas características importantes que nos permitan entender de una manera clara, los distintos tipos de textos que constituyen este extenso conjunto, y las particularidades de los temas que en ellos se trata de desglosar.

Los tratados de fortificación: sus contenidos

En un trabajo desarrollado en el ámbito de los textos históricos de arquitectura, no es extraña la alusión a dos clases de tratados: los de “arquitectura civil” y los de “arquitectura militar” (también llamados “de fortificación”), dedicados a una u otra de las partes de la arquitectura tales como se entendían hasta bien entrado el siglo XVIII:

La Architectura, ò Arte de edificar, se divide en Civil, y Militar. La Civil erige vistosas fábricas, ateniendo a su firmeza, comodidad y hermosura. La Militar no pretende belleza en sus edificios, solo se ocupa en cerrar las Ciudades, y Plazas con tales recintos, que puedan servir de defensa contra las invasiones bélicas...

Vicente Tosca, *Compendio Mathematico ... Tratado XVI: De la Arquitectura Militar...* Valencia, Imprenta de Josep García, 1757, tercera impresión, págs. 253-254.

Un estudio comparativo entre los tratados de ambas categorías no deja de ser una labor tentadora, pero con ella se desviaría la atención principal de esta investigación; consideramos entonces que más importante que establecer semejanzas y diferencias, es encontrar las características propias de aquellos que constituyen el objeto de nuestro interés. Para GONZÁLEZ (1993) cualquier tratado publicado antes del siglo XX se puede clasificar dentro de los *tratados integrales* o los *tratados parciales*. En los primeros, se asume el estudio de lo que él llama “los tres apartados tradicionales”: *la teoría de los órdenes, las tipologías de edificios y la teoría de la construcción*; los tratados parciales toman alguno o algunos de estos temas y los desarrollan generalmente de manera aislada, variando su escala de percepción, desde el elemento hasta la totalidad del edificio según el aspecto que desarrollen.

Los tratados de fortificación corresponden al grupo de los llamados tratados parciales, que cumplen con las siguientes condiciones:

- No incluyen simultáneamente estos “tres apartados tradicionales” que cita GONZÁLEZ (de todos los libros consultados, sólo el de Belidor, *La Science des Ingènieurs ...*, de 1729, toca por ejemplo el tema de los órdenes).
- Se dedican a una específica tipología edificatoria: las obras de defensa.

- Desarrollan una teoría de la construcción ajustada a sus intereses concretos: cimientos, murallas, arcos y bóvedas, excluyendo los temas relacionados con forjados, cubiertas, pavimentos y prácticamente todo tipo de acabados.

Pero además de ser ellos mismos *tratados parciales*, dentro del conjunto de los tratados de fortificación, existen distintos grados de completez. Si intentamos describir las cualidades de un “tratado de fortificación ideal” o “tratado al completo”, es necesario contar en él con algunas características, no sin antes reconocer una definición más o menos precisa del término fortificación, para lo cual nos valdremos de la expresada en un libro español de comienzos del siglo XVIII¹:

Es la fortificación un arte, que enseña a conocer la calidad de los sitios, guiandonos a la elección de la figura, que se debe aplicar a cada uno, la qual facilita el conocimiento para su construccion, y las Armas, y medios para su expugnacion ...

Tomas de Puga y Rojas, *Compendio militar ...* , sin lugar ni año (Madrid?, 1707?)

En esta definición se nos mencionan justamente los aspectos característicos con los que hemos dicho es necesario contar:

- A. Preocupación por la elección del sitio y determinación de la figura o traza (implantación y trazado).
- B. Construcción material de la fortaleza.
- C. Medios para su defensa y ataque (*Arte de la Guerra*).

¿Por qué de tales características?

A. Con respecto a la primera, podemos decir que a diferencia de quienes construyen sobre buenos parajes escogidos libremente, una decisión estratégica avalada por los intereses de dominio y control territorial podría obligar a que la fortaleza se levantara sobre tal o cual terreno, sin importar demasiado el que se tratase de un lugar pantanoso, montañoso o expuesto sencillamente al mal tiempo o a la acción del mar, es decir que el arquitecto militar debía tener una respuesta para cada problema o por lo menos tratar de encontrarla, lo que también significa que en el tema de la fortificación existe desde las primeras reflexiones una imperiosa necesidad de establecer principios de acción que respondan a determinadas variables. La geometría era una importante vía para alcanzar un repertorio de soluciones válidas: no será extraño que en los tratados se estudien con detenimiento las ventajas e inconvenientes estratégicos para las trazas realizadas conforme a cada uno de los polígonos regulares.

En los tratados de fortificación el término “construcción”, puede hacer referencia a dos aspectos distintos pero complementarios: la *construcción sobre el papel* es decir, el del trazado gráfico del edificio con ayuda de métodos geométricos (plantas, alzadas y secciones) y numéricos (trigonometría); y el de la *construcción material y sobre el terreno* de las obras de defensa². Para el primer caso encontramos desde formulaciones muy sencillas amparadas en razonamientos elementales pero claros y en muchos casos suficientes, hasta complejas y extensas elucubraciones matemáticas. Se evidencia además una clara división entre la

llamada *fortificación regular* y la *fortificación irregular*. La primera es aquella que se inscribe en un trazado ideal completo siguiendo la forma de un polígono regular (generalmente construcciones de nueva planta); la segunda, busca adaptar a unas condiciones ya existentes o un entorno de gran dificultad (montañoso, costero o mezcla de ellos) una figura geométrica regular.

B. En cuanto a la construcción física, que constituye la segunda de las características que hemos enumerado, la mayoría de los primeros textos tratan de aspectos muy concretos, que giran fundamentalmente alrededor del problema que representaba la construcción de murallas. Pero también se evidencia una preocupación por conocer las propiedades de los materiales de construcción y su puesta en obra (piedra, ladrillo, tepes, morteros), por los cimientos que esas murallas requerían (pilotes, arcos de descarga, masas monolíticas, ...) y por las obras complementarias que demandaban como podían ser las excavaciones, los tipos de contrafuertes, o la conformación de sus terraplenes.

Si usamos la tríada vitruviana (*firmitas, utilitas, venustas*) como patrón de referencia, el problema arquitectónico fundamental que interesa a la arquitectura militar es el de la *solidez*, garantía de la permanencia misma de la obra y de su capacidad de resistencia ante el ataque de los enemigos. El siguiente aspecto tratado y con menor grado de preocupación es el de la *utilidad*, factor clave a tener en cuenta en el momento en que el edificio entra en combate y debe garantizar su efectividad bélica. Finalmente, el tema de la *belleza* no se excluye sino que se aparta del modelo clásico que sirvió de referencia a la mayor parte de los tratados de arquitectura civil; en el desarrollo de esta exposición intentaremos mostrar que para quienes se dedicaron a la fortificación, el ideal estético que se fue construyendo paulatinamente buscaba el perfecto equilibrio de un riguroso y preciso trazado geométrico con una solidez material a prueba de fuertes agresiones y capaz de servir eficientemente a los hombres que la ocupaban.

C. También el conocimiento de los principios de ataque y defensa de las plazas era indispensable tanto para quienes debían defender una fortificación, como para el atacante que había de aprovechar sus carencias. Una de las condiciones que en ningún momento podemos perder de vista, es que los edificios de los que permanentemente estaremos hablando, son fortificaciones, consideradas por algunos autores como potentes “máquinas de guerra”.

En los tratados puramente militares, priman consideraciones tales como la valoración estratégica de las plazas, la disciplina de los ejércitos y los movimientos de las tropas en el campo de batalla, la historia militar -destacando casi siempre la grandeza de sus líderes-, o la valoración del coraje y la moral de los hombres, para citar sólo algunos temas.

Muchos de los títulos que se encuentran en la lista inicial conformada se ajustan a esta última categoría, y aunque sus contenidos carecen de aquello que se busca (construcción arquitectónica), sirven en algunos casos por sus apreciaciones generales o por sus juicios de valor. La consulta de ellos ha arrojado también datos útiles: su importancia está en que tales tratados militares constituyeron una vía paralela que guardaba similitudes importantes con los que consideraban a la fortificación como parte de la arquitectura; conservaron algunos la preocupación por el lenguaje, se valían en muchos casos de excelentes ilustraciones y recurrían también a las matemáticas como instrumento que optimizaba el orden y la

formación de escuadrones: ya en la obra de Miguel Pérez de Xea, *Preceptos militares* (Madrid, Viuda de Alonso Marín, 1632), el título IV del tercer capítulo se titula *De los escuadrones quadros de gente por logarithmos*, y el título V del mismo capítulo, *Operación de los escuadrones quadros de gente por el compas de proporcion*. En ellos el autor hace gala de sus conocimientos en la aritmética para aplicarlos a situaciones puramente militares. En otra obra mucho más reciente, el *Tratado de Castramentación ó Arte de Campar* (Madrid, Imprenta de Pedro Pereyra, 1800), escrita por Vicente Ferraz, se emplean ecuaciones matemáticas para determinar la anchura de las calles de un campamento militar.

Con todo este conjunto de saberes, los tratados de fortificación se difundieron no sólo entre aquellos que se preocupaban por los problemas del trazado o la construcción, sino también por quienes demostraban interés por las técnicas militares (estructura del cuerpo, formaciones, armamento, minas, etc.), abarcando un público variopinto: desde políticos y hombres de estado hasta soldados rasos, pasando por miembros del clero e ilustrados. Tal especificidad exigió un nuevo lenguaje y un vocabulario concreto. Se incluyó por tanto en muchos de los tratados un “diccionario” que intentaba establecer unos términos comunes donde la información escrita se complementara con gráficos, abarcando todos los temas expuestos: desde la topografía del emplazamiento hasta los ardides de la guerra, encontrándonos por ello y en algunos casos con libros magníficamente ilustrados.

Progresivamente hacia el siglo XVIII toma fuerza el tema de la *fortificación de campaña*, que recoge una serie de principios útiles a las tropas para que pudiesen construir pequeñas obras de defensa con carácter pasajero en lugares donde debían permanecer por pocos días. Aunque haré las referencias oportunas a este caso, no pretendo entrar en un análisis detallado de tales obras transitorias.

De acuerdo con este modelo -el del tratado ideal que abarca simultáneamente los temas (A), (B) y (C)- y luego de su comparación directa con los libros, nos es posible afirmar que los tratados de fortificación se pueden clasificar en aquellos que:

- Incluyen los tres temas simultáneamente (A-B-C): el 25% de los consultados.
- Sólo tratan del primer tema (A): el 18 % de los consultados.
- Sólo tratan del segundo de los temas (B): el 5% de los consultados.
- Sólo tratan del tercero de los temas (C): el 30% de los consultados.
- Tratan sólo de los dos primeros (aA-B): el 8 % de los consultados.
- Excluyen el tema de la construcción material (A-C): el 14% de los consultados.

De esta relación se puede concluir que:

- Ninguno de los tratados consultados excluía el tema de la implantación y trazado de las fortificaciones (combinación B-C).
- El tema (A) estaba presente en el 65% de los tratados consultados.
- El tema (B) estaba presente en el 35%
- El tema (C) estaba presente en el 69% de los tratados consultados.

Otra observación importante, es la que nació de la comparación entre estos temas y la producción de títulos por países y por épocas, concluyendo que no existía una correlación

entre contenidos y períodos cronológicos y tampoco entre contenidos y nacionalidad de los autores. Su reparto era homogéneo.

Esta clasificación nos condujo a tomar las siguientes decisiones sobre el trabajo de investigación:

- No se profundizaría en el estudio de un 30% de los títulos revisados: aquellos que se preocupaban exclusivamente por el *Arte de la Guerra* (tema C).
- Se haría una revisión muy exhaustiva del 38% de los títulos revisados: aquellos que se preocupaban por la construcción material de fortificaciones (tema B).
- Con el 32% de los títulos restantes, en donde se trataba del trazado geométrico de las fortificaciones, bien de manera exclusiva (18%) o en relación con el arte de la guerra (14%), se haría un estudio completo pero sin profundizar en sus apreciaciones.

Ahora bien, a pesar de esta clasificación, es posible reconocer unas características comunes a todos ellos: un tratado de fortificación es ante todo un libro que sirve de instrumento fundamental en la construcción de una disciplina del conocimiento; ellos son los contenedores y transmisores de las argumentaciones, razonamientos y justificaciones que aparecen y se transforman a lo largo de un extenso período de años; en el libro de fortificación lo que los diversos tipos de soluciones buscan no es sólo el dar a conocer cómo “saber fortificar”, sino que lo que más cuenta es la capacidad de elaboración de conceptos abstractos que sean igualmente válidos y aplicables en distintas naciones europeas y posesiones de ultramar. En ellos se expresan también las polémicas, las discusiones internas, la variedad de los puntos de vista, los retrasos y los adelantos de ese conocimiento que se organiza, se estructura, toma forma, se transmite, se aplica ...

¿Quién escribe un libro de fortificación? Soldados como Antoine De Ville, hombres de estado como Giovanni Botero, artistas como Leonardo, arquitectos como Francisco Di Giorgio, sacerdotes -de los cuales tenemos un conjunto de seis jesuitas-, matemáticos como Stevin, o urbanistas, como algunos de los primeros autores italianos ¿No es este un perfecto caldo de cultivo para la discusión? En 1744, Félix Prósperi escribirá en el preámbulo de su tratado:

El principal motivo, que me obligó â escribir de la Fortificación, fue el ver tanta contradicción entre tantos, y tan celebres Authores, que trataron de esta noble Ciencia, y Arte Militar tan importante; los quales a porfia unos con otros, cada uno procuraba hacer prevalecer sus maximas, destruyendo las contrarias, y esto con tal pertinencia, que han hecho gastar â los Principes cantidades inmensas, por hazer unas Plazas inespugnables, sin lograr el intento, luchando unos, y otros contra unas dificultades insuperables, por quererse mantener en la escasez de los sistemas, que en la substancia son siempre los mismos ...

Págs. 1 y 2, *La Gran Defensa ...*, México, Viuda de Joseph Bernardo de Hogal, 1744.

Los temas concernientes a la construcción arquitectónica en los tratados de fortificación

Como ya hemos afirmado a partir de las observaciones realizadas acerca de los contenidos de los tratados de fortificación, es nuestra intención ahora la de profundizar en el estudio del 38% de los títulos a los que hemos tenido acceso: aquellos que contienen temas que conciernen a la construcción arquitectónica de las plazas militares.

La práctica constructiva aparece ligada a la fortificación desde el propio nivel de las definiciones, como en la arriba citada de Tomás de Puga y Rojas, donde el conocimiento de la construcción se considera como parte integral de la esencia de la fortificación. Una definición incluso mucho más atrevida, es la que encontramos en un autor francés de la segunda mitad del siglo XVIII, para quien *la fortificación* es la ejecución misma de un proyecto de construcción:

C'est la Fortification, l'Art d'exécuter un project de construction avec toute la solidité, & l'economie nécessaire qui en fait la principale partie, ainsi que l'attaque, & la défense des Places ...

Joseph de Fallois, *L'Ecole de la Fortification ou les éléments de la fortification ...*, Dresde, 1768, en el *Prefacio*, sin número de página.

Es la Fortificación, el Arte de ejecutar un proyecto de construcción con toda la solidez, y la economía necesarias en cuanto a sus partes principales, como en el ataque y la defensa de las Plazas ...

No extraña pues, que entre los requisitos que debía tener el arquitecto militar, estuviese el necesario conocimiento de las propiedades de los materiales y las estructuras, además de la aritmética, la trigonometría, la geometría y el uso de instrumentos matemáticos. A la persona encargada de dirigir los trabajos de construcción de una fortaleza, le correspondía intervenir en las labores de replanteo (trazar el perímetro de la planta sobre el terreno), en la excavación del foso y las zanjas para los cimientos, y también en el alzado de muros y terraplenes. Sin embargo en muchos casos, con la terminación del recinto no concluían los trabajos, sino que estos incluían también la construcción de los edificios militares interiores: alojamientos, arsenales, iglesias, almacenes para víveres, municiones y pertrechos, y también de obras de infraestructura como pozos y cisternas.

Este genero de obras (las de fortificación) se reduce à las dos especies de sencillas, y à prueba de bomba ... En las sencillas se observan las tres reglas de la buena Arquitectura: firmeza, para asegurar la duración contra las injurias del tiempo; comodidad en la distribución de las piezas, según à que se destina el edificio; y simetría, que proporcione las partes y perfeccione el todo ...

Pedro de Lucuze, *Principios de Fortificación*, Barcelona, 1772, pág. 85.

En estas líneas es posible advertir además, que la construcción de los edificios interiores quedaba regida por los principios vitruvianos de la arquitectura civil, considerándolos como una especie de obras menores que no requerían de la misma atención por parte del arquitecto militar (a partir del libro de Belidor, *La Science des Ingénieurs ...*, el interés por este

género de edificaciones se hará más evidente y se intentará lograr una sistematización tipológica).

Ahora bien, ¿cuáles son los temas concretos que merecen una mayor atención por parte de quien escribe un tratado de fortificación? No resulta extraño afirmar que en ellos, el aspecto que más inquieta es el de la construcción de murallas. Ellas son sin duda el más antiguo de los elementos de la fortificación, que por la diversidad de sus aplicaciones, no llega a quedar en desuso, así el edificio tome la forma de castillo, fortaleza o ciudadela. Incluso la mayoría de las obras complementarias que aparecen en la llamada “fortificación a la moderna”, como baluartes, revellines, bonetes, o semilunas, estaban conformadas por murallas, aunque tuviesen diferentes respuestas de disposición y forma tanto en planta como en sección.

Las murallas constituían además no sólo el objeto a demoler mediante el ataque por parte de los agresores, sino que era a la vez fundamental para la actuación de los defensores e incluso sobre sus piedras se producía la costra de la que era posible extraer el salitre, materia prima en la elaboración de la pólvora:

Se encuentran también el Nitro en forma visible, en las paredes y superficies de los edificios que no baña el sol, como en sótanos, bóvedas, caballerizas, cuevas, sepulcros,... Este salitre se recoge barriendo estas superficies, y es más puro que el antecedente ... (se refiere al que se extraía de escombros de construcciones).

Francisco Javier Rovira, *Tratado de Artillería para el uso de los Cavalleros ...*, Imprenta de la Academia (?), 1773, pág. 6.

El concepto mismo de lo que la muralla es y representa, varía con el tiempo y a través de los tratados se aprecian distintos niveles de comprensión: desde el muro simple que envuelve a la pequeña villa medieval, hasta un laberíntico conjunto de obras que se defienden entre sí, unas a otras. Son ellas quienes van a exigir de los arquitectos e ingenieros militares un cuidado cada vez mayor y una extensa producción de teorías encaminadas a solucionar sus problemas más agobiantes, que son:

- Conformación de una base firme ante los distintos grados de compactación de los suelos.
- Estabilidad frente al vuelco por efecto del empuje del terraplén.
- Solidez ante las agresiones de las balas de los atacantes.
- Compactación de los mampuestos (ladrillos, piedras o tepes) y terraplenes para evitar la permeabilidad generada por su inclinación.

Una muralla estaba formada por tres partes diferenciadas:

- Un terraplén o volumen de tierra compactada que constituía la masa de la muralla. Este podía consolidarse mediante el empleo de haces de ramas llamados *faginas*, o de pequeños bloques de césped llamados *tepes*, que con sus raíces y fibras permitía un aceptable grado de unión entre sus piezas con la ayuda adicional de pequeñas estacas.
- Un recubrimiento o camisa, que podía hacerse de piedras (en piezas pequeñas o en sillares), ladrillos, los mismos tepes o incluso tapiales. Uno de los temas de mayor

polémica entre los tratadistas a lo largo de muchos años será precisamente el de determinar cuál de todos ellos resultaba más conveniente.

- Unos elementos de apoyo o contrafuertes, que empotrados en el terraplén, contrarrestaban los empujes que éste hacía intentando producir el vuelco del paramento exterior.

Todo esto demandaba entonces el extender sus inquietudes a otros temas requisito, que son los siguientes:

- Conocimiento de los materiales: piedra, ladrillo, arena y cal (estos dos últimos para hacer morteros). En este tema van a ser muy útiles los conceptos emitidos por Vitruvio.
- Tipos de cimentaciones sobre los que poder apoyar tan grandes volúmenes de obra (camisa - contrafuerte - terraplén). Valga la pena decir desde ahora que la más común de las cimentaciones fue la basada en el empleo de pilotes de madera, sobre la que algunos autores incluyen detalladas explicaciones.
- Propiedades mecánicas de las estructuras abovedadas: siendo los arcos de mampostería muy útiles en la tarea de reforzar la estabilidad de los paramentos de los muros, y como elemento de unión entre los contrafuertes de la muralla. Los tratadistas demuestran un interés sobre ellos que irá creciendo a medida que nos acercamos al siglo XVIII, cuando, con el desarrollo del poder destructivo de las balas de cañón, una nueva preocupación buscó respuesta en la técnica constructiva que hacía resistentes los almacenes de pólvora construidos mediante arcos que soportaban altas e inclinadas cubiertas. Este interés, casi exclusivo de los tratadistas de este siglo, habría de generar varias teorías acerca del dimensionado de estribos de arcos y bóvedas, lo que se expresa en las numerosas páginas de los libros franceses y españoles.

En las páginas venideras haremos un recuento por las principales teorías que sobre estos temas aparecen depositadas en los tratados de fortificación siendo importante destacar que para el año de 1800 un cierto escepticismo parece cundir en algunos autores de la época, perplejos ante la avalancha de las más diversas respuestas:

... convendrá manifestar que los cálculos de las fuerzas ejercidas por el empuje de un terraplén y las dimensiones que consiguientemente hayan de tener los muros hasta ahora, sólo se han obtenido con relación a los de perfiles uniformes ... respecto de las disposiciones que se dan á los estribos y á la influencia de las bóvedas formadas sobre ellos exigen tantas y tan difíciles investigaciones, que su solución parece superar a los procedimientos analíticos ... no queda por tanto más recurso que adoptar los perfiles sancionados por la práctica ...

Julio de Wurm, *Tratado de arquitectura militar para el uso de la Academia Imperial y Real del Cuerpo de Ingenieros de Austria ...*, Ed. en castellano, Madrid, 1856, traducido del alemán en 1855 por Tomas O'Ryan.

Nos encontramos pues, ante un conocimiento constructivo, que nos interesa en dos sentidos: por su proceso mismo de desarrollo, más que por sus resultados, y por la estructura que subyace en esos contenidos.

Clasificación establecida de los tratados para la exposición de sus contenidos

Para facilitar la exposición de los temas que a continuación se tratan hemos creído conveniente seguir un orden cronológico dentro del cual se conforman grupos de autores que comportan unas características comunes. El primer capítulo lo bautizamos *Primer desarrollo y transformación: siglos XVI y XVII*, que comprende *Las fuentes clásicas y la transición medieval* (textos y autores que a lo largo de la Edad Media antecedieron a los primeros tratados impresos del Renacimiento), *La fortificación a la moderna del siglo XVI* (tratados primigenios de fortificación impresos, la mayoría de ellos de autores italianos que fueron retomados rápidamente por españoles), *La búsqueda de una autonomía disciplinar a lo largo del siglo XVII* (donde es posible agrupar una mayor diversidad de autores en conjuntos de *especialistas, artilleros, prácticos, sacerdotes y geómetras*).

El segundo capítulo se titula *La cristalización del sistema técnico durante el siglo XVIII* y comprende: *Vauban y Fernández de Medrano* (siendo Vauban el primer eslabón de una corriente que va a conducir la mayor parte de los tratados impresos del siglo XVIII, en tanto que el español Fernández de Medrano es el último exponente de las teorías que sobre la fortificación se expresaron en los tratados del siglo XVII), *Los ajustes finales* (donde se trata del desarrollo del conocimiento constructivo en los tratados del siglo XVIII, que a la zaga de Vauban e impulsados por la aparición del texto de Belidor, van a expresarse en los de autores españoles y franceses de reconocida importancia en la formación de los nuevos ingenieros militares organizados en cuerpos militares bien definidos y encargados de la ejecución de buena parte de las obras públicas y de fortificación de los nuevos Estados europeos), *La crisis del modelo* (donde se hace referencia a los cambios operados en el sistema de fortificaciones permanentes abaluartadas, tal y como se puede entender a través de los tratados de dos personajes particularmente importantes: el italo-español Félix Prósperi y el francés Montalembert).

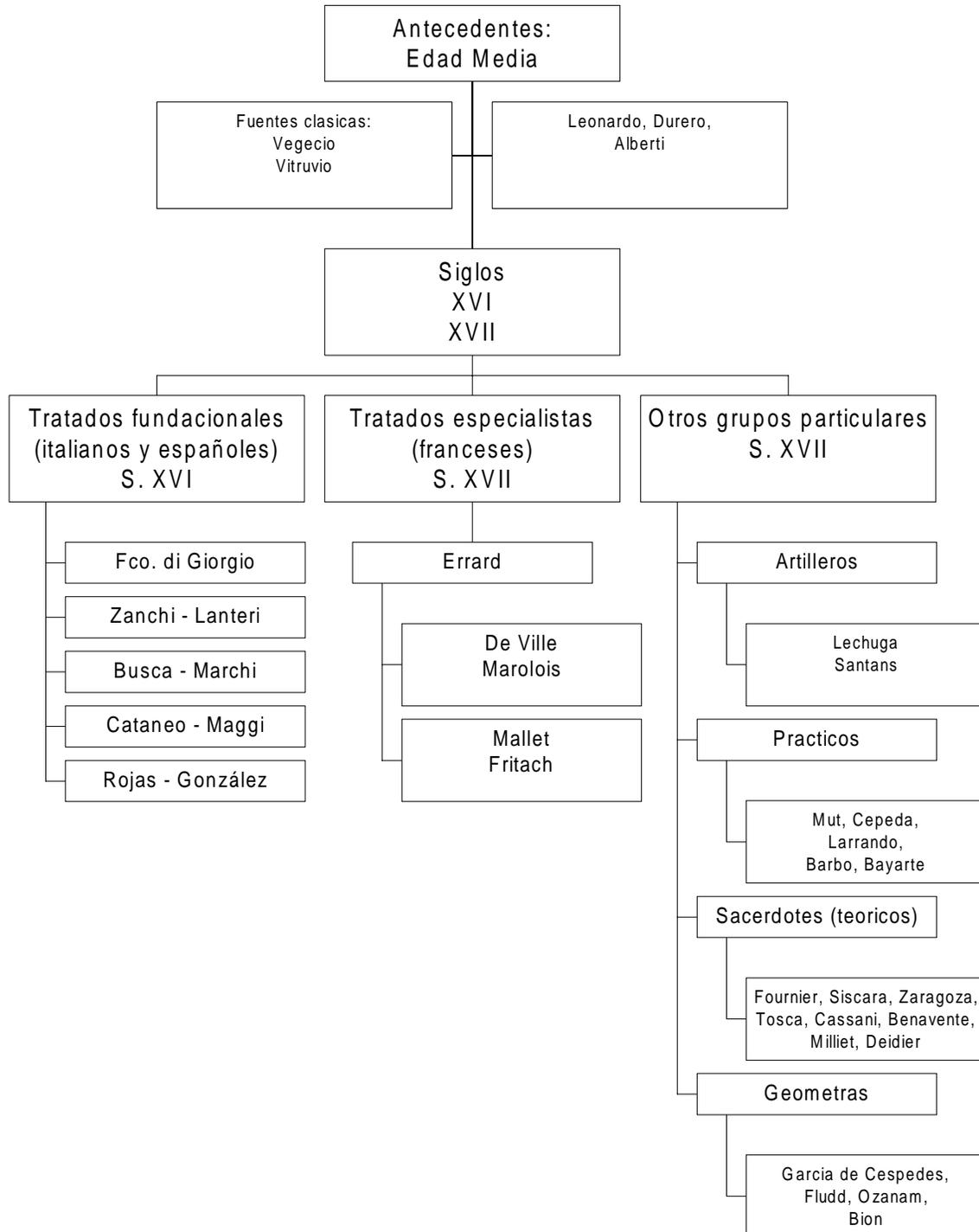
El tercer y último capítulo está consagrado a la manera en que los tratados de la fortificación mantuvieron su vigencia en el tiempo a través de las academias de formación de ingenieros militares.

Notas a la introducción:

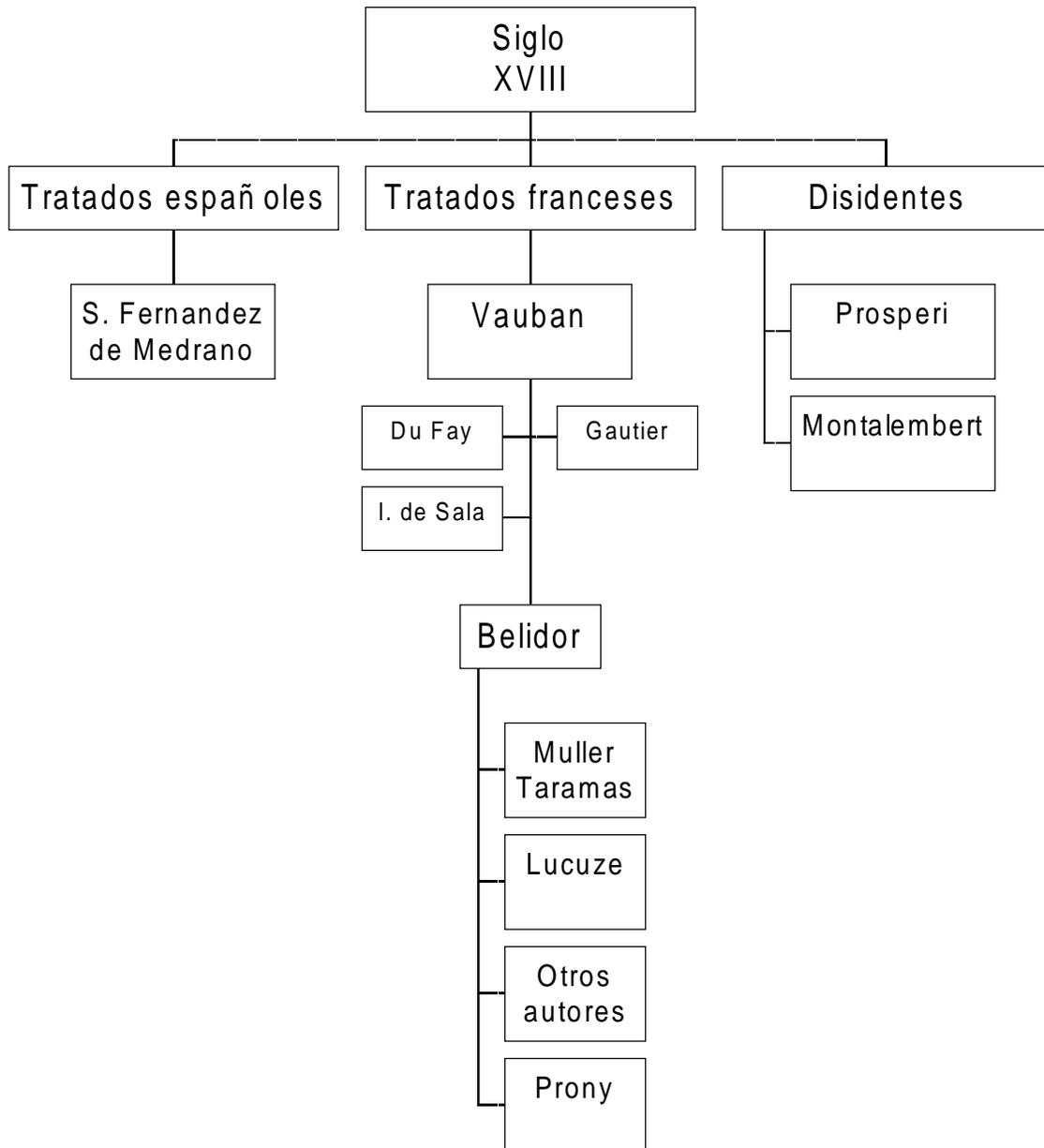
¹ La definición del término, puede variar de un autor a otro, y de un siglo a otro, pero todas ellas conservan los rasgos principales consignados en esta de Tomás de Puga y Rojas.

² Una revisión superficial de las tablas de contenido de los tratados puede crear falsas expectativas y casi que con seguridad ha hecho caer en tal error a autores que afirman que determinado autor incluye temas relacionados con la construcción de obras de fortificación, cuando en verdad lo que trata es de aspectos geométricos y gráficos.

Cuadro que resume los autores y tratados desarrollados en el Capítulo I:



Cuadro que resume los autores y tratados desarrollados en el Capítulo II:



CAPÍTULO I

PRIMER DESARROLLO Y TRANSFORMACIÓN DE LOS CONTENIDOS: SIGLOS XVI Y XVII

1. Las fuentes clásicas y la transición medieval

Se hace inevitable empezar este recorrido refiriéndose a un par de autores romanos cuya influencia se hará evidente a lo largo de la tratadística que aquí estudiamos. Si para los arquitectos la obra de Vitruvio nos es bastante conocida, la de Vegecio no parece tener la misma influencia, aunque sí se le considere importante en el terreno de lo militar; luego de la lectura de este par de autores y de buena parte de los títulos impresos en el período que nos ocupa (s. XVI - XVIII) es posible afirmar que ambos constituyen un punto de referencia obligado para la gran mayoría de tratados de fortificación. La intención de estas líneas es determinar el alcance de tales influencias de uno y otro sobre ellos, tanto sobre los que se escribieron durante la Edad Media como sobre aquellos que pertenecen a la llamada “fortificación moderna” y más exactamente en lo que a contenidos de saber técnico se refiere.

1.1. Vitruvio y la arquitectura militar

El manuscrito de Vitruvio fue descubierto al parecer en 1415 e impreso por primera vez en Roma en 1486. Desde entonces son muchos los que han escrito de él y como él. De su tratado, *De Architectura Libri Decem*, GONZÁLEZ (1993), divide los contenidos acerca de la construcción en dos tipos distintos: los explícitos y los implícitos.

- Los explícitos se reparten así: Libro II (dedicado al conocimiento de los materiales), Libro VII (dedicado a los enlucidos y las pinturas), y Libro VI (cuyo capítulo XI hace referencia a la firmeza de los edificios en relación con los muros y los cimientos).
- Los contenidos implícitos aparecen a todo lo largo del libro pero no se caracterizan por ser demasiado profundos o importantes.

En cuanto a la arquitectura militar, Vitruvio la encuadra tempranamente, en el capítulo III del Libro I, refiriéndose a ella como parte de la construcción dedicada a la edificación de murallas¹:

Las partes de la Architectura son tres: Construcción, Gnomónica, y Maquinaria. La Construcción se divide en otras dos; una es la edificación de las murallas y obras públicas; y la otra la de las particulares. Los edificios públicos se dividen en tres clases; una pertenece á la defensa, otra á la religión, y otra a la comodidad. Para la defensa son los muros, torres y puertas; inventado todo para rechazar en todos tiempos las invasiones de los enemigos ...

Pág. 14.

Y acto seguido, en el capítulo V del mismo libro, se dedica a explicar *la construcción de los muros y las torres* (páginas 18, 19 y 20). Tal capítulo alcanza una extensión de 1,5 U.P.², contra un total de 245 U.P. de extensión total del tratado. Es decir, que la arquitectura militar, entendida por ahora como la alusión concreta y explícita a la construcción de murallas, ocupa un 0,6% de la extensión total de la obra vitruviana. Ahora bien, se pueden

sumar a estas escasas páginas los diez capítulos que conforman el Libro II dedicado, como ya se dijo, a los materiales: ladrillo, arena, mortero, cal, puzolana y maderas, aunque sus explicaciones son genéricas, válidas tanto para los edificios religiosos como para los militares; en ninguno de los ejemplos que cita a lo largo de estas páginas, menciona en ningún caso la construcción de murallas. El capítulo V del Libro I es entonces suficiente para dar por terminado lo que a fortificaciones se refiere.

Para Vitruvio, el primer paso en el proceso de construcción de una fortaleza consiste en una adecuada elección del sitio. Luego, se procede a la fabricación de los cimientos, para lo cual es necesario excavar *hasta hallar suelo firme*, dando a los fundamentos un ancho mayor al del muro que soportará, dimensión tal que debía permitir caminar simultáneamente a dos hombres por encima de él sin obstaculizarse. Recomienda añadir terraplenes, para que *ni los arietes, ni las minas, ni las otras máquinas* perjudiquen la solidez de los muros; y también sugiere la presencia del foso, de tal ancho *que pueda fácilmente resistir al impulso del terraplen*.

Es evidente que estas recomendaciones son vagas, y llegan a ser confusas cuando advierte de la posición de los contrafuertes con respecto a los muros:

A la parte de adentro se construirá otro fundamento, á tal distancia del muro, que pueda la tropa formarse y hacer sus operaciones de defensa. Construidos así ambos fundamentos, se construirán otros de través entre los primeros, dispuestos en figura de peyne, y como dientes de sierra. De esta forma, el peso del terreno distribuido en pequeñas porciones, y no impeliendo junta toda su gravedad, de ningún modo podrá reventar los fundamentos del muro.

Pág. 19.

¿A qué otro *fundamento* se refiere? ¿Tal descripción correspondería acaso a un sistema formado por dos murallas concéntricas terraplenadas y sobre las que se realizaba el ejercicio de las tropas? Esta parte no es clara, aunque sí es correcta la justificación que hace acerca del papel de los contrafuertes (evitar el colapso del muro por el empuje del terraplén); inclusive la interpretación gráfica que del propio Josep Ortiz, traductor de la edición castellana de 1787 que se ha consultado, nos muestra unos lienzos de muralla delimitados en sus extremos por torres circulares y dotados de un exagerado espesor o terraplén de geometría rectangular ([Lámina I](#)).

Una confusión mayor es la que explica el mismo traductor cuando hace referencia a la recomendación de Vitruvio de introducir en el ancho del muro *espesos leños ... para que atando con ellos, como travas, las dos caras del muro, tenga duración eterna*. Dice Ortiz en una nota de pie de página que:

... sera un error muy peligroso meter estos leños tan largos, que saquen sus cabos á una y otra faz de la pared, como dibuxaron algunos; pues estarian expuestos al fuego, y segura ruina.

Pág. 18, nota 4.

Pero la conclusión más desconcertante en el texto de Vitruvio es la que termina este capítulo hablando de los materiales:

En orden á los materiales de que se deben edificar los muros, no podemos dar regla fixa, por no hallarse en todas partes los que deseamos ...
Pág. 19.

Aunque tal afirmación demuestra un conocimiento sobre lo difícil que puede ser el levantar una fortificación en sitios en que apenas se conocen sus cualidades y atributos, no deja de ser una vaguísima nota que hace pensar que Vitruvio decidió pasar por alto todo aquello que implicaba la construcción de muros para la defensa (tal deficiencia se intentará suplir en tratados posteriores que buscan dar una respuesta específica con cada material y sobre cada tipo de terreno posible de encontrar).

Con la oración citada, termina el autor los “conceptos técnicos”; pero hace unas valoraciones adicionales acerca de la forma y disposición de las torres en las murallas, componentes fundamentales en las fortificaciones: afirma que las torres deben ser redondas, o cuando menos poligonales, pero no cuadradas, cuyos ángulos son frágiles ante el golpe de las armas de asalto. Prefiere por ello las primeras, que permiten una mayor visibilidad sobre el enemigo; la distancia entre ellas no debe ser más larga que un tiro con arco, de modo que se puedan defender entre ellas. Aquí es importante recalcar este hecho: mientras los “conceptos técnicos” expresados por Vitruvio acerca de la construcción de fortificaciones son bastante escasos y tendrán poca trascendencia cuando se enfrenten con la aparición de armas accionadas por la pólvora, sus criterios de valoración van a seguir siendo muy útiles: conceptos tales como la búsqueda de dominio visual sobre el sitiador, y capacidad de defensa recíproca entre partes de la muralla, van a ser decisivos para la justificación del bastión, la solución formal exactamente contraria a la defendida por Vitruvio. De todos modos, la presentación que hace de los elementos muralla-contrafuerte-torre-bastión, se nos presenta de manera aislada, como si cada uno de ellos fuese un ente independiente dentro del complejo fortificado.

Además, de esta particular división que de la arquitectura hace Vitruvio, se destaca la inclusión de la *Maquinaria* como parte integral de la misma, e inclusive todo el Libro X está dedicado a ella. Los arquitectos por lo general, nos hemos sentido poco relacionados con este libro, pero para nuestro estudio es importante en la medida en que la vinculación que se plantea aquí entre ellas (arquitectura y mecánica) no será desconocida o rechazada por tratadistas posteriores. Considerada la maquinaria, junto con la *construcción* y la *gnomica* como partes de la arquitectura, el último libro, el X, trata expresamente de la primera de ellas, que Vitruvio define escuetamente así:

Máquina es una armazón de madera, muy poderosa para levantar pesos.
Pág. 237.

Como lo comenta el propio Josep Ortiz, tal definición corresponde solamente a aquellas máquinas que se emplean como grúas para mover cuerpos pesados, y que son necesarias para la práctica de la construcción arquitectónica; pero al adentrarse en la lectura de sus capítulos, el autor destaca la presencia de otros artefactos que clasifica en función del tipo de movimiento que realizan: *escansorias* cuando son construcciones estáticas que sirven para soportar cargas en reposo, como las graderías de un auditorio; *espiritales*, accionadas por el aire, y que sirven *para el deleyte*; y finalmente las *tractorias*, es decir, las grúas propiamente dichas, con cuya descripción inicia el capítulo II de este libro:

Y primeramente trataremos de las máquinas necesarias en la construcción de Templos y edificios públicos, las cuales se arman de esta manera...

Pág. 239.

Expone cinco tipos de máquinas tractorias, incluyendo la *invención de Ctesifonte*, útil para el transporte de las columnas de los templos. Tampoco faltan las descripciones de los instrumentos empleados para sacar agua (tímpano, cóclea, haceñas), y finaliza con las de armas propias de la guerra: catapultas, ballestas y máquinas *opugnatorias* (arietes y tortugas). Las dificultades en la interpretación de los textos que explican la construcción de tales máquinas, están muy bien expresadas en las notas de Ortiz.

La extensión del Libro X alcanza las 16 U.P., es decir, un 6,5% de la extensión total del tratado, y aunque estas descripciones de Vitruvio no son del todo innovadoras puesto que se conoce del uso de aparatos muy similares en culturas del mundo antiguo, sí es interesante la valoración que él le concede a la maquinaria como parte de la arquitectura. Anotemos desde ahora que este importante vínculo entre mecánica y construcción, presente en su tratado, ha de soportar variadas interpretaciones durante la Edad Media, que conducirán a una progresiva separación teórica, más no práctica entre ellas, y no será extraño ver a muchos arquitectos militares del siglo XVIII proyectando no sólo la forma y constitución de sus edificios, sino también los medios mecánicos que permitiesen su puesta en obra, motivados por criterios tales como la rapidez y el empleo óptimo de los recursos en los procesos constructivos.

En el Proemio al Libro X, Vitruvio censura a los arquitectos que no cumplen con los plazos o los presupuestos de las obras, en especial cuando tales faltas se producen sobre obras que tienen una connotación pública (fiestas de gladiadores en el foro o representaciones teatrales). La forma en que aquí se justifica el conocimiento de la mecánica es bastante clara:

En estas cosas se requiere mucho conocimiento, é ingenio cultivado con estudio, por no poderse hacer ninguna de ellas sin Mecánica, con vasto saber y aplicado desvelo...

Pág. 236.

Y es de aquí que nace la motivación para que el romano incluya un libro dedicado al tema: en su opinión, la maquinaria no es un producto de la arquitectura sino una parte de ella útil a quien construye; él no establece principios sobre los artefactos, sólo los describe. Tal vez ello explica el acento que pone sobre las máquinas tractorias, las empleadas en extraer agua y las que siendo armas actúan directamente sobre los muros, es decir, aquellas que se consideran las más útiles para el ejercicio del arquitecto. Vitruvio no postula auténticos principios sobre la mecánica, y aunque el título del capítulo VIII del Libro X (*De los principios de Mecánica*) invite a pensar que lo hace, tal cosa no ocurre y a cambio se expone en las características de los movimientos de tipo rectilíneo y circular en los artefactos que ha descrito. El propio Ortiz lo advierte:

En quanto trata aquí Vitruvio de Mecánica procura adaptarse á la mas facil inteligencia en la práctica, sin entrar en los abismos y abstracciones teoricas...

Página 244, nota al título del capítulo.

Su concepción de la mecánica comparte una concepción global del mundo grecorromano que la entiende como un instrumento para la comprensión de la naturaleza:

Toda la Mecánica se funda en la naturaleza, tomando su origen del continuo giro del cielo que la amaestra y dirige ...
Pág. 238.

Pero a diferencia de la interpretación que se le atribuye a Arquímedes³, preocupado por el control matemático de la precisión de los artefactos y las posibilidades de transmisión del movimiento, Vitruvio entiende las máquinas como el resultado de la conjunción de partes, eludiendo la comprensión de su mecanismo a cambio de una explicación que permita su representación. De ellas resalta sus aspectos cualitativos y formales, no matemáticos:

... la tractoria tiene mayores usos, y llenos de utilidad; y tratada con inteligencia aumenta extraordinariamente las fuerzas...
Pág. 237.

Ambas precisiones de Vitruvio, tanto las que hacen alusión a la construcción de murallas como las que tratan del papel de la mecánica en la arquitectura son valiosas sobre todo en tanto que constituyen un punto de referencia con el que es posible establecer comparaciones futuras. Curiosamente van a ser las páginas consagradas a la explicación de las propiedades de los materiales las que serán retomadas y prácticamente copiadas en los primeros tratados impresos y especialmente en los que escribieron autores italianos y españoles; el afán de innovación que ha de envolver a la fortificación moderna relega las demás apreciaciones hechas por Vitruvio.

1.2. El valor relativo del tratado de Vegetio

A Flavio Vegetio Renato se le considera el escritor militar romano por excelencia, quien intentó dar a conocer la fuerza defensiva de su imperio a través de *Epitamoia rei militaris*, ó *Rey Militaris Instituta*, que constituye un compendio de los antiguos escritores e historiadores militares. Para KRUF (1990), es *un tratado tardoantiguo sobre ciencias bélicas que tuvo una gran difusión en el Renacimiento primitivo*. La obra se hizo conocer a través de numerosas copias e impresiones, algunas de las cuales se encuentran en las bibliotecas consultadas.

Según VÉRIN (1993), en el 1284 y 1290 se hicieron traducciones al francés y para finales del siglo XIII la obra de Vegetio se incluía en la mayor enciclopedia medieval, *Speculum Maius*, de Vincent de Beauvois. Se reconocen además traducciones al inglés en 1498: J. Gaxton, *The Fayt of armes and Chyvarly from Vegetius*, al francés en 1762: Charles L.A. Bilistein, *Le Vegece François ...*, y al castellano en 1764: *Instituciones militares de Flavio Vegetio Renato, traducidas del latín al castellano por Don Jayme de Viana*. Según el mismo KRUF, hubo épocas en que la obra de Vegetio alcanzó una difusión tan amplia como la del propio Vitruvio; sin embargo esta comparación puede llevar a serias confusiones: entre ambas obras existen diferencias considerables de contenido y estructura.

La obra de Vegetio es definitivamente un tratado militar y no un tratado de fortificación: dividido en cinco libros, sus contenidos se refieren fundamentalmente a aspectos propios de la vida castrense. El libro I trata de la elección del personal, sus armas y los medios para fortificar en campaña; el libro II hace referencia a la estructura interna del ejército romano (legiones); el libro III expone entre otras cosas, los medios para la defensa, incluyendo la descripción de algunas armas empleadas en su época: carros falcados, catapultas, torres de asalto, y ... ¡elefantes!. El libro IV explica la guerra de asedio y en sus primeros seis capítulos habla de la fortificación de ciudades: la fuerza de ellas *está dada por la solidez de sus murallas*, la cantidad de municiones, el valor de los hombres que la defienden y el uso apropiado de las máquinas de guerra. El libro V trata de la navegación.

Tampoco hay esta obra contenidos explícitos de construcción: sólo en la primera parte del IV libro aparecen alusiones que importan al tema y que expresan desde ya conceptos que van a ser repetitivos a lo largo de muchos de los tratados renacentistas. Es en estos breves apartados en donde reside la relativa importancia de la obra de Vegetio.

El primer aspecto de nuestro interés que hemos de considerar, es el que resuelve un interrogante propio de la fortificación, tanto antigua como moderna: ¿qué hace inexpugnable una fortaleza: su posición en un lugar o su geometría? En la versión que de Vegetio hace Jaime de Viana (Madrid, Joaquín de Ibarra, 1764) al castellano, encontramos la siguiente respuesta:

Las plazas y los castillos son fuertes por su ventajosa situación, por el Arte, ó por lo uno, y lo otro, que es lo mejor. Por naturaleza, quando están situadas sobre alturas escarpadas rodeadas de Mar, de Lagunas, ó de algún caudaloso rio. Por el Arte, quando fortifican sus recintos Fossos y Murallas ...
Pág. 217.

Esta afirmación guarda de manera implícita una orientación clave: la selección del sitio es definitiva, pero no es la condición única que una fortificación ha de cumplir. Requiere también del *Arte*, es decir, de la habilidad del hombre sobre su trazado, de la colocación objetiva de elementos que la hagan difícil de batir; y tal virtud implica necesariamente la función de alguien capaz de resolver la cuestión, llámese por ahora arquitecto militar o ingeniero. Sobre su denominación, Vegetio no nos aclara nada.

Efectivamente, tal preocupación por el papel del *Arte* en la tarea de fortificar, será una constante que va creciendo en los tratados medievales y renacentistas, hasta llegar a crear y consolidar la figura del ingeniero, aquel personaje cuya especialidad se basa en disponer de elementos para mejorar los atributos de la fortaleza; por ello, los temas de construcción no pueden serle ajenos, especialmente aquellos relacionados con las murallas, el elemento más destacado de todo el proceso que involucra la fortificación. Acerca de ellas, Vegetio se inclina por las murallas angulares antes que por las circulares: los criterios operativos son iguales a los citados por Vitruvio, pero la solución formal es definitivamente la opuesta. En cuanto al proceso que permite construir las, encontramos una muy breve alusión al tema:

El modo de terraplenear una Muralla para su mayor solidez consiste en levantar dos muros paralelos, dejando entre ellos un intervalo de veinte pies. Despues se terraplena con la tierra, que se saca del fosso, apisonandola mucho. No han de tener igual altura los dos muros: el primero

debe ser más alto, y el segundo, que es el interior, más bajo; de manera que con la tierra, que se terraplene, han de formar por la parte interior de la Plaza una rampa suave, para que por ella puedan subir los soldados sin mucho trabajo a la defensa de la plaza ...

Pág. 219.

Se trata de una descripción bastante precisa: la muralla se constituye por un muro de dos hojas cuya cámara se encuentra rellena con la tierra extraída del foso, siendo la primera hoja de mayor altura, probablemente para hacer de él una protección para los hombres (si la alusión sobre lo mismo hecha por Vitruvio era tan banal que permitía interpretaciones adecuadas, Vegetio acota la distancia entre las fábricas). La tierra extraída del foso también ha de utilizarse en la creación de la rampa interior. Se advierte desde ya el sistema denominado “autopréstamo”, que consiste en reutilizar en rellenos el volumen de tierra extraído en una excavación.

En la obra de Vegetio tampoco faltan las alusiones a las máquinas de guerra, todas ellas previas a la aparición de la pólvora (*Lámina II*). Se incluye también la descripción de una máquina para levantar pesos (*Lámina III*), en donde al igual que Vitruvio, las consideraciones son puramente descriptivas sin entrar en las de tipo mecánico. En definitiva, Vegetio es ante todo, una autoridad del pasado, especialmente en los temas relacionados con la disciplina militar, la estructura y composición de los ejércitos, que desde el punto de vista arquitectónico, se muestra de acuerdo con las consideraciones de Vitruvio. No podemos afirmar que Vegetio retome a Vitruvio o que ocurra lo contrario, ello tampoco importa mucho; lo que sí es posible comprender es que ambos autores romanos comparten apreciaciones comunes que con seguridad son expresión del saber colectivo de su tiempo y que serán retomados en el momento en que renazca el interés por el mundo clásico antiguo.

1.3. La fortificación medieval

1.3.1. ¿Arte liberal o arte mecánica?

Lejos de ser una “edad oscurantista”, la Edad Media se caracterizó por la reelaboración de muchos de los principios tanto del mundo griego y romano como de la rica y compleja cultura árabe. A través de copias manuscritas, ideas, teorías y conceptos se difundieron por Europa y se fueron transformando paulatinamente.

En aras de hacer un reconocimiento adecuado, hemos considerado importante recoger algunas teorías recientes que son particularmente útiles para entender la transición epistemológica que desemboca en el Renacimiento, y en concreto a lo relacionado con la fortificación. Es este uno de los pocos apartados en donde se ha hecho casi imposible acudir a fuentes escritas de primera mano para contrastar las diferentes apreciaciones; a cambio, se han revisado opiniones de varios autores contemporáneos sobre el tema que nos ocupa.

Pensemos primero en la práctica de la fortificación medieval. Sobre castillos y recintos amurallados de villas se ha escrito mucho, pero ha sido casi imposible dar a las construcciones europeas un tratamiento general, estudiándose conjuntos de obras por separado. Esto es una expresión de la incapacidad de encontrar una teoría general para la

fortificación medieval. Para los constructores de fortificaciones de la época (sobre quienes no se ha escrito mucho, apocados por la figura de aquellos dedicados a la construcción de catedrales), la geometría era un fundamento de su actividad, tal como lo será para los renacentistas, pero no llegó a ser un razonamiento *a priori*, sino más bien una pieza más del engranaje de sus saberes; alrededor de ella no se desarrolló un cuerpo de especulación teórica así como tampoco se expresaron por escrito las instrucciones propias de la acción del constructor, llegando a convertirse en el secreto que garantizaba la perpetuación de su oficio.

Si observamos el modelo asumido de conocimientos operacionales y representacionales apoyados sobre las habilidades, no podemos afirmar que el constructor de fortificaciones medieval fuese dueño sólo de sus propias aptitudes manuales, sino más bien que el conocimiento era uno, no disociado. Seguramente existían reglas de acción e instrucciones ordenadas dentro de la ejecución, pero ellas al menos no se expresaron de forma separada ni nos dejaron documentos escritos que permitan comprobarlo..

Sabemos sí que durante la Edad Media, la obra de Aristóteles se fue difundiendo por Europa a medida que aumentaba el interés por establecer una clasificación ordenada del conocimiento. Aristóteles había hecho ya una clasificación de los saberes en tres grupos: *teóricos, prácticos y poéticos*, división que habría de mantenerse hasta mediados del siglo XII y que llegaría a San Agustín. Sería luego, a mediados del siglo XIII, cuando Alberto Magno primero y Vincent de Beauvais (a quien ya hemos citado por su obra *Speculum Maius* que incluía el texto del tratado de Vegetio) posteriormente, dieron a la luz teorías cuya culminación se puede encontrar en Santo Tomás de Aquino -discípulo del primero-, y que buscaban acomodar a sus esquemas las llamadas “artes liberales”⁴: gramática, dialéctica y retórica (el *trivium*) y aritmética, geometría, astronomía y música (el *quadrivium*). Las artes mecánicas por su parte eran aquellas actividades en las cuales se aplicaban teoremas geométricos de la ciencia de la mecánica para su elaboración mental o física (instrumentos o máquinas).

VÉRIN (1993)⁵ y WILKINSON⁶ (AAVV, 1988-B) coinciden en afirmar que para el siglo XV la clasificación del conocimiento ya había tomado dos formas básicas, ambas derivadas del mundo antiguo. La tradición latina estaba representada en Hug de Saint Victor, cuya obra, *Disdacialion*, había sido escrita en el 1141. Hug dividía toda la filosofía en cuatro categorías del conocimiento: teoría, práctica, mecánica y lógica. Bajo el conocimiento teórico estaban la teología, la física y las matemáticas, dependiendo de esta última el llamado *quadrivium medieval*: la aritmética, la música, la geometría y la astronomía. Bajo el conocimiento de la mecánica estaban: la elaboración de tejidos, el comercio, la agricultura, la medicina, el teatro y el armamento. El armamento contemplaba tanto la astucia que se empleaba en la batalla como la construcción de armas y máquinas de guerra. En su clasificación, las matemáticas y el armamento pertenecen a esferas distintas del conocimiento, y la fortificación está más próxima a las ciencias de la mecánica que a las de las matemáticas.

WILKINSON (AAVV, 1988-B), recurre a un breve texto del libro de Guido Ubaldo Marchese, *Mechanicorum liber* (Pesaro, 1577), que expresa claramente esta posición:

El arte de la fortificación de palacios, plazas y su defensa, la cual puede ser llamada Arquitectura Militar, es una profesión mecánica, ya que mediante bastiones y barricadas y otras defensas, un hombre con unos

pocos soldados intenta repeler muchos tipos de máquinas e instrumentos y mantener su ventaja.

Págs. 242 y 249.

Según WILKINSON (AAVV, 1988-B), pág. 469⁷.

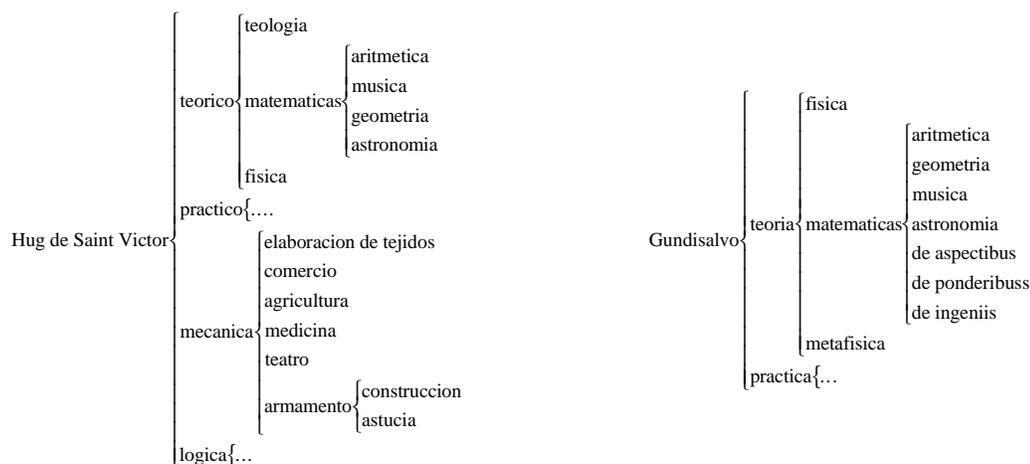
Es claro que el esquema vitruviano, en donde la mecánica, junto con la *construcción y la gnomica*, forman parte de la arquitectura, se ha roto. Es ahora la arquitectura militar la que hace parte de la mecánica, y el edificio, el recinto fortificado, es también una máquina.⁸ La otra clasificación del conocimiento fue hecha por Domingo Gundisalvo, quien en su *De divisione philosophiae*, escrita hacia el 1150⁹, divide la ciencia en divina y humana; la ciencia humana se subdivide en ciencia de la elocuencia, ciencia media y ciencia de la sabiduría, y esta última tiene dos partes, la teoría y la práctica:

Pues una es la parte de la filosofía que permite conocer lo que debe hacerse y ésta se llama práctica; y otra es la que permite conocer lo que debe comprenderse y ésta es teórica; así pues una está en el intelecto, la otra en el efecto; una consiste sólo en el conocimiento de la mente, la otra en la ejecución de la obra.

Domingo Gundisalvo, *De divisione philosophiae*, Ed. Baur, págs. 11, 14-18.

Citado por KINOSHITA (1988), pág. 52.

Las tres ciencias teóricas eran la física, las matemáticas y la teología. Las matemáticas agrupaban a la aritmética, la geometría, la música, la astronomía, la óptica, la ciencia de los pesos (*ponderibus*) y la ciencia de los ingenios (*ingeniis*). Esta última incluía la albañilería, la carpintería, y la construcción de máquinas e instrumentos. En este caso, la conexión entre las matemáticas y las máquinas de guerra es mucho más próxima. La incorporación de la *ciencia de los ingenios* en el saber doctrinal, es la gran innovación de esta teoría. WILKINSON (AAVV, 1988-B) explica a partir de tal jerarquización el uso indiscriminado del término *ingeniero*: si él se le aplicaba a quien ejercía la ciencia de los *ingeniis*, podía denominarse como tal a los arquitectos o a los diseñadores de máquinas.



Fuentes: WILKINSON (AAVV, 1988-B), y KINOSHITA (1988)

Nos encontramos pues, ante una doble división que habría de ser heredada por el Renacimiento, pero que además de tratar de explicar a quién se le llamaba ingeniero, sirve para hacernos entender que la fortificación, asumida casi de la misma manera por Vitruvio y por Vegecio durante la antigüedad clásica, a pesar de las diferencias que animan a uno y a otro para escribir sus textos, fue tratada separadamente de la llamada arquitectura civil, y casi que ignorada por muchos de sus principales autores: Serlio, Palladio, De L'Orme ... La fortificación pertenecía en el siglo XV tanto al dominio de la arquitectura como al de los constructores de máquinas, o a ninguno. Los primeros que escriben sobre fortificación provienen de disciplinas distintas: algunos son matemáticos (Stevin), otros son artistas (Durero), otros son eruditos (Maggi), y no faltan los diletantes y hasta los políticos.

Pero tal jerarquización no desaparece con el mundo medieval: la hemos encontrado también en un tratado de fortificación español de la segunda mitad del siglo XVII, escrito por Andrés Dávila Heredia¹⁰, quien realza la importancia de las matemáticas como herramienta del arquitecto militar, entendidas así:

Mathematica no es otra cosa, sino Ciencia deste mundo visible, en las partes y accidentes ... las mathematicas no tratan sino de las causas y efectos que perfeccionan el mundo ...

Andrés Dávila Heredia, *Plazas fortificadas en el Ducado que era de Lorena ...*, sin lugar, sin imprenta, 1672?, pág. 25.

Para Dávila, las matemáticas se subdividen en siete partes: la numérica, la aritmética, la geometría, la perspectiva, la cosmografía, la *Mathemática adoptiva* (ciencia de los pesos), y finalmente la *Maquinaria, ò Arquitectónica, la qual es un arte practica de acomodar, y poner en orden todas las fortificaciones necesarias para la defensa de las Plaças*. En tal estado de indefinición respecto a su origen se encuentra la arquitectura militar desde los inicios del Renacimiento. Y ello es importante destacar, pues explica el afán y la necesidad de sus principales autores por construir una autonomía disciplinar, por generar un cuerpo teórico propio. Esa es la génesis que intentaremos describir.

1.3.2. Manuscritos medievales y pre-renacentistas

Es sabido que los primeros libros impresos en Europa aparecieron hacia 1448 en la región alemana de Maguncia, al parecer en el taller de Johann Gutenberg, “inventor” de la impresión con tipos móviles, pero no por ello con anterioridad a tal invento dejaron de hacerse innumerables copias manuscritas de todo tipo de tratados, incluyendo también aquellos que versaban sobre el arte militar, asegurando así y por una parte la vigencia de las tradiciones militares clásicas -en especial romanas-, y por otra, realimentando las opiniones y teorías acerca de la guerra y la construcción de murallas. RYKWERT (AAVV, 1988-B), introduce una consideración importante: *se publicaban muchos libros antes de que fuera introducida la imprenta*, es decir, que un libro se hacía “público” fundamentalmente por su difusión y también por la cantidad de copias que de él se hacían, y que en algunos casos podían superar en número a los primeros tirajes impresos de varios títulos¹¹. El tratado de Vitruvio, por ejemplo, se encuentra en tal situación: era un libro publicado pero no impreso, hasta 1486.

Para la arquitectura, el manuscrito de Villard de Honnecourt¹² (datado en el 1230), sigue siendo el más valorado documento medieval, aunque como afirma GERMANN (1987), las leyendas que acompañan las figuras del libro, y escritas casi con seguridad por sus colaboradores y comentaristas, no son suficientes para establecer una teoría; la importancia que se le asigna a sus ilustraciones, supera ampliamente al contenido del texto. Tales imágenes dan cuenta de muchas de las particularidades de la construcción de catedrales, pero también dejan testimonio de la enorme dedicación que un constructor medieval debía observar hacia la mecánica. GILLE (1967) quien no duda en llamarlo *un ingeniero medieval*, se ha preocupado en los diseños de máquinas que incluye su tratado: una sierra hidráulica, otra para cortar pilotes hincados en el agua, un gato (o cric) para levantar pesos, e inclusive modelos rudimentarios de “autómatas”, máquinas que desarrollaron un enorme interés durante el medioevo. Pese a todo, la obra de Villard no deja de ser un fragmentario “estado de la cuestión” medieval que carece de aportaciones teóricas capaces de dinamizar los temas de los que se ocupa.

Aparte de este caso -el de Villard-, que en los últimos años ha gozado de una merecida difusión son realmente pocos los estudios actuales que se han interesado por tales obras primigenias de arquitectura e ingeniería; se destaca en solitario el trabajo del italiano Carlo Promis, *Biografie di ingegneri militari italiani dal secolo XIV alla metà del XVIII*, aparecido en Turín en 1874 y traducido rápidamente al francés y de él al castellano por el militar José APARICIO (1882). En él, se enumeran una buena cantidad de autores pertenecientes a la tardía Edad Media, auténticos predecesores de los modernos tratados de fortificación, en los cuales Promis reconoce la huella principalmente de Vegetio. Más reciente e influyente ha sido el ya citado estudio de GILLE (1967), quien coincide con algunas de las precisiones de PROMIS (1874), pero que busca de una manera mucho más rigurosa aquellas figuras que se pueden considerar como auténticos *Ingenieros* del Renacimiento.

Entre los autores militares anteriores al 1400 y reconocidos como tales, encontramos algunos cuyos nombres reaparecen con frecuencia. El más antiguo sería Egidio Colona (?1247-1316?), autor de *De regimine principum libri tre* cuya tercera parte se refiere al arte militar; también trata de armas y máquinas de asalto, incluyendo escasas recomendaciones sobre la adecuada construcción de murallas para evitar en ellas los efectos de las armas. Se habría tratado de una obra muy difundida en Europa mediante copias manuscritas e impresas (estas últimas desde 1482, incluyendo una edición *hecha en dialecto lemosin, en época desconocida, que fue impresa en folio en Barcelona en el año de 1594*¹³).

Otro personaje destacado es Guido da Vigevano (?1270-?), autor de *Thesaurus Regis Franciae acquisitionis terrae Sanctae ...*, conocida sólo por citas que de ella se hacen y por una copia manuscrita conservada en la Biblioteca Real de París (también existe una copia en la Biblioteca de Turín). Dividida en dos libros y trece capítulos, en ella se explican diversos tipos de máquinas de guerra empleadas durante el medioevo y propone nuevas y propias invenciones. Para GILLE (1967), en este manuscrito se prefiguran los tratados de los verdaderos ingenieros renacentistas constituyendo una rótula entre sus obras y las medievales, donde se destaca una gran preocupación por la actividad técnica y la búsqueda de razonamientos científicos.

También es interesante el caso de Cristina da Pizzano (?1364-1415?), la única mujer a la que se le atribuye haber escrito un tratado militar, *Le livre des faits d'armes et de Chevaliere*,

que Promis considera como una traducción y ampliación de Vegetio. H. DE LA CROIX (1963) considera este título como un “completo manual militar” que expone las leyes de la guerra basadas en el honor, además de recursos tácticos y estratégicos.

No se puede desconocer tampoco a Bartolomeo Carusi (1345? - *Tractatus de re belica...*), Paolo Santini (1450? - manuscrito en francés), Lampo Birago (1454? - *Strategicon versus Turcos ...*), Orso Orsino¹⁴ (1476? - *Trattato del governo e exercitio della militia*), y Antonio Cornazzano (1431? - *Opera Bellissima de l'arte militare*) a quien también cita H. DE LA CROIX (1963) como autor de la primera obra militar escrita en verso. De *Il Taccola* (1381-1453?), se conoce un extenso manuscrito, *De machinis libri X*, acerca de la construcción de maquinaria: la obra consta de varios volúmenes de dibujos que al parecer influirían notablemente en el trabajo de Francesco di Giorgio, y que podría ser el primero en introducir la descripción minas explosivas subterráneas.

Esta lista se podría incluso hacer más extensa si se incluyen en ella numerosos manuscritos que sin tener a la fortificación como tema central, aluden a ella como una necesidad dentro de sus discursos de carácter político. Sin embargo, el común denominador de todos estos escritos sigue siendo la referencia constante a la obra de Vegetio.

1.3.3. Leonardo de Vinci como arquitecto militar

La figura de Leonardo (1452-1513) no puede hacerse de lado en el momento de esbozar estos antecedentes a los tratados militares del Renacimiento. Autores como BIRAL (1985), GILLE (1967), y PARSONS (1976) le dedican benévolos comentarios a su labor como *Ingeniero Militar*, pero tampoco faltan artículos como los de Carlo PEDRETTI -en AAVV(1994)-, y Pietro MARANI -en AAVV(1987)- que buscan ir más allá de la reseñada importancia de sus dibujos. Y es que de Leonardo se conocen muchísimos esquemas y croquis, que incluyen además de los muy difundidos sobre anatomía e ingenios mecánicos, otros en donde explora asuntos relacionados con el disparo de proyectiles y el trazado de obras de fortificación.

De acuerdo con GILLE (1967), el interés de Leonardo por la arquitectura militar se evidencia en una primera instancia a través de sus cartas dirigidas a César Borgia. Sus fuentes acerca de la fortificación, y que le llevarán también al diseño de máquinas de asalto y al estudio del comportamiento de los hombres en el campo de batalla, estarían centradas en Vegetio y Vitruvio, y con seguridad conocía del trabajo de Alberti y Francisco de Giorgio. Tanto para este autor contemporáneo como para PARSONS (1976), las verdaderas innovaciones de Leonardo se concentran en el campo de la artillería. La importancia de Leonardo en la arquitectura militar se hace tanto más difícil de sustentar en la medida en que no se conoce prácticamente ninguna obra construida que se le pueda atribuir y ni tan siquiera como nacida de uno de sus proyectos.

El manuscrito *Códice Atlántico* de Leonardo (1452-1513), uno de los más estudiados, no parece contener cosa alguna relativa a la arquitectura militar de manera sistemática: sus temas versan sobre la manera de construir puentes ligeros y portátiles, el modo de sacar agua de los fosos, la construcción de bombardas, la excavación de minas subterráneas, la fabricación de carros cubiertos, así como de algunas tácticas de guerra naval; contiene sí

varios dibujos en los que explora acerca de las formas y dimensiones de la fortificación: cuadrados, círculos y rombos; de todas maneras, no constituye un manual donde se expongan de forma ordenada recomendaciones acerca de cómo ha de acometerse la construcción de fortificaciones. Pero una mera interpretación de los dibujos puede resultar insuficiente.

La visión de MARANI (AAVV, 1987) es de un Leonardo no sólo preocupado por la forma, sino por la realización material de las obras de fortificación: el hecho de que sus primeros estudios acerca de la arquitectura militar sean contemporáneos con los proyectos que él realiza para el domo de la catedral de Milán (1487-1490), donde su preocupación se centra en la distribución de las cargas y su transmisión al terreno a través de los cuatro pilares del crucero, le inducen a pensar que el interés de Leonardo por la técnica constructiva y los problemas estructurales merecen una especial atención.

Se destacan también sus dibujos acerca de las nervaduras de la cúpula, construibles mediante el ensamblaje de bloques de piedra. Marani cree ver que ese afán por el conocimiento de la materia se extiende a sus esquemas de plazas bastionadas, y presume que éste comprendía las posibilidades de realización del edificio a partir de materiales y técnicas comunes en su época: *Il es donc possible qu'il ait songé à employer la brique pour les murs et la pierre pour les supports ...*¹⁵. Pero una de las referencias más interesantes que hace este autor es el recurso que emplea Leonardo para reforzar mediante arcos los muros con el fin de repartir lateralmente los empujes verticales. Cita MARANI del folio 48v del *Manuscrito B* de París:

Que les arcs soient alternés dans l'épaisseur du mur, afin que leurs bases ne s'appuient pas toutes sur un même pilier, mais plutôt sur plusieurs, de sorte que si les bombardes rompaient un de ces piliers, les arcs ne viennent à s'écrouler.

Citado por Pietro MARANI (AAVV, 1987), pág. 307.

Que los arcos sean alternados dentro del espesor del muro, para que sus bases no se apoyen todas en un mismo pilar, sino más bien sobre varios, de tal manera que si las bombardas rompen uno de esos pilares, los arcos no se derrumbarán.

Esta importante descripción aparecerá continuamente citada en posteriores tratados, lo que se amolda a la opinión de MARANI: no es este un aporte tecnológico de Leonardo, sino más bien una expresión que se usaba en la construcción tradicional de fortificaciones en su época. Los dibujos que él hace de obras de fortificación han de entenderse pues como parte de una exploración personal que busca justificar de manera “científica” las expresiones de la forma, basándose también en la tradición constructiva de su lugar y de su época. Los dibujos nos muestran “proyectos potenciales”, cuya expresión final se debate entre una geometría circular heredada de la tradición medieval y las nacientes figuras abaluartadas.

El estudio de la balística le sirve también a Leonardo para pensar la forma de contrarrestar el efecto de las balas sobre los muros; de acuerdo también a MARANI (AAVV, 1987), los dibujos y notas del folio 82v del *Manuscrito M* de París resultan ser dos cortinas defensivas formadas por varios salientes triangulares con muros de fuerte inclinación. El *Manuscrito L* de París y el *Códice Atlántico*, repiten algunas de estas formas que se convierten poco a poco en esquemas circulares que a su juicio, resuelven mejor algunos aspectos prácticos de su

construcción; para ello introduce “arcos horizontales” capaces de soportar el impacto de los proyectiles, hechos de bloques de piedra especialmente tallados. Las consideraciones nacidas de un razonamiento basado en la mecánica se contraponen a las sugerencias que plantea la nueva táctica defensiva.

En el caso de Leonardo, entonces, lo realmente importante más allá de la calidad gráfica de sus dibujos, es el interés que el tema despierta en él, un personaje al que se le ha reconocido la importancia de su procedimiento cognoscitivo: a partir de la observación de los fenómenos y de su posterior manipulación controlada y reducida, es posible formular una causa primera que los explique. Sus tesis se apoyan en principios demostrables; estamos frente a una forma de razonamiento que busca superar el peso de la tradición sin negarla y encontrar en el análisis la justificación de los hechos y las formas, con la ayuda de la mecánica y las técnicas constructivas. No podemos afirmar que Leonardo irradiase una nueva luz interpretativa sobre el tema de la fortificación en el siglo XVI, pero es innegable que con él nos encontramos ante una forma distinta de explicar el origen de los hechos, actitud que poco a poco se irá abriendo paso en el mundo renacentista.

1.3.4. Los primeros tratados impresos

Antes de incursionar en aquellos tratados consagrados casi por entero a la arquitectura militar, y una vez reconocido el panorama de inquietudes y de medianas respuestas planteadas en los siglos XII al XIV, es necesario dejar constancia de las características y contenidos presentes en las primeras obras impresas en Europa que giraron alrededor del tema de la fortificación. Dejando de lado y momentáneamente a Alberti, cuya obra merece un tratamiento especial, dado que se mueve también en el plano de la arquitectura civil y que su aporte es de mayor complejidad, se destacan dos autores italianos, Roberto Valtuario y Nicolo Tartaglia separados entre sí no sólo por medio siglo de diferencia, sino por la fuerte presencia de un autor alemán: Alberto Durero.

Roberto Valtuario ha sido referenciado por varios autores contemporáneos¹⁶, y su tratado lo hemos podido consultar a través del ejemplar que se encuentra en la Biblioteca Nacional de Madrid, siendo el más antiguo de los leídos en su impresión original. A Valtuario (Rimini, 1413-¿1483) se le ha considerado como un humanista; GILLE (1967) también lo ensalza como técnico y como practicante, aunque reconoce evidentes nexos entre su obra y el manuscrito de *Il Taccola*. Su obra, *De re militari libri XII*, consiste en una reconstrucción de las técnicas militares clásicas recopilando para ello a varios autores. Terminado hacia el 1453, su primera impresión se hizo en Verona en 1472, a la que le siguieron sucesivas reimpresiones¹⁷. Dividido en XII libros, trata inicialmente de los orígenes del arte militar recalcando la importancia que en él tiene el conocimiento de la historia, la filosofía y la astronomía. Aunque también incluye ilustraciones de máquinas de asedio antiguas y modernas, una característica esencial es que tempranamente incluye en el libro II un vocabulario militar: es tal vez por ello que KRUFT (1990) afirma que la obra de Valtuario *era estudiada sólo desde un punto de vista filológico*¹⁸. A partir del libro IV entra a hablar sobre los atributos que han de tener los soldados, y los motivos o circunstancias que deben darse para iniciar una confrontación militar. Los tres últimos libros nos hablan de las prácticas de la guerra incluyendo las marítimas y reflexiones sobre la derrota y el triunfo.

Por su parte, Nicolo Tartaglia (1500-?) no era militar, y tampoco sus tratados impresos *Nova Scientia* (1536) y *Quesiti et inventioni diverse* (1537) buscan ser versados en el arte de la guerra, pero a él se le atribuye el que pudo establecer principios matemáticos sobre balística que le permitieron sugerir cambios importantes en las obras de fortificación que se tendrían muy en cuenta por quienes harían las trazas de plazas fortificadas durante el siglo XVI. El segundo de sus libros, *Quesiti ...*, impreso por primera vez en Venecia en una fecha que algunos ponen en 1537 y otros en 1546; trata en forma de diálogo de temas tales como la artillería, las matemáticas, la mecánica, y deja para el cuarto libro el tema de la fortificación. Escribe Tartaglia:

Io dico che a fortificare una città vi occorre la materie e la forma, che lo ingegno dell'huomo se approva per la forma delle sua mura, e non per la grossezza de quelle.

P. 140.

Yo digo que para fortificar una ciudad se necesitan la materia y la forma, que el ingenio del hombre se pone a prueba por la forma de sus muros y no por el grueso de ellas.

Esta frase, citada tanto por VÉRIN (1993) como por BIRAL (1985) se puede interpretar mediante una doble lectura. A primera vista, puede parecer una toma de partido que privilegia las propiedades de la forma sobre las de la materia, pero también se puede entender como expresión de la independencia de los hechos físicos frente a la conciencia del hombre, cuyo empeño se debe poner en el diseño, en la traza más precisa y acorde con las propiedades de la materia. Para Tartaglia, un hombre formado en la observación de la naturaleza y en la lógica matemática, la verdad proviene de demostraciones numéricas.

Después de Tartaglia, cuyo libro se convirtió en los años posteriores a su impresión en un manual con datos sobre balística fundamentales en la construcción de fortificaciones, es posible nombrar algunos autores menores, cuya influencia es más bien limitada y sus contenidos se limitan a retomar ideas ya expuestas sin mayores aportes al tema: Antonio Cornazzano (*Opera bellissima de l'arte militare...*, 1493), Giovan Battista Della Valle Di Venafro (*Vallo, Libro continente appartenentie ad Capitani*, 1521), Nicolás Maquiavelo (*Arte della guerra*, 1521) y Enrico Rivio (*L'architecture delle fabrica*, 1547). Si la primera mitad del siglo XVI es parca en la impresión de tratados de fortificación, a partir de 1550 se produce en Italia una verdadera avalancha de publicaciones, acometidas en su mayoría luego de una febril actividad constructora, donde los diferentes modelos teóricos son llevados a la práctica, en especial en la parte norte de la península, acosada por ejércitos centroeuropeos. De algunos de estos nuevos autores nos ocuparemos más adelante.

1.3.5. Durero, o el último tratado de fortificación antigua

Para KRUF (1990), el tratado de Durero, *Etliche underricht, zu befestigung der Stett ...* constituye en un sentido estricto, el primer tratado dedicado exclusivamente al tema de las fortificaciones. Artista, pintor y arquitecto, Durero presidió con seguridad la construcción de una parte de las fortalezas de Nuremberg, aunque su interés por el tema de la fortificación habría nacido probablemente más de los encargos de la nobleza alemana que de un verdadero interés en la práctica militar. La visión de este autor contemporáneo, nos

muestra a un Durero más preocupado por la formalización de un ideal de fortaleza y de ciudad que un hombre interesado en conocer los medios para optimizar el empleo de la materia en las plazas fortificadas.

Por el contrario, VIOLLET-LE-DUC (1858/75), demuestra un interés distinto por el tratadista alemán, no sólo como teórico, sino como autor capaz de proponer una forma geométrica consecuente con un sistema constructivo. Durero emplea figuras geométricas básicas en sus propuestas de fortificación: para reforzar el frente de una plaza sugiere la presencia de unos salientes de planta circular, que se pueden entender como formas que se hallan en mitad del camino entre las torres medievales y los bastiones modernos. Su característica principal es su gran volumen y su carácter eminentemente macizo; compuesto por muros concéntricos dotados de contrafuertes transversales, exhibe en su perímetro las salidas para las baterías de cañones (troneras) tanto en su base como en su parte más alta.

De los difusos esquemas que Durero incluye en su trabajo, Viollet hace una magnífica síntesis para explicar la propuesta constructiva (*Lámina IV*): los muros concéntricos que componen el macizo interior, hechos alternadamente de piedra y ladrillo, están todos inclinados de manera radial hacia un centro común que se encuentra en la prolongación del eje *E*; las hiladas de la mampostería son perpendiculares a dichas líneas radiales, formando un ángulo con el horizonte que se hace mayor a medida que aumenta el radio del baluarte. Además, Durero explica los detalles necesarios para hacer “habitables” el bastión: circulaciones, desfuegos, troneras, etc.

¿Qué consigue Durero con esta forma de construir? *La idea es que “todas las partes concurran a apoyarse sobre los contrafuertes que están a uno y otro lado del muro central, que es excelente para resistir a la artillería”*¹⁹. Una explicación sencilla se encuentra por la descomposición gráfica de las fuerzas presentes en las hiladas inclinadas del muro de mampostería: la componente horizontal sirve para contrarrestar el empuje hacia afuera de la gran masa, a la vez que los sillares se exponen a la artillería enemiga de manera no frontal. En la descripción de Durero también están presentes los arcos de descarga que se construyen en el muro exterior de las fortalezas, ya descritos por Leonardo; con ellos refuerza la parte superior de las troneras.

En otra parte de su obra, el alemán se dedica a bosquejar una utopía de Estado, en la que la fortificación es ante todo, el punto de partida para exponer una estructura social a través de una concepción espacial. KRUF (1990) habla también de la probable influencia sobre la imagen formulada por Durero de las ilustraciones de Tenochtitlán difundidas hacia 1524 en Nuremberg (publicación en edición latina de las cartas de Hernán Cortés al emperador Carlos V acerca de la conquista de Méjico). Veremos más adelante que tal influencia se llega incluso a hacer más explícita en tardíos tratados de fortificación franceses.

Si miramos la obra de Durero bajo la óptica de la respuesta formal, nos encontramos ante uno de los últimos tratados ligados a la tradición medieval²⁰, que recurre a las formas circulares como las óptimas para asegurar la defensa de la plaza; y si por el contrario, entendemos la ligazón que el autor crea entre una geometría preconcebida y una respuesta constructiva propia, se trata de alguien que sigue la tradición de Leonardo a favor de una formulación teórica capaz de demostrar la validez de sus propuestas. Son estas las primeras muestras de una jerarquización de los conocimientos técnicos: la propuesta se expresa en el

papel, se vale de dibujos y de razonamientos abstractos amparados en observaciones generales; la forma resulta ya no de una precisión puramente geométrica o de consideraciones míticas alrededor de la geometría y el número, sino también del comportamiento de las fuerzas actuantes y resistentes en busca de la estabilidad del conjunto.

1.4. Alberti, la fortificación como un sistema construido

El libro de Alberti (1404-1472), *De re aedificatoria*²¹, aparece por primera vez impreso en 1485, trece años después de su muerte y a más de treinta años de su redacción. En él, el pensamiento vitruviano se ve modificado, reelaborado si se quiere decir, inclusive en su contribución a la arquitectura militar, cuyo aporte ha sido infravalorado²².

Alberti otorga al conocimiento de las razones de la construcción una decisiva influencia en la generación de la forma arquitectónica²³. A lo largo de los diez libros en que se halla dividido, los contenidos de construcción quedan repartidos por varios capítulos, desarrollando una visión global y enriqueciendo con comentarios personales la exposición de sus ideas. Pero a cambio, y para ventaja nuestra, es muy preciso sobre edificios que requieren de unas soluciones particulares. Para el caso de las fortificaciones, tales contenidos se concentran en los capítulos IV y V del Libro IV (*Sobre las obras de uso público*) y en los también capítulos IV y V esta vez del Libro V (*Sobre las obras de uso restringido*). Los temas que trata son: murallas defensivas (capítulo IV del libro IV), calzadas militares (capítulo V del libro IV), atributos de las plazas fortificadas (capítulo IV del libro V) y puestos de guardia (capítulo V del libro V).

Se apoya tanto en Vitruvio como en los textos clásicos latinos versados sobre el arte de la guerra, entre los que está Vegetio²⁴. Una primera lectura de las páginas que hablan de las murallas permite ver una clara influencia de Vitruvio en cuanto a la descripción de los procesos edificatorios:

Pero vuelvo a las murallas. Sobre su construcción los antiguos aconsejan lo siguiente. Se fabricarán dos muros, uno dentro de otro, con un intervalo de veinte pies; añádase entremedias la tierra extraída de los fosos y apisonésela con las mazas ... Dicen otros: echa la tierra extraída del foso alrededor de la ciudad, a modo de terraplén, y levanta un solo muro desde el fondo mismo del foso, de un espesor tal que baste a soportar con harta holgura la fuerza de la tierra que carga sobre él.

Págs. 179, 180.

Recomienda además la previsión de un espacio para recibir los escombros de los muros producidos por el embate de los proyectiles²⁵, y el empleo de contrafuertes distanciados entre sí diez codos, levantados sobre una base triangular²⁶, con uno de los ángulos orientado hacia los enemigos, y unidos entre sí con arcos, de tal manera que los espacios vacíos entre ellos se llenen con *arcilla amasada con paja*. De hecho, la plasticidad de la arcilla se convierte en elemento importante para contrarrestar las acciones sobre las murallas.

A diferencia de Vitruvio, la alusión a los cimientos estará en páginas posteriores, cuando habla de los atributos de una fortaleza, dotada con una *base sólida y de piedras muy grandes*; en cuanto a la geometría del baluarte, la posición asumida por Alberti no es clara. Afirma primero:

Y hay quienes piensan que el muro más seguro contra los ingenios de proyectiles es el que tiene un trazado tal que se asemeja a los dientes de una sierra.

Pág. 181.

Palabras que se pueden entender como una toma de partido a favor de la construcción de baluartes, pero pocas líneas más adelante indica:

Y al muro hay que adosar torres cada cincuenta codos, a modo de contrafuertes, sobresaliendo del muro con una parte frontal en círculo y más alta que el propio muro ...

Pág. 181.

Que es una clara continuación de las formas medievales y de las ya preconizadas por Vitruvio y Vegetio. Pero si estas dos líneas pueden parecer contradictorias en cuanto a la forma, son en otro aspecto esclarecedoras: Alberti está comprendiendo las murallas como un sistema. Aunque la clasificación de los elementos que las componen (muros, contrafuertes, torres) proceden de la ya empleada por Vitruvio, ellos no están ahora considerados como elementos aislados sino que tienen comportamiento de un todo: *las torres se adosan a la manera de contrafuertes*, y estos también pueden adoptar otra forma, pero su función está ligada a la muralla, la que a su vez podría adoptar una geometría angular. La relación es también funcional, *el muro es defendido por las torres y las torres se defienden entre sí ...* Esta consideración, que entiende el conjunto no como la simple sumatoria de elementos aislados, es importante tenerla en cuenta para el desarrollo post-renacentista de la fortificación. Y es este el gran aporte de Alberti, a pesar del peso que sobre sus ideas tienen las fuentes clásicas del mundo romano.

Cuando trata más detenidamente el tema del trazado de la fortaleza (capítulo IV del Libro V), define como más apropiado aquel en que todos sus muros estén unidos *con forma de "O", inscrita en unas enormes "C"*; pasaje que se puede entender también como un primer llamado en la tratadística a la presencia de obras defensivas exteriores. Supera la tradición medieval de unos muros altos a favor otros bajos e inclinados y recomienda la presencia del foso. Otro aspecto importante del tratado de Alberti, genérico a su visión tanto de la arquitectura civil como militar²⁷ es el hecho de que proyecto y construcción están íntimamente ligados en sus apreciaciones: la *idea* tiene una clara dimensión tecnológica. Tal separación se hará también expresa a partir de aquí en los tratados posteriores. Ya en el prólogo, al hablar de las características que debe reunir el arquitecto, separa claramente el ejercicio práctico de la reflexión proyectual sin desconocer su estrecha relación:

... pues la mano de un obrero le sirve de herramienta al arquitecto. Yo por mi parte voy a convenir que el arquitecto será aquel que con un método y un procedimiento determinados y dignos de admiración haya estudiado el modo de proyectar en teoría y también de llevar en la práctica cualquier obra

...

Pág. 57.

El uso no sólo condiciona claramente al proyecto sino a sus cualidades materiales y dimensionales:

En definitiva, sea cual sea el tipo de contorno que consideres mejor, opina Vegecio que habrás cubierto las necesidades inmediatas, si construyeras las murallas de un espesor tal, que no se estorben mutuamente los soldados ...; si la levantas a una altura tal, que no les sea posible el asalto por medio de escalas; si les dieres solidez por medio de cal y un aparejo tal, que resistan el ariete y los ingenios bélicos.

Pág. 179.

Pero tampoco desconoce el valor estético, constructivo y funcional de algunos otros elementos:

A las torres y a los muros las cornisas les sirven de adorno, les proporcionan solidez mediante la ligazón que suponen e impiden que se fijen las escaleras.

Pág. 181.

Inusual importancia le da Alberti a las calzadas militares, y en su explicación se apoya fuertemente sobre la tradición de los ejércitos romanos, para quienes las vías de acceso jugaban un importante papel estratégico. Referencias tan explícitas sólo las volveremos a encontrar en la obra de Gautier (*Traité de la construction des chemins*, París, 1778): determina sus dimensiones a partir del uso y las normas que permitan garantizar su adecuada función.

En el capítulo V del Libro V encontramos la tal vez más remota alusión escrita al tema de las cubiertas a prueba de proyectiles. Alberti propone un techo inclinado, a dos aguas, reforzado con una sólida estructura realizada con vigas compactas recubiertas con *trozos de tierra cocida* o piedra pómez; además sugiere un correcto sistema de desagüe interior.

Alberti no incluye a la mecánica dentro de su exposición. Los llamados *ingenios*, que como ya hemos dicho, eran motivo de reflexión para muchos de los interesados en la arquitectura y en las fortificaciones, no despiertan la inquietud de un Alberti, más preocupado por la delimitación de la figura del arquitecto.

Sin duda, a este autor se le puede considerar como la rótula que articula perfectamente la fortificación antigua y la moderna. En él, la tradición romana expresada en Vitruvio y Vegecio, se suma a los cambios introducidos por los tímidos tratados medievales y pre-renacentistas. Pero Alberti no es un *ingeniero* militar, la fortificación es para él un edificio más, *un accidente* sobre el cual no puede obviar su apreciación. Estamos sí ante el arquitecto humanista del Renacimiento que demuestra un necesario interés por el tema de la fortificación. Su aporte, el entender el conjunto de obras defensivas como un sistema, es más bien un resultado de toda su reflexión respecto a la arquitectura. Es una consecuencia. No formula un esquema ideal o una tipología, y deja el campo libre para un volumen hasta entonces desconocido de libros dedicados a la edificación de fortalezas, en donde su nombre será frecuentemente citado.

A diferencia de los tratados de arquitectura civil del Renacimiento, para quienes la referencia de Vitruvio ha de ser una cuña valiosa y un tanto legitimadora, los de fortificación buscan una clara ruptura con el pasado: un pasado que no contempla aquellas nuevas y poderosas armas que acaban en segundos con las fábricas levantadas en muchos años y que eran garantía de su seguridad: paulatinamente, el nombre de Vitruvio se ve desplazado por el de este nuevo intérprete que es Alberti. Con Vegetio no ocurre lo mismo: su marcado interés por destacar el valor de los hombres en el campo de batalla, y su carácter testimonial acerca del poderío de las legiones romanas, le pondrán en el sitio de los libros dedicado a el elogio y la justificación de los ejércitos. Vitruvio y Vegetio son “cosas del pasado”, pero a esa nueva *fortificación a la moderna*, sólo interesan los testimonios del segundo.

2. La “fortificación a la moderna” del siglo XVI

Aunque se ha afirmado hasta la saciedad que fue la introducción de la pólvora el elemento que generó un cambio radical en la construcción de fortificaciones, vale la pena detenerse en este hecho y entenderlo de forma un tanto más amplia con el fin de que nos permita entender el complejo origen de tal transformación.

Para finales del siglo XV el armamento militar estaba ya bastante avanzado: no sólo se conocía el efecto de impulsar un proyectil a lo largo de un tubo por el efecto de la pólvora²⁸, sino que otras armas como la ballesta habían logrado un alto nivel de sofisticación. Igualmente se transformó el arte de la guerra con la introducción de la caballería armada; sin embargo, la acción de los cañones en el campo de batalla era bien poca: ruido y humo. Sus grandes dimensiones y su elevado peso les hacían difíciles de transportar durante los largos trayectos que los ejércitos debían recorrer y complicaba las maniobras durante el asedio a una plaza fortificada. Realmente, fue la introducción de las cureñas²⁹ y la reducción del tamaño mismo de los tubos lo que les hizo elementos móviles de inmenso valor durante las acciones de guerra (los fundidores de armas de Francia y de los Países Bajos llegaron a la conclusión de que armas más pequeñas podían causar un daño muchísimo mayor si los tubos de los cañones eran lo bastante fuertes como para disparar balas de hierro y no balas de piedra; también la pólvora debía ahora de tener la forma de granos pequeños, permitiendo una ignición más rápida y una explosión más potente; el nuevo cañón era más grueso en su base y más delgado en su boca, y además, más liviano).

Tal innovación fue aplicada por las tropas francesas durante la campaña que en 1494 llevó a su rey Carlos VIII a reclamar sus derechos sobre el reino de Nápoles: los antiguos castillos medievales italianos resultaron vulnerables al nuevo instrumento; hasta entonces, la importancia de éstos estaba dada principalmente por la altura de sus murallas que generalmente se rodeaban por un foso: ello bastaba para defenderse de las armas medievales de asalto y tiro, aunque no para los efectos de las minas en sus bases. El nuevo cañón, que podía transportarse fácilmente hasta las proximidades de la muralla, disparaba balas de hierro hacia su parte inferior con el fin de abrir una brecha; cuanto más alta era la muralla, más rápido se desmoronaba de tal forma que los escombros sobre el foso producían una rampa natural usada como el acceso de los atacantes a la plaza.

No parece entonces raro que fuera Italia, acosada por los efectos de los cañones, el lugar donde habrían de aparecer rápidas respuestas en el diseño de fortificaciones: ante el hecho de que los cañones causaban grandes destrozos en las murallas altas, aquellas habrían ahora de ser bajas y lograr mantener cierta distancia con el enemigo. Se explica así la aparición del bastión en ángulo saliendo de las murallas para defender simultáneamente todas las partes de la fortificación y que a la vez servía de plataforma para la artillería de las defensas. El criterio de valoración basado en un dominio total sobre el sitiador desde la muralla seguía siendo válido de la misma manera como lo había planteado Vitruvio, lo que han cambiado son los medios de ataque y las formas de respuesta.

Una de las tesis de HALE (1977), es que la concepción del bastión fortificado constituyó un acontecimiento importante, revolucionario y *hasta tal vez, la forma evolucionada más*

significativa del Renacimiento. Autores como TZONIS y LEFAIVRE (en DE SETA y LE GOFF, eds., 1989³⁰) van más allá afirmando incluso que *detrás* del nacimiento de esta forma arquitectónica se esconde la creación de un nuevo modo de pensar, de una nueva mentalidad, que requiere de una *cultura visual* en la que la representación gráfica se convierte en un instrumento del pensamiento arquitectónico (y para ello la perspectiva es una valiosa herramienta), junto a una revaloración del espacio funcional militar y una urgente búsqueda de optimización de recursos. Ambas tesis son importantes, pero también exigen verlas con un tono menor que el que afirman tener, pero ... en cuanto a los recursos tecnológicos: ¿en qué medida es el baluarte importante? A este respecto podemos afirmar que son prácticamente nulas las aportaciones de los diversos estudios recientes, y es el camino por el que ahora pretendo adentrarme.

2.1. Los tratados fundacionales de la escuela italiana de fortificación: 1554 - 1678

Ya hicimos mención de que las condiciones históricas y políticas hicieron de los estados italianos el sitio idóneo para que se produjera una obligada transformación de la hasta entonces practicada arquitectura militar. Entre 1554 fecha de la aparición impresa del libro de Giovanni Zanchi, *Del modo di fortificar le citta*, y 1678, con Donato Rossetti, y su *Fortificazione a revoscio*, se publican en idioma italiano alrededor de 55 libros³¹ consagrados a la fortificación (se excluye el tratado de Alberti y una buena cantidad de títulos que luego de ser estudiados demostraron ajustarse al esquema de tratados militares). Posterior al libro de Rossetti se conocen solamente los trabajos en solitario de Antonio Mascambruno (*Flagello Militare ...*, 1693), G.E. Alberghetti (*Compendio della fortificatione ...*, 1694), Antonio Capra (*La nuova architettura militare ...*, 1717) y Michael Achielli (*Architettura militare difensiva ...*, 1725).

Evidentemente, tanto interés a lo largo de estos 120 años era fruto de la necesidad de dar una respuesta inmediata a un problema apremiante: al mismo tiempo se producía una febril actividad constructora que permitió una clara confrontación entre teoría y práctica. No queremos decir con esto que se trate de un choque entre dos concepciones distintas, sino por el contrario, de un hecho que enriqueció a la arquitectura militar en su doble vertiente. No fueron pocos los tratadistas dedicados luego a la construcción de fortalezas, o los autores de un tratado a quienes se les encargó la dirección de una de ellas. Sobre este tema en particular hay varios estudios recientes dedicados a las obras de defensa llevadas a cabo especialmente en la región veneta y toscana, sobre los que simultáneamente se ha producido un interés por su recuperación.

2.1.1. El manuscrito de Francisco di Giorgio Martini

A pesar de tal volumen de obras impresas, uno de los textos italianos sobre arquitectura militar más citados, es un manuscrito: el de Francisco di Giorgio Martini, redactado probablemente entre 1482 y 1495³². Ha sido incluso considerado por algunos como el más influyente trabajo de su tiempo³³, sin embargo, una detenida lectura de sus contenidos nos lleva a pensar que por el contrario, representa un progreso realmente modesto. El aporte que

hemos de resaltar en este trabajo, se concentra en dos aspectos: la forma de exposición de sus contenidos y la importancia de las imágenes como soporte a las ideas que el autor expresa.

De los siete tratados que conforman su *Architettura civile e militare*, es el *Quinto trattato*, el que está dedicado a la fortificación. En el primero establece unos principios comunes a la arquitectura: la importancia del emplazamiento -asunto que requiere la mayor preocupación y atención del arquitecto-, el agua, el aire, los vientos, la topografía, el tipo de terreno, factores que condicionan el proyecto e inciden en la salubridad de los hombres. Como Alberti, dedica algunas páginas a los materiales de construcción: piedra, cal, arena y madera, donde demuestra un sólido conocimiento de lo que su entorno natural más próximo le brinda. El segundo tratado habla de las partes de las casas y palacios y del modo para encontrar agua; el tercero de los castillos y la ciudad; y el cuarto, de los templos, donde expone la teoría de los órdenes.

El *Quinto Trattato: forme di rocche e fortezze*, consta de:

- Un proemio, donde inicialmente expone su fuerte raíz aristotélica, para luego tratar de la aparición de nuevas máquinas de guerra y nuevas armas (las bombardas) que requieren del empleo de la pólvora.
- Una segunda parte, donde expone *Delle parti generali delle fortezze*, y las formas convenientes a los muros; habla de los fundamentos, el foso, el revellín. los torreones, el cordón, la gola, las puertas, las torres y los puentes de acceso.
- Finalmente, muestra 38 ejemplos de diferentes alternativas con las posibles soluciones ante los problemas que puede afrontar quien las proyecta.

Esta forma de exposición se basa en un esquema tripartito, en donde luego de una primera declaración del autor, se describen los elementos que constituyen el sistema, para finalmente dar paso a la presentación de ejemplos donde establece claramente que la forma circular no es la mejor para el sistema amurallado: *Che la figura circolare è conveniente a le torri e non alle mura* (pág. 430). En cuanto a las particularidades constructivas de la fortificación, di Giorgio se concentra en dos aspectos muy concretos: los fundamentos y el muro.

Como Alberti -cuya obra probablemente conocía-, él entiende que ambos forman parte de un sistema solidario: cita dos tipos de fundación mediante pilotes: clavándolos verticalmente en el suelo (caso empleado en lugares húmedos y pantanosos) y extendiendo un doble tendido horizontal hasta crear un emparrillado, a la manera de una “losa flotante” de cimentación. Su dimensión ha de ser siempre mayor a la de la base del muro, y el espesor de éste varía de acuerdo a la firmeza del terreno:

El muro di grossezza secondo che el terreno fusse tenace o fermo, però che quando fusse tufo o pietra o terreno saldo, saria bastante la grossezza di piedi 3 in 4 ...

Pag. 440.

El grueso del muro se hará según el terreno fuese tenaz o firme, porque cuando sea tufo o piedra o terreno suelto, será suficiente con 3 ó 4 pies ...

Los treinta y ocho ejemplos gráficos de Francisco di Giorgio, han sido sin duda el aspecto más divulgado de su obra; a diferencia de los esquemas de Leonardo -considerados como bocetos de estudio que contemplan las muchas variables que intervienen en la traza de una fortificación, incluyendo los aspectos técnicos y constructivos-, ellos no son más que una muestra de posibles respuestas al problema que más atención demandaba en su época: qué forma debía adoptar el trazado de las obras defensivas a partir del uso del baluarte. En ellas y en sus descripciones textuales no se ofrece un procedimiento sistemático para resolver un problema, y a cambio se contenta con exponer las ventajas generadas por la forma, yuxtaponiendo en algunos casos antiguas estructuras medievales con el nuevo sistema que defiende. Los dibujos de Francisco di Giorgio, muestran sólo formas edificadas³⁴.

Los dos últimos tratados del manuscrito están consagrados el uno a la construcción de puentes y el otro al estudio de la hidráulica.

2.1.2. *Los tratados impresos de Zanchi y Lanteri*

Sin la misma difusión que se le ha concedido al manuscrito de Francisco di Giorgio, los dos primeros autores de sendos tratados de fortificación son Giovanni Zanchi y Giacomo Lanteri, cuyos trabajos aparecen impresos en 1554 y 1557-59, respectivamente. El trabajo de Pietro Cataneo, *I Quattro Primi Libri de Archittetura* (Venecia, Casa de Aldo, 1554) no es un auténtico tratado de fortificación pese a que introduzca plantas de ciudades fortificadas y algunas explicaciones sobre las propiedades de los materiales que en buena parte recogen los principios de Vitruvio y de Francisco di Giorgio.

Giovanni Battista Zanchi, nace en Italia y ejerce su oficio primero al servicio de la República de Venecia, y luego bajo el mando del rey de España, entre 1553 y 1557, justamente cuando aparece impreso su tratado. Libro de pequeño formato, Francois La Treille lo tradujo al francés en 1556 y se conoce una versión inglesa por un tal R. Corneweyle en 1559. De acuerdo con la lista de tratados de fortificación que hemos realizado, el de Zanchi, *Del modo di fortificar le citta ...* (1ª ed. en 1554, se ha consultado la ed. de Venecia, sin imprenta, 1560; se conocen cuatro ediciones en italiano: 1554, 1556, 1560 y 1601, todas en Venecia) es el primer tratado renacentista que aborda el tema de una manera explícita. Si las obras anteriores, con excepción de las de Vegetio (de la Roma antigua) y Durero (escrita en alemán) trataban o bien de arquitectura civil con algunos comentarios acerca de la militar, o bien versaban sobre temas militares como la artillería, o las máquinas y armas empleadas en la batalla, la escrita por Zanchi intenta explicar la manera de hacer fuerte a una plaza mediante una acción intencional del hombre que es a la vez producto de una disposición racional.

Es un texto corto: está dividido en 13 capítulos y consta de 58 páginas equivalentes a 33 U.P. Sus contenidos guardan el siguiente orden: primero trata de algunos asuntos previos, donde Zanchi explica las intenciones de su obra, los instrumentos ofensivos (antiguos y modernos) y los efectos de la fuerza de la artillería. Acto seguido, explica la importancia de la selección del sitio y su forma perfecta, es decir, establece un modelo ideal o patrón de referencia: los polígonos regulares. Luego hace una descomposición de la plaza en cada una de sus partes: diferencia sus elementos principales (que son para él las cortinas, los bastiones y los caballeros) y reconoce la importancia de obras complementarias como casamatas, fosos,

o contraescarpa. Concluye su obra con una disertación sobre las maneras del ataque y la defensa y las condiciones que requiere el artífice de una fortificación.

Zanchi concibe a la fortificación como una creación artificial que suple las deficiencias del medio natural y que busca defenderse de unos agresores; para ello es necesario que el encargado de las obras, cuente no sólo con la experiencia de un soldado sino también con conocimientos abstractos: que sepa de geometría, de aritmética y de perspectiva, capaz de construir modelos y de expresar en dibujos aquello que la obra debe ser. Propone ya un trazado de su invención, el conocido como *orden reforzado*, que busca no sólo bastiones perfectamente cubiertos entre sí, sino también dotados de cañoneras en sus caras. Para ello, apela al uso de ejemplos extremos: el cuadrado es la forma que ofrece mayor número de inconvenientes, en tanto que a medida que se aproxima al círculo, ello le permite un dominio de todo el contorno y una defensa de cada punto por aquél que le sucede. Tal demostración lo que intenta no es ejemplificar casos sino exponer los extremos de una escala que sirva como patrón de referencia.

El orden de sus contenidos sigue el orden de las ideas y de los interrogantes que buscan soluciones válidas y aceptables. Sin embargo, sus referencias concretas a dificultades constructivas están ausentes: conoce de la necesidad de los contrafuertes, de la buena calidad de las fábricas y de la compactación de terraplenes, pero no intenta resumir en palabras los procesos de la artesanía constructiva. Su interés se concentra en valorar la importancia de conocimientos abstractos como guías para la acción práctica

A Giacomo Lanteri se le reconocen dos obras impresas: *Due dialoghi ... del modo di disegnare fortezze* (Venecia, Vincenzo Valgrisi y Baldessar Costantini, 1557), y *Due libri del modo di fare le fortificationi di terra ...* (Venecia, Bolognino Zaltieri, 1559?). Ya los títulos nos demuestran un autor preocupado tanto por el trazado geométrico como por la construcción material de las obras.

El primero de los tratados está dividido en dos diálogos, y consta de 95 páginas equivalentes a 75 U.P. El primer diálogo se titula *Del modo di disegnare le piante delle fortezze secondo Euclide*, (que ocupa un 50% del total), en donde se ponen como interlocutores dos personajes a más del propio autor, tratando exclusivamente de principios geométricos. El segundo diálogo (que ocupa las páginas restantes), es *Nel quale si tratta nel modo di comporre il modelli et torre in disegno le piante delle città*; en él se aplican los principios expuestos directamente sobre el caso de la fortificación de ciudades. Esta obra guarda ya un carácter matemático y demostrativo que aplica a las tareas propias del arquitecto; con ello, Lanteri se desmarca de quienes consideraban a la fortificación como un *Arte*, introduciéndola en los terrenos de la ciencia: más que una práctica o una facultad del individuo, ella es también un objeto cognoscible. La búsqueda de las formas es viable por el camino de la geometría y de las matemáticas, en tanto que la facultad es para Lanteri *el ingenio*, una cualidad que permite al hombre capacidad de respuesta a condiciones variables.

El segundo de sus tratados, *Due libri ...*, aparecido probablemente en 1559, está dividido efectivamente en dos libros y tiene un total de 113 páginas equivalentes a 91 U.P. El primero corresponde al 63% de la extensión total, y su estructura obedece a la diferenciación que Lanteri concibe entre teoría y práctica. Al comienzo de éste hace una defensa de la importancia de las obras de fortificación, del conocimiento que debe tener el

soldado sobre el trazado y la construcción, y de las formas abaluartadas. Como en su libro anterior *Due dialoghi*, Lanteri encuentra en la geometría el camino hacia la perfección formal de la edificación:

La prima cosa, ché à colui che siunole dilettere delle fortificazioni, fa mestiero; è la cognitione delle forme la quale non si puo in vero perfettamente possedere, senza la Geometria ...

Pág. 3.

La primera cosa, que es necesaria y sin la que no debemos hablar de la fortificación, es la comprensión de la forma, la cual no se puede poseer completamente, sin ayuda de la Geometría ...

También explica la forma de trazar baluartes, cortinas, caballeros, fosos y contraescarpa, antes de adentrarse en las consideraciones que se deben hacer previamente al inicio de las obras: reconocer el clima, el tiempo, los suelos, la proximidad de los materiales y la disponibilidad de la mano de obra.

... come dice Vitruvio, tutta l'Architettura nasce da fabrica, et discorso

...

Pág. 3.

... como dice Vitruvio, toda la Arquitectura nace de la fábrica y discurso ...

Lanteri sí recoge en palabras la práctica constructiva de su región: trata primero de los fundamentos y las cualidades de las tierras, para a partir de ahí explicar los procedimientos: manejo de las tierras, su acomodo para formar terraplenes, el uso de pilotes para asentar el suelo, la hechura de parapetos y sus aplicaciones en obras de campaña. El segundo libro, más corto que el anterior, constituye un apéndice en que trata de los tareas de reparación de murallas y baterías con tierra, fango y tepes.

Il fabricare di muro è principale professione di ingegnere ...

Pág. 75.

El fabricar el muro es la principal profesión del ingeniero ...

Hay en este par de autores un primer paso hacia la estructuración de los conocimientos técnicos involucrados con la construcción de fortificaciones; ambos hacen una fervorosa defensa de la importancia que para el soldado y el arquitecto militar tienen los principios geométricos *a priori*, una forma de conocimiento abstracto, sin desconocer la validez de las operaciones prácticas que en el caso de Lanteri, recoge de las tradiciones constructivas locales. Para estos primeros autores italianos su trabajo consiste en determinar las ventajas que ofrecen las formas, evaluar los efectos de los cambios que en ellas se producen y considerar las posibilidades de su realización haciendo uso de los procesos existentes. Su tarea es fundamentalmente conceptual, el ingeniero, o el arquitecto militar, personifican claramente la inteligencia y el uso de la racionalidad en su época, para lo cual se valen de la retórica; ellos oponen además esa racionalidad a la fuerza de los agresores: su búsqueda permanente es contra las virtudes de los guerreros enemigos, contra la violencia, el dolor, la

muerte ... es para ello que se intenta partir de un ideal estético, del polígono regular, del orden ... es también una manera de oponer dos contrarios sobre el terreno.

La fortificación, ya no es una simple práctica.

2.1.3. *Las propuestas de G. Cataneo y G. Maggi*

Girolamo Cataneo publica en 1564 *Opera nuova di fortificare* (título que corresponde a la edición aparecida en Brescia en 1564, sin embargo se ha consultado la edición de 1584, titulada *Dell'arte militare libri cinque*, -Brescia, Pietro Maria Marchetti, 1584- de la cual sólo hemos podido consultar el primer libro de los cinco que anuncia la portada, ignorando si los cuatro restantes salieron a la luz puesto que ni en la tabla de contenidos ni en la advertencia preliminar hecha por el autor se hace referencia a ellos)³⁵.

El primer libro está dividido en nueve capítulos, repartidos en 80 *cartes* o páginas, equivalentes a 49 U.P. que se alternan con algunas ilustraciones. Ya en la advertencia preliminar, G. Cataneo se considera capaz de hablar de la fortificación en virtud de sus conocimientos matemáticos y su experiencia en la práctica; limita claramente su área de interés:

Et tanto più perche l'intention mia è stata di parlare solamente delle fortificationi, & delle qualità delle machine à questo negotio appertinenti, secondo il costume de tempi nostri ...

Pág. 2.

Y tanto más porque mi intención está en hablar solamente de la fortificación y de las cualidades de las máquinas que en elle intervienen, según las costumbres de nuestro tiempo ...

Defiende también la importancia de las obras de fortificación al servicio de los príncipes como recurso para la defensa de sus estados, para lo cual se requiere saber *dell'edificare delle Città, & delle molte conditioni, che intorno alla bontà dell'aere, dell'acqua, del terreno ...* G. Cataneo introduce un orden que va a servir de patrón para muchos de los tratados posteriores. El *Capitolo Primo*, está consagrado por entero a la explicación de operaciones geométricas (8 en total) que el autor considera necesario conocer: construcción de ángulos, división de líneas rectas, proporcionalidad de segmentos ... Conocimientos previos para la exposición que hace en el *Capitolo Secondo*, en donde ellos se aplican para lograr trazar un baluarte con sus dimensiones apropiadas. Rápidamente, dentro del mismo capítulo, Cataneo hace alusión a los tipos de cimentación que se deben usar según el tipo de terreno (*Alcune qualità et diversi modi che si tengono nel fare i fondamenti*), y pasa directamente de la concepción a la realización, de la abstracción a la ejecución material, que tal como él la entiende, es la construcción arquitectónica:

Questa consideratione di dissegnare i fondamenti d'un Belouardo, si dee hauere molto bene con diligètia; perche con questa tale si potranno discriurere i Belouardi con una piazza, con due, con tre, & in qualunque altro modo piacerà, che non porterà pericolo nel finir della fabrica ...

Pág. 22.

Esta consideración de diseñar el fundamento de un baluarte se debe hacer con diligencia, porque con ella se puede describir el baluarte con una plaza, con dos, con tres, y de cualquier otro modo que guste y que no implique peligro en terminar la fábrica ...

No introduce explicaciones sobre las propiedades de los materiales. Su visión está limitada solamente al baluarte, y a partir de él se permite generalizar: las ilustraciones que nos enseñan la construcción progresiva están siempre sujetas a la escala de la parte y no del todo. Su afán está en poder analizarlo como caso y hacer generalizaciones. El primero es cuando el terreno es húmedo, que él resuelve cimentando mediante pilotes hincados en el área que han de ocupar las murallas; sobre sus cabezas se dispone de una mezcla de piedras y mortero de cal hasta formar una base horizontal firme (*Lámina V*). En el segundo caso, el suelo es arenoso, lo que resuelve colocando los pilotes de forma horizontal a la manera de un doble emparrillado (*Lámina VI-a*). Finalmente, hace una propuesta atrevida para las situaciones en que el terreno presenta desniveles insalvables: para ello propone usar gruesos pilares que transmitan las cargas hasta el suelo, sugerencia planteada e ilustrada de la misma forma por Francisco di Giorgio (*Lámina VI-b*).

Luego de sus propuestas de cimentación, introduce los principios para dimensionar los elementos de la muralla:

Regola per disegnare la banchetta, la scarpa, il muro, la contramina, il muro della contramina, tutti gli speroni, i pilastroni, et i muri, che circondano le prime piazze.

De la tabla de contenido.

Regla para diseñar la banqueta, la escarpa, el muro, la contramina, el muro de la contramina, todos los contrafuertes y el muro que circunda la plaza principal.

De nuevo, su escala de percepción es el baluarte y su exposición progresiva: de los fundamentos pasa a las primeras hiladas de muros y contrafuertes, y de ahí a los arcos que vinculan los estribos (*Lámina VII*). Además de establecer dimensiones fijas para las partes de la fortaleza, G. Cataneo hace un recorrido paralelo al de los procesos de puesta en obra; no los describe paso a paso sino en estadios, en fases encadenadas; del orden que existe no se intenta desvelar su estructura, sólo se narra. El uso de representación axonométrica es un recurso importante del autor para mostrar tales etapas de desarrollo: la figura se va completando progresivamente ... Su intención es también constituirse en una guía para la acción. Cataneo introduce claramente el nivel de las *instrucciones* en un tratado, y no contento con su relato textual, acude a la representación gráfica: el dibujo es no sólo una ilustración que contribuye a la visualización, sino también la expresión de un experimento controlado.

Con un espíritu similar al de G. Cataneo, aparece el tratado escrito a dos manos por Girolamo Maggi y Fusto Castriotto, *Della fortificatione delle città, libri tre* (Venecia, Rutilio Borgominiero, 1564). Dividido en tres libros, tiene una extensión total de 139 folios que equivalen a 365 U.P. Podría tratarse de el primer libro que entra a estudiar de lleno los aspectos técnicos de la construcción de fortificaciones. De acuerdo con KRUFT (1990), lo fundamental es obra de Castriotto (ingeniero de fortificaciones que había trabajado en Italia

y Francia); mientras que el aporte de Maggi (de formación jurista) se encuentra en la introducción y los comentarios. Castriotto intenta así escribir un tratado de orientación práctica sobre fortificaciones, incluyendo el estudio de la construcción de fortines. Maggi, por su parte escribe una introducción llena de citas y disgresiones históricas, exponiendo un planteamiento más próximo a la estructura social que a lo relacionado con arquitectura militar.

En lo relacionado con sus propuestas sobre el trazado, son conocedores de la obra de Durero; Castriotto opta por el círculo y los polígonos regulares para la forma de fortalezas y ciudades; opina que las murallas curvas son más resistentes y explica un proyecto de una ciudad con planta circular. También expone algunos de sus proyectos: la fortaleza de Sermoneta y los planes para el asedio de Mirandola. Además, tratan asuntos relacionados con la topografía y cuestiones de asedio.

El libro I está dividido en 16 capítulos. Los primeros ocho contienen una serie de consideraciones generales sobre la ciudad fortificada con referencias históricas que describen los campamentos de los antiguos romanos y su evolución hasta la llamada fortificación moderna; en el capítulo IX, *Si dimostra quello, che debbe fare l'Ingegniero per fortificare*, donde se hace una recopilación de los términos propios de la disciplina: muro oblicuo, baluarte, orejón, cañonera, casamata, flanco, cortina, plataforma, etc. Entre los capítulos X y XV se reseñan detalladamente las dimensiones y cualidades de estos elementos, dejando para el XV la explicación de los métodos geométricos y matemáticos para determinar distancias en el terreno con el uso de instrumentos.

En el capítulo X se habla detenidamente de las murallas, sobre las que empieza diciendo lo siguiente, a más de incluir un repertorio gráfico de sus posibilidades formales (*Lámina VIII*):

Non è dubio alcuno, che la fortezza della muraglia consiste più nella forma, che nella materia; auuenghi che s'ella non farà aiutata dall'ingegno dell'Architetto con detta forma, per grossa ch'ella si faccia, e di qual si uoglia sorte di pietra, ò di matone, che gagliardamente resiste alle percosse, sarà nondimeno da'colpi dell'artiglieria ...

Fol. 21.

Nadie pone en duda, que la fuerza de la muralla consiste más en la forma que en la materia; de tal manera que si ella no se hace con la guía del ingenio del Arquitecto, por gruesa que se haga, y de cualquier clase de piedra, o de ladrillo, que valientemente resiste a los impactos, será inútil ante los golpes de la artillería ...

El libro II está dividido en 33 capítulos consagrados a resaltar la importancia del uso de la geometría en la construcción y trazado de fortificaciones. Para ello, comienza con la cuestión relacionada a la manera de establecer la escarpa de las murallas:

... mi rendo certo che non farà puto inutile scrivere in questo luogo delle scarpe, con animo poi di mostrare altre cose, che s'appartengono alla fortificatione, e di ragionare della materia che debbe servire per fabricare.

Fol. 41.

... me parece que no será inútil escribir en este lugar de la escarpa, con la intención más de mostrar otra cosa que pertenece a la fortificación, y de razonar sobre la materia que debe usarse en la construcción.

A más de formular las dimensiones de su parecer, Maggi introduce explicaciones sobre el uso de instrumentos auxiliares, pero su propuesta más interesante la encontramos en el capítulo XV, donde explica la manera de hacer murallas de tierra convirtiendo los contrafuertes en muros-diafragma entre los cuales se montan las tongadas (*Lámina IX*):

Ocorre il piu delle volte, che per carestia del tēpo non si posson fare nelle fortificationi l'opere di muraglia; ma che conviene farle tutte di terra, la qual poi incluestirle, dà grandissimo impedimento, volendosele fare e'suoi contraforti come s'usa, e che per avanti hò detto convenirsi, essendo chiaro, che quello che ha da essere di muraglia, e per fabriche da resistere alla forza delle percosse, conviene che tutto venga dalla radice ò fondamento ...

Fol. 57.

Ocurre la mayoría de las veces, que por la falta de tiempo no se pueden hacer en las fortificaciones las obras de murallas; pero conviene entonces hacerlas todas de tierra, las cuales pueden servir de eficaz barrera, haciendo los contrafuertes tal como se acostumbra, y por delante lo más conveniente, siendo claro que ello que ha de ser de muralla se construya para resistir la fuerza de los impactos, de tal forma que todo venga desde la raíz o fundamento ...

Retoma también las propuestas de Durero para justificar el uso de muros inclinados que hagan rebotar las balas de la artillería enemiga (*Lámina X*). En las páginas restantes de este capítulo, los autores desarrollan las formas para fortificar diversos polígonos, aumentando progresivamente el número de lados. Su visión, contraria a la de G. Cataneo, es del conjunto; su discurso acerca de la fortificación asume rápida y oportunamente las aclaraciones de los detalles de sus partes, tal como ocurre con las casamatas y contraminas. Pero también pueden ampliar su escala de percepción hasta la ciudad: plantas de ciudades fortificadas y detalles de las cimentaciones requeridas en plazas marítimas cierran el repertorio que en este libro ofrecen los autores.

El libro III está dividido en 25 capítulos y dedica los primeros nueve a tratar de las plazas marítimas y la construcción en lugares altos. El capítulo X lo hace de los fundamentos y el XI de los materiales. En todos sigue las explicaciones de Vitruvio a quien cita textualmente.

2.1.4. Los tratados al completo de Busca y Marchi

De Gabriello Busca Milanese conocemos dos libros; el primero, *Della espugnatione et difesa delle fortezze* (Torino, herederos de Nicolo Breuilacqua, 1585) excluye deliberadamente temas propios de la construcción arquitectónica, para dedicarse a describir los principios del ataque y la defensa de las plazas. Como en sus contemporáneos, el tratado de Busca defiende la supremacía de la forma sobre la materia:

La fortezza naturale del luogo nasce della qualità del sito, dove si ritrova, come sopra monti, ò colli, sopra scogli, in mezo à paludi, et

circundante da acque. Quelle che per artificio sono fatte forti, può avvenire in due modi. L'uno per la materia, come sono mura grosse, grossi, et grandi terrapieni, fosse larghe, et profonde. L'altro è per cagione della forma, la quale molte volte più importa, che non fa la materia: come nelle ben formate fortezze si può conoscere.

Pág. 87.

La fortaleza natural del lugar nace de la cualidad del sitio, donde ella se encuentra, como sobre un monte, sobre una roca, en medio de un pantano, y circundada de agua. Aquello que por artificio se hace fuerte, puede llegar a serlo de dos maneras. Lo uno, por la materia, como son los muros gruesos, y grandes terraplenes, fosos anchos y profundos. Lo otro es por causa de la forma, la cual muchas veces importa más, y que no hace la materia: como en las bien formadas fortalezas se puede conocer.

Seis años después aparece su segundo libro, *Della Architectura Militare* (Milán, Girolamo & Pietro Martire Locarni, 1601), que es una clara expresión de un autor que busca compendiar en un solo trabajo la mayor parte de los conocimientos de su época alrededor del tema de las fortificaciones. Aunque el título de la obra anuncia sólo el primer libro, en ella se incluyen otros dos, que por lo visto son todavía un proyecto, y de los que Busca se limita a reseñar los títulos y un breve resumen de sus contenidos a la manera de máximas acerca de la tradición militar, el arte de acampar y la caballería (libro II), así como de las máquinas militares y el uso de la artillería (libro III).

El libro I se divide en 87 capítulos que ocupan una extensión de 286 páginas equivalentes a 245 U.P. El libro II tiene 96 “capítulos”, y el libro III tiene 29. El orden que guardan los temas del primer libro es el siguiente: luego de una defensa de la importancia del tema y de encuadrarlo como disciplina, el autor se interesa por el conocimiento del sitio, las determinantes constructivas y finalmente por la forma geométrica que el edificio adopta. En Busca, hay también un permanente afán por delimitar el carácter específico del arquitecto militar, empezando por el sitio:

Differenti molto sono le considerationi del sito, dell'Architetto di guerra, di quelle dell'Architetto civile ...

Pág 73.

Diferentes son las consideraciones del sitio del Arquitecto militar y las del Arquitecto civil ...

Mientras el arquitecto civil escoge o desestima las bondades de un lugar, el militar piensa en sus posibilidades de defensa y en las dificultades del ataque. Defiende como Vitruvio, la dualidad de la arquitectura:

Tutti gli edifici i quali con ragione si fanno consistono in fabrica, & in discorso. La fabrica è la ordinata compositione, & costruzione delle materie dalla quale Il discorso rende ragione dell'inventione della dispositione, & compartimento di esso.

Pág. 105.

Todos los edificios que se hacen con razón, consisten en fábrica y en discurso. La fábrica es la ordenada composición y constitución de la

materia ... El discurso rinde razón de la invención de la disposición y de su compartimiento.

Para Busca, la idea se expresa a través de los planos, que a su vez hacen uso de la planta, el alzado y el perfil. Llevar esta idea de la planta al sitio, y al edificio construido, resulta una de las tareas dignas de atención; *Sò che è cosa molto difficile*, dice Busca, además de que se deben indicar correctamente las medidas y se deben acompañar los dibujos de notas e indicaciones; también recoge la importancia del uso de instrumentos adecuados para traspasar ángulos y longitudes: el *Quadrante*, el *Quadrato Geometrico*, el *Bacolo*, todos ellos apoyados en el conocimiento de la geometría de Euclides y la aritmética.

L'uso d'oggi nel fabricar le fortezze, confirmato da molte sperienze hà introdotto due maniere d'opere, l'una di terra, l'altra di muro ...
Pág. 111.

El uso hoy en día en la fabricación de fortalezas, confirma que la mucha experiencia ha introducido dos clases de obras: la una de tierra, la otra de muro ...

Recoge también la tradición constructiva que se aplicaba en las fortificaciones italianas, e introduce el uso de los tepes para afirmar los terraplenes. Sus opiniones del muro siguen fielmente las ya expresadas por Vitruvio:

A trè principali considerationi nell'opere di muro come Vitruvio ci avvertisce, conviene haver riguardo alla stabilità, & fermezza dell'edificio alla utilità, & al Decoro ... Par ritornare al primo capo, accioche l'opera sia più durabile, & più resista alla violenza, & all'ingiurie, si del tempo, come della mano nemica, converrà provedersi di buone materie, le quali principalmente sono quatro pietre, calcina, arena & terra.
Pág. 113-114.

Son tres las principales consideraciones en la obra del muro, como Vitruvio lo advierte, conviene haber guardado la estabilidad y firmeza del edificio frente a la utilidad y al decoro ... Para volver al primer punto, a fin de que la obra sea durable y más resistente a la violencia y a las injurias del tiempo, como de las mano enemiga, convendrá proveerse de buena materia, que son principalmente cuatro: piedra, cal, arena y tierra.

Explica también sobre sus cimientos y contrafuertes (unidos entre sí mediante bóvedas), y no deja de resultar curioso el hecho de que cuando trata del alzado de la muralla (capítulo LVI), la ilustre como si de una columna se tratara (*Lámina XI*):

Due sono i pareri più principali intorno à gli alzati del le muraglie delle fortezze. Uno che è l'usitato di fare tutta l'altezza di buona muraglia con calcina, & pietra, secondo le commodità che si possono havere, per la differenza de'paesi, & de luoghi ...
Pág. 177.

Dos son las opiniones más importantes en torno al alzado de la muralla de la fortaleza. Una es la empleada al hacer la alzada de la muralla con cal y piedra, de acuerdo a la comodidad que puede haber por la diferencia de país y de lugar ...

En sus páginas, Busca recoge sus experiencias y las mezcla con sus conocimientos históricos, antiguos y recientes. Compara propuestas de varios autores además de Vitruvio: Theti y Alberti principalmente.

Casi simultáneamente al segundo de los libros de Busca, aparecía otro extenso tratado, también con la intención de compendiar los conocimientos de la arquitectura militar de su época, el de Francesco de Marchi, también con el título de *Della architettura militare ...* (Brescia, 1599, se ha consultado la edición de 1609, también en Brescia, por Pietro María Marchetti). Este autor trabajó al servicio del Papa Pablo III y en los Países Bajos donde estuvo vinculado a Margarita de Parma; su libro solo sería publicado en 1599 pero se distribuía en copias manuscritas entre los capitanes de Felipe II; la terminación de su tratado le demandó al menos veinte años, permitiendo que el interés por ella hiciera aparecer parcialmente algunos apartes y en especial sus láminas. Esta obra está dividida en tres libros. Tiene 150 folios equivalentes a 565 U.P., incluyendo aquellos dedicados a las ilustraciones.

El libro I equivale al 10% de la extensión total, y está dividido en 68 capítulos, formados por unas pocas líneas; realmente se trata de un manual de acciones que aún no toma la forma de instrucciones o de órdenes o mandatos, sino que es una recopilación de hechos, de situaciones prácticas, de respuestas breves a preguntas concretas que se disfrazan en la forma de capítulos. Por ejemplo, los capítulos VI, VII, VIII y IX, ocupan una media de 14 líneas y en todos ellos se trata de dar una respuesta a la forma de fortificar en lugares distintos: en el valle, junto al mar, en una isla y en sitios pequeños. Cada uno de los títulos de los 68 capítulos, buscan el mismo fin: responder individualmente a casos concretos, que abarcan desde consideraciones estratégicas hasta asuntos puramente constructivos. Su abanico temático va desde aquello que debe saber un soldado, hasta la manera de hacer contraminas en tierra, pasando por una descripción de los materiales, un conjunto de las voces más usadas y las comparaciones obligadas entre la fortificación antigua y la moderna.

Cuando en el capítulo LIIII habla de la materia, lo hace en estos términos:

La materia con che si hà da fortificare:

La robba con che si fabricano le Fortezze, sarà la terra, le pietre, li mattoni, la calcina, arena e la commodità di condurre essa materia. Poi vi vuole la quantità de gli huomini, oltra, che bisogna la commodità di denari, il tempo, e la stagione, la vettouaglia, Artegliaria, e monitione ...

Fol. 15.

La materia con que se ha de fortificar:

Las cosas con las que se fabrican las fortalezas serán la piedra, el ladrillo, la cal, la arena ... y la correcta disposición de esa materia. Luego habrá que pensar en la cantidad de hombres que se necesitan, el dinero, el tiempo, la estación, el avituallamiento, la artillería y municiones ...

El libro II consta de 84 capítulos que ocupan el 17% de la extensión total del libro, y sin duda, parece ser una versión ampliada y mejorada del libro anterior, adquiriendo la forma de un verdadero tratado de construcción de fortificaciones dirigido claramente a los arquitectos o ingenieros que estuviesen a cargo de la dirección de las obras, y que también se puede hacer extensivo a la arquitectura civil. Su estructura mantiene el siguiente orden:

1.- Capítulos I al XXXV: donde hace una descripción detallada y secuencia de los tipos y procesos de cimentación más frecuentes y de las características de las murallas, haciendo luego su aplicación en las distintas partes que forman la fortificación permanente: baluartes, contraminas, plataformas, parapetos, casamatas, revellines, fosos, entrada cubierta, y puertas de salida. Estos temas ocupan un 6% del total de la obra y un 35% del segundo libro.

Además de insistir en la importancia de los fundamentos, De Marchi nos dice el espesor de los pilotes y la manera de hincarlos. Al hablar de los muros, concibe a la forma circular como la más perfecta, a la cual se puede aproximar a través del uso de bastiones. Como sus contemporáneos, establece diferencias entre los saberes, y otorga a la experiencia y a la razón fines distintos:

... ma quanto alla forza & efficacia dell'operare, gli esperti faranno effetti maggiori, e con più ragione ... Si vede, che la esperienza serve più all'arte, che alla inventione, la quale è la parte dell'artificio.

Fol. 28.

... en cuanto a la fuerza y eficacia del operario, los expertos harán mayores efectos, y con más razón ... Se ve que la experiencia sirve más al arte que a la invención, la cual es parte del artificio.

Según su disertación final, para construir es necesario conocer *al principio, al mezzo, al fine*, vía que conduce el buen arquitecto a la perfección, *secondo Marco Vitruvio*.

2.- Capítulos XXXVI al XLVI: que conforman un extenso alegato sobre los atributos del arquitecto, lo que él debe saber, y el valor de las estatuas y los ornamentos en las fábricas.

Bisogna, che il letterato nell'Architettura habbia disegno, sia perito dell'arte del misurare, intenda la prospettiva, sapia l'Arismetica, conosca molte Historie, posseda la Filosofia, intenda la Musica, la Medicina, le Leggi

...

Fol. 29.

Se requiere que el entendido en Arquitectura sepa de dibujo, tenga experiencia en el arte de la medición, entienda la perspectiva, sepa aritmética, conozca mucha historia, posea la filosofía, entienda la música, la medicina, las leyes ...

3.- Capítulos XLVII al LXXXIII: dedicados al estudio de los materiales, donde retoma los principios de Vitruvio. Habla de la piedra, el ladrillo, la cal, la arena, los pavimentos, y el agua. Hace las recomendaciones de rigor sobre la estación más apropiada del año para el empleo de los materiales, de la forma de unirlos y mezclarlos, de los tipos de morteros, de las cualidades que se deben observar en el agua.

Non basta porre pietra sopra pietra, e legna sopra legna, ma bisogna saperli comporre insieme, che vengano con proportione, e questo non si saprà fare, se prima non si saprà tirare le linee così in alto, come in piano.

Fol. 34.

No basta saber poner piedra sobre piedra, y leña sobre leña, se necesita también saber componerlos, que guarden su debida proporción, y si esto no se sabe hacer, tampoco se sabrá tirar las líneas ni en el plano ni en lo alto.

El tercer libro es una recopilación de 161 proyectos para fortificaciones y ciudades en sitios ficticios y reales con comentarios explicativos. El cuarto libro (38 capítulos), un anexo del tratado, es un trabajo sobre artillería.

Para KRUF (1990), Marchi, como P. Cataneo, se mueve en los límites de la arquitectura de fortificaciones y el urbanismo; defiende también la importancia del soldado experimentado en la batalla al momento de planificar las fortificaciones. Concibe la proyección de una ciudad-fortaleza como el producto de un trabajo en equipo: el arquitecto realizará los planos, el soldado el emplazamiento y la forma; un médico opinará respecto a las condiciones ambientales y de alimentación, un agricultor sobre el abastecimiento, un mineralogista en relación con las materias primas, un astrólogo para fijar la fecha de inicio de las obras, etc.

2.1.5. Los procesos constructivos en los tratados italianos

Es realmente importante entender a través de esta visión de algunos de los más importantes tratados italianos la manera en que se constituye esta nueva disciplina: la arquitectura militar, que algunos como VÉRIN (1993) la han llamado *la science pratique des ingénieurs*. Estos primeros tratados además de exponer las formas propias de la fortificación, buscan convertirse en una guía para la acción: a partir de la formulación de teorías apoyadas en la experiencia formulan reglas que permiten dominar casos concretos. Pero, ¿de qué manera se desarrolla esta exposición? Ella intenta seguir ordenada y cronológicamente las acciones conforme se producen en la realidad; se exponen sucesivamente los conocimientos indispensables a las diferentes fases de ejecución.

Pero, si por un lado se proclama la aparición de un personaje al que llamaremos “arquitecto militar” o “ingeniero”, formado en el arte-ciencia de la fortificación, su valor no estará precisamente en la cantidad de conocimientos que él posee, sino en los procesos cognoscitivos que le permiten asegurar una correcta planeación y ejecución de un conjunto de obras defensivas, es decir, en su capacidad de respuesta, en su poder de acción. Las técnicas constructivas que este personaje emplea (el arquitecto-ingeniero), son el producto de una tradición que había ido evolucionando muy lentamente durante años, y de las cuales él se apropia para manejarlas a partir de unos nuevos criterios de juicio y valoración: el tratado es la guía donde están contenidas esas instrucciones a seguir.

Pero tal apropiación no constituyó un hecho gratuito. A la manera de los gremios medievales, el secreto que se construye alrededor del conocimiento ha de ser la garantía de la importancia de su papel en la estructura social; y así como en los artesanos que integraban tales gremios la geometría euclidiana constituía la llave del saber, a partir de Francesco di Giorgio, los autores de tratados de fortificación van a encausar todo su esfuerzo en la creación de un sólido cuerpo de saberes teóricos. Estamos ante la búsqueda de unos medios capaces de otorgar al ingeniero-arquitecto una importante cuota de poder en la vida

moderna de unos nacientes Estados europeos, y en tal proceso, el saber numérico expresado en las matemáticas, la geometría y la trigonometría va a jugar un papel fundamental (el que Francesco Tensini -*La fortificatione*, 1623- fuera investido como *cavalieri*³⁶, es una pequeña e individual muestra del éxito alcanzado por aquellos que a través de la práctica y los escritos se proclamaban como arquitectos militares o simplemente ingenieros).

Es fácil apreciar que el contenido de los saberes técnicos no se ha visto enormemente enriquecido a lo largo de los años (basta comparar las citas escogidas), a no ser que comprendamos las diferencias en cuanto a la expresión de los mismos: de un conjunto de saberes que estaba depositado en los oficios medievales (conocimiento no exento de discusiones teóricas, de imprecisiones, de costosos ejercicios de prueba y error) hemos pasado a un saber verbalizado, expresado en frases, atrapado en las páginas de libros manuscritos e impresos, despojado de su carga gestual, del ámbito de sus innumerables particularidades ... estamos frente a la construcción de la primera categoría reconocida: *el conocimiento representacional*, aquel que parte de hechos individuales para formular propiedades generales.

El lenguaje que encontramos en los libros del siglo XVI es también un invento nuevo: no es una literatura hecha para la voz o para la representación. Es para la acción. Como afirma BRAVO NIETO (1994), los ingenieros italianos alcanzan un cierto nivel de madurez en lo relativo a la arquitectura militar tras un período inicial de experimentación práctica; madurez que les permite una codificación de una parte del conjunto de sus saberes técnicos. BRAVO NIETO también introduce la influencia de tratadistas italianos, como el ya nombrado Durero, o Daniel Speckle, quien en su *Architectura von Festugen ...*, fundamenta la arquitectura militar en el conocimiento de las matemáticas y la geometría.

Si el lugar común de los primeros tratados italianos es la exposición cronológica de las acciones a cumplir por parte del arquitecto militar, ¿qué papel cumple el trazado geométrico, atado también a unos cánones rígidos? Definir el entorno de tales acciones y limitar el número de variables y respuestas. Si en la arquitectura civil los órdenes arquitectónicos y las reglas de proporción se pueden entender como una forma de garantizar la estabilidad de un edificio clásico, el rigor geométrico del trazado de las obras de fortificación, no es otra cosa que la delimitación del entorno de las posibilidades. Es por ello que en el orden de los contenidos, la construcción geométrica ha de ocupar los primeros capítulos para luego dar paso a la narración de las actividades y los procesos de puesta en obra. Algunos como Zanchi, ni siquiera lo hacen, en tanto que G. Cataneo se vuelca rápidamente sobre ellos así su escala de percepción no deje de ser en todo su discurso más que el baluarte, el gran logro de las fortificaciones de su época.

Las obras de Maggi, Busca y Marchi son más ambiciosas; ellas se adentran en los límites de la disciplina, nuevamente entendida. Su escala de percepción se mueve desde el detalle del cordón que separa muros de parapetos hasta la construcción de recintos de plazas portuarias. Pero también excluyen ámbitos que les son ajenos, por ejemplo y para ser obvios, el tema del ornamento. Su recorrido es amplio, no se trata sólo de la consideración aislada de variables, sino también de sus combinaciones, de la simultaneidad de factores determinantes, de todo aquello que interviene en un sistema técnico. ¿Existen objetivos claros? Sí, los que acertadamente VÉRIN (1993) llama *conceptos operatorios*³⁷: amortiguar (las balas de cañones enemigos), esquivar (la acción atacante), concentrar (en un solo recinto), y limpiar (librarse

de los enemigos). Por tanto, el sistema técnico será tanto más eficiente en la medida en que sus resultados logren con mayor precisión tales objetivos; el tiempo, el dinero, o los efectos ambientales no aparecen todavía en el escenario como límites del sistema, o por lo menos no aparecen expresados en los tratados de fortificación³⁸.

¿Podemos hacer un desglose del relato de los procesos tal como se nos enseña en los tratados de fortificación? Una vez se tenía conciencia de la importancia de la elección del sitio y se conocían las propiedades de los materiales, se procedía a dar inicio a las obras siguiendo la traza previamente establecida. El proceso constructivo de una fortificación, se podía dividir en tres fases:

- La cimentación (*la fondazione*).
- La elaboración del terraplén (*la tessitura del terraglio*).
- La edificación del muro de recubrimiento (*l'incamiciatura di muro*).

El proceso de cimentación se iniciaba con el que hoy en día denominamos “replanteo”, es decir, la traslación del contorno de la figura de la fortificación sobre el terreno. Para ello se disponía de personas adiestradas en la geometría, y en especial en una construcción geométrica a gran escala capaz de reproducir sobre el suelo las longitudes de los muros y los ángulos de las caras de los baluartes. La cimentación mediante pilotes era sin duda la más comúnmente empleada: se hincaban, dejando expuestas sus cabezas que se quemaban hasta carbonizar; en algunos casos se amarraban mediante maderas horizontales y en otros se cubrían con un mortero de cal y piedras. Sobre los pilotes se hacía pues una superficie plana que servía de basamento y a partir de él se levantaban los muros: primero se clavaban estacas a lo largo del perímetro, dándoles de antemano la inclinación requerida por la muralla y que se podía determinar mediante el uso de instrumentos tales como los que nos muestran Maggi y Castriotto (*Lámina XII*).

Entre estos testigos inclinados, se hacía un tendido de faginas o tepes, siempre buscando que hicieran ligazón entre ellos. Tareas todas que requerían con seguridad de la coordinación de numerosos grupos de personas en cadena bajo la dirección de mandos medios dentro de una jerarquía del oficio; pero sobre esto, los tratados no nos dicen nada. La última tarea entonces era la construcción de la camisa, es decir, del acabado exterior, bien en piedra o ladrillo, y que exigía de una mano de obra más especializada: canteros o albañiles sobre altos andamios trabajando en cuadrillas durante dilatados períodos de tiempo.

2.2. *Tratados españoles del siglo XVI*

Entre los siglos XV y XVI varios autores italianos trabajaron al servicio de españoles y franceses, especialmente de los primeros³⁹. Pero también publicaron algunos tratados para la corona española, como en el caso de Francisco Fiamelli, *Florentino y Matemático*, cuyo *Principe Difeso*, fue escrito íntegramente en italiano y apareció impreso en Roma en 1604, siendo dedicado a *Don Filippo Terzo D'Austria Rei Di Spagna, &c.* CÁMARA MUÑOZ (1990) cita también un tratado de Barca, *Avvertimenti e regole circa l'architettura civile, scultura, pittura, prospettiva, et architettura militare*, fechado en Milán en 1620, y al parecer dedicado también a Felipe III, pero que no hemos podido localizar.

Estos libros son sin embargo posteriores a otros que escritos por españoles, aparecieron impresos en los últimos años del siglo XVI, pero de los cuales muy pocos constituyen auténticos tratados de fortificación. El libro de Bernardino de Escalante, *Diálogos del Arte Militar...* (Sevilla, Andrea Pescioni, 1583), ni siquiera trata el tema, y se dedica a describir las funciones del personal militar dentro de la estructura jerárquica de la época; el de Diego García de Palacio, *Diálogos Militares ...* (Méjico, Casa de Pedro Orchate, 1583) busca la manera de justificar la validez moral de la guerra; en tanto que el de Diego de Alaba y Viamont, *El perfecto Capitán ...* (Madrid, Pedro de Madrigal, 1590), trata asuntos propios de las técnicas de guerra y de la artillería.

Tratados como el de Diego de Salazar⁴⁰, y Bernardino de Mendoza⁴¹, siguen líneas temáticas más próximas a la vida propiamente militar que a la fortificación, excluyendo deliberadamente tratar aspectos técnicos, tal como lo afirma el último de estos autores, quien luego de hacer unas recomendaciones muy generales, dice al rey:

Lo que he tocado a V.A. son los fundamentos y puntos principales para fortificar; no siendo mi intento passar en esto a la calidad de las fabricas y manera de terraplenes ...

Pág. 180

Aunque reconocen la importancia de tales conocimientos, diferenciando claramente los teóricos de los prácticos. De nuevo Bernardino de Mendoza afirma:

Ni en las mathematicas, y geometria dexa de ser de mucho provecho, pues sino se supiese primero la razon y compostura de las líneas y figuras, podrian mal los arquitectos traçar los edificios; para cuya fabrica no basta esto solo, si los maestros no supiesen qual es la suerte del fondo del terreno, por la continua experiencia y uso, la calidad de los materiales para la fabrica, la suerte de piedras que sufre mas luengos años, la injuria del tiempo y se incorpora mejor con la froga y argamasas ...

En la *Dedicatoria*, sin página.

La revisión de estos tratados anteriormente citados, y también de algunos títulos de comienzos del siglo XVII, permite estar de acuerdo con la apreciación hecha por LÓPEZ PIÑERO (1979), y BRAVO NIETO (1994) quienes consideran que *la principal contribución española a la literatura sobre ingeniería militar* en el siglo XVI está conformada por un grupo de obras dedicadas a la artillería: Francisco Valdés, *Diálogos militares ...* (Madrid, 1540 y Bruselas, 1586); Juan Fernández de Espinosa, *Libro del arte militar ...* (Manuscrito Biblioteca Nacional, 1559); Luis Gutiérrez de la Vega, *Nuevo tratado y compendio de re militari* (Madrid?, 1569); Juan Funes, *Arte militar* (Pamplona, 1582) y Luis Collado, *Plática manual de artillería* (Milán, en italiano, 1586, y en castellano en 1592), constituyen algunos de estos autores que hemos excluido de la lista incluida en la base documental por considerar que sus temas no tienen relación con el conocimiento técnico que sobre construcción requerían las fortificaciones de su época⁴².

Serán sólo dos los libros aparecidos en el siglo XVI que podemos considerar como auténticos tratados de fortificación; el primero aparecerá en 1595, escrito por Cristóbal de Rojas, *Teoría y práctica de fortificación, conforme a las medidas, y defensas destes tiempos ...* (Madrid, 1595), y el segundo, el de Diego González de Medina Barba cerrará la centuria, *Examen de*

fortificación ... (Madrid, Imprenta del licenciado Varez de Castro, 1599). Estas ediciones no se pueden considerar por lo tanto como hechos aislados o excepcionales, sino que constituyen el producto del esfuerzo español por digerir buena parte de las ideas contenidas en los tratados italianos y codificar también sus propias experiencias que desde entonces empezaban a hacerse mayores dada la expansión territorial de la corona⁴³.

2.2.1. *El conocimiento constructivo de Cristóbal de Rojas*

La obra de Cristóbal de Rojas, *Teoría y práctica de fortificación* ..., consta de tres partes, cada una de las cuales pretende tratar contenidos diferentes. Tiene 103 folios (206 páginas), que con 36 líneas y 67 caracteres por línea, equivalen a 158 U.P. La primera parte, que consta de 11 capítulos da preferencia a la Geometría, siguiendo las proposiciones de Euclides cuyo conocimiento considera fundamental para la práctica de los ingenieros militares:

Tres cosas han de concurrir en el soldado, ó Ingeniero, que perfectamente quiere tratar la materia de fortificación. La primera, saber mucha parte de Matematicas: si fuere posible, los seis primeros libros de Euclides, y el undécimo y duodécimo... La segunda es, la Aritmetica, que sirve para dar cuenta del gasto que para hazer la fabrica se ofrecera antes que se haga... La tercera, y mas principal para la fortificación, es saber reconocer bien el puesto donde se ha de hazer la fortaleza, o castillo.

Fol. I

Es esta la única afirmación que puede considerarse como una explicación programática de la obra. Dentro de este conjunto de conocimientos, Rojas no incluye aquellos que tienen que ver propiamente con la construcción de fortificaciones; o bien no los considera indispensables, o los asume como un conocimiento resultante de estos tres saberes previos. La tercera de las cosas que menciona, el reconocimiento del sitio, será difícil saberlo dar a entender y enseñar el Ingeniero, *sino huviere estado en la guerra*, es decir, pertenece a la experiencia misma de quien asume esta tarea.

En el capítulo III de la primera parte, encontramos otra justificación a su tratado: una nueva teoría de la fortificación se abre camino, motivada por los cambios en las tácticas de la guerra y por la aparición de nuevas armas de asalto:

Y para esto es de advertir, que todas las medidas y defensas de fortificacion, que estan escritas de los Ingenieros antiguos, no nos sirven en este tiempo, conforme al arte militar preferente: porque los antiguos hizieron fus fortificaciones y defensas a tiro de artilleria, y los soldados ingenieros de aora han hallado con la experiencia, que la fortificación sea mas recogida, reduziendo las defensas a tiro de mosquete y arcabuz...

Fol. 3

La segunda parte comprende 25 capítulos, mezclando diversos contenidos, desde la justificación para el uso de la escala gráfica en los planos hasta la construcción de relojes de sol. Sobre teoría de la construcción, solo se destacan algunos apartados. En el capítulo I de la segunda parte, incluye un *Discurso de la fortificación sobre las opiniones antiguas y modernas que se guardaban en la grandeza de la frente de una plaza*, donde cita autores italianos (Busca, Maggi, Lanteri o Cataneo) en materia de fortificaciones: no se trata solamente de una alusión anecdótica o por erudición, si no que trata en realidad de contraponer a las teorías

italianas, unas conclusiones que recoge de su experiencia: si los antiguos proponían un frente de fortificación con cortinas de 900 pies de longitud, los italianos *Carlo Teti y Gerónimo Catanio* sostienen que ellas deben guardar una dimensión equivalente a 750 pies; Rojas aún considera esta última medida muy larga y difícil de defender con artillería; él propone una longitud de 360 pies. Como buena parte de las cualidades dimensionales que Rojas mencionará en su tratado, nos encontramos con magnitudes fijas y muy precisas, que el autor ilustra con plantas y secciones (*Lámina XIII*).

Con respecto a las dimensiones en sección de las murallas, dice:

Toda esta fabrica de piedra ha de tener en el fundamento 28 pies, los 13 para la muralla, y los 15 para el largo de los contrafortes, dandole à cada uno tres pies de grueso, y de hueco entre uno y otro 13 pies advirtiendo que la muralla ha de yr á escarpa, que se entiende de cada 5 pies de alto retirarse hacia adentro uno, de forma que en 40 pies, se subira hasta el cordon, escarpara ocho, y como abajo la muralla es de 13 pies, sera arriba solamente de 5...

Fol. 40.

No estamos ante un conocimiento que establezca principios o que proponga métodos, estamos sí ante un rígido cuerpo de normas que Rojas recoge en su libro, fruto de su propia experiencia y apoyado en los cambios impuestos por las nuevas tácticas de guerra sobre teorías anteriores.

El capítulo 7 de la segunda parte es el que enseña a fabricar con tierra y fagina. Sobre las dos opiniones que recoge de emplear la fagina en la construcción de terraplenos, la primera recomienda construirlos sin ella:

...porque siendo tierra sola, y bien pisada, es fábrica más sólida, y maziza, y siendo con fagina, dizen que va el terraplano hueco, sin poderse pisar bien, y que passado algun tiempo, se podrece la fagina, y van abaxando los terraplenos, y no es obra tan maziza como la tierra limpia, y bien pisada.

Fol. 49.

Rojas descarta esta proposición: la fagina constituye un elemento de trabazón dentro de la masa de tierra que impide el que se puedan abrir excavaciones en ella a fin de colocar minas durante el ataque a una plaza:

...sere siempre de parecer, que el terraplano se hiziesse con fagina, que en lo que toca à no ser fabrica tan solida, como la que va con la tierra sola, à esto se responde, que se fabrique con mucho cuydado, pisando muy bien las tongas sobre cada fagina, que cuando al cabo de 20 años esten las faginas podridas, ya avra hecho el terraplano su asiento...

Fol. 50.

Otro argumento a favor de la fagina, es el hecho observado también en América⁴⁴ y explicado brevemente por Rojas, que hace que las balas de cañón hagan poco efecto destructor sobre las ramas vegetales debido a su flexibilidad, contraria a la rigidez que ofrecería la masa de tierra compactada.

El capítulo XV de la segunda parte se escribe *Para saber el grueso que ha de tener la muralla de piedra, ò ladrillo, y los terraplenos, el altura de la muralla, y los demas requisitos necesarios*. Rojas antepone las dimensiones de las murallas, terraplenes y contrafuertes a las de la cimentación: el orden de explicación de los elementos no coincide con el orden del proceso constructivo. Una vez más, nos encontramos con unas medidas absolutas, establecidas a partir de la experiencia y modificable solo la altura en función de las características del emplazamiento:

... se formara la muralla de 13 pies de grueso, y 15 mas adentro, para cada contraforte, de suerte que la muralla y contraforte tengan 28 pies de ancho, y luego cada uno en si tenga de grueso 3 pies, y de un contraforte à otro avra de hueco 13...y luego se levantara esta muralla hasta el cordon 40 pies, porque està en tierra llana...y quando la tal plaça se hiziesse en algun sitio alto, en tal caso bastara de 20 à 25 pies de alto la muralla...

Fol. 69

Además de las dimensiones, establece que la muralla *ha de ir à plomo por su cara interior soportada por los terraplenos, y formando un talud por su cara exterior manteniendo una relación de 5 a 1* (a cada 5 pies de altura, el espesor habrá de disminuirse en 1 pie). La explicación se completa con una ilustración (*Lámina XIV*). Páginas adelante, en el capítulo V de la tercera parte, cuando el autor trata el tema de los cimientos, aparece una nota al respecto de esta pendiente que deben conservar las murallas⁴⁵:

...si la piedra fuere franca, convendra que no lleve tanta escarpa por la parte que en aquel sitio ofendieren mas las aguas y vientos, porque siendo la muralla muy escarpada, la va corrompiendo y cavando las muchas aguas, y assi convendra en semejante ocasion dar menos escarpa, que sera de 6 pies a uno, porque deslize mejor el agua.

Fol. 93.

El capítulo XVI es el *Que trata un discurso sobre la mejoría que tiene una muralla de fortificacion, siendo de ladrillo, que si fuesse de piedra*. De nuevo, el autor deja clara su intención de establecer criterios previos sobre los materiales que pueden constituir la fábrica, dejando para capítulos siguientes las consideraciones sobre arena y cal. Defiende el uso del ladrillo por encima de la piedra en virtud de los distintos efectos que sobre ellos tienen las balas de cañón: ante el proyectil, el ladrillo se desmorona solo en el área misma del impacto y se fragmenta en unidades pequeñas, en tanto que sobre la piedra, afecta la estabilidad del conjunto por tratarse de unidades más sólidas y de mayor tamaño. Desaconseja también construir murallas mixtas de piedra y ladrillo, y ante la dificultad que representara el obtener ladrillos, bien por su costo o por dificultades de transporte, prefiere hacerlas solo en piedra, cuidando que ella estuviese libre de salitre, de pelos, caliches, y otras enfermedades que suelen tener. Los sillares exteriores deberán ser pequeños, especialmente los de la mitad superior, y puestos en tizón; las piezas grandes se podrán emplear en la cimentación.

La escogencia de los materiales está condicionada por sus características mismas, por el uso y su comportamiento ante hechos que la función genera. Al respecto, Rojas no emplea criterios de belleza; la forma se fabrica con los materiales. Estamos ante una propuesta arquitectónica que antepone el utilitas y el firmitas al venustas.

En la tercera parte, ocho de sus once capítulos, tratan explícitamente asuntos propios de la construcción de fortificaciones: reconocimiento y propiedades de los materiales más comunes y principios de cimentación de acuerdo a los tipos de suelos; por último trata de las portadas y arcos. Esta parte es la única de las tres que merece una introducción del autor; en ella nos remite *a la doctrina de Vitrubio*, que como la *Geometría de Euclides*, explicada en la primera parte, *es fundamental para que el Ingeniero pueda dar razón perfectamente de la fortificación*. Descarta entrar en el tema de los órdenes, de los que han escrito largamente *el Biñola, Andrea Palladio, Sebastiano Serlio, Juan Bautista Aduerto, y otros muchos*, así como en lo tocante a los cortes de cantería para la construcción de arcos, lo que en su entender consiste *todo en experiencia*.

Su descripción de los materiales es bastante detallada. Al tratar sobre la arena, la divide en cinco clases: *arena blanca, carbuncula, colorada, de mar y de río*, explicando con detalle las dos últimas. De la cal, establece también varias clases, pero destaca aquella *que se hiziere de pedernal pues al usarla, bastará con una parte sobre tres de arena para obtener una proporción adecuada*. También incluye una serie de recomendaciones acerca de las proporciones de las mezclas de cal y arena a fin de obtener los morteros requeridos en el proceso de construcción. Advierte también sobre la importancia de hidratar la cal antes de usarse y sobre las precauciones a tomar para el proceso de curado de los muros de fábrica:

Para hazer mezcla que sea buena, se tendra esta quenta: si fuere el arena sacada de cantera, y la cal de piedra dura, y espessa, se mezclara echando dos partes de arena, y una de cal, y si fuere arena de mar, ò de río, se mezclara à dos espuestas de cal tres de arena: y si la cal fuere muy floxa, se mezclara tanta cal como arena, y con este concierto saldra la mezcla a proposito para conglutinarse, y pegarse con la piedra, teniendo cuydado de que antes que se gaste en la fabrica, este metida en agua, y hecha morteros (y si fuere posible, sea agua dulce, porque la salada es mala para las fabricas) treinta, ò quarenta dias, para que desbrave el fuego artificial, especialmente en tiempo de Verano, porque el calor del Sol no da lugar à fraguar bien la obra: y esto se remedia algun tanto con tener cuydado de arrojar muchos cubos de agua sobre la muralla, quando se va rypiando, y de antenoche dexar toda la muralla muy empapada en agua: y al contrario en tiempo de Invierno con los grandes frios, y yelos no fragua la cal: y si en este tiempo se hiziere alguna fabrica, se procurara que sea la tal fresca, y no este mucho tiempo en agua, que se corrompe con los muchos yelos, y para remedio de todo esto se huyra el fabricar en tiempos de mucho calor, y de mucho frio, aprovechandose los tiempos frescos de la Primavera, y Otoño.

Fol. 90.

Cuando trata *Del reconocimiento que ha de aver de la piedra y ladrillo*, enumera los diferentes tipos conocidos en España y que diferencia de los italianos. Relaciona algunas piedras con sus usos tradicionales y se detiene en la *piedra berroqueña* porque sufre mucho la gravedad del peso del edificio, y resiste la injuria de los tiempos de agua, calor y frío, *lo qual haze mucho daño*. También recomienda una llamada *panalexo*, la cual es buena para los cerramientos de bóvedas, ò capillas, por ser liviana. Sobre los ladrillos, es también bastante breve: sus recomendaciones comprenden aspectos de su fabricación, sin tratar para nada sobre la puesta en obra. En conclusión, se constata que el conocimiento que Rojas tiene de los materiales, es puramente cualitativo, que al parecer, retoma de autores previos y complementa con su experiencia.

En *Un discurso para ahorrar algunos gastos en las fabricas*, Rojas hace gala de su experiencia al frente de obras de construcción: instrucciones para reconocer la buena calidad de los materiales, valoración de su precio justo, y selección de la mano de obra. En *De los fundamentos sobre arena en el agua, arcilla, tufa, ò en peña biva*, asume de manera especial el tema de las cimentaciones; considera que las características del suelo son el factor que determina la *hodura, y grosseza de los fundamentos*, es decir, las dimensiones de los pilotes. Propone las situaciones de mayor dificultad: terrenos pantanosos, sobre arena (enterrada y superficial), sobre arcilla y sobre roca.

Para terrenos pantanosos propone la cimentación por pilotes, sobre cuyas cabezas se ha de verter un mortero y sobre éste, un asiento en piedra, a la manera descrita en los tratados italianos. Intenta dar una explicación a cada caso: arena no superficial, arena superficial, arcilla, y *peña biva*. Como G. Cataneo, se apoya en la figura del baluarte para ilustrar sus ejemplos de manera progresiva (*Lámina XV*) En el capítulo VI de la tercera parte, considera el caso especial de cimentaciones bajo el agua; aquí usa como ejemplo la fundación de pilares de un puente y propone el uso de cajones que permitan llegar hasta el suelo adecuado sobre el cual cimentar con mampostería *muy gruessa, y bien ligada, y trabada con sus ligazones*.

Hazerseha lo primero una caxa rodeada de estacas espessas de unh pie de una a otra, algo mas ancha y larga, que el tamaño del pilar, y por dedetoro destas estacas, estado ya bien hincadas fuertemente, se aforraran de tablas bien calafateadas...y luego se limpiara el arena, y cascaxo dentro de la caxa, que esta fundada...y llegado a plan y suelo firme, se dara principio con cal viva, para tomar el agua, y desde alli levantar la fabrica del pilar...

Fol. 95.

Se hace notoria, en virtud de su extensión y del deseo de afrontar los casos más variados, su preocupación por la cimentación. Finalmente, en el capítulo siguiente, Rojas relata el procedimiento por él empleado para cimentar una presa sobre un suelo arenoso. El capítulo VIII de la tercera parte, es el último que trata contenidos de construcción. Su propósito es hablar *De las puertas, y arcos, para la fortificacion, y otras obras publicas*, pero su explicación es bastante pobre. En cuanto a los arcos, resume todos los existentes en tres tipos: *de medio punto, zarpanel y escarzano*. Incluye gráficos de los "arcos en viage": *contraquadrado, contra diestra y siniestra, entre dos caracoles, embocinado para tronera, viage contra viage*. No hay ningún tipo de explicaciones sobre ellos y finalmente, deja el tema *al buen juicio del curioso artifice*:

...y en todo lo demas tocante à las capillas, y à las escaleras, ò caracoles, me remito al buen juicio del curioso artifice, y à la demostracion que muestra en si cada figura destas, porque, como dixè al principio desta tercera parte, cosiste el saber hazer las bovedas en el mucho uso y experiencia que se tendra dellas...

Fol. 98 y 101.

Por fuera de este capítulo, en una anotación anterior, aparece una afirmación importante acerca de la dimensión de los estribos de arcos que Rojas ni siquiera repite en el capítulo dedicado a ello:

...teniedo cuydado de la buena medida de grueso de las murallas, y bastantes estribos donde hubiere capillas, ò arcos, pues ya es cosa notoria, que siendo un arco de medio punto, le bastara por estribo la tercia parte de su hueco; y algunas vezes bastara la quarta parte, quando cargasse mucho peso sobre los pilares; y con esta simetria, y mucho cuydado en que los cimientos de todo el edificio salgan concentricamente con el centro del universo, el edificio sera fuerte...

Fol. 97.

Es difícil cuantificar la extensión de los contenidos de construcción en el tratado de Cristóbal de Rojas dada la dispersión de los temas a lo largo de la obra. Si consideramos los Capítulos 7, 15 y 16 de la segunda parte, y los seis primeros de la tercera, nos encontramos ante un total de 8,5 U.P., que representan un 5,4% del total. Los tres capítulos de la segunda parte explican aspectos relacionados con las propiedades constructivas de las murallas, y los de la tercera parte están dedicados al reconocimiento de los materiales y a las cimentaciones.

Este es pues el punto de partida de la tratadística española de fortificación en cuanto hace referencia a los conocimientos de construcción: la experiencia del autor en la edificación de recintos amurallados se suma a las enseñanzas de Vitruvio sobre los materiales.

2.2.2. El conocimiento constructivo de González de Medina Barba

El *Examen de Fortificación...* de Diego González de Medina Barba (Madrid, imprenta del Lcdo. Varez de Castro, 1599) está expuesto en forma de diálogo entre un *Príncipe* y un *Ingeniero*, en donde el primero cuestiona al segundo acerca de aquellas cosas referidas a la fortificación y que son importantes para salvaguardar la integridad de los estados. Si bien no existe una división en capítulos, es posible observar una secuencia temática en el diálogo que se inicia con una justificación de la importancia del tema que se va a tratar.

La selección del sitio y las definiciones de los términos propios de la materia ocupan las primeras preguntas y respuestas entre las partes: revellines, caballeros, cortinas, baluartes, casamatas, orejones, terraplenes, contrafuertes, etc., todos ellos característicos de la fortificación moderna.

A continuación pasan a tratar la construcción de las figuras geométricas más usuales y que corresponden a la traza de fortificaciones (pentágono, hexágono, octágono, etc.), y luego sobre la dificultad que representa trasladar dicha traza del papel al terreno y las distintas unidades de medida aún no regladas en los estados europeos. Para concluir este tema se estudian algunos casos atípicos: padrastró sobre el terreno, en una isla, en el mar, y en lo alto de una montaña. Aunque en el apartado consagrado a las definiciones se tocan algunos aspectos relacionados con la construcción de las fortificaciones, sólo después de estos temas que hemos ordenado, se entra de lleno a hablar de la arquitectura, para lo cual no faltan las citas a la figura de Vitruvio.

El diálogo termina con preguntas acerca de la artillería y algunas situaciones que se presentan durante la batalla.

Podemos afirmar que solamente una de las preguntas que formula el príncipe que interroga al ingeniero, está relacionada directamente con las propiedades materiales de las fortificaciones:

...dezidme ahora, con que materiales lo hariades, y en q' tiêpo, y el conocimiento dellos, y la mezcla; porque de poco ferviria aver elegido el mejor fitio, la mejor forma, fi los materiales con que fe huviere de hazer no fon a propofito, y tales que dello pueda refultar la ruyna de la fortificacion, o por no buena la piedra, o con lo que fe liga, o por no eftar bien difpuesta, quando fe haze tiempo, o fazon, que en todas las cofas fe requiere.

Pág. 130.

El contenido de la pregunta lleva implícitamente una ruptura con algunos tratadistas italianos, cuando dice que poco sirve tener *la mejor forma* si los materiales con que se construye y su disposición no son los apropiados. La respuesta a esta formulación del príncipe se da con una explicación sobre el conocimiento de los materiales, que guarda una estrecha relación con las razones que Vitruvio había formulado sobre ellos. La cal, la arena, la piedra y el ladrillo, son tratados uno a uno. Acerca de la cal, recomienda extraerla de piedras duras mediante su incineración; de la arena aconseja emplear *la de Oya*, citando a Vitruvio, por sobre la de río o de mar; sobre la piedra dice que dura o blanda, es necesario observar su comportamiento ante el agua, el hielo, el sol y el fuego, siendo usada en los *grandes fundamentos* a pesar del efecto perjudicial que hacen sobre ella las balas; y finalmente del ladrillo, cree que es mejor que la piedra siempre que estén hechos con greda y no contengan tierra arenosa, y el agua que se emplee en la elaboración de argamasas *ha de ser limpia y no grassa*.

Aunque sobre los cimientos no hay preguntas concretas no falta en el diálogo la alusión al uso de pilotes de más *de un pie de diámetro y 6 pies de largo*, hechos de roble, encina o castaño cuando se trata de lugares con agua dulce, y *de pino, álamo negro, olivo o nogal* cuando el agua es marina. Además del empleo simple de los pilotes, hace una explicación donde recomienda el empleo de arcos sobre ellos para así distribuir uniformemente las cargas:

Quando el terreno fuere muy aguachado, fe han de yr haziendo unos poços de trecho a trecho, y en ellos echar los cimientos, al albedrio del maestro, fobre si feran fobre estacas, o no, que ferà conforme a la neceffidad que dello huviere, y defpues echar arcos de poço a poço, que con lo concabo del arco affiente fobre la tierra; y affi vendra à fer muy fuerte el fundamento.

Pág. 171.

Conocimientos tan prácticos como los anotados se mezclan todavía con creencias medievales sobre la naturaleza de los suelos:

En los cimientos es bueno hazer respiraderos, para que falgan fuera los malos humores, y no fe podrezca el agua y lo demas, y hazerfe han con poços, ò fosso, ò barrenos. Y efto no folo es bueno en los cimientos, pero aũ en toda la muralla fe tienen por neceffarios, para que el ayre que viene por debaxo de tierra, tenga por do exalarse, fin hazer daño a la muralla.

Pág. 178.

Recomienda también el uso de cajones en los casos en que se haga necesario cimentar bajo el agua.

El tema de las murallas no se presenta bajo un único discurso haciéndose referencias sueltas a lo largo del diálogo, aunque sí le merece algunos gráficos cuya reproducción incluyo (*Lámina XVI* y *Lámina XVII*). Como los tratadistas de su época, detalla las dimensiones que deben tener los nuevos sistemas amurallados: cortinas de 300 a 400 pies de longitud, altura de 40 pies desde el plano del foso hasta la línea del cordón más 5 pies de altura del parapeto, construidas en piedra o ladrillo sobre un cimiento que enterrado 2 pies en el suelo, tenga un ancho de 15 pies en la base y 13 a nivel del foso para crear la banquetta. El talud que recomienda está en una relación de 5 a 1. Sin profundizar en su utilidad, relaciona los contrafuertes y sus dimensiones: 13 pies de largo, 3 de espesor y separados entre sí 13 pies (tanto como su largo); entre ellos se levanta el terraplén que ligado con faginas, se comporta mejor si sobre él se plantan árboles para que sus raíces contribuyan al amarre de la tierra. El terraplén también lo puede construir con grandes adobes unidos con cal o con escorias de ladrillos y argamasa de arena y cal.

La extensión que dedica a los materiales no pasa de las 4 U.P. (4,5 % del total) y las alusiones directas a asuntos constructivos alcanza las 6 U.P. (6,8 % del total) para un total de 10 U.P. (11,3 % del total).

3. La búsqueda de una autonomía disciplinar a lo largo del siglo XVII

Desde el siglo XVI el valor personal ya no bastaba para ganar las batallas: se hizo necesario un *arte de la guerra*, y con él, personas capaces de coordinar los grupos de acuerdo a las armas y suministrar un entrenamiento adecuado para los hombres.

El desarrollo y difusión de la traza italiana hizo que el tamaño de los ejércitos tuviera que ser incrementado considerablemente: además de las obras propias de la construcción y reparación de fortificaciones, cada plaza requería de un número determinado de hombres para defenderla y para mantenerla. De acuerdo con MCNEILL (1988), el número de soldados españoles pasó de 150 mil hombres en 1550 a 300 mil en 1630, siendo el más numeroso de toda Europa; el ejército francés, que era el segundo, tenía sólo un tercio del español en 1550.

En el siglo XVII los holandeses introdujeron cambios significativos en la estructura de los ejércitos y en la disciplina militar: descubrieron que largas horas de instrucción hacían a los hombres más eficaces en el campo de batalla; los ejércitos europeos dejaron poco a poco de ser simples grupos de personas dedicadas tanto a la batalla como al saqueo, para convertirse en complejas estructuras orientadas por un *Arte de la Guerra*, cuyas transformaciones progresivas necesitaban de medios de difusión a través de innumerables obras impresas que se enriquecían con la transmisión oral y el espionaje político. Así, como veremos, la obra escrita de Vauban fue considerada celosamente un alto secreto y sólo se hizo posible conocer a través de obras apócrifas y transcripciones manuscritas.

Un ejemplo interesante de cómo la transformación en la mentalidad de los ejércitos habría de influir sobre el contenido mismo de los tratados de fortificación, es el de la aparición de los zapadores. Según McNEILL (1988), Mauricio de Nassau, príncipe de Orange (1567-1625), *hombre versado en matemáticas y lenguas clásicas*, reincorporó a sus ejércitos la figura del zapador, empleada por los romanos. Se trataba de fortificar con murallas improvisadas de tierra, una práctica que desde entonces no había sido utilizada por los ejércitos europeos puesto que protegerse detrás de una zanja era considerado cobardía. La labor de los zapadores empezó entonces a ocupar un sitio importante dentro de los tratados militares e incluso en los de fortificación empezaron a aparecer cada vez con más extensión capítulos enteros dedicados a la llamada fortificación pasajera “o de campaña”. La reestructuración de los ejércitos trajo consigo también la dotación de uniformes y armas estandarizadas. El efecto a corto plazo de ello fue la reducción en los gastos militares. La estandarización y la rutina habrían de caracterizar fuertemente las instituciones militares y modelar una estructura mental abierta hacia tales procesos, que revertidos en el campo de la construcción, traería también importantes beneficios.

Las propuestas tipológicas en los tratados de fortificación empezaron a multiplicarse. Ya hemos dicho que el afán por el orden geométrico se podía entender en los tratados italianos del siglo XVI como una delimitación del espacio donde acontecen las variables; pues bien, en el siglo XVII se produjo una verdadera explosión de las posibilidades tipológicas de una fortificación. Si Francisco di Giorgio y Pietro Cataneo introducen numerosos ejemplos

gráficos, ellos aún carecen de un método riguroso para obtener un perímetro perfecto; no ocurre lo mismo con los tratadistas del siglo XVII, que en su mayoría, incluían de una u otra forma, no sólo una descripción de las operaciones geométricas necesarias en la construcción de figuras poligonales, sino también propuestas de invención propia que desestimaban y trataban de mejorar las anteriores.

Un afán por geometrizar el arte de la fortificación relegó el desarrollo de las técnicas constructivas; además de un creciente interés por hacer de la geometría un instrumento técnico, muchas de las formas obtenidas derivaban todavía de consideraciones simbólicas que habían motivado la construcción de “ciudades de traza ideal” como Palmanova, en Italia. Pero también se percibe una incesante búsqueda por perfeccionar las formas y los métodos, por superar lo que hacen los autores de los países vecinos, por hacer cada vez más complejos los principios reguladores del orden. El legado de los autores italianos que opinan que una plaza se hace fuerte por su forma, toma una fuerza desmedida.

Buenos ejemplos de esta situación los encontramos en autores como Damant, que en *Maniere Universelle de Fortifier sur le Modèle du Triangle et Quarré ...* (Bruselas, Jean Mommart, 1630) expone las maneras de hacer uso del triángulo y el cuadrado para la traza de una fortificación. También el español Pedro Folch de Cardona, en su *Geometría Militar ...* (Nápoles, Egidio Longo, 1671), se dedica por entero a la explicación del uso de tablas para determinar dimensiones, ángulos, y magnitudes de las líneas en las plazas regulares e irregulares. Y Silvère de Bitanvieu, escribió *L'Art Universel des fortifications ...* (París, Chez Du Breuil, 1674), obra dedicada a la explicación de principios geométricos que aplica al trazado de obras exteriores e interiores mediante el uso de la regla y el compás.

En *Le parfait ingénieur françoise ...* (París, Ch. A. Jombert, 1762) de L'Abbé Deidier, se incluyen algunas ilustraciones de los más importantes modelos geométricos desarrollados en el siglo XVII (*Lámina XVIII* y *Lámina XIX*). Y en el texto anónimo *Escuela de Palas ...* (Milán, Marcos Antonio Pandulfo, 1693), se describe claramente la crisis a la que tales sistemas geométricos han llegado a fines de siglo:

Todos los Authores, que trataron de Fortificación, y quantos buenos Ingenieros, y Soldados inteligentes ay en esta profesion, apruevan y convienen en lo general ... De esta variedad de pareceres, à nacido el que los Authores, que an escrito desta materia, desde que se invento la Artilleria asta oy, se diferencien entre sí, siguiendo cada uno su opinión, y Inventando nuevas Descripciones, y modos de fortificar, para mostrar cada uno, a la Posteridad, su ingenio, y bizzarria de tirar sus líneas ...

Página 10, Libro XI.

No vamos aquí a detenernos en una descripción detallada de cada una de las propuestas; ello nos alejaría de la línea temática que desarrollamos. A cambio, es importante estudiar la teoría de la construcción que simultáneamente se fue acumulando y enriqueciendo en los tratados de fortificación alrededor de grupos de autores que para tal fin hemos dispuesto: los franceses, los españoles y los sacerdotes, que por sus posibilidades de difusión y su carácter ecléctico, merecen ser considerados independientemente.

3.1. Los tratados de los “especialistas” franceses

Si los siglos XV y XVI demuestran un enorme predominio de publicaciones de los tratados de fortificación escritos por italianos, a partir de 1600 tal proporción se ha de invertir a favor de Francia y España.

En Francia el tratado de Jean Errard de Bar-le-Duc, *La fortification demonstree et reduicte en Art...* (París, sin imprenta, 1620), es un hito importante en la tratadística de arquitectura militar en la medida en que se le considera como el primer ingeniero francés que escribió de la fortificación de una manera sistemática, apelando a ciencias auxiliares y especialmente a la geometría para sustentar sus demostraciones. Antes de la aparición de su obra, conocemos en idioma francés sólo la traducción que del tratado de Zanchi hizo La Treille, y las obras poco difundidas de Hans Schille y Carlo (ver listado). El tratado de Jacques Perret, *Des Fortifications ...* (París, sin imprenta, 1601), tiene un carácter eminentemente visual, por lo que habrá que esperar hasta la aparición del que escribe Antoine De Ville en 1628, para encontrarnos de nuevo con una exposición clara y sistemática que sea capaz de dar a la construcción arquitectónica una merecida importancia en el campo de las fortificaciones. Obras también publicadas en francés como las de J.J. Van Walhausen, *Suite des Principes de l'Art Militaire* (Lyon, 1615, traducida del alemán) y *L'Art militaire ...* (Oppenheim, 1615), o Jeremie de Billon, *Instructions militaires ...* (Lyon, 1627), tienen un carácter eminentemente militar.

Mención aparte hay que hacer de la obra de Simon Stevin, publicada primero de manera parcial en francés bajo el título de *La Castramétation ...* (Leyden, Chez Matthieu & Bonaventure Elzevier, 1618), y luego de forma completa: *La fortification, OEuvres mathématiques ...* (Leyden, Chez Matthieu & Bonaventure Elzevier, 1634), a partir de la primera versión, escrita en flamenco y aparecida probablemente en 1584. Consideraciones similares hay que hacer con los tratados de Samuel Marolois, *Opera mathematica ...* (1614), Nicolaus Goldmann, *Elementorum architecturae militaris ...* (1643) y Matthias Dögen, *Architectura Militaris Moderna ...* (1647), compendios más conocidos por sus versiones francesas que por las originales aparecidas en latín.

A partir de 1640 la producción francesa aumenta su volumen impreso a la vez que se desaceleran las publicaciones originales españolas, que desde Cristóbal Lechuga con *El Maestro de Campo General ...* (Milán, Pandolfo Malatesta, 1603), había iniciado un desarrollo considerable: 37 tratados (incluyendo dos traducciones al castellano) en el siglo XVII, algunos de los cuales igualan el nivel que simultáneamente alcanzaban los franceses.

En las páginas siguientes vamos a hacer un recorrido por los principales autores y su repertorio de conocimientos técnico - constructivos. Los hemos agrupado en conjuntos de características no sólo fácilmente reconocibles, sino que además permitan relacionarse con temas concretos por los que ciertos autores demuestran un interés particular.

3.1.1. Errard-le-duc: geometría y construcción

La aparición del tratado de Errard, *La fortification démontrée et réduite en art* (París, 1594) representa para KRUF (1990) el comienzo de una línea de producción propiamente francesa, alejada de los modelos italianos que la habían inspirado hasta el siglo XVI. Errard (1554-1610?), es un personaje que participó seguramente en la construcción de la ciudadela de Amiens, del castillo de Sedan y en las obras de fortificación de Tolone y Calais. En la portada de su libro se identifica como *Ingenieur du Freschrestien Roy de France et de Navarre*. Se conocen de él otras dos obras: *Le premier livre des instruments mathématiques mécaniques*, Nancy (1584) y *La géométrie et pratique générale d'icelle*, París (1594).

La obra está dividida en cuatro libros, subdivididos a su vez en capítulos. La extensión total es de 175 páginas, constituidas por 51 líneas de 86 caracteres, para un total de 243 U.P. Antes de tratar algún tema, Errard incluye una dedicatoria al Rey, una advertencia al lector y un prefacio a la nobleza francesa.

En el primer libro, Errard deja claro, antes de recorrer el camino de los capítulos, uno de sus objetivos más importantes: fundar la práctica del ingeniero sobre las bases sólidas de la geometría. A más de explicar la necesidad de proveerse de fortalezas y de los avances de la artillería, parte de los axiomas, como sentencias comunes que no requieren de demostración. La *reducción en arte* consistirá en el dominio y control del saber del ingeniero a partir del conocimiento de la geometría, la *reducción en arte* es la expresión de la época para lo que hoy entendemos como *tecnología*. Errard se propone explícitamente convertir la fortificación en una ciencia aplicada. Ya desde la primera página de su tratado, el autor establece una premisa simple, pero abstracta:

Les forteresses son faites afin qu'une petite force résiste à une plus grande, ou un petit nombre d'hommes à un plus grand nombre.

Pág. 1.

Las fortalezas son hechas con el fin de que una pequeña fuerza resista a una más grande, o un pequeño número de hombres a un número mayor.

Su definición de la fortificación misma, contenida páginas más adelante, es también bastante explícita:

L'art de Fortification ne consiste en autre chose, qu'à cliner ou decliner les lignes sur lesquelles sont jettés les fondements du contour & circuit d'une place, en forte que l'ennemy l'attaquant en quelque sorte que ce soit, puisse est reveu & offensé & au front, & au flanc: Ceste forte d'offension s'appelle flanquer.

Pág. 38.

El arte de la fortificación no consiste en otra cosa, que inclinar o declinar las líneas sobre las cuales se tiran los fundamentos del contorno y circuito de una plaza, de manera que el enemigo atacante en cualquier clase de situación pueda ser visto y atacado por el frente o por el flanco. Esta clase de ofensa se llama flanquear.

La búsqueda de una forma, es para Errard, la esencia de la fortificación; pero con esta expresión, donde apela a las líneas que siguen los cimientos, Errard está también condicionando la materialidad misma del proyecto: su concepción es unitaria. No es una línea sobre el papel lo que Errard concibe, es también la línea que se ha de seguir al inicio del proceso constructivo.

El Libro I está dividido en 12 capítulos, ellos también explican asuntos acerca del cañón, la pólvora y la formación de baterías, factor que condiciona la construcción de murallas (extensión: 3,5 U.P. con una ilustración). Explica así mismo acerca de las terrazas, del atrincheramiento, del foso, de la contraescarpa, del arte de asaltar y de las cualidades que debe tener un ingeniero para fortificar y defender una plaza: la fuerza de la artillería (número de piezas necesarias, disposición, calibres); manejo de personal, geometría, arquitectura... Finalmente dice cómo se deben levantar los planos de las plazas.

Cuando Errard titula su cuarto capítulo *Des choses idifferentes qui ne sont point de l'essence de l'art de fortification*, está delimitando claramente el campo acción de sus saberes y de sus acciones:

Avant que de traiter l'Art de Fortification, il ne sera pas inutile de découvrir des assietes des places, des commoditez & incommoditez d'icelles; de la muraille, & de sa matiere: ensemble des terraces, retranchemens, fossez, & contrescarpes, qui sont choses indifferentes, communes à toutes sortes de fortifications, & non de la substance & essence de l'Art: afin qu'icelles bien entendues, on les puisse appropier & adapter à la fortification, suivant les preceptes qui seront cy-apres enseigner & demontrez ...

Pág. 12.

Antes de tratar el Arte de la Fortificación, no será inútil reflexionar sobre el asiento de las plazas, de su comodidad e incomodidad; de la muralla y de su materia, así como de sus terrazas, trincheras, fosos y contraescarpas, que son cosas indiferentes, comunes a toda clase de fortificación, y no la substancia y esencia del Arte: para que ellas sean bien entendidas y se puedan aprovechar y adaptar a la fortificación, según preceptos que serán enseñados y demostrados ...

En el capítulo XI del primer libro de su tratado, Errard expone las cualidades que para él había de tener un buen ingeniero: debe tener experiencia en el sitio de una plaza, además de contar con buenos hombres a su mando, pero también deberá ser hábil en geometría, capaz de diseñar máquinas y conocedor de la aritmética y el uso de las proporciones para evitar gastos excesivos.

El segundo libro se inicia con un cuadro sinóptico donde resume su teoría de las fortificaciones y que hemos de considerar como una clara muestra del nivel de abstracción que maneja Errard en su tratado: *Sommaire des fortifications selon la doctrine de ce livre* (esquemmatización que sólo volveremos a encontrar en el tratado de Stevin, cuya versión francesa aparecería en 1618, pero cuyo texto original en flamenco podría ser de 1584, es decir, anterior al tratado de Errard). La esquematización planteada aquí va a ser en buena parte la raíz del orden expositivo de tratados posteriores; el autor considera que las plazas pueden ser regulares o irregulares, es decir, una propiedad exclusivamente formal, conforme a su fidelidad a la geometría. Y dentro de las regulares, considera como ajustadas a las

máximas a aquellas que son de seis, siete, ocho o más lados, cosa que no ocurre con las de tres, cuatro y cinco lados (*Lámina XX*).

Pero además de esta división, establece también en el cuadro sinóptico normas dimensionales: *Or en la forme de tout Poligone regulier, ou irregulier, sont considerées les mesures ...* y las clasifica según sean consideradas en planta o en sección, dando un gran nivel de detalle a las primeras: medidas de ángulos y longitud de líneas.

El libro II está dividido en 29 capítulos dedicados por entero a la manera de fortificar polígonos regulares; se inicia con el hexágono y continua aumentando el número de lados hasta llegar a la figura de 24 lados. El capítulo 28 trata de las contraguardias, y el 29 de los atrincheramientos.

El Libro III contiene las explicaciones concernientes a las plazas irregulares. Consta de 20 capítulos a lo largo de los cuales desarrolla una metodología similar a la del libro anterior: partiendo de un triángulo y un cuadrado, aumenta progresivamente el número de lados de su ejemplo y llega incluso al caso de una figura de forma oval. Introduce las explicaciones acerca de los revellines, los flancos fijantes, puentes, caminos, ciudadelas y plazas marítimas..

En el Libro IV se tratan aspectos propios del mando y control de una plaza fortificada: cómo fortificar contra un ataque simple que no puede rodear la plaza, fortificar junto a un declive o en el declive de una montaña, etc.

Pero sin duda, el rasgo más importante de la obra de Errard, es lo que él mismo llama la *reducción en arte*, objetivo fundamental de su tratado, y asunto en el que el autor insiste a lo largo de todas sus páginas. Para VÉRIN (1994), esta *reducción en arte* hemos de entenderla como un dominio calculado y racional de las ventajas, como el arte de elegir con la ayuda de una evaluación que se funda sobre la ponderación de utilidades contrarias.⁴⁶

El saber constructivo de Errard:

En el capítulo V del Libro I se concentra la información que Errard nos proporciona acerca de *las murallas y su materia*, cuya importancia justifica así:

On a accoustumé de revestir les forteresses de murailles, quel-ques-fois pour soustenir les terraces qui ont peu de liaison, & qui d'elles-mêmes s'écoulent, & se ruynent, quelques-fois aussi pour resister aux pluyes, eaux de fossez, & autres incomoditez; ou bien pour empecher les surprises d'esclades, qui seroient trop faciles au long du tallu des terraces ...

Pág. 13.

Se acostumbra a revestir las fortalezas con murallas, algunas veces para sostener las terrazas con poca ligazón, y el que ellas mismas se deslicen y se arruinen, a veces también para resistir a las lluvias, al agua de los fosos y a otras incomodidades; o bien para impedir las sorpresas de escaladas que serían más fáciles sobre el talud de las terrazas ...

Demuestra un conocimiento de las murallas construidas en plazas francesas, como la de Metz, Mesieres, Bayonna y Boulongne; pero su mayor énfasis lo pone en el efecto de las balas de cañón, por lo que recomienda el empleo de materiales ligeros, como el ladrillo o piedras blandas. Ellas deben ir sobre un cimiento excavado seis pies contados desde el fondo del foso, y con un espesor de siete a ocho pies; la muralla ha de llevar contrafuertes, unidos entre sí mediante una pequeña arcada para mejorar su estabilidad. Tal sistema de arcadas, lo lleva también a la misma muralla:

... le corps de la muraille sust en arcade, & vouté; & par dessus ceste arcade, autres grandes arcades, comprenans plusieurs esperons, afin qu'estant battuë en cét endroit, le dessus puisse subsister plus long temps, ainsi qu'il se peut voir en ceste figure, en ce qui est marqué entre G & H; & faut noter que ces arcades ainsi basties avec le corps de la muraille, doivent estre couvertes & cachées au parement, de l'espaisseur d'une pierre, ou brique seulement, afin que les ennemys ne les découvrent pour rompre les costez qui les soustiennent.

Pág. 14.

... el cuerpo de la muralla se apoya en arcadas y bóvedas; y por debajo de estas arcadas, otras grandes arcadas, uniendo varios contrafuertes, de tal manera que estando contruidos en este sitio, las inferiores puedan subsistir durante largo tiempo, tal como se puede ver en la figura, marcados entre G y H; y nótese que las arcadas así contruidas con el cuerpo de la muralla deberán estar cubiertas y escondidas del paramento, con el espesor de una piedra, o ladrillo solamente, para que los enemigos no las descubran y puedan romper los lados que les sostienen.

Ver [Lámina XXI](#).

Conoce y elogia la propuesta constructiva de Durero, pues comparte la intención de desviar la bala enemiga con la inclinación y la masa de la muralla construida; introduce también la figura de la contramina como una pequeña bóveda en fábrica de ladrillo de cinco pies de altura. Sin embargo, tampoco abandona la opción de construir en tierra cuando el sitio no brinda las materias primas necesarias.

El capítulo VI también del primer libro, trata de las terrazas, las cuales *doivent toujours estré d'espaisseur, pour resister à la violence de la batterie de l'assaillant*; explica que ellas se construyen después de que se ha levantado la muralla y dotado de contrafuertes; la terraza, que mantiene la distancia entre la muralla y el terraplén, permite a su vez la posterior construcción de los parapetos.

En el capítulo XII del primer libro, Errard explica la manera en que se debe traspasar un perfil de una plaza, del papel al terreno, valiéndose ya no sólo del conocimiento geométrico, sino también del correcto uso de instrumentos:

... Mais d'autant qu'il est icy question des qualitez requises à un Ingenieur, i'ay pensé qu'il seroit plus à propos en cét endroit de l'informer de ce qui luy est necessaire pour venir à l'effect de la science.

Pág. 28.

... Pero aquí hay también cuestiones que requieren de las cualidades de un Ingeniero; pienso que será más a propósito aquí informar de lo que es necesario y que proviene de la ciencia.

El ingeniero -dice Errard-, ha de proveerse de buenos instrumentos, ya sean invenciones propias o ajenas, y acto seguido se explaya en la manera de emplear el transportador para determinar ángulos (*Lámina XXII*).

En conclusión, podemos afirmar que la forma de exposición de los contenidos junto a la profundidad y extensión dedicados a los temas de construcción, son pues el producto de aquella consideración que los pone del lado *des choses indifferentes qui ne sont point de l'essence de l'art de fortification*; las referencias a la práctica, tan presentes en los tratados italianos, aquí son nulas. Errard da por supuesto o por sabido por otros, el conocimiento detallado del conocimiento de la materia y de sus posibilidades constructivas. ¿Quiénes entonces son los encargados de este saber? Errard no lo dice, su misión es la establecer los fundamentos de una técnica basada en otros conocimientos, y al decir “su misión”, es porque él lo considera así, con una leve carga de mesianismo, tal como lo reafirma BIRAL (1985): *egli, anzi, pretende d'essere considerato il primo a trasformare un'arte meccanica -l'arte meccanica dell'ingegnere- in un'arte perfettamente dimostrabile ... cioè in una scienza* (página 45).

3.1.2. De Ville: la muralla como sistema

Antoine de Ville (1596-1674) era ingeniero militar⁴⁷. Originario de Toulouse, desarrolla una intensa labor en obras de fortificación; en 1626 recibe el título de 'Chevalier' de la Orden de San Mauricio y San Lázaro, cambiando su nombre original de Deville por el de 'Chevalier De Ville'. Su oficio le obliga a recorrer buena parte de los Países Bajos y el norte de Italia siendo encargado en 1648 de la fortificación de las ciudades cedidas por España a Francia. Presuntamente muere en París en 1656.

El tratado de Antoine de Ville es uno de los primeros en Francia, posterior a los ya citados de Jean Errard-le-Duc, Jaques Perret y Samuel Marolois. Publicado en 1628, *Les Fortifications ...*, se terminó de imprimir el 1º de agosto de ese mismo año, dos meses después de haber obtenido el Privilegio del Rey; esta primera edición contenía cincuenta y cinco planchas realizadas por el autor, quien se destaca como un grabador de talento, donde mezcla hábilmente datos de orden técnico -como lo son algunas construcciones geométricas- con escenas rurales y paisajes que envuelven ciudadelas fortificadas. A la riqueza de sus ilustraciones se le atribuye el contribuir a la mayor difusión de una obra que estaba destinada a un público especializado, despertando el interés por quienes buscaban libros enriquecidos con bellas imágenes⁴⁸. Además de este libro, A. De Ville publicaría una obra sobre los cargos administrativos de las plazas⁴⁹.

En la página que sirve de portada al tratado, De Ville destaca los dos grandes cuerpos del contenido: la manera de fortificar las plazas y los medios de ataque a fin de someterlas; incluye además la explicación de los medios para su defensa, “diversas invenciones novedosas contra el petardo”, y anuncia las cincuenta y cinco planchas que ilustran el tratado, hechas por su propia mano a fin de que “ellas sean más justas”.

La obra se divide en tres libros; el primero consagrado a las fortificaciones regulares, el segundo al ataque de las plazas y el tercero a la defensa de las mismas. El libro I se divide en cuatro partes:

- Divisiones y definiciones de las partes de la fortificación regular en 35 capítulos, donde primero se explican los procedimientos gráficos que permiten la construcción de las figuras geométricas más empleadas en el diseño de fortificaciones regulares (hexágono, heptágono, octágono, etc.). Posterior a ello incluye la explicación de cada uno de los elementos que componen la fortificación siguiendo un orden que va de lo exterior a lo interior del conjunto: empieza con las líneas de defensa, continúa con las partes de los bastiones y termina con las plazas de armas. Es en esta primera parte donde encontramos explícitamente contenidos de construcción.
- Obras exteriores de la fortificación regular (foso, falsabragas, escarpas y contraescarpas, corredor, explanada) en 5 capítulos.
- Fortificaciones irregulares, con explicación de sus componentes en 14 capítulos.
- Pequeñas plazas (con menos de 6 bastiones), explicadas en 14 capítulos.

El segundo libro, del ataque de las plazas, trata asuntos propios de la guerra: los ataques por sorpresa y los ataques por la fuerza, explicados en 40 capítulos; el tercer y último libro está dedicado exclusivamente a la defensa de las fortificaciones, explicada en 25 capítulos.

Parece claro que para el objeto de nuestra tesis debemos ocuparnos del primero de los tres libros, donde se encuentran los temas referentes a la construcción de las plazas.

En el primer capítulo, De Ville define detalladamente los elementos propios de la fortificación, acompañándose para ello de un gráfico con planta y sección de un modelo de fortificación (*Lámina XXIII*). A continuación enumera las máximas pertinentes e inicia la explicación sobre las consideraciones previas relacionadas con el emplazamiento. Para él son dos los elementos que diferencian las fortificaciones antiguas de las modernas: la disposición de las murallas y la resistencia de las mismas ante el impacto de las balas de cañón; geometría y construcción son los componentes fundamentales del cambio que se está operando en la arquitectura militar del siglo XVII.

Ya en el capítulo 5, *De la qualité du terrain*, encontramos consideraciones importantes respecto al proceso constructivo de las edificaciones. Según el autor el conocimiento del terreno es la *materia principal de la fortificación*⁵⁰ especialmente cuando se le considera no sólo como el lugar sobre el que se asienta la edificación sino en cuanto es fuente de materia prima que se ha de emplear en la ejecución de las obras. Es un planteamiento más propio de quien construye que el de un militar interesado en las propiedades estratégicas del emplazamiento.

Considera varios tipos de terreno: rocosos, 'gravillosos', arenosos, pantanosos y con arcilla. Los terrenos montañosos y rocosos pueden ser buenos para cimentar, pero incapaces de suministrar la tierra necesaria para las obras:

*Aux montagnes & rochers il se treuve fort peu de terre, & celle qui y est
a trop de pierres meflées, qui ne font aucunement propers à faire les*

ourages. Ceux qui veulent fortifier en ces lieux se doiuent refoudre à la defpenfe de faire charrier la terre des lieux plus proches qu'on la treuue...

Pág. 19-20.

En las montañas y peñascos se encuentran pocas fuentes de tierra y lo que hay demás son piedras revueltas, que no son precisamente la más apropiadas para realizar las obras. Aquellas que sirven para fortificar en estos lugares se deben resolver carreteando la tierra de lugares más próximos donde la hubiese ...

El terreno 'graviloso' no ofrece mayores ventajas, tanto por la baja cohesión entre las piedras como por los efectos del impacto de cañón sobre obras construidas con este tipo de tierras:

Le Terrain graueleux n'est pas bon, parce qu'il fe fôûtient peu, & n'a aucune liaifon: le Canon donnant dedans fait grand' ruine, & les pierres qui reffautent de tous coftez nuifent plus que la bale.

Pág. 20.

El terreno 'graviloso' no es el mejor, porque él se sostiene poco y sin ninguna ligazón; el impacto del cañón hace gran ruina y las piedras que rebotan de todos lados dañan más que las balas.

El terreno arenoso no es mejor que el anterior, contrario al pantanoso, que considera de mayor utilidad, pues aunque requiere ser excavado en tiempo de verano y cimentarse con pilotes, posee tierra gruesa, que es manejable y con la que se pueden construir las murallas:

Le Terrain marefeageux eft meilleur, parce qu'il tient de la terre graffe; mais bien fouuent apres qu'on a creusé quelque peu on trouue l'eau avant qu'on ait fuffifamment de cette terre... On doit eftre aduertí qu'en ces lieux marefcageux il faut fonder les murailles fur les pilotis; il faut faire le mefme aux grauelleux & fablonneaux fi l'on veut qu'elles durent; mais à ces deux-cy, apres auoir creusé quelque peu auant, d'ordinaire on trouue la terre ferme, ou le rocher prope à fonder deffus.

Pág. 20-21.

El terreno pantanoso es mejor, porque tiene de la tierra gruesa; pero ocurre que a menudo después que se ha excavado, podemos encontrar agua antes que haya suficiente de esta tierra... Debo advertir que en lugares pantanosos se debe fundar las murallas sobre pilotes; se necesita hacer lo mismo con gravillosos y arenosos si queremos que ellas duren; pero en estas dos, luego de excavar un poco, generalmente se halla tierra firme, o las piedras apropiadas y fundar sobre ellas.

Por último, concluye en que el mejor terreno es el arcilloso, por su resistencia y maleabilidad; recomienda aumentar su cohesión mediante el uso de faginas y maderas, práctica común también en España y recomendada por el propio Cristóbal de Rojas en su tratado de fortificación:

Le vray Terrain qu'on doit choifir eft la terre forte & graffe, qu'on apelle autrement terre argille, laquelle eftanttrouuillée tient aux mains, & fe manie comme pafte; eftant feche fe rend dure comme celle dequoy on fait les pots & les briques... En hauffant les rempars il faut battre cette terre, & entremefler

quelques fagots & pieces de bois trauersées, parce que cela lie grandement; le Canon y fait fort peu d'effect contre, & ne peut entrer dedans plus de dix pieds, ne faifant que fon trou fans rien ébranler; rellement qu'on peut apeller cette forte de Terrain le cimetiére des bales. car elles ne font autre effect que s'enfeuelir dedans.

Pág. 21.

El verdadero terreno que debemos escoger es la tierra fuerte y gruesa, que también llamamos arcilla, la cual se encuentra sujetándola con las manos y se manipula como pasta; estando seca se vuelve dura como aquella con la que se hacen las vasijas y los ladrillos... Al levantar los terraplenes se deben construir en esta tierra y entremezclar algunas faginas y trozos de madera transversales para que la ligan grandemente; la fuerza del cañón hace poco efecto en su contra, y no puede penetrar más de diez pies, logrando solo sacudir; el relleno que hacemos de este tipo de terreno lo podemos llamar el cementerio de las balas, pues no hacen otro efecto que enterrarse...

Finalmente, menciona de manera breve una de las características más importantes del trabajo con tierras, el talud:

Les Rempars, Caualliers & autres ouurages à cette forte de Terrain ne doiuent auoir de Talu que la moitié, ou au plus les deux tiers de leur hauteur, parce que la terre se foûtient d'elle mefme avec peu de pente, comme on peut voir aux lieux deffus alleguez.

Pág. 21-22.

Los Terraplenes, Caballeros y otras obras en este tipo de terreno, no deben tener de talud sino la mitad, o a lo más, dos tercios de su altura, porque la tierra se sostiene a sí misma con poca pendiente, como se puede ver en los lugares arriba señalados.

En el capítulo XXIX se trata el tema de las murallas. En la introducción, De Ville sienta una premisa importante de considerar:

Nous parlerons feulement de leur forme & materie, en tant qu'elle fert pour la confervation ou defenfe de la place. Quant à la mode de les baftir, cela appartient à l'Architecture civil, & au Maffon de fçauoir connoiftre la profondeur fuffifante des fondemens, lá où il faut efpuifer l'eau, ou baftir fur les pilotis, felon que le terrain eft bon, ou mauuais, connoiftre le mortier, le fable, & les autres materies. Cette partie eft enfeignée dans l'Architecture civile, mais nous traittons de l'Architecture militaire; nostre deffein eft feulement d'efcrire de la forme, & de la materie, en tant qu'elles font plus ou moins fortes.

Pág. 92.

Nosotros hablaremos solamente de su forma y materia en tanto que ellas sirvan para la conservación o defensa de la plaza. En cuanto al modo de construirlas, ello pertenece a la Arquitectura Civil, y al Maestro de Excavaciones conocer la profundidad suficiente de los fundamentos, donde se debe esperar agua, o construir sobre pilotes, según el terreno sea bueno, o malo, conocer el mortero, la arena y los otros materiales. Esta parte se enseña en la arquitectura Civil, pero nosotros trataremos de la

Arquitectura militar; nuestro propósito es solamente tratar de la forma y de la materia, en tanto que ellas las hagan más o menos fuertes.

De Ville no se detiene en la explicación de los procesos de ejecución y control. De hecho, es un personaje que los conoce, dada su experiencia, pero que selecciona al momento de escribir su libro, aquellos datos de la *forma* y de la *materia* que le permiten obtener la *solidez* que la fortificación requiere. Es un proceso selectivo de alguien que se esfuerza por sentar las bases de un cuerpo doctrinal especializado y diferenciado de la acción de otras profesiones. Creo que aquí encontramos una de las claves para comprender la forma en que los tratados de arquitectura militar franceses del siglo XVII adoptan para su *nueva ciencia*, el papel del conocimiento constructivo.

El contenido de este capítulo dedicado a las murallas se ciñe a la proposición introductoria del autor. Al referirse al espesor y talud que deben tener, se limita a pronunciar medidas tipo y referenciarlas a un gráfico que acompaña el texto:

On fait les Murailles efpeffes au fondement de quinze ou dix-huit pieds, & de cette efpeffeur on les eflue efgalement iufques au deffus de la terre, ou plan du foffé, & là on retranche l'efpeffeur de deux pieds & demy, ou environ du costé de dehors, lequel retranchement on apelle Banquette, & les Italiens Zoccola, marqué A en la Planche treiziefme, & de là iufques au Cordon C, on fait aller ladite Muraille en talufant, ou panchant vers le dedans. On donne d'ordinaire fur chaque cinq pieds de hauteur un pied de talu...

Pág. 92.

Se hacen las murallas espesas con fundamento de quince o dieciocho pies, y de este espesor se alzan igualmente hasta por encima del terreno, o planta del foso, y allí se disminuye el espesor en dos pies y medio, circundando el lado de afuera, este retroceso lo llamamos Banqueta y los italianos Zoccola, marcado A en la plancha 13, y de allí hasta el cordón C, se hace ir esta muralla en talud, o inclinación hacia adentro. Se da ordinariamente por cada cinco pies de altura un pie de talud...

Respecto a los contrafuertes en los muros:

Outre cela, il faut efte aduertty qu'au derriere de la Muraille vers la Place, il y doit avoir des Efperons, ou Contreforts qui s'auancent fept ou huit pieds dans le terrain, ou rempars, efpais de quatre ou cinq pieds, diftans l'un de l'autre de quinze ou vingt pieds, lefquels aucuns veulent efre ioints à la hauteur du Cordó les uns aux autres par des voutes, ou arceaux, comme les marquez 5. On les fait de formes diuerfes, come on voit aux Figures 1.2.3.4.5.6.7.8.

Pág. 93.

Además, se advierte que detrás de las murallas hacia la Plaza, debe haber Timpanos, o Contrafuertes, que avanzan siete u ocho pies dentro del terreno, o terraplenes, con espesor de cuatro o cinco pies, distantes los unos de los otros de quince a veinte pies, los que nadie debilitará estando juntos a la altura del cordón los unos de los otros por bóvedas o arcos, como los marca el 5. Se hacen de formas diversas, como vemos en las figuras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.

Ver [Lámina XXIV](#).

Concluye el capítulo haciendo algunas consideraciones generales sobre la construcción de murallas; reitera la importancia de los terrenos gruesos para los fundamentos y recomienda el uso del ladrillo en virtud de los efectos ante el impacto de las balas de cañón. Explica gráficamente el proceso para construir el talud de las murallas y recomienda empotrar en el terreno tierra los contrafuertes.

Temas como el de las bóvedas, las cisternas o las puertas de acceso no aparecen mencionadas en su libro.

3.1.3. Mallet: suelos y cimientos

Según BIRAL-MANNO (1985), Alain Manesson Mallet (París 1630-1706), autor de *Les travaux de Mars ou l'Art de la Guerre* (París, 1672) fue matemático de la corte de Luis XVI; trabajó en Portugal al servicio de Alfonso IV y del príncipe regente Pietro II, como ingeniero y sargento mayor de artillería; habría proyectado y dirigido la construcción de varias fortificaciones en Portugal y España. De su pluma se conocen otras obras: *Description de l'Univers...* (París, 1683) y *La Geometrie pratique* (París, 1702).

El tratado está repartido en dos tomos (en la Biblioteca de Cataluña solo existe un ejemplar del segundo); el tomo I consta de dos libros cuyo contenido hemos encontrado explicado en el prefacio del Libro 3º que ocupa el tomo II). El Libro 1º contiene un tratado de geometría que el autor considera útil a la fortificación, enseñando la construcción gráfica-geométrica de plazas regulares e irregulares tanto en el papel como sobre el terreno; además explica la manera de levantar planos y algunos métodos de perspectiva.

El Libro 2º trata del *Cálculo de sus líneas* (de las líneas de la fortificación), que abarca el trazado de flancos, caballeros y casamatas, explicando las teorías de autores precedentes, empezando por Errard y concluyendo con el conde Pagan.

El Libro 3º ocupa por completo el segundo tomo y está dividido en nueve capítulos: el capítulo I explica los cambios y progresos acontecidos durante los últimos años en la estrategia y la estructura militar; el capítulo II trata de los instrumentos y materiales empleados en la construcción de los recintos; el capítulo III está dedicado a aspectos constructivos, ya que incluye el tema de los movimientos de tierra y la construcción de murallas; el capítulo IV vuelve a tocar aspectos militares tales como la importancia de los almacenes, la pólvora y la artillería; los capítulos V, VI, VII, VIII y IX entran temas relacionados con el ataque y la defensa de las plazas, instrumentos usados, conducta de las tropas, campamentos y formas de rendición.

Es un texto que tiene un carácter didáctico, de pequeño formato y por cada página escrita incluye otra con un gráfico que acompaña e ilustra la explicación. El tomo II consta de 272 páginas con una media de 35 líneas y 1995 caracteres por página, para un total de 172 U.P.

Los contenidos explícitos de construcción están contenidos en los capítulos II y III del tercer libro. Su extensión total alcanza las 21,5 U.P. (un 12,5% del total del segundo tomo). El capítulo II contiene 5 subtítulos. En el primero hace una explicación del contenido general del capítulo; en el segundo, describe las diferentes tipos de palas que se emplean en las

labores de excavación y que varían de acuerdo a la dureza del terreno; en el tercero, enumera y dibuja los instrumentos que sirven para transportar tierras y piedras: carretilla de mano, canastas, carros de tracción animal, hamacas; en el cuarto, y de manera muy didáctica ya que se acompaña de un gráfico donde aparece un corte en perspectiva del terreno, se explican los tipos de suelos que aparecen de acuerdo a la profundidad del estrato (*Lámina XXV*).

En el primer nivel (A) *Bonne Terre, parce que c'est celle qu'on cultive* (con espesor de 18 a 20 pulgadas); luego (B) *Terre Blanche* (5 a 6 pies); (C) *Cailloüage Blanc* (gravilloso, de 2 pies); (D) *Delits de Sable*; (E) *Terre-grasse ou Marne* (3 pies de altura); (F) *Delits de Pierre* (15 pulgadas de altura); (G) *Bancs de Marne fort dure*; (H) *le Gros Cailloüage* (8 a 9 pies de altura); y (I) *Roca*.

En el quinto subtítulo expone los tipos de arenas: *mafles* y *femelles*. Prefiere las primeras (que se distinguen de las segundas por ser de color fuerte) para construir en lugares húmedos o expuestos a la acción de las aguas; en cuanto a su origen, escoge la de río por no ser demasiado gruesa ni demasiado menuda y para seleccionarlas al tacto:

Le bon sable se connoist facilement, lors qu'il est mouillé, & qu'il ne s'attache point aux mains; cars alors c'est figne qu'il est bon; le pire est celuy qui devient bourbeux quand on le met dans l'Eau.

Pág. 60.

La buena arena se conoce fácilmente, la que es húmeda, y la que no se pega a las manos; aunque a veces es fina y ella es buena; la pirita es aquella que emite burbujas cuando la metemos en el agua.

El capítulo III tiene intenciones de lograr un mayor alcance a través de sus 16 subtítulos:

Ce chapitre fait une des plus difficiles parties de l'Architecture Civile & comme son sujet est fort utile aux Intendants & aux Ingenieurs, qui sont travailler aux Fortifications des Places, tant pour connoistre la quantité des Terres, qu'il faut vuidier dans les Fondations, que pour sçavoir le nombre & la quantité des Materiaux, qu'il faut avoir pour elever les ramparts, Parapets, & Murailles ou Chemises des Places ...

Pág. 61.

Este capítulo corresponde a una de las partes más difíciles de la Arquitectura Civil, siendo también muy útil a los Intendentes e Ingenieros que trabajan en la fortificación de las Plazas, tanto para conocer la cantidad de tierras que sacará al hacer las fundaciones, como para saber el número y la cantidad de materiales necesarios para elevar los terraplenes, Parapetos, y Murallas o Camisas de las Plazas ...

La exposición es ordenada y mantiene la secuencia de los procesos de puesta en obra. Comienza con una tabla que incluye las secciones y diferentes dimensiones de los recintos, parapetos y fosos de las villas (págs. 62 y 63) y prosigue con la manera de hacer los fundamentos:

Premierement, il faut sçavoir, si la Terre a desja esté autrefois remuée ou transportée de quelqu'autre lieu; car si elle l'avoit esté, on n'aprofondira point dedans, fans estayer les deux costez du Fondement, avec des planches

& fortes pieces de Bois longues de la longueur du Fondement, a fin d'empêcher que les Terres ne s'eboulent ...

Pág. 64 y gráfico pág. 65.

Primero, hay que saber si la Tierra ha sido removida o transportada de otro lugar, y si ello ha ocurrido no se excavará adentro, sujetando los dos lados del fundamento con planchas y sólidas piezas de madera a lo largo, a fin de evitar que las tierras no se desprendan ...

Después de hablar del transporte y conducción de la tierra obtenida en la excavación, describe la manera de hacer los fundamentos del recinto y de otras obras en lugares húmedos. Para ello trata de los pilotes (*Lámina XXVI*):

- Su naturaleza: constitución material y dimensiones.
- La forma en que se deben hincar con ayuda de un martinete sobre andamios y con ayuda de aparejos.
- La forma de unir las cabezas de los pilotes hincados.

Antes de hablar de la construcción de las murallas, expone los términos usados en el corte de la piedra (nombre de las caras) y recomienda su colocación en los ángulos de los bastiones y en la línea media de las cortinas (*Lámina XXVII*). En el subtítulo *Du bastiment ou elevation des murailles de Pierre de taille*, explica la forma de dar al talud mediante el uso de reglas y escuadras la proporción de la inclinación que no admite variaciones: 5 a 1. A continuación habla de las garitas, rastrillos, cuerpos de guardia, puentes levadizos, básculas y otras barreras, pero se limita a exponer los materiales de que pueden construirse, las dimensiones más usuales, y la forma y la posición que ocupan en la fortaleza.

Un aspecto que empieza a hacerse más frecuente en los tratados a medida que nos acercamos al siglo XVIII es la necesidad de explorar otros materiales y otras formas de construir las murallas. El efecto cada vez más desbastador de la artillería y la urgencia de construir en plazos muy limitados de tiempo, obligaron a los tratadistas a sugerir nuevas alternativas. Manesson Mallet no es ajeno a ello y dedica un apartado a plantear la construcción de *Chemises de Gazon et Facines des Places*. El término *muralla* es reemplazado por el término *camisa*, para denotar la función que ellas tienen de contener el empuje de los terraplenes.

Les Chemises des Places, ou les Murailles qui servent naturellement à empêcher que la Terre du rempart qui s'eboule ne comble le Fosse; mais lors qu'on fortifie des lieux, ou la Pierre est rare, & qu'on est obligé de se servir de Gazon ou de facines, on les sera comme il s'enfuit.

Pág. 78.

Las Camisas de las Plazas, o las Murallas sirven naturalmente para evitar que la Tierra que se derrumba cubra el foso; pero quienes fortifican en lugares donde la piedra es rara, están obligados a usar Tepes o Faginas, lo que les será muy útil.

Los tepes han de ser de una tierra arenosa, con hierbas, largos un pie y medio y cortados de manera que tengan una figura piramidal dejando la cara recta formar el paramento y enterrando la punta en el terraplén. Y si el terreno no brinda tepes, el uso de faginas permite

asegurar la ligazón que se busca (*Lámina XXVIII*). Un último aspecto tocante al conocimiento constructivo, es el de la composición del mortero:

Le Mortier se fait en diverses manieres: Mais voicy la meilleure & celle que j'ay pratiqué le plus. Lorsque la Chaux sortoit du Four, & estoit encore toute chaude, nous la faifions couvrir de Sable, y mettant 3 Broüettes de Sable contre une de Chaux ... La veritable Eau pour faire le bon Mortier, doit estre de Puits, Rivieres, ou Fontaines, celle de Marets n'est pas si bonne, car pour celle de la Mer, elle n'y vaut rien, tenent tousjours le Mortier humide, à cause de son acrimonie.

Pág. 80.

El Mortero se hace de diversas maneras. Pero la mejor es la que más he practicado. Cuando la Cal sale del horno, y está todavía caliente, la hacemos cubrir de arena y vertemos en ella 3 carretadas de arena por una de cal ... Verdaderamente la mejor de las aguas para hacer un buen mortero debe ser de pozos, riveras o fuentes, la de los charcos no es buena, aunque peor es la del mar, ella no sirve de nada, pues conserva el mortero húmedo a causa de su acrimonia.

Los últimos subtítulos contienen una explicación acerca de la unidad de medida empleada, la toesa, para entrar a tratar de la forma de cubicar los volúmenes de construcción. Con los perfiles de las obras exteriores, de los fuertes de campaña, un breve discurso acerca de la economía en los trabajos y una relación de la importancia de los almacenes, se cierra el capítulo.

3.1.4. Marolois: ¿tepes o cantería?

La búsqueda de datos sobre la obra de Samuel Marolois trae algunas dificultades, en especial para determinar cuál título es original, cuál se trata de comentarios a obras de otros autores, e inclusive, cuál trata propiamente el tema de la fortificación. En el trabajo monográfico de BIRAL (1985) se referencia la primera edición de esta obra de Marolois como publicada en francés: *Opera mathematica, ou Oeuvres mathématiques traictans de géométrie, perspective, architecture et fortification....* (Hagae-Comitis, ex officina Hondii, 1614-1616), la cual se subdivide en tres partes:

- *Geometrie, contenant la theorie et pratique d'icelle necessarie a la fortification...* (1616).
- *Perspective contenant la theorie et pratique d'icelle...* (1614).
- *Fortification, ou Architecture militaire, tant offensive que defensiva; Suputte et designee par Samuel Marolois...* (1615).

El ejemplar consultado en la Biblioteca de Cataluña correspondería entonces a una posterior edición en latín. La misma consta de 5 libros, donde los temas fundamentales no han variado en las dos ediciones: geometría, perspectiva y fortificación. La metodología es también la misma a lo largo de la obra: las ilustraciones son explicadas por el texto y éste parece estar al servicio de las primeras.

La geometría se subdivide para Marolois en longimetría, planimetría y estereotomía; y a la perspectiva, tratada extensa y detalladamente la considera como instrumento al servicio del

ingeniero, a fin de representar de manera real los objetos sobre una superficie plana. En cuanto a la fortificación, contenida en los libros IV y V, Marolois recoge ideas de los autores italianos que le precedieron. Su exposición se apoya en el conocimiento de la geometría y trata de explicar la mayor variedad de casos posibles. Su propuesta se reconoce por conservar ángulos rectos entre los baluartes y la cortina con revellines defendiendo a esta última. No falta el empleo de la trigonometría para calcular dimensiones y ángulos de las partes de la fortificación.

Ambos libros, primera y segunda parte de un mismo tema, suman un total de 95 U.P., repartidas equitativamente.

El libro IV se inicia con las definiciones propias de la fortificación, tanto en planta como en alzada (*ictrographia* y *ortographia*). Explica con detalle las líneas que constituyen el trazado de la fortaleza y el conjunto de las construcciones de que ellas constan. El libro V, aunque dedica 2 U.P. al tema de las cimentaciones, trata fundamentalmente de la batalla, las armas, la disposición de edificios al interior de las fortalezas, empalizadas, minas y cañones.

Cimientos y muros en la obra de Marolois:

Dos son los temas que relacionados con la construcción material de las fortificaciones, requieren una dedicación de Marolois, dedicación mínima (4 U.P.) en relación con el total de su tratado de arquitectura militar (95 U.P.): los muros y las cimentaciones.

Su particular teoría de los muros se acompaña de la ilustración 2e.17/F (*Lámina XXIX*). A través de ella se intentan explicar dos aspectos: la determinación de los volúmenes de obra y la construcción con tepes y faginas. Para lo primero se vale de las longitudes de las murallas, multiplicadas por el área de su sección; ilustra el caso con los ejemplos K y H relacionados con la planta G.

Para lo segundo, da cuenta de aquello en que consiste el tepe (*gaçon o césped*), su geometría, dimensiones y colocación en la muralla (dibujos D, E y F). Es importante retener el gráfico que lo explica para así contrastarlo con las explicaciones que sobre lo mismo se encuentran posteriormente, en especial en Josep Zaragoza (1675) y Vicente Tosca (1712). Las faginas se ilustran con las láminas A, B y C, constituidas por atados de ramas y que yuxtapuestas sirven para hacer los terraplenes.

Las cortinas se hacen de piedra o ladrillo, y requieren de contrafuertes unidos entre sí mediante arcos; la ilustración que soporta el texto (figuras 108 y 110 de la *Lámina XXX*) tiene claros orígenes en el tratado de Maggi - Castriotto de 1564 (folio 69), y será fielmente copiada por Fournier en su tratado de 1649. Las ilustraciones 105 y 109 representan la cimentación por pilotes, y la 106 representa claramente gaviones de escollera atados con cuerdas y estacas delante de una muralla expuesta a los ataques de mar.

Para el conocimiento constructivo, la obra de Marolois constituye un auténtico “puente” entre las ideas de los tratadistas italianos del siglo XVI y el enorme volumen de obras de fortificación que se publicarán a lo largo del siglo XVII, y en las que las citas a las ideas de

Marolois constituirán un lugar común para la mayoría de autores, en especial franceses y españoles (recordemos que la primera edición, en francés, está fechada en 1614-16).

3.1.5. *Fritach: las herramientas de la construcción*

Fritach es autor de *L'Architecture Militaire ou la Fortification Nouvelle ...*; la edición príncipe es de Leyden, 1631: *Architectura militaris Nova et aucta, oder Neue vermehrte Fortification, von Regular Vestugen, von Irregular Vestugen und Aussen wercken...*, aunque podría existir una edición previa⁵¹. En la portada del ejemplar consultada se afirma que esta edición está ampliada y enriquecida incluyendo “fortalezas regulares e irregulares y de las obras exteriores, todo llevado a la práctica moderna”. Traducida al francés y publicada en 1635, tuvo reediciones en 1640, 1642, 1655, 1657, 1668, 1735 y 1737; se conoce también una edición en alemán de 1665. Aunque no tuvo traducción castellana, fue bien conocida en la península: Diego Enríquez de Villegas (1651) precisa “*que no hizo más que copiar a Fritach*”⁵². Adam Fritach se autodefine “Mathematicien” (matemático) en la portada de su libro.

Dividido en tres libros, consta de 179 páginas (57 líneas y 91 caracteres) que hacen 295 U.P. El Libro I (sin título, dividido en 20 capítulos) está básicamente dedicado a tratar de las definiciones de las partes de la fortificación, explicando las tablas que él propone para el dimensionamiento de ellas. El capítulo 1 trata del origen y los cambios producidos en la arquitectura militar; el capítulo 2 explica las consideraciones más importantes a tener: posición (emplazamiento) y geometría, para enumerar en el siguiente los términos más comunes tanto en francés, alemán y flamenco, como en latín. Los capítulos 4, 5, 6, 7 y 8 se consagran al trazado en planta de la fortaleza, para lo cual apela al uso de tablas propias que determinan los ángulos que hacen los baluartes con las cortinas frente a distintas magnitudes y variaciones de la delineación. El capítulo 9 lo hace con los elementos en alzado y sección, explicando algunas propiedades de las murallas: pendiente, altura, espesor del perfil y materiales. Los 5 capítulos siguientes explican las particularidades de algunos elementos tales como el foso, el terraplén, la falsabraga, calles, puertas, puentes, casas de habitación, “y otras partes”. Los últimos 6 capítulos buscan “ordenar y poner en obra” en el sitio, las figuras geométricas del trazado, tanto regulares como irregulares.

El Libro II (dividido en 16 capítulos), trata de las obras exteriores: principalmente de los revellines, pero también de las media-lunas, tenazas, coronas y traversas (capítulos 1 al 8). Las explicaciones de los capítulos posteriores buscan explicar varios casos que se pueden presentar: lugares con sus líneas fáciles de ser fortificadas, con líneas curvadas hacia el interior, rodeados de antiguas murallas y terraplenes, plazas junto al agua, plazas bajas y presencia de los castillos en las villas. El Libro III (dividido en 19 capítulos), trata de la práctica ofensiva y defensiva. Explica la división del ejército, las trincheras, tipos de reductos, baterías y sus perfiles, aproximaciones de ataque, galerías, minas, contraminas, empalizadas, y en general obras menores y pasajeras que se realizaban durante el asedio de las plazas.

En la portada de su libro hay dos figuras sobre sendos pedestales; el primero con la leyenda “Labore” se acompaña de diversas herramientas manuales (carretilla, pala, barra, azadón), en tanto que el segundo, con la leyenda “Industria” lo hace de instrumentos matemáticos

(compás, transportador, escuadra). ¿Nos encontramos ante una clara diferenciación de saberes teóricos y saberes prácticos? Una revisión minuciosa de la tabla de contenidos de la obra de Fritach permite darnos cuenta de que ninguno de los capítulos de los tres libros está dedicado de manera explícita a la construcción de fortificaciones, con la excepción del número IX del primer libro: *De l'appareil et construction des Profils, Esleuement, Hauteur, et Epaisseur du rempart, avec toutes les pieces y appartenentes*. Tiene una extensión de 7 páginas que hacen 11,5 U.P. Empieza este capítulo con una descripción minuciosa de las murallas (*remparts*)⁵³, determinando su altura en función del número de ángulos de la fortificación:

La hauteur ordinaire de 15 à 18 pieds est trouvée suffisante en pratique. Quelques uns donnent une hauteur particuliere à chaque figure:: nostre proportion sera la suivante en une figure de:

IV. V. VI. VII. VIII. IX. X.

Angles

12. 14. 15. 16. 18. 18. 18. 18. Pieds

Pág. 26.

La altura ordinaria de 15 a 18 pies se considera suficiente en la práctica. Algunos nos dan una altura particular a cada figura; nuestra proporción será la siguiente en una figura de: ... ángulos pies.

Fritach defiende aquí unas reglas de proporción para determinar la altura de las murallas, y de igual manera determinará su espesor en la base (54, 60, 66, 72, 78, 84 y 84 pies, respectivamente). En tanto que en los tratados de arquitectura civil, los órdenes son los encargados de asegurar el guardar leyes de proporcionalidad, en los tratados de fortificación -que no incluyen para nada la teoría de los órdenes- las proporciones que garanticen la estabilidad se expresan mediante tablas con dimensiones muy restrictivas.

Sobre el talud, afirma que no ha sido posible hacerse igual ante la diversidad de opiniones de los ingenieros: algunos lo hacen dándole a la base la mitad de la altura de la muralla, otros 2/3 de la misma e inclusive algunos, un ancho igual a su altura. Pese a todo, deja claro que es el tipo del suelo el que a la larga facilita la decisión. Ilustra con la figura 27 de la plancha E un instrumento, que denominado *Harpe* (en virtud de su forma similar a un arpa), sirve para calcular y determinar las pendientes de superficies inclinadas; explica detenidamente su uso ([Lámina XXXI](#)).

También explica el uso de los tepes, y he aquí un aspecto importante: esta definición que parece ser la más correcta, aparecerá en tratados posteriores, y en algunos, como los de los sacerdotes Fournier y Tosca, se producirán deformaciones que harán difícil su comprensión. Leamos la definición de Fritach que además ilustra con la figura 28 de la plancha E ([Lámina XXXI](#)):

Les gazons sont des pieces quarrées d'une terre bone et ferme, meslée de l'herbe qui y a creu. Leur longueur est de 14 ou 15 poulces, l'espaisseur de 4 ou 5 poulces, & la largeur d'un demy pied. Ils se diminuent peu à peu par derriere, en perdant un peu de leur espaisseur ou grosseur, & ce afin que la terre du rempart se ioigne bien & fermement avec les gazons, comme se verra en la 26 figure.

Pág. 27.

Los tepes son dos piezas cuadrilongas de una tierra buena y firme, mezclada y atravesada de hierba. Su longitud es de 15 o 15 pulgadas, el espesor de 4 o 5 pulgadas, y el ancho de medio pie. Ellos disminuyen un poco por detrás, perdiendo algo de su espesor o grosor, para que la tierra del terraplén se junte bien y firmemente con los tepes, como se vera en la figura 26.

Citando a Speckle y otros *practicantes modernos*, explica el uso de faginas y salchichones de manera similar a los tepes, así como el uso de rampas de madera sobre andamios para transportar la tierra hacia la parte alta del terraplén. Cuando entra en el tema de la construcción de cimientos en el agua o lugares muy pantanosos, cita el tratado de Ramelli (1588) para indicar al lector la importancia del uso de máquinas e ingenios que faciliten esta tarea, siendo al respecto su aporte personal bastante escaso:

Ayant donc ainsi espuisé l'eau, & trouvé un fond sec, ou fangeux, on en ofte aussi le sable, d'autant que dans l'eau il est trop foible pour le fondement; de mesme la fange n'y est point propre, pourtant il faut aussi after, & en apres y mettre le fondement pour le bastiment, qui se fait de bois ou de pierre, selon la qualité du fond.

Pág. 29.

Luego hay que extraer el agua, y encontrar un fondo seco, o fangoso, o incluso sobre arena, visto que el agua es muy mala para los fundamentos; tampoco el fango es apropiado, por lo que hay que hacer en este caso lo mismo, y luego construir los cimientos con buenas piedras, según la calidad del fondo.

En las últimas líneas del capítulo, Fritach trata de la importancia de las falsabragas y sus dimensiones y de las diferencias que se presentan en las unidades de medida (varas) en las naciones europeas.

En el último apartado (*Il doit avoir en la charpenterie qui s'ensuit*), que se acompaña de las figuras 60 a 72 de la plancha M (*Lámina XXXII*), hay una descripción minuciosa de las herramientas de mano que se usaban en las obras de fortificación. Se trata de una explicación reveladora sobre algo tan importante y a la vez que pasa tan desapercibido como componente del saber del oficio de la construcción: las figuras 60, 61, 62 y 63 ilustran tipos de palas. La primera se recomienda para la extracción de tepes; la segunda, un poco más larga, usada en lugares húmedos; la tercera, para trabajar en lugares estrechos como las trincheras; y la cuarta, una pala ordinaria, útil ante la tierra dura. La figura 68 corresponde a una barra, la 65 es un hacha, la 66 una pica (para romper *cosas duras y resistentes*), y la 67, un azadón. En la 68 se representa un martinete de uso manual. La número 69 es una podadora, para cortar las ramas para hacer las faginas; la 70 es una carreta de mano; la 71 sirve para levantar la punta de un cañón a diferentes alturas, y la 72 es un artificio para levantar grandes pesos.

Para Fritach, los materiales exigen unos instrumentos adecuados para optimizar su uso y su tratamiento; las herramientas condicionan también a los sistemas constructivos y de ahí su esfuerzo por codificar un saber que hasta ahora era propiedad exclusiva del saber artesanal.

3.2. *El caso español, entre artilleros y prácticos*

De los 37 tratados publicados en España durante el siglo XVII, si descontamos aquellos cinco escritos por Sebastián Fernández de Medrano, a quien le dedicaremos un apartado posterior, nos queda un repertorio del que sólo seis autores se destacan, bien porque sus conocimientos acerca de la construcción de fortificaciones empiezan a tener importancia relativa dentro de aquellos cuya preocupación principal es la artillería; bien porque la exposición de sus ideas alcanza unos niveles altos de orden y sistematicidad, o bien porque contienen propuestas innovadoras, aunque poco atendidas, concernientes al tema que nos ocupa.

En el primer conjunto encontramos dos libros, escrito uno por Cristóbal Lechuga, *Discurso del Capitán Cristóbal Lechuga, en que trata de la artillería ... Con un tratado de fortificación y otros advertimientos* (Milán, Marco Tulio Malatesta, 1611); y el otro firmado por Juan Santans y Tapia, *Tratado de fortificación, destes tiempos, breve e inteligible, puesto en uso en estos estados de Flandes* (Bruselas, Guillermo Scheybes, 1644). Son tratados que contienen recomendaciones importantes para quien se enfrenta al proceso constructivo de una fortificación, a diferencia de los publicados hacia la misma época por autores como Núñez de Velasco, *Diálogos de contención entre la ciencia y la milicia ...* (Valladolid, Juan Godinez, 1614) quien en un interminable discurso mezcla anécdotas personales, acontecimientos históricos y citas bíblicas; o como los escritos por Julio César Firrufino, *Plática manual y breve compendio de artillería* (Madrid, viuda de Alonso Marín, 1626) y *El perfecto artillero, Theoría y Práctica ...* (Madrid, Juan Martín de Barrio, 1648), consagrados exclusivamente a exponer los principios fundamentales de la artillería.

Entre los que se destacan por la claridad de su exposición y profundidad de sus contenidos, están los escritos por el mallorquino Vicente Mut, *Arquitectura Militar ...* (Mallorca, Francisco Oliver, 1664), y por Alonso de Cepeda y Adrada, *Epítome de la Fortificación Moderna ...* (Bruselas, Francisco Foppens, 1669), obra subvalorada por estudios recientes como el de LEÓN TELLO (1994) y que demuestra una mezcla de conocimientos empíricos y teóricos. Trabajos como el de Francisco Larrando, *Estoque de la Guerra y arte militar ...* (Barcelona, Thomas Lorient, 1699), son importantes más por su valor testimonial que por sus contenidos o su forma de exposición.

Los breves tratados de Juan Bayarte, *Contragalería, un nuevo aderente a la defensa del foso ...* (Madrid, sin imprenta, 1674), y de Theodoro Barbo, *Se vence el arte con el arte ...* (Sin lugar, sin fecha, 1680?), son los que contienen propuestas importantes a nivel formal y técnico respectivamente.

De poca o ninguna importancia para el desarrollo de los conocimientos técnicos son los textos de Diego Enríquez de Villegas, *Academia de fortificación de plazas ...* (Madrid, Alonso de Paredes, 1651), Francisco Dávila Orejón, *Política y mecánica militar ...* (Madrid, Julián de Paredes, 1669), Andrés Dávila Heredia, *Clavel geométrico ...* (Valencia, sin imprenta, 1669), *Plazas fortificadas en el Ducado que era de Lorena ...* (Sin lugar ni imprenta, 1672?), y *Descripción de las plazas de Picardía ...* (Madrid, sin imprenta, 1672), Pedro Opezinga, *Pensamientos militares ...* (Roma, por el Bernabó, 1670), Pedro Folch de Cardona, *Geometría militar ...* (Nápoles, Egidio Longo, 1671), y Josep Chafrión, *Plantas de las fortificaciones de*

las ciudades, plazas y castillos del estado de Milán ... (Sin lugar, sin imprenta, 1678?), A los tratados de Josep Zaragoza (1675), Baltasar Siscara (1675) y Diego Fernández de VillaReal (1649), así como al texto anónimo *Escuela de Palas*, les dedicaremos atención en apartados posteriores.

3.2.1. Los tratados de Cristóbal Lechuga y Juan Santans

Iniciemos nuestra exposición con la obra escrita por Cristóbal Lechuga. En el segundo de sus tratados impresos, *Discurso del Capitán Cristóbal Lechuga en que trata de la artillería y de todo lo necesario a ella, con un tratado de fortificación y otros advertimientos*, publicado en Milán en 1611, el autor introduce algunas explicaciones sobre la construcción de fortificaciones. Consta de 279 páginas equivalentes a 333 U.P., de las cuales 284 U.P. son de la primera parte, dedicada a la artillería; las 49 restantes conforman el breve tratado de fortificación que se incluye y en el que se encuentran los escasos pero muy claros contenidos de construcción que nos interesan.

La primera parte está dividida en 23 capítulos y se acompaña de unas ilustraciones muy cuidadas. En ellos, de manera sistemática y ordenada, el autor explica inicialmente las características de los cañones: su longitud, grosor y modo de alinearlos, pasando por los diferentes tipos: *cañón entero, medio y cuarto, culebrina entera, media y cuarta*; es interesante su relato acerca de la fundición de las piezas, morteros, petardos, arcabuces y mosquetes. Luego de tratar de los elementos accesorios (carros de transporte, cucharas de las piezas y pólvora), entra de lleno a opinar sobre lo que deben saber los artilleros para alcanzar sus objetivos.

La segunda parte *De fortificación y todas sus partes, con lo necesario a guardar y defender las fuerzas*, posee un capítulo único que trata en orden las siguientes materias: trazado del fuerte en la campaña; diferencia de los ángulos de las fortificaciones (desde la figura de cuatro hasta la de doce lados); pentágonos y baluartes; hexágonos; cosas importantes en el sitio de una plaza; y finalmente tres discursos, dos de ellos dirigidos al rey y el otro *a los Ingenieros*. Con estos temas el autor tiene un propósito bien claro:

Por fin del libro un discurso breve de fortificación, para que los Principes entiendan alguna cosa de sus partes, porque los ingenieros no los, puedan engañar en quanto a la manera de las nuevas fuerzas, ni hablar sin que los entiendan, advirtiendo que va con la brevedad que las demas cosas, por no ser mi deseo que principes lo sepan por especulativa, y que an de entender todos que las operaciones de ellas, las an de dejar à los Ingenieros, à quienes toca yrlas regulando con los maestros y obreros como officio suyo propio, porque de las líneas à las operaciones va à decir tanto, como querer comparar lo muerto à lo vivo, ò lo natural a lo pintado.

Pág. 5 de la advertencia al lector (sin numeración en el libro).

División clara entre teoría y práctica, entre saberes propios de *Ingenieros* y de *maestros y obreros*, con un símil bastante directo: *lo muerto a lo vivo, lo natural a lo pintado*. Lechuga escribe para la nobleza, para que *no sean engañados*, para dejar constancia de su propio saber que es a la vez síntesis y paradigma. En las páginas 243 y 244 aparecen alusiones a las murallas:

Deven también advertir los príncipes, que aviendo de hazer fuerças, primero vestirlas de ladrillo, ó piedra las hagan de tierra sola, dejandolas seis años y mas para que la tierra haga assiento, y no derrive la muralla, como sucede, por no mirar á esto, particularmente en los baluartes, donde siendo llenos, haziendo la tierra assiento, fuerza es que reviente por la parte mas flaca, como minas...

Pág. 243.

Se trata de advertencias, tal como el autor lo anticipa en los subtítulos; son repuestas a problemas que con seguridad eran comunes en la época y no una normativa acerca de la obra; no es un tratado para quien pretenda conocer de la construcción de fortificaciones sino para quien ya sabe y completa sus conocimientos. Líneas abajo escribe:

Que lavrando la muralla de piedra y ladrillo, se vayan dejando en ella algunos escoladores, à la parte de dentro, que recivan el agua y humedad del terraplano, y que estos den en otro maestro, que tenga salida donde pareciere. Ò à canal hecho dentro por lo baxo, para escusar la muralla, que no padeza, haziendo lo uno y lo otro en la tercera parte de la grosseza del muro, à la parte de dentro, para que las dos de afuera queden maciças.

Pág. 244.

Se destaca en este autor la imagen integral de la fortificación, imagen que no descuida aquello que no se ve exteriormente pero que contribuye a la estabilidad del conjunto:

Que suelen hazerse los fundamentos solos, al principio de las fuerzas, de piedra ò ladrillo, y lo demás de tierra, hasta que à hecho assiento, y que contrafortes, ò estrivos, se han de hazer a un tiempo travandolos con la muralla, y no de por si, porque la fuerza sea unida y que la tierra vezina à las murallas se à de batir con pistones como tapia.

Pág. 244.

Por su parte, el tratado de Juan Santans y Tapia, *Tratado de fortificación militar, destes tiempos, breve e inteligible, puesto en uso en estos estados de Flandes*, aparecido en 1644, consta de 307 páginas equivalentes a 117 U.P., además de 47 láminas que ilustran las explicaciones textuales. Se trata de un discurso único que guarda el siguiente orden temático: geometría, aritmética, trazado geométrico de plazas fortificadas, construcción material de fortificaciones, y tipos de fuertes incluyendo la explicación de sus partes y posibilidades geométricas.

Es un tratado escrito también por alguien entrenado en la artillería, pero que además demuestra un conocimiento claro de autores clásicos; así por ejemplo, cuando hace una declaración de los instrumentos y herramientas usados en la construcción, copia tanto las definiciones como las ilustraciones del libro de Fritach (1630). Contiene noticias de la guerra en Flandes y datos autobiográficos. Tres son los aspectos a los que el autor dedica una detallada explicación: las *Diferencias de materiales para las fortificaciones* (página 87), *Del modo que se deve fabricar con cada genero de materiales* (página 89), y la *Declaracion de los instrumentos ... necesarios para las obras de fortificación* (página 229). Su explicación acerca de la construcción de murallas parte de la valoración de los materiales:

La de tierra se husa mas, tienese por la mejor, y mas fuerte contra la artilleria, y de menos costa. La de ladrillo i cal despues de la de tierra, y la de piedra en tercer lugar ...

Pág. 87.

Luego, aclara la manera en que el material condiciona no sólo los procesos, sino la forma de la muralla:

Si se fabrica de piedra, se dara poco escarpado, á razón de uno por 7 de altura.

La cal se deve conocer su calidad, porque una sufre mas mezcla que otra, y la de arena que mientras mas seca y suelta es peor, y no fragua con la cal, à que se deve atender mucho ...

Pág. 89.

Cuando finalmente recomienda la construcción de murallas en piedra, incluye la explicación de detalles muy precisos que demuestran su formación práctica:

Las piedras que se plantaren à la parte exterior de la muralla, han de ser largas y angostas, que entren bien à dentro, porque la artillería del enemigo no la haga tanta bateria, como lo haria si entrara poco, que mas importa que vaya fuerte, que muy galano, si bien puede ser uno y otro ... En medio de la muralla se deve meter ripio, que son piedras chicas mezcladas con mucha cal bien acuñadas, y las de sillería bien asentadas, que es mucha parte de seguridad de la obra ... También al plantar las primeras piedras del fundamento de la obra en el orizonte, sea de hazer una caja aunque se pique en piedraviva, donde haga chapin la obra, y desta manera sera eterna ...

Págs. 90-91.

En ambos tratados, los de Lechuga y Santans, publicados con 33 años de diferencia, los principios constructivos guardan una gran similitud, con unos conocimientos que se nutren de la práctica. Pero si Lechuga escribe para que la nobleza se libre del engaño de los Ingenieros, aquellos nuevos profesionales que se ponen al servicio de los intereses de los estados, en Santans se percibe cierto afán por involucrar el orden geométrico y matemático dentro de la génesis de la traza de los proyectos de fortificación; en él hay una búsqueda por codificar aquello que sabe, por ponerlo en palabras, por involucrar detalles, trucos, pequeñas mañas (*donde haga chapin la obra ...*); copia de Fritach su descripción de las herramientas de mano, se expresa a través de tímidos principios, que van más allá del simple relato de sus experiencias.

3.2.2. El conocimiento “científico” de Vicente Mut y el saber práctico de Alonso de Cepeda y Francisco Larrando

A Vicente Mut, autor de *Arquitectura Militar. Primera parte. De las fortificaciones regulares y irregulares ...*, publicado en 1664, se le conoce ante todo como un astrónomo y hombre de ciencia de su época⁵⁴; formado con los jesuitas, trabajó como contador e ingeniero, llegando a ser considerado como cronista general del Reino de Mallorca. Este tratado consta de un libro único dividido en 39 capítulos, con una extensión de 158 páginas que se acompañan

de tres láminas (la extensión equivalente es de 95 U.P.). Aunque no existe una división explícita en todo el libro, en virtud de la lectura de su tabla de contenidos y la revisión de los mismos, es posible advertir la presencia de los siguiente bloques temáticos.

Primero: los capítulos 1 al 3 sirven de introducción general, donde se explican las conveniencias de la nueva forma de fortificar, respecto a la antigua; para ello se detiene en la explicación de los términos, sus dimensiones fijas y la forma de dividir los lados en las figuras poligonales. Entre los capítulos 4 y 13 explica los métodos para determinar los ángulos de un baluarte, así como sus lados y elementos característicos: gola, traveses, frentes, cortinas y casamatas.

Segundo: a partir del capítulo 14, el objetivo del autor es hacer una explicación detallada del proceso de construcción gráfica de una fortificación; para ello da cuenta de la delineación de fortificaciones regulares, así como del cálculo del área y capacidad de una plaza. Incluye también la forma de trabajar a diferentes escalas gráficas.

Tercero: el capítulo 19 se titula *Ejecución práctica de fortificaciones sobre el terreno*, a partir del cual se introduce en algunos aspectos constructivos, en especial de murallas y terraplenes, hablando también de los parapetos, el foso y las puertas. Termina en el capítulo 20 con una explicación de la forma de determinar los volúmenes de los cuerpos sólidos.

Cuarto: entre los capítulos 29 y 33 expone la importancia y tipologías de obras exteriores (revellín, medialuna, hornabeque, cortaduras, ...).

Quinto: entre los capítulos 34 y 37 expone los principios de la fortificación irregular. En el 38 habla de las diferencias notorias entre las fortificaciones de nueva planta y las que se adaptan a una construcción ya existente. Finalmente, en el capítulo 39 hace una recopilación general, incluyendo los axiomas más importantes de la fortificación irregular.

Las aportaciones hechas por Mut al conocimiento constructivo no se caracterizan por ser novedosas, aunque sí sean bien explicadas y merezcan incluso una reflexión de su parte. Sin lugar a dudas, estamos ante un magnífico trabajo de recopilación de su tiempo, donde es evidente la influencia de tratadistas tales como Marolois y Döghen, además de que expone su conocimiento de la obra de Stevin, De Ville y Fritach.

En los capítulos 23 y 24 hay referencias precisas sobre murallas y terraplenes. A las murallas las define de la siguiente manera:

... es la parte exterior que sostiene el terraplano. En las fortificaciones de Tierra no ay otras circunstancias particulares, que las de aver de tener mucha Escarpa, como casi la mitad de la altura; y de que la cara exterior sea mejor trabaxada, para que pueda expeler las lluvias ...

Pág. 90.

Contempla la necesidad de construir las contraminas a lo largo de toda la muralla, no sólo como un recurso de la defensa del recinto, sino como *un respiradero para purgar el ayre*. Explica una de las discusiones más interesantes de su época alrededor del tema de las murallas:

No falta quien alaba la mucha Escarpa en las Murallas de qualquier materia que sean: diziendo que tienen la ventaxa de recibir los tiros con obliquidad en su pendiente; que son dificiles a las escaladas, y que hazen mas dificultosas las ruinas. Pero estas razones no son mas que sutilezas, porque antes bien la mucha Escarpa detiene las ruinas, y las dispone para la subida; disminuye la Plaza, y estorva la Defensa ...

Pág. 90.

Al concebir a la muralla como un sistema compuesto de terraplén y camisa, contempla las distintas posibilidades materiales: piedra, ladrillo, tepes y tierra con faginas, pero con una premisa importante:

Aunque este Capitulo ha de concluir, que la materia de las Fortificaciones ha de ser la que mejor diere el País, todavía se puede reduzir a tres modos. El uno de tierra con Muralla de ladrillo, ò Piedra. El segundo, de tierra con cara, ò crosta de tepes, y el tercero mas comun de tierra y faxina.

Pág. 94.

La descripción de los procesos constructivos en cada uno de los casos es detallada. Para el primer caso, cuando la camisa es de piedra o ladrillo, el terraplén ha de levantarse con algunos meses de anticipación, a fin de que la tierra se compacte y no produzca empujes por deformación a la fábrica; tal compactación se hace mejor colocando la tierra por capas que se mojan y se apisonan, por lo menos hasta los dos tercios de su altura. En caso de usar piedras para el recubrimiento, esta ha de ser blanda, para minimizar los efectos que sufre ante la bala del cañón enemigo. Si la muralla es de tepes, estos deben ser de tierra gruesa, cortados en forma de cuña y colocados alternadamente (a la manera de un *opus incertum* romano). Resalta la propiedad más importante de los tepes, que es su posibilidad de unión mediante las raíces de las hierbas que posee:

Algunos modernos ya desconfian de la union de tepes; y assi como van levantando el Terraplano, le viste de tierra muy pingue bien apissonada; echa agua sobr su cara exterior, y quando está muy humedecida, esparzen mucha semilla de qualquier yerva, ò gramen; y luego allanan toda la superficie de aquella tierra, que desta suerte encrostada, queda mas unida

...

Pág. 96.

No se detiene mucho en el tercer caso, cuando la muralla es de tierra y faginas, pero a cambio, introduce una variante que seguramente conocía bien: la construcción con tapial, *para cuya fabrica se tienen moldes de tablas que dizen tapiales ...* El tema de las cimentaciones queda expresamente apartado, y remite al interesado a autores como Ramelli o Alberti, *porque es parte mas propia de la Arquitectura Civil ...* Las preocupaciones de Mut no son ajenas a los factores vinculados con el rendimiento, los costes, y las formas de contratación de la obra:

El assunto deste capítulo (el XXVIII) aunque es solo curiosidad, pero es muy util, assi para saber la tierra que se ha de sacar del Fosso para los terraplenes, como tambien para tantear el gasto, y mas si la Fabrica se ha de dar a destajo ...

Pág. 111.

Por último, es de destacar la valoración que hace Mut de las construcciones antiguas, cuya conservación considera útil:

Grande es el error de algunos Ingenieros, que haziendo alguna nueva Fortificación, derrivan ò cortan las murallas viexas, cegando sus Fossos. Porque la Fortificación antigua, aunque solo sea de Casamuro, puede en la Ocasion servir de Retirada, y de segunda Circunvalació. Y tengo por menos inconveniente hazer la Nueva algo Irregular, que demoler la Antigua.

Pág. 152.

Nos encontramos en este caso ante un autor, que aunque recoja muchas de las ideas ya expresadas en tratados precedentes, se muestra como un buen conocedor del tema y en especial de sus peculiaridades constructivas; mezcla además opiniones y sugerencias personales que enriquecen el texto y lo convierten sin duda en uno de los autores de fortificación destacados dentro del panorama español del siglo XVII, que tampoco es que se caracterice por la riqueza de sus aportaciones.

Alonso de Cepeda y Adrada escribe y publica en 1669, su *Éptome 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 y otros diversos tratados de la perspectiva, Geometria Practica, y del modo de sitiar y defender las Plazas ...* Dividido en un preludio y diez tratados, consta de un total de 390 páginas, equivalentes a 180 U.P.; es un trabajo que ha sido subvalorado por autores como ALMIRANTE (1876), quien dice que es *uno de tantos tratados de la época, sin interés ni novedad*; sin embargo, es a mi juicio, uno de los más importantes textos de fortificación españoles del siglo XVII. En esta obra se estudian algunos aspectos relacionados con la construcción material de fortificaciones, intercalando datos apoyados matemáticamente con observaciones prácticas.

El preludio se divide en 16 capítulos que tratan de la geometría euclidiana y tiene 7 más donde se explican los términos y partes de la fortificación. Es en el tratado cuarto, donde encontramos contenidos explícitos acerca de la construcción material de fortificaciones. Ocupa un 15,5% del total del libro, y se subdivide a su vez en once capítulos, cuyos temas son: *Del modo de trabajar en tierra, De los fundamentos que se deben hacer para las murallas de tierra, Del modo de trabajar en las Medias Lunas, Revellines, etc., De las empalizadas, Del modo de fabricar las murallas revestidas de ladrillo o piedras, De las contraminas, De las casamatas y su fábrica, De los cavalleros, De los puentes y puertas, De los cuarteles, y Del reconocimiento de una plaza.*

Es de nuestro interés inicial el relato sobre el modo de trabajar en tierra, proponiendo el uso de tepes en murallas y terraplenes, a la vez que describe detalladamente el proceso constructivo, aunque sin ilustrarlo. Recalca la importancia del talud en el terraplén de tepes *por raçon de que los tepes no se juntan, ny unen como la tierra, y paraque esta se conjunte fuertemente se humedece, para pisarla con pisones* (pág. 122). Más detalladas son sus explicaciones sobre los fundamentos, en el capítulo segundo, que no desvincula de la construcción misma de las murallas. Contempla las variantes en los tipos de suelos:

Si el terreno es pantanoso, se fijan alrededor de todo el designio lo mas juntos que se puede, unos estacones hechos de arbolillos enteros tan profundamente como fuera possible, pero de modo que queden fuera del

terreno, agua, ò pantano tres pies por lo menos de cabeça. Y luego se echan gran cantidad de faginas, ò haces de leña y salchichones, y se rellenan de piedras por dedentro, porque se vayan al fondo, si la situacion es de agua corriente. Y si es de fango y agua empantanada, se rellenan de tierra.

Pág. 123.

En cuanto a los pilotes, propone sean de *Alamo Blanco*, con longitudes cercanas a los 25 o 30 pies, ¡con edades de 4 a 5 años!; pero cuando no hubiesen árboles disponibles, propone hacer una base de faginas entrecruzadas y clavadas al piso, sobre las que se deposita tierra y piedras. Sobre las murallas empieza afirmando:

... levantando este fundamento ... comiençan à levantar la muralla, sea de tepes, de ladrillo, ò tierra, y se le da la anchura à proporcion de la altura.

Si la muralla fuese solo tierra batida, ò pisada, como las tapias de España, à cada pie de tierra se pondra una cama de faginas de sauces verdes ... y se pisará cada pie de tierra, de modo que se abaje quatro ò cinco pulgadas. Y para mejor la tierra se le echa un poco de agua, y sobre la parte exterior de cada cama de tierra, se va sembrando grama como se ha dicho, ò feno, ò habena ...

Pág. 124.

Una vez se acabe la muralla, esta ha de tener una pendiente hacia el interior, cubriéndose de tepes y vegetación. Pero cuando parece terminar con el tema de las murallas, vuelve a los fundamentos para afianzar su explicación, es decir, que entiende la complejidad del sistema constructivo y la enorme interrelación entre sus partes:

... para los muros de piedra, ò ladrillo se abren los fundamentos de cinco à 6 pies de hondo, y se pilotan con troços de roble, ò castaño, ò de olmo

...

Pág. 125.

El quinto capítulo versa sobre el modo de fabricar las murallas revestidas *de ladrillo, ò hechas de piedra*; considera al inicio de su explicación, la acción de los agentes atmosféricos sobre la edificación:

Las fortificaciones de tierra por buenas que sean y fuertes, el tiempo, las lluvias, el yelo, y el desyelo las arruyna y consume ...

Pág. 131.

Y es eso lo que justifica el que se recubran de ladrillo o piedra, revestimiento llamado *Camisa*, que tiene 13 pies de ancho en la parte inferior, levantándose con una pendiente en proporción de uno a cinco en su cara exterior, en tanto que se hace a plomo por la interior que da contra el terraplén. Además, contempla la construcción de contrafuertes, *unidos con bobedas, ò arcadas, paraque pueda resistir la muralla el peso de la tierra*. Remata su importancia así:

Y todos los buenos Arquitectos se valen de ellos en todas las murallas de piedra, ò revestidas de ladrillo.

Pág. 132.

Además, establece unas dimensiones muy precisas para el muro y sus fundamentos, los contrafuertes, y el parapeto. Para la construcción de los otros elementos de la fortificación, mantiene las mismas recomendaciones.

Si Mut es un recopilador de tratados antiguos que hace de su obra un listado de ideas y principios generales, Cepeda hace lo mismo pero con sus experiencias, para organizarlas a manera de tratado. Sus principios hacen parte de un conjunto de condicionamientos que ha de conocer el ingeniero: junto al trazado, a la determinación de áreas, al cálculo de volúmenes y a la manera de defender una plaza, Cepeda coloca el “saber construir”, para lo cual es necesario contar con un repertorio de soluciones adecuadas, con elementos de dimensiones establecidas (como los pilotes o los espesores de las murallas), con reglas generales; su concepción es más de conjunto que la que refleja el trabajo de Mut. Sin embargo en ninguno de los dos hay propuestas nuevas, falta la búsqueda, el cuestionamiento de lo dicho, de lo hecho, y esa es una condición importante también para medir los niveles de transformación del conocimiento.

El tratado de Francisco Larrando de Mauleón, *Estoque de la guerra y Arte Militar ...*, es una expresión un poco más tardía -fue impreso en 1699- del modelo adoptado por Cepeda. Dividido en ocho tratados, uno de ellos (el tercero) está consagrado a los aspectos propios de la construcción de murallas, cuyo proceso queda aquí perfectamente descrito. Como ya mencioné, este libro es importante por su valor testimonial, útil para entender la decisión de muchos arquitectos militares de edificar en piedra y no en tierra o tejes sus murallas:

... se vio este año pasado de 97 en el sitio de Barcelona, en el baluarte del Portal Nuevo, en la cara de la parte de San Pedro, que le dieron los franceses mas de 3000 cañonazos, y los mas con bala de 40 sin aver hecho estas mas operaciones que señalar donde davan, demoliendo no mas que un poco de polvo â la mesma cara de las muralla Tengo por cierto que los cañonaços que se dieron a dicha cara, antes de hazerle daño, si se huvieran dado a una de tierra, que no solo la huvieran desecho, sino hallanado gran parte de su terraplen ...

Pág. 145.

Critica fuertemente a las murallas hechas de tierra, que se deshacen con la humedad, y que por necesitar de una mayor pendiente en el terraplén, facilitan la subida de personas y animales. Para ello:

Todos esos inconvenientes se quitan con hazerlas de cal, y canto, o ladrillo, y se logra el tener una muralla fuerte, permanente, vistosa, y que causa mas respecto al enemigo que la de tierra.

Pág. 146.

Larrando, nombrado por Felipe V como *Ingeniero Director de su ejército, fortificaciones, castillos y plazas de armas*, dedica también buena parte de su libro al estudio de la aritmética, la geometría y las normas de conducta del personal militar.

3.2.3. Las propuestas de Juan Bayarte y Theodoro Barbo

El tratado de Juan Bayarte Calazans y Avalo, *Contragalería, un nuevo aderente a la defensa del foso*, publicado en 1674, es poco conocido. Se trata de un breve texto de 29 páginas (equivalentes a 11 U.P.), en un discurso único (no fragmentado) donde su autor expone la necesidad de una segunda línea de defensa de su invención que uniendo las contraguardias, constituye un primer obstáculo capaz de defender a las falsabragas y a las cortinas. Entre las ventajas que enumera están las siguientes:

- Impide la aproximación del enemigo a las cortinas.
- No disminuye el área efectiva de la plaza.
- Permite una mejor defensa del foso.
- Permite una mayor defensa de las caras de los baluartes.
- Se convierte en un obstáculo para la acción de los minadores.

Una de sus apreciaciones más interesantes la encontramos en las primeras páginas del libro:

El (arte) de la fortificación ha llegado al estado, en que parece que ha apurado los discursos, ò satisfecho los deseos, y assi se puede entender en todo lo esencial, hazelo evidente el aver cesado de escribirse, ni executarse cosa que pueda tenerse por nueva en la substancia, aunque se aya variado en el modo ...

Pág. 2.

Es una expresión del estado de saturación alcanzado por las distintas teorías de fortificación, a las que Bayarte busca complementar con esta propuesta, que si bien no involucra modificaciones en el sistema técnico, sí lo hace en el sistema geométrico del trazado en planta de las fortificaciones.

Mucho más audaz es sin lugar a dudas la propuesta que Theodoro Barbo expone en su tratado *Se vence el arte con el arte. Nueva fortificación del Conde D. Theodoro Barbó*; texto breve explicado a lo largo de 15 páginas y con la ayuda de tres ilustraciones (la extensión total equivalente es de 11,5 U.P.), cuyo tema central es un baluarte inventado por el autor, que busca resolver las discusiones entre quienes aprobaban una figura hueca y quienes la preferían maciza. Desde las primeras páginas, Barbo acentúa la importancia de la fortificación y el conocimiento de la geometría, poniéndoles por encima de los antiguos conceptos de valor, coraje y valentía; la geometría es ahora la depositaria de las posibilidades de triunfo en una batalla. El baluarte es la figura en la que el autor resume sus ideales, mostrándonos un trazado descontextualizado del conjunto fortificado, pero asumiendo sus peculiaridades constructivas. Sin duda, el texto de Barbo es de los primeros en los que una propuesta formal va acompañada de consideraciones técnicas relevantes.

Su propuesta se resume en un baluarte hueco en su mitad inferior y macizo en la superior (*Lámina XXXIII*). Para ello sugiere un sistema de pilares abajo, creando una “planta libre”, de tal manera que a la vez que se hace inmune a la acción de las contraminas (cuyo efecto destructor estaba dado por su profundidad), permite aberturas en todo el frente del muro para posicionar baterías de cañones:

... en cada doze palmos de muralla, tanto en la frente, quanto en los lados, y flancos, se pueden abrir tantas cañoneras, quantos son los vacios de un pilar a otro ...

Pág. 7.

Este conjunto de pilares, separados entre sí por distancias iguales, soportan las bóvedas que sirven de base para la parte maciza de la mitad superior. Entre muros continuos y paralelos, que forman una cuadrícula, se apisona la tierra:

... en el espacio de los dichos doze palmos entre la una muralla, y la otra contramuralla, se forme un terraplen de 32 palmos de grueso, y de tal genero, de tierra o betun, de invencion de la misma Arte, que se endurece como piedra ...

Pág. 12.

Barbo hace coincidir los ejes de carga de los dos sistemas (muros corridos sobre pilares), aunque en el gráfico, tal correspondencia no sea evidente. El autor es consciente de que a cada nueva invención ofensiva, ha de surgir otra capaz de contrarrestarle; y sin duda, su gran importancia se encuentra en el hecho de superar unos criterios más del orden moral y ético mediante un conocimiento técnico con un nivel mínimo de elaboración.

3.3. Sacerdotes y arquitectura militar

Luego de la lectura de algunos tratados, y de una exploración sobre la vida de los autores, sorprende el hecho de que un número considerable de tratados de fortificación estuviese escrito por sacerdotes, y especialmente por jesuitas. Si bien su interés hacia las matemáticas y las ciencias naturales son comprensibles, dado su papel dentro de la enseñanza de la época (siglos XVII y XVIII), parece extraño que él también se orientase también hacia la fortificación. Concluimos entonces que ello obedece a que a través de su estudio se podía hacer una síntesis de los principales conocimientos técnicos; si la aritmética y la geometría eran ciencias especulativas, la fortificación era el terreno propicio para su aplicación práctica, bien en cuestiones de trazado y construcción, o bien en asuntos relacionados con la fabricación de armas, el cálculo de ángulos de tiro, e inclusive permitía al autor hacer disertaciones de orden social y político.

Tampoco podemos descuidar el hecho de que entre el clero y el ejército existían algunas similitudes; basta con recordar los sólidos esquemas jerárquicos de ambas instituciones que fomentaban la especialidad dentro de campos específicos del conocimiento, a la vez que se preocupaban por la formación de algunos estratos de su personal.

Lo cierto es que entre 1649 y 1739, es fácil localizar al menos nueve títulos de obras que son producto del esfuerzo de sacerdotes, o de sus discípulos más directos, tanto en España como en Francia. En estos tratados no encontramos aportes revolucionarios, rupturas y ni siquiera deserciones; a cambio, es posible apreciar un claro hilo conductor de los saberes, donde se llega incluso a la transcripción textual entre unos y otros a la manera de un cuento que pasa durante generaciones de padres a hijos; pero también es valioso su esfuerzo por la codificación, por el orden, y sobre todo, por el carácter didáctico que el tono de sus páginas contiene y que seguramente garantizaron el que estos libros llegasen de la mano de las

comunidades religiosas a diversos lugares del mundo. Un ejemplo de ello es la difusión de la que gozó el tratado del padre Tosca tanto en España como en América: GUTIÉRREZ (1972)⁵⁵ nos ejemplifica varios casos en que este autor no sólo se conocía en importantes ciudades como Buenos Aires, sino también en las bibliotecas jesuitas paraguayas del siglo XVIII.

El tratado de George Fournier, *Architectura militar o fortificación moderna ...* (París, Juan Henault, 1649, con ediciones en latín y castellano), inicia esta serie que continúan Baltasar Siscara, *Compendio de modernas fortificaciones ...* (Madrid, Pablo de Val, 1657, que es una traducción de Fray Genaro María Aflicto), Josep Zaragoza, *Fábrica y uso de varios instrumentos matemáticos ...* (Madrid, Francisco de Zafra, 1675), Milliet Dechales, *L'art de fortifier, de defendre et d'attaquer les places* (París, Estienne Michallet, 1677), Josep Cassani, *Escuela militar de fortificación ofensiva y defensiva ...* (Madrid, Antonio González de los Reyes, 1704), Nicolás de Benavente, *Conclusiones mathematicas de architectura militar ...* (sin lugar, sin imprenta, 1704?), Tomas Vicente Tosca, *Compendio matemático ...* (Valencia, Josep García, 1712), y el Abate Deidier, *La science des géometres ...* (París, Charles & Antoine Jombert, 1739)⁵⁶.

3.3.1. George Fournier y Baltasar Siscara

George Fournier nació en Caen ejerció en su ciudad natal la docencia de humanidades y matemáticas dejando al morir una importante serie de manuscritos sobre ciencias, acerca de las cuales había ya publicado dos obras fundamentales: *Euclides sex primi elementorum geometricorum libri* (París, 1643) y *Traité des fortifications ou architecture militaire* (París, 1649); de ambas se hicieron numerosas ediciones y la segunda fue traducida al latín, holandés, alemán y español; escribió también un *Traité de la sphère* (París, 1642) y varias obras de geografía y navegación. La versión española del tratado de arquitectura militar apareció bastante pronto y fue llevada a cabo por Diego Fernández de VillaReal en el mismo año de aparición de la edición francesa.

La edición en latín, de 1670, consultada a través del ejemplar existente en la Biblioteca de la Universidad Central de Barcelona consta de 150 páginas que poseen 24 líneas de 30 caracteres cada una, para un total de 34 U.P., ilustrado con 110 láminas procedentes de la edición francesa pues aún mantiene los textos en este idioma. La traducción fue llevada a cabo por Diego Fernández de Villa Real tiene 211 páginas que equivalen a 47 U.P., empleando el mismo conjunto de ilustraciones de las versiones anteriores.

Este pequeño tratado está dividido en dos partes, y podríamos incluso afirmar que el conjunto de las ilustraciones constituye una tercera parte dada su relativa independencia del texto que le precede. Se inicia el tratado con un extenso preámbulo (10 capítulos), donde el autor defiende la importancia de la fortificación:

Es la fortificación una ciencia, en quanto obra con demostraciones, o un Arte lleno de platica y preceptos, ordenados a la defensa de los pueblos ...

Preámbulo

La primera parte se divide en 26 capítulos: los capítulos 1 y 2 explican los términos empleados en la fortificación y las líneas que constituyen el trazado general de las obras; el capítulo 3 enuncia siete máximas a seguir en la fortificación; máximas que se encarga de explicar detalladamente en los capítulos 4 al 9; el capítulo 10 hace una comparación entre las obras construidas en Francia, Italia y Holanda, para así entrar a tratar las condiciones que se deben tomar en cuenta de manera previa, en especial de las condiciones del sitio (capítulos 12 al 15). Los capítulos restantes están consagrados a la importancia de la geometría, el uso de las tablas para dimensionar las partes de la fortificación, así como de las figuras que se presentan irregulares.

El libro II sólo consta de 17 capítulos, tratando aspectos particulares de las obras de fortificación: los capítulos 1, 2 y 3 establecen un conjunto de dimensiones que considera ideales, analizando elemento por elemento; los capítulos 4 al 7 son “Praxis” y reflexiones sobre dichos elementos; el capítulo 8 está dedicado a los muros, el 9 a los fundamentos, el 10 a las obras exteriores, del 11 al 14 a obras accesorias, el 15 a las puertas, el 16 a los fosos y el 17 a los caminos.

Del conjunto de las 110 ilustraciones, las primeras 42 contienen plantas de ciudadelas y castillos europeos; las 46 - 57 contienen las tablas de fortificación; y las restantes completan los conceptos de las partes de la arquitectura militar (*Lámina XXXIV*). Son tres los aspectos constructivos que merecen una especial atención de Fournier: los terraplenes (que Fernández de Villareal llama *Reparos*), las murallas y los cimientos. De los primeros dice:

Los reparos se forman en torno de una Plaça con la tierra que se saca del Fosso. Sirven para cubrir las casas de una fortaleza, y para dominar el enemigo y cubrirse del.

Pág. 59.

Su espesor debe alcanzar los 20 o 30 pies en la parte inferior y entre 17 y 25 en la superior; recomienda el uso de tierra negra o pantanosa (puesto que secan bien), a cambio de la arenosa y pedregosa, que son malas para hacer terraplenes. Sobre las murallas afirma:

... con todo se haze la muralla de piedra a una Plaça para que sea más durable, impidiendo que las aguas, los animales y otros accidentes no deshagan el terreno; y sobre todo como la escarpa o talud es menos, no son tan sugetas a las entreprezas.

Págs. 64-65.

El talud de la muralla está en relación de 2 a 5 de su altura, y contempla el uso de contrafuertes: de 4 a 5 pies de espesor, y 8 de profundidad, estarán distanciados entre sí por distancias que oscilen entre los 15 y 20 pies:

... los mejores (contrafuertes) seran en forma de una media torre, llenos de tierra unida y pizada, ó que se unan junto al cordon con boveda o arcos...

Pág. 67.

En el tema de los cimientación, se concentra en aquella que se realiza por pilotes.

Por su parte, el de Baltasar Siscara, *Compendio de Modernas Fortificaciones del R.P. Fray Genaro María Aflicto, natural de la ciudad de Nápoles, de la Orden de Predicadores, Lector de Artes, y Teología y professor de matematicas ...* es un tratado muy breve, que consta de sólo 36 folios equivalentes a 22 U.P. Está dividido en trece capítulos, a la manera de “lecciones de clase”, con precisas descripciones formales y textos cortos. En el preámbulo hace algunas advertencias que el autor considera necesarias para la introducción a la fortificación, en donde leemos lo siguiente:

... en las guerras de Catalunya ... no ay palmo de fortificación que no se aya resecho muchas veces, con daño inestimable de la Hazienda Real.

Preámbulo, sin página.

En los tres primeros capítulos se establecen los principios geométricos y los fundamentos de forma y medida de una fortificación. Entre los capítulos 4 y 12, el autor escribe los elementos de las plazas: *falsabragas, baluartes, cortinas, parapetos, fosos, cavalleros y terraplenes*. El capítulo 13 habla de la fortificación irregular. No hace descripción de los procesos constructivos, ni tampoco incluye apartados acerca de los materiales o particularidades de tipo técnico.

3.3.2. Josep Zaragoza y Vicente Tosca

Josep Zaragoza (ó Zaragozá) ejerció cátedras de filosofía y teología en centros jesuitas de Mallorca, Valencia y Barcelona. Entre sus alumnos se contaría el Marqués de Leganés⁵⁷, autor probable del conocido *Curso Matemático o Escuela de Palas* (1693). Algunas de sus obras son: *Arithmética Universal, que comprehende el arte menor y mayor, algebra vulgar y espaciosa* (1669), *Trigonometría hispana resolutio triangulorum plani et sphaerici: constructio sinuum, tangentium, secantium et logarithmorum, eorumque usus* (1672), *Canon trigonometricus continens logarithmos, sinuum et tangentium ad singula scrupula totius semicirculi* (1672), *Euclides nuevo antiguo. Geometría especulativa y práctica de los planos* (1673)., *Geometriae magnae in minimis* (1674), *Esphera en común celeste y terráquea* (1675).

El libro que aquí nos interesa, *Fábrica y uso de varios instrumentos matemáticos ...* fue encargado al padre Zaragoza como regalo al rey, lo cual exigió de su parte una enorme dedicación tanto para escribirlo como para ilustrarlo. Consta de 222 páginas, cada una de las cuales se hace de 22 líneas con 43 caracteres por línea, lo que nos da una extensión de 66,67 U.P. Se acompaña de 7 láminas.

No nos encontramos ante un auténtico tratado de fortificación; los objetivos del libro son otros: reunir en un mismo texto la explicación de los instrumentos empleados en las operaciones de medición, levantamiento y trazado de obras de arquitectura (militar y/o civil), pero que necesita para tal propósito de explicar buena parte de los términos y procedimientos usados en la fortificación. El libro no presenta una división en capítulos, sino que expone ordenada y separadamente catorce instrumentos: *la regla de alaton, la pantómetra militar, el triángulo filar, la cruz geométrica, el rhombo gráfico, el triángulo equilátero, el triángulo menor, el largavista, el compás armónico, el compás de varilla, la cadenilla, una mesa, el pie de dicha mesa* y finalmente *la escuadra*. Al tratar de la pantómetra

militar, se extiende a través de 67 páginas (20 U.P.) en explicar los siguientes apartados de la arquitectura militar:

- De la fortificación: definición de la regular e irregular, tipos de obras según el número de lados, elementos que la constituyen (baluarte, cortina, terraplén, foso, estrada encubierta), recursos empleados en la descripción (*ignographia, ortographia, scenographia*), magnitudes determinadas por el alcance del tiro de mosquete, delineación del foso, muros, parapetos, terraplenos, planta y perfil de las obras.
- De las obras accesorias y accidentales: plazas bajas y orejones, plazas altas, caballeros, falsabragas, cuneta, media luna, revellín, tenaza, hornabeque y obra coronada.
- Reglas generales de las obras exteriores.
- Fortificación irregular: reglas generales, cortina irregular, plataforma, baluartes irregulares, ríos y puentes, ciudadelas.

Una comparación rápida permite apreciar que en pocas páginas, Zaragoza sintetiza los más importantes preceptos de la fortificación, y aunque no hay una dedicación explícita a temas relacionados con la construcción, algunos de ellos aparecen en el texto, en especial los relacionados con las murallas, una preocupación de su época:

Muro, ó Muralla es la pared exterior que ciñe la Plaça, y comprehende las cortinas, traveses, y frentes de los baluartes. Su fabrica puede ser de piedra ò ladrillo; de tierra y tepes; y también de tierra y fagina.

Los muros de piedra, ò ladrillo, han de tener los fundamentos, 6 pies mas hondos que el del plano del foso, algo mas, ò menos conforme el terreno, y 18 de gruesso.

Pág. 44.

La pendiente ideal continua siendo la que guarda la proporción 1:6; la altura de la muralla estará entre los 36 y los 40 pies, con un ancho en la base de 16 pies (dejando 2 para la banqueta) y rematando en el cordón, cuyo diámetro recomienda de 1 pie. Los estribos tendrán un grueso de 3 pies, una separación comprendida entre los 30 y los 40 pies, una longitud de 15 - 20 pies y con una altura menor en un pie a la de la línea donde se sitúa el cordón.

Con respecto a la figura 8 de su tratado dice (*Lámina XXXV*):

Algunos quieren hazer arcos de B a F y de F a H, pero es gusto impertinente.

Pág. 45.

Esta práctica ya la habíamos visto expresada especialmente en los tratados italianos del siglo XVI. Las líneas que tratan el tema de la materia de los muros nos permiten comparar en qué medida el padre Tosca, 37 años después, copiaría textualmente a Zaragoza:

La materia de los muros es mejor de piedra suave, que se engasta la bala en ella, como la tienen los de Malta, y Mallorca. Los ladrillos con argamassa, y no deven ser muy cocidos, porque se hazen vidriosos, y menos

crudos; hase de tomar un medio para que resistan á las inclemencias del tiempo.

Pág. 46.

Finalmente, con respecto a los muros, hace una descripción detallada de los muros de tepes: Estos han de tener su fundamento un pie mas hondo, que el plano de la Plaça, apretando bien la tierra antes de componer el primer orden. Entre el muro y foso se dexan 4 pies de distancia, algo mas o menos conforme al terreno, para socolo, ò lisera.

Cortanse los tepes en los prados de tierra pingue muy travada con las raices de la grama; su forma es como cuña, ò prisma triangular; como acd en la Fig. 8 fixase la pala perpendicular, que haze el corte ac de su anchura; y hechos los cortes ab.cd triplos de su anchura, y profundidad, y fixando la pala en bd se corta con la inclinación dg y sale el tepe, cuña ó prisma abdfg.

Pág. 47.

Y para componer el muro con tepes:

El modo de componerlo es como se cortaron, que la grama, y el angulo recto gcd queden à la parte superior; con que el plano ag formará la escarpa; el que se pone encima de este, se pone al contrario, y de los dos se forma el paralelepípedo mnpq de esta suerte se continua el primer orden, y los vacios se llenan de tierra bien apretada; el segundo orden se pone de suerte, que el medio tepe superior este sobre la junta de los inferiores, como se haze en la pared de ladrillo.

Pág. 48.

La presencia de este breve compendio podría parecer de escasa importancia: tiene un objetivo concreto y de cobertura limitada, y se trata de una edición descuidada, con gráficos de mediocre calidad. Pero si demostramos que estas páginas constituyeron la base de la cual Vicente Tosca habría de copiar casi literalmente sus ideas acerca de la construcción de muros, y dada la amplísima difusión de su obra en España y sus colonias, nos encontramos ante un conjunto de saberes de mediados del siglo XVII que sobrevivirían hasta la segunda mitad del siguiente siglo.

El extenso tratado de Vicente Tosca no necesita presentación; la estructura general de su *Compendio Matemático*, es la siguiente: Vol. I, *Geometría elemental, Aritmética inferior, Geometría Práctica*; Vol. II, *Aritmética superior, Algebra, Música*; Vol. III, *Trigonometría, Secciones Cónicas, Maquinaria*; Vol. IV, *Estática, Hidrostática, Hidrotecnia, Hidrometría*; Vol. V, *Arquitectura civil, Montea y cantería; Arquitectura Militar, Pirotecnia y Artillería*; Vol. VI, *Optica, perspectiva, catóptrica, dióptrica, meteoros*; Vol. VII, *Astronomía*; Vol. VIII, *Astronomía práctica, Geografía, náutica*; Vol. IX, *Geonómica, Ordenación del tiempo y Astrología*.

En el volumen V (con 610 páginas, que constituyen un total de 420 U.P.) encontramos tres tratados que nos interesan: el *Tratado XIV, De la Arquitectura Civil* (56 U.P.), el *Tratado XV, De la montea, y Cortes de Cantería* (119 U.P.); y el *Tratado XVI, De la Arquitectura Militar, y Fortificación moderna, ofensiva y defensiva* (117 U.P.). Las 128 U.P. restantes están consagradas a los temas de la pirotecnia y la artillería. El segundo de los tratados no solo es el más extenso, sino que goza del mayor número de ilustraciones: 12, contra 6 para el

primero y 10 para el último. Pese a tales diferencias, el hecho de encontrarse reunidos en un mismo volumen, con seguridad que permitió una difusión homogénea de los temas evitando establecer fronteras claras entre unos y otros.

El *Tratado XVI, De la Arquitectura Militar, y Fortificación moderna, ofensiva y defensiva*, está dividido en seis libros cuyos contenidos son los siguientes:

- Libro I: que contiene *los principios y máximas de la fortificación*, explicados en tres capítulos donde de manera detallada y bien ilustrada da cuenta de los términos propios de la fortificación, tanto en planta como en sección.
- Libro II: *De la fortificación regular*, que en ocho capítulos contiene, además de las construcciones geométricas propias de los tratados de fortificación acompañadas de tablas con medidas angulares y distancias entre sus elementos, una descripción de cada una de sus partes, tanto pertenecientes a las obras exteriores como interiores. En el capítulo V de este libro se encuentran las explicaciones atinentes a los tipos de muros que describiré más adelante.
- Libro III: *De la fortificación irregular*, explicada en dos capítulos la manera de fortificar polígonos y lugares irregulares.
- Libro IV: *De la fortificación efectiva sobre el terreno*, que en dos capítulos detalla la manera de replantear el trazado en el sitio escogido.
- Libro V: *Del sitio y combate de una plaza*, que trata sobre la fortificación de campaña, y las normas que se deben observar en el sitio y rendición de una plaza. Contiene cuatro capítulos.
- Libro VI: *De la defensa de una plaza* (capítulo único).

Los cuatro primeros libros tratan de lo que Tosca define como *Arquitectura Militar Munitoria*, que enseña a fortalecer una plaza a fin de que pueda resistir a las máquinas de guerra. Los dos últimos libros, están consagrados a la *Arquitectura Militar Polémica*, que enseña los ardidés con que se deben ofender y defender las plazas.

Las definiciones de los muros del Padre Tosca:

Ante todo, hay que destacar que el papel de Tosca es el de un recopilador del conocimiento constructivo de su época, y en concreto de lo relacionado con la arquitectura militar. Sus propias palabras lo evidencian en el preámbulo del primer libro:

La Architectura, ò Arte de edificar, se divide en Civil, y Militar. La Civil erige vistosas fábricas, ateniendo a su firmeza, comodidad y hermosura. La Militar no pretende belleza en sus edificios, solo se ocupa en cerrar las Ciudades, y Plazas con tales recintos, que puedan servir de defensa contra las invasiones bélicas... Esta pues ha de ser la materia de este tratado, en que explicaré con la claridad posible las reglas de fortificar, sin apartarme jamás de aquellas que se han merecido la aprobación de los más doctos y prudentes Militares; porque siendo esta materia agena de mi profession, no se me podrá acriminar, observe sin mas adelantamiento los preceptos de los que tan acertadamente han escrito, singularmente en estos tiempos, en que el marcial furor tanto ha inquietado a Europa...

Pág. 253-254.

En el capítulo V del Libro II encontramos las propuestas sobre los tipos de muros; propuestas que evidencian un conocimiento de los tratadistas de su época, y en especial de sus antecesores jesuitas Georges Fournier y Josep Zaragoza y de Sebastián Fernández de Medrano. Los muros pueden ser de tres materiales: piedra o ladrillo, tepes y faginas.

La mejor materia para los muros es la piedra suave, en la qual se engasta la bala. Como la tienen los de Malta, y Mallorca. Si se fabrican de ladrillos, se ha de cuidar, que ni esten sobrado crudos, ni tampoco muy cocidos; porque si estan muy cocidos, se hacen vidriosos; y si sobrado crudos, no resisten à las inclemencias del tiempo.

Pág. 309.

La altura de los muros ha de estar comprendida, según el padre Tosca, entre 36 y 40 pies, con una inclinación que guarde la proporción de 1 a 6; se construyen sobre un cimiento corrido de 6 pies de alto y 18 pies de ancho, dejando una berma de 2 pies a nivel del foso, a partir de la cual se considera el empiezo del muro. Para los contrafuertes, ilustra tres posibilidades en cuanto a su forma, pero recomienda la primera de ellas (fig. 17, estampa 20 del tratado, ver [Lámina XXXVI](#)), y sugiere darles un ancho de tres pies, separados entre sí 30 y ahondando su fundamento 8 más que los de las murallas, hecho que aumenta su estabilidad frente al vuelco.

Tosca retoma la idea de construir muros con tepes, y para explicarlo copia casi literalmente las explicaciones de Josep Zaragoza (1675):

El modo de componer los tepes en la fábrica, es el siguiente: La grama, y el ángulo recto GCD, han de quedar à la parte superior, con que el plano AG formará la Escarpa; el que se pone sobre esta se pondrá al contrario, y de los dos se formará un paralelipípedo MP. De esta suerte se continuará todo el primer orden, y los vacios se llenarán de tierra bien apretada, el segundo orden se pondrá de suerte, que el medio tepe superior está sobre la junta de los inferiores, como se acostumbra en las paredes de ladrillos, para que vaya la obra bien trabada: el primer orden se clava contra la tierra con estaquillas de sauce, y el segundo contra el primero; y la escarpa se vá cortando, y puliendo con la pala.

Pág. 310-311 (figura 18, estampa 20).

De los muros de fagina no trata demasiados aspectos, aunque recalca sus propiedades más importantes: baja altura, mucho espesor y trabazón por medio de agentes exteriores a la naturaleza del muro:

Los muros de fagina se fabrican poniendo un orden de fagina con tierra bien apretada, y asegurando con estacas; luego sobre éste se pondrá otro, y assi de los demás: su grueso, y altura ha de ser como en el de tepes, aunque no es tan bueno: assi al uno, como al otro se puede añadir un cortezón de tierra pingue hecha de lodo, bien apretada, y unida, sembrando la cara de grama, que con las raices que echa le dará mayor trabazon, y firmeza; pero será mejor dicho cortezón, si se hace de tierra, cal, y arena gruesa, porque resiste mejor à las inclemencias del tiempo.

Pág. 311.

La labor recopiladora de Tosca termina con un extenso ciclo cuyos principios encontramos ya en la tratadística italiana del siglo XVI y que han tomado forma y estructura a lo largo de los años.

3.3.3. Otras recopilaciones, Cassani y Benavente

Frente a los trabajos de Fournier, Siscara, Zaragoza y Tosca, los tratados de Cassani y Benavente representan un paso atrás si comparamos su nivel de completez general y sus contenidos técnico - constructivos en particular. La obra de Cassani, *Escuela militar de fortificación ofensiva y defensiva ...*, se divide en cuatro libros, dedicados respectivamente a las definiciones más generales del tema, la fortificación regular, la irregular y la llamada *ofensiva* (donde expone los principios de la artillería); cita a los tratadistas franceses y españoles más conocidos pero no asume para nada problemas de tipo práctico o al menos reflexiones atinentes al ejercicio de la construcción.

También en 1704 aparecen las *Conclusiones mathematicas de Architectura Militar y Cosmographia ...*, de Nicolás de Benavente, discípulo de Cassani y como él miembro de la Compañía de Jesús. Su obra es una breve cartilla de 28 U.P. donde se hace un inventario de términos y formas empleadas en la teoría de la arquitectura militar.

La pobreza manifiesta en este par de libros, expresa por una parte el agotamiento de los temas, pero por otra la incapacidad de los teóricos de la fortificación de dar respuestas nuevas a las demandas impuestas por la práctica. En estas obras, no hay referencias a casos concretos, no hay debate o crisis, y por ello, tampoco hay posibilidades de transformación.

3.3.4. La obra de Milliet Dechaies y Deidier

A Claude Milliet Dechaies, sacerdote de la Compañía de Jesús, se le reconoce el mérito de haber escrito un extenso tratado con carácter enciclopédico, *Cursus seu mundus mathematicus ...* (primera edición en 1624), que algunos han citado como fuente próxima del escrito por Tosca⁵⁸, donde incluye dos tomos, dedicado el uno a la arquitectura civil (donde expone la teoría de los órdenes), y el otro a la arquitectura militar; este compendio, como otros muchos de su época, pretendía sistematizar varias disciplinas teóricas dentro de modelos matemáticos y geométricos más o menos precisos. Sin embargo, en 1677 aparece de manera aislada *L'art de fortifier, de defendre et d'attaquer les places ...*, que incluye precisas descripciones de las operaciones geométricas necesarias para el trazado de las plantas poligonales de las fortalezas; los problemas expuestos están planteados en términos matemáticos, descuidando la formulación de principios y reglas generales.

Fiel seguidor de las propuestas de Pagan, divide su obra en seis libros que ocupan 168 U.P. En el primero explica los principios de la buena fortificación, los términos de la planta y el alzado, de las obras exteriores y su disposición y dimensionado; los libros II, III y IV son los que explican los detallados procesos geométricos, dejando para los dos últimos el tratamiento de asuntos militares (obras necesarias para el ataque y la defensa de una plaza).

Si comparamos esta estructura con la que sigue el tratado XVI de Vicente Tosca, se puede apreciar en él la presencia del francés:

Milliet Dechales: <i>L'art de fortifier ...</i> (1677)	Vicente Tosca: <i>Trat. XVI, De la arquitectura militar ...</i> (1712)
Libro 1: principios generales ...	Libro 1: de los principios o máximas
Libro 2: de las fortificaciones regulares	Libro 2: de la fortificación regular
Libro 3: de las obras exteriores	Libro 3: de la fortificación irregular
Libro 4: de la manera de fortificar las plazas irregulares	Libro 4: de la fortificación efectiva sobre el terreno
Libro 5: obras necesarias al ataque de una plaza	Libro 5: del sitio y combate de una plaza
Libro 6: obras necesarias a la defensa de una plaza	Libro 6: de la defensa de una plaza

Como Milliet Dechasles, Tosca se expresa en términos de proposiciones, aunque en su tratado no se advierte el peso que el francés descarga sobre el papel de la geometría; el tratado de Tosca contiene muchas más referencias a asuntos constructivos, así no sean producto de su experiencia. Pero la estructura que modela el trabajo de Milliet Dechasles, es perceptible también sobre obras escritas por personas que no eran sacerdotes, como en el que publica Monsieur Ozanam en 1694, *Traité de Fortification, contenant les methodes anciennes & modernes ...*, dividido también en seis libros en donde se reparten de idéntica manera los mismos contenidos.

En una línea muy próxima a la de Milliet Dechasles, encontramos la obra del Abate Deidier, alumno también de la Compañía de Jesús, y conocido por sus otros trabajos científicos publicados: *La Science des géomètres ...* (París, 1739), *Du calcul differentiel et integral* (París, 1740), *La mécanique générale* (París, 1741), y *Eléments Generaux des parties de Mathematiques le plus necessaires a l'Artillerie et au Genie* (París, 1745).

Sin embargo, el tratado que nos interesa es *Le Parfait Ingenieur François ...* (París, 1757), reeditado en 1762. Dividido en dos partes, ocupa 336 páginas y cuenta con la ayuda de 40 planchas. La primera parte trata de la fortificación regular e irregular, y la segunda del ataque y defensa de las plazas. Ya en las primeras páginas, Deidier define lo que para él es la fortificación:

... la fortification, prise dans sa signification la plus étendue, est la science de construire, d'attaquer et de défendre les places.

Pág. 7.

... la fortificación, en su significado más entendido, es la ciencia de construir, de atacar y de defender las plazas.

Subdivide la fortificación en regular e irregular, y concentra sus explicaciones en las transformaciones geométricas que ella ha experimentado. La fortificación defensiva es la misma fortificación permanente, contraria a la pasajera o de campaña: define sus principios geométricos, las máximas y los distintos tipos de trazados desde Errard hasta Vauban. No incluye alusiones directas a la construcción material de las fortalezas, pero a cambio posee unas magníficas ilustraciones de los distintos sistemas de fortificación.

3.4. Los libros de instrumentos de medición

Si la aritmética y la geometría se empleaban en la solución a los problemas planteados sobre el papel, su utilidad se hacía también presente en el momento de llevar el proyecto al terreno de lo real. Muchos tratadistas advierten la necesidad que tenía el arquitecto militar de saber trazar sobre el terreno, de saber cuantificar áreas y determinar volúmenes, y también de elaborar presupuestos ... pero si para las últimas tareas bastaba el manejo correcto de algunas fórmulas matemáticas, para el trazado y la medición se necesitaba de un conjunto de instrumentos.

A diferencia de las herramientas, patrimonio de la artesanía constructiva, los instrumentos de medición eran producto del ingenio: el instrumento se construye, el instrumento es un elemento que media entre el proyecto y la obra, entre la abstracción y la realidad, entre lo inteligible y lo sensible; donde el usuario puede en principio ser cualquiera: ingeniero, arquitecto, aparejador, astrónomo, carpintero ..., pero que casi siempre requieren de conocimientos previos de aritmética y geometría: el compás, la escuadra, la plomada, el nivel, la pantómetra ... el tratadista intenta también poner en palabras su manejo, hacer retórica a partir de la relación del hombre con estos objetos: se explica su importancia, su uso, su elaboración, sus beneficios.

Aunque la geometría también se usaba para trazar los ejes de muros y cimientos, para determinar su simetría y su verticalidad, o para cuantificar los taludes, el tema de la medición de distancias alcanzó rápidamente una mayor preocupación y no sólo se anexó a los contenidos de los tratados de fortificación, sino que requirió de libros exclusivos, como el que incluye Robert Fludd en su obra *Ultriusque Cosmi ...* (Francofurti, 1624, cuya primera edición sería probablemente de 1618), el de Nicolás Bion, *Traité de la construction et des principaux usages des instruments de mathematiques ...* (París, Etienne Ganeau y otros, 1716), o como el de M. Ozanam, *L'usage du compas ...* (París, Jean Jombert, 1700), sin olvidar el del español Andrés García de Céspedes, *Libro de instrumentos nuevos de geometría ...* (Madrid, Juan de la Cuesta, 1606)⁵⁹.

3.4.1. García de Céspedes y Robert Fludd

El manual de Andrés García de Céspedes, *Cosmógrafo Mayor del Rey*, aparecido en 1606, se debate todavía en una mezcla de saberes que comprenden no sólo algunos instrumentos de medición sino también la hidráulica, el lanzamiento de proyectiles y la formación de escuadrones militares. Se concentra en las explicaciones del llamado *báculo de jacob*, y en el *nivel de tranco*; el primero empleado en calcular distancias horizontales y verticales haciendo uso de las leyes de proporcionalidad de triángulos semejantes, y el segundo, de mayor complejidad pero de ventajas limitadas, usado para calcular las diferencias de altura entre dos o más puntos de un terreno.

La obra de Robert Fludd (1618) incluye tal como ya mencioné, unas descripciones no sólo más precisas sino también mejor ilustradas, que aplica a problemas prácticos; *el báculo geométrico, el báculo de jacob, el parallelogrammum, y el quadrante* ([Lámina XXXVII](#), [Lámina XXXVIII](#), [Lámina XXXIX](#), [Lámina XL](#)), le sirven para hallar la altura de una torre, la

profundidad de un pozo o la distancia que separa a dos puntos inaccesibles. Fludd descompone el instrumento en sus partes y explica las operaciones geométricas necesarias para la obtención de datos.

En ambos casos, los autores nos presentan instrumentos que ya eran conocidos en el mundo antiguo, sin hacer innovaciones; son una expresión tardía de la técnica medieval. Más avanzadas y completas serán las explicaciones hechas por Josep Zaragoza, cuyo libro de 1675, estaba destinado a que el rey Carlos II pudiera reconocer los instrumentos usados en las labores de medición, levantamiento y trazado de obras de arquitectura (al parecer, el texto acompañaba a una caja que contenía tales instrumentos y que se ofrecía al rey como regalo).

3.4.2. M. Ozanam y Nicolás Bion

Siendo el compás un instrumento indispensable para muchas tareas prácticas, no extraña que apareciese un libro dedicado enteramente a él, como el escrito por *Monsieur* Ozanam, autor también de un curso de matemáticas (1699), un diccionario matemático (1691) y un tratado de fortificación (1694). En su tratado *L'usage du compas ...*, Ozanam dice ([Lámina XLI](#)):

Le compas de Proportion est un Instrument de Mathematique, don on peut se servir tres - commodément pour résoudre promptement & facilement les problemes les plus utiles & les plus necessaires dans toutes les parties de Mathematique & principalement dans la Geometrie pratique, tant sur le papier que sur le terrain.

Pág. 5

El compás de proporción es un instrumento de matemáticas, que puede ser muy importante para resolver pronta y fácilmente los problemas más útiles y más necesarios en todas las partes de las matemáticas y principalmente en la geometría práctica, tanto sobre el papel como sobre el terreno.

Ozanam es un conocedor no sólo de la arquitectura militar sino también de la civil; en su *Dictionnaire mathematique, ou idée generale des mathematiques ...* (Amsterdam, 1691), además de incluir explicaciones sobre matemáticas, álgebra, geometría, cosmografía, geografía, perspectiva, mecánica o navegación, expone la teoría de los órdenes arquitectónicos, junto a las principales definiciones de la fortificación.

En 1716, aparece impreso el tratado de Nicolás Bion, *Traité de la construction et des principaux usages des instruments de Mathematique*, uno de cuyos ejemplares se conserva todavía en la biblioteca del Museo Militar de Montjuic de Barcelona, que perteneció a la Real Academia de Matemáticas que funcionó en esta ciudad durante el siglo XVIII y de la cual nos ocuparemos brevemente más adelante. Dividido en ocho libros, Bion abarca un extenso conjunto de instrumentos, dando un énfasis particular a aquellos que se empleaban en las labores de topografía.

Dedica su primer libro a los más ordinarios instrumentos; el segundo al compás de proporción; el tercero a otros instrumentos curiosos; el cuarto a instrumentos de campaña; el quinto a los niveles usados en la artillería; los dos siguientes a los empleados en astronomía y navegación, dejando para el último el tema de los relojes de sol. Bion ilustra sus explicaciones para ofrecernos en últimas un repertorio de lo más completo sobre el tema.

Pero si este último título existía en la Real Academia de Matemáticas de Barcelona⁶⁰, conocemos también un listado de los instrumentos matemáticos que en ella habían para complementar las labores docentes. Según un manuscrito del año 1751 perteneciente al Archivo General de Simancas (Sección Guerra Moderna, legajo 570), la *Relación de los Ynstrumentos y demás géneros que se han de proveer por disposición del Comandante de Artillería Don Juan Raphael Silby para la Escuela de Mathematicas de Artillería en la Plaza de Barcelona*, consta de entre otras cosas: *Dos niveles de agua, Dos esquadras, Dos saltareglas, Dos Pantometras Grandes, Tres Planchetas con sus pies y renglones, Dos compases rectos grandes porque los discípulos llevaran los suios, Los cinco cuerpos regulares, Diferentes arcos de yeso formados con sus dobelas, Quatro compases rectos, y Quatro de puntas curbas*. Al mismo tiempo se pedían para la *Academia de Yngenieros en Barcelona*, *Dos grandes estuches de Ynstrumentos de Mathematica completos, Una docena de compases hordinarios, Dos Theodolitos, Dos Planchetas, Un nivel grande y Un compas de vara para medir*.

En el mismo legajo se incluye también una relación del coste de estos instrumentos, para los cuales era necesario una destinación especial de fondos equivalente al 25% del coste de funcionamiento (pago de profesores y empleados, material escolar y premios para los alumnos aventajados). Estos instrumentos eran por lo general encargados de Londres, París y los Países Bajos, cuyos artesanos eran de reconocida valoración en la elaboración de instrumental de precisión.

Notas al Capítulo I:

¹ Se ha empleado la traducción castellana de Josep ORTIZ (1787), edición facsímil, 1987.

² Entenderemos el término U.P. como “Unidades de Página”, que corresponde a una página formada por 3150 caracteres, independientemente del número de líneas.

³ GILLE (1967).

⁴ La división entre artes liberales y artes mecánicas se conservó hasta entrado el siglo XIX. En *Definiciones y elementos de todas las ciencias*, publicada en castellano pero traducida del francés por D. Miguel COPIN (Madrid, Imprenta de Villalpando, 1816), encontramos la siguiente explicación hecha a manera de diálogo (página 10):

P.: ¿Qué es el Arte?

R.: Un conocimiento que nos da reglas para hacer con acierto cualquier cosa.

P.: ¿Cómo se dividen las artes?

R.: En Artes liberales y mecánicas.

P.: ¿Cuáles son las artes liberales?

R.: Las respectivas a las ciencias, como la Poesía, la Retórica, la Gramática, las Matemáticas, la Pintura, la Música, y la escultura. Todas las demás se llaman artes mecánicas.

P.: ¿Por qué se llaman artes liberales?

R.: Porque antiguamente las ejercían solamente personas libres.

⁵ Desarrollando aquí algunas ideas expresadas ya por GILLE (1967), págs. 27, 28.

⁶ WILKINSON, Catherine: “Renaissance Treatises on Military Architecture and the Science of Mechanics”, en AAVV (1988-B), págs. 467-476.

⁷ El texto lo cita WILKINSON en inglés así: *The art of fortification of palaces and places and of defending them which may be called military architecture, is a mechanical professio, for with bastions and barricades and other defenses a man with a few soldiers essays to repel many by means of machines and instruments and to maintain his advantage.*

⁸ Desde este punto de vista, podríamos incluso afirmar que es este un *germen de modernidad* que entiende el edificio como una máquina, no para habitar pero sí para defenderse.

⁹ Gundisalvo es considerado como una figura crucial del siglo XII, siendo uno de los primeros latinos que recibieron la influencia directa de las obras de filósofos musulmanes y judíos. De acuerdo con KINOSHITA (1988), es esta la primera y más extensa de sus obras originales, que sería casi literalmente plagiada por Vincent de Beauvois en parte de su *Speculum doctrinale*. La obra de Gundisalvo es una traducción comentada de *De scientiis*, de Al-Farabi.

¹⁰ Andrés Dávila Heredia: *Plazas fortificadas del ducado que era de Lorena, con un tratado de Geometría práctica para trazar figuras regulares necesarias para el uso de las Artes, con unas advertencias tocantes a los Vientos y distribución de las Aguas ...*, sin lugar, sin imprenta, 1672?. Dávila Heredia es también autor de *Descripción de las plazas de Picardía que confinan los estados de Flandes ...*, Madrid, sin imprenta, 1672, y *Clavel Geométrico de medidas, útil y necesario à todos los artifices ...*, Valencia, sin imprenta, 1669.

¹¹ Philippe Bragard, “A propos de l’édition française du traité de fortification de Giovanni Zanchi”, en AAVV (1994) retoma de HALE la cifra de mil ejemplares por edición como norma del número que se imprimían, al menos durante el siglo XVI. HALE, en “Printing and military culture of the renaissance Venice” en *Renaissance war studies*, Londres, Hambledon Press, 1983.

¹² Para comprobar estas afirmaciones, hemos consultado la edición presentada y comentada por Alain Erlande - Brandenburg *et alts.*, Torrejón de Ardoz, Ed. Akal D.L., 1991.

¹³ APARICIO (1882), en la traducción que hace de Augoyat (en francés), quien a su vez traduce a PROMIS. Esta edición debe ser muy escasa, y pese a tomarnos la molestia de buscarla, no hemos tenido éxito alguno.

¹⁴ Considerado por H. DE LA CROIX como “condotiero”.

¹⁵ AAVV (1987): “Léonard, l’architecture de fortification et ses problèmes de structure”, por Pietro C. MARANI, págs. 303-314.

¹⁶ APARICIO (1882), H. DE LA CROIX (1963), KRUF (1990).

¹⁷ El ejemplar consultado corresponde a la edición hecha en París, 1534.

¹⁸ KRUF (1990), pág. 142.

¹⁹ DURERO (1527): pág. 18 de la edición francesa traducida por Ratheau (París, 1870), citado por VÉRIN (1993), pág. 149: *L'idée est que "toutes les parties viennent donc s'appuyer contre des contreforts du coté du mur central, ce qui est excellent pour résister à l'artillerie"*.

²⁰ GILLE (1967) sostiene que en las regiones nórdicas como Alemania, la ruptura con la cultura medieval fue más lenta y difícil que la experimentada en el norte de Italia

²¹ Se ha consultado la reciente traducción castellana de Javier Fresnillo Núñez, prologada por Javier Rivera y publicada por Ediciones Akal, S.A., Madrid, 1991.

²² Ya GONZALEZ (1993) advierte que las lecturas que pueden hacerse del tratado de Alberti son *extraordinariamente diversas ...*; pág. 55. H. DE LA CROIX (1963) y HALE (1977), para citar dos casos, restan valor a la obra de Alberti por el hecho de que este autor no hace mención de la importancia de las armas de fuego. GILLE (1967) minimiza también su importancia y VÉRIN (1993) ni siquiera lo menciona.

²³ GONZALEZ (1993), pág. 55.

²⁴ En las páginas 101 y 179 de la edición consultada se encuentran dos citas de este autor militar romano: la primera acerca de la época propicia para cortar los árboles de los que se han de extraer maderas para las construcciones; la segunda sobre la disposición de las murallas.

²⁵ Este aditamento se conservará y desarrollará en las obras de fortificación hasta bien entrado el siglo XVIII, bajo el nombre de "liserá", que aún se puede observar en la base de los muros del Castillo de San Fernando de Figueras, España.

²⁶ Discusiones acerca de la geometría de la planta de los contrafuertes, las hallaremos en textos posteriores; inclusive Vauban (S. XVII) y Belidor (S. XVIII) emitirán opiniones al respecto.

²⁷ Valga la pena anotar que Alberti nunca hace una separación explícita, y cuando habla de las murallas de una fortaleza, lo hace en los libros dedicados a las obras de uso público (murallas urbanas y caminos) y a las de uso restringido (puestos de guardia).

²⁸ KEEGAN, John (1993), afirma que *... existe un grabado de 1326 en el que está representado un recipiente en forma de florero -tal vez obra de algún fundidor de campanas, que solían trabajar ese tipo de formas- con una larga flecha que sobresale por la boca y se ve a un artillero aplicando una bujía al orificio servidor de la recámara, y el orificio está dirigido hacia un castillo*; pág. 384. H. DE LA CROIX (1963) cita el mismo ejemplo y amplía la información al respecto: en el 1350, un autor anónimo realizó 22 folios con ilustraciones de armas de fuego, contenidas hoy en el Codex Germanicus N° 600; y la más antigua descripción de la bombardita data del 1376 en el Chronico Trevisano de Redusio da Quero.

²⁹ Tal es la definición que se les da a los carritos de madera que montados sobre ruedas y tirados por caballos o por hombres, soportan por sus muñones a los cañones.

³⁰ TZONIS, Alexander y LEFAIVRE, Liane: "El bastión como mentalidad", en DE SETA y LE GOFF (1989); págs. 317-340.

³¹ Refiriéndose a lo mismo, y como fruto de su propia investigación, HALE (1977) afirma: *"... seventeen works were published in Italy between 1554 and 1599..."*, pág. 25. Para este trabajo, hemos de basarnos en los datos por ella misma obtenidos.

³² Este tratado, que en realidad consta de dos obras, una probablemente escrita como borrador de la otra, fue publicada parcialmente por Cesare Saluzzo con introducción de Carlo Promis en 1841. Una edición más reciente es la hecha por C. Maltese en Milán, 1967; se ha consultado la edición de P. Marani, Florencia, 1980. Dos son los tratados manuscritos: *Architettura, ingegneria e Arte Militare*, y *Architettura civile e militare*, de cuya revisión hemos escogido para nuestro análisis el segundo, que constituye la versión más acabada.

³³ H. DE LA CROIX (1963), págs. 36-37.

³⁴ A diferencia de las ilustraciones de Durero, quien emplea secciones en su libro, Francisco di Giorgio expone sus ejemplos sólo mediante el empleo de perspectivas, acompañadas en algunos casos por pequeños esquemas de planta. La sección, dibujo fundamental para exponer cualquier consideración constructiva, brilla por su ausencia.

³⁵ MARIÁTEGUI (1880) fecha la primera edición en 1567, con reediciones en Brescia-1584 y Brescia-1608. VÉRIN (1993) dice que esta obra se tradujo al francés por Jean de Tournes con el título *Le Capitaine de Jerome Cataneo ...*, publicada en Lyon-1574 y reimpresa en 1593 y 1600. Se conocen también de este mismo autor: *Avvertimenti di essamini in torno a quelle cose che richiedono a un perfetto bombardiero* (Brescia, 1567), *Dell'arte militare libri tre* (Brescia, 1571 y que sería una versión anterior a la aumentada de 1584) y *Dell misurare le muraglie* (Brescia, 1572).

³⁶ Relatado por HALE (1977).

³⁷ VÉRIN (1993): *Amortir, Esquiver, Concerter, Nettoyer*, págs. 147-151.

³⁸ Daniela LAMBERINI: "Il cantiere delle fortificazioni nella Toscana del Cinquecento", en AAVV (1988-B), quien ha estudiado documentos de obra relacionados con las construcciones militares en la región Toscana durante el siglo XVI, afirma lo contrario, es decir, que en la práctica, los temas del dinero, el tiempo, la adecuación y reciclaje de obras existentes y el uso de medios tecnológicos eficaces eran determinantes en la práctica del ingeniero militar de la época. Su apreciación no contempla lo contenido en los tratados.

³⁹ La vinculación directa de ingenieros italianos a la corona española es también un hecho sobre el que se ha insistido con frecuencia en varias investigaciones acerca de la creación del Cuerpo de Ingenieros Militares. La presencia de varios miembros de la familia Antonelli, conformada por tres generaciones de ingenieros italianos al servicio de España es un hecho bastante significativo y extensivo al caso americano, donde uno de sus miembros: Juan Bautista, en compañía del también ingeniero italiano Tiburcio Spanocqui jugó un papel importante durante el siglo XVI: es de ellos un complejo plan de fortificaciones para controlar todo el continente americano, incluyendo para ello la construcción de plazas fuertes, murallas en puertos y ciudades y sistemas de control de barcos. Se ha reproducido en varios libros el plano del fuerte que debía construirse en el Estrecho de Magallanes (1580), que sigue las instrucciones contenidas en los clásicos tratados de fortificación italianos. Existe el libro de Diego ANGULO INIGUEZ: *Bautista Antonelli. Las fortificaciones americanas del siglo XVI*, Madrid, 1942. Otros nombres de ingenieros italianos destacados en América son los de Cristóbal de Roda y Giuseppe Formento. Existen muchos datos en GUTIERREZ (1983, 1991 y 1993). En el siglo XVIII, la presencia de ingenieros italianos se verá renovada con otros de nacionalidad francesa y de los primeros españoles formados como tales en varias instituciones militares, incluyendo la Real Academia de Matemáticas de Barcelona.

⁴⁰ Diego de Salazar: *Diálogos del arte de la Guerra ...*, Bruselas, casa de Roger Velpius, 1590. LÓPEZ PIÑERO (1979) y BRAVO NIETO (carta personal) ubican esta obra como publicada en 1536, sin embargo no hemos podido obtener ninguna fuente de primera mano que me permita contrastar esta fecha.

⁴¹ Bernardino de Mendoza, *Theorica y Practica de Guerra ...*, Madrid, por la viuda de P. Madrigal, 1595.

⁴² Este listado fue cedido personalmente por D. ANTONIO BRAVO NIETO (carta personal, septiembre de 1995).

⁴³ CÁMARA MUÑOZ (1980 y 1990) considera que el primer tratado de arquitectura militar escrito en castellano fue el de Pedro Luis Escribá, *Apología en escusation y favor de las fábricas que se hacen por designio del Comendador Scribá en el Reyno de Nápoles ...*, cuyo texto manuscrito de 1538 se conserva en la Biblioteca Nacional de Madrid, Ms. núm. 2852. Sin embargo, tal manuscrito estuvo extraviado durante muchos años y sólo fue rescatado del olvido por Eduardo Mariátegui en 1878, por lo que no hemos considerado aquí que sus contenidos hayan sido conocidos en su época y difundidos y comentados por autores posteriores, tal como sí ocurre con el manuscrito de Francisco Di Giorgio Martini. Más información en SORALUCE (1983). Una revisión minuciosa de los diversos tratados manuscritos acerca de arquitectura militar y fortificación en España, demandaría con seguridad una investigación bastante exhaustiva y con resultados interesantes, pero ella se sale de los límites impuestos en este trabajo.

⁴⁴ En América, y en el caso concreto de Cartagena de Indias, se construyeron a lo largo del siglo XVI fortificaciones en madera *a base de estacadas de madera y protecciones de faginas*, e inclusive se siguieron empleando durante el siglo XVII. CABELLOS BARREIRO (1991), pág. 23.

⁴⁵ Al parecer, este problema ocupaba un lugar común en la vida de las fortificaciones. RODRIGUEZ VILLASANTE (1984) describe cómo en el fuerte de San Lorenzo (Galicia), ingenieros militares del siglo XVIII informaban al respecto: *Además los muros como la generalidad de los del país tienen de piedra tan solo la cara exterior con algún relleno de cascote, siendo lo demás tierra o barro, y como las humedades son tan abundantes han hecho aumentar de volumen las tierras comprimiéndolas sobre los muros, haciéndolos salir de sus planos de inclinación y abriendo grietas en otras partes; por lo que no pueden resistir a ninguna clase de proyectiles.*

⁴⁶ VÉRIN (1994): *... comme une maîtrise calculée des avantages, comme l'art d'opérer des choix à l'aide d'une évaluation qui se fonde sur la pondération d'utilités contraires.* Pág. 76.

⁴⁷ Algunos apuntes sobre su vida en: Yves BRUAND, "Les traités d'architecture militaire français à la fin du XVI et au début du XVII siècle" en AAVV (1988-B), págs. 477-484; y BIRAL Y MORACHIELLO (1985).

⁴⁸ BRUAND en AAVV (1988-B), pág. 480.

⁴⁹ DE VILLE, *De la charge des gouverneurs de places*, París, M. Guillemot, 1639. Este título también ha sido consultado, gracias al ejemplar que se encuentra en la Biblioteca de la Universidad de Barcelona.

⁵⁰ *Des Lieux qui font propes à la Fortification, par fois le Terrain n'en vaut rien, lequel on doit cognoiftre: car c'est la matiere principale de la Fortification, & d'où depend la plus grande force d'icelle.* A. DE VILLE, *Les Fortifications* (1666), pág. 19.

⁵¹ BIRAL Y MORACHIELLO (1985).

⁵² LEON TELLO (1994), pág. 8.

⁵³ El término *rempart*, que puede traducirse como *muralla*, expresa la idea general que de ella se tenía: el conjunto de terraplén (de tierra) y camisa (de piedras, ladrillos o tepes) que constituía las cortinas y las caras de los baluartes.

⁵⁴ Para LÓPEZ PIÑERO (1979), Mut es uno de los protagonistas de la introducción de la ciencia moderna en España, y quien mantuvo también una relación epistolar con científicos contemporáneos a él. De acuerdo con Navarro (citado por López Piñero, pág. 439), en este tratado se encuentra “el primer intento de incorporación de la dinámica galileana para el estudio de tiro de proyectiles y las primeras referencias a la nueva mecánica de toda la literatura española del siglo XVII”.

⁵⁵ GUTIÉRREZ (1972). En la *Addenda*, Gutiérrez incluye algunos títulos del inventario de los libros que pertenecieron a la *Biblioteca de la Misión Jesuítica de Candelaria* (pueblo cabecera del conjunto misionero en territorios del actual Paraguay), entre los que se destacan autores tales como Vicente Tosca, Sebastián Fernández de Medrano, Julio César Firrufino y Pietro Sardi.

⁵⁶ De esta lista descontamos la versión de Vauban que hace el Abate Du Fay en 1691, a la que también se le dedicará un apartado posterior.

⁵⁷ LEON TELLO (1994).

⁵⁸ Acerca de esta polémica, hay algunos apuntes en LEÓN TELLO (1994).

⁵⁹ WIEBESON (1988-B) reseña también algunos libros acerca de instrumentos de medición, destacando el escrito por Cosimo Bartoli y publicado en Venecia en 1564, *Del modo di misurare le distantie, le superficie, i corpi, le planche, le provincie, le prospettiu, et tutte le altre cose terrene ...*, libro que suele considerarse como el mayor tratado de geometría práctica del siglo XVI.

⁶⁰ En el legajo 3030 del Archivo General de Simancas (Sección Guerra Moderna), y que contiene entre otras cosas una relación *de los libros existentes en la Real Academia de Matemáticas de Barcelona al morir su director Miguel Taramas*, podemos encontrar citado los textos escritos por García de Céspedes, y Ozanam, a más de una extensa lista de tratados de matemáticas, geometría, artillería y fortificación. La transcripción de este legajo se encuentra en JOAN RIERA: “L’academia de matematiques a la Barcelona il·lustrada (1715-1800)”, en *II Congrés Internacional d’Historia de la Medicina Catalana, Barcelona, de l’1 al 5 de juny de 1975*, ponencias, págs. 73-129.

CAPÍTULO II

LA CRISTALIZACIÓN DEL SISTEMA TÉCNICO DURANTE EL SIGLO XVIII

1. Vauban y Fernández de Medrano

Los tratados de fortificación del siglo XVII cierran su siglo con la presencia de dos autores: el francés Sebastián Le Prestre de Vauban, importante en el contexto europeo pese a dejar una escasa obra escrita y que además aparece, o bien gracias a la pluma de otros, o bien tardíamente; y el español Sebastián Fernández de Medrano, de una influencia mucho más moderada a escala continental, pero que aún se sigue considerando como el gran tratadista militar español gracias a una obra escrita aparentemente extensa.

Y es que esta doble condición resulta paradójica. Veremos que los tratados impresos de Vauban no se caracterizan por su completez o por la profundidad de sus contenidos, y ni siquiera por el hecho de expresar nuevas propuestas tipológicas para las obras de fortificación; la importancia de Vauban reside más en su figura y su fama personal, que reinterpretada por terceros, expresa más que un simple cambio de mentalidad, un nuevo orden de los saberes y una nueva manera de establecer criterios de eficiencia para los sistemas a los que la fortificación permanente había llegado.

La relación establecida entre objetivos y resultados se altera desde fines del siglo XVII como producto de la aplicación de unos nuevos criterios internos de valoración: un rígido control sobre los proyectos, rapidez y rendimiento en los procesos de ejecución, y un estricto seguimiento de los costes de la edificación. Tampoco podemos olvidar que el impacto de las obras de fortificación se extiende también al conjunto de la sociedad: áreas desbastadas o despobladas para facilitar la implantación de complejas fortificaciones y una política de expropiación de pequeños propietarios en beneficio de los gobernantes, resienten desde fuera el llamado *sistema de fortificación permanente*. No podemos atribuir al genio de Vauban tales cambios, pero sí comprender que a partir de él y a través de su relación con la técnica constructiva es que el modelo de saberes alcanza un estado de cristalización tal que se hace posible apreciarlo y usarlo adecuadamente para los fines perseguidos: la codificación de la técnica constructiva alcanza unas nuevas formas. Las reglas que rigen el comportamiento de las estructuras y señaladas durante años por la práctica de los artesanos buscan el amparo de las ciencias físicas y las instrucciones nacidas de las relaciones producidas al interior de los procesos toman la forma de “contratos” o “pliegos de obra” que intentan gobernar las particularidades del ejercicio de la construcción.

Por su parte, veremos que la obra propia de Sebastián Fernández de Medrano se puede reducir a un único libro que el autor reescribe al menos en tres ocasiones, y cuyos contenidos se encuentran todavía atados a las formas con que los siglos XVI y XVII habían estado afrontando el tema de la fortificación; a cambio, su obra representa una muy buena muestra del nivel de codificación de conocimientos que se había venido desarrollando años atrás; Fernández de Medrano no sólo recopila, resume, condensa, sino que hace propuestas, emite juicios, y reflexiona acerca de su condición periférica, pero sin llegar a convertirse un factor de cambio en relación con lo ya existente.

1.1. Vauban

1.1.1. Su obra impresa

Indiscutiblemente, la figura de Sebastián Le Prestre de Vauban (1633-1707) guarda una significativa importancia dentro del desarrollo de la arquitectura militar europea de los siglos XVII y XVIII, especialmente por las soluciones por él aplicadas en un buen número de obras de fortificación construidas a lo largo y ancho de Francia.

Sin embargo, tal importancia no tiene una igual correspondencia con lo que a su obra escrita se refiere, puesto que muchos de sus manuscritos fueron considerados como altos secretos de estado por las autoridades francesas, lo que hizo que la aparición impresa de sus libros se llevase a cabo varios años después de su muerte, cuando sus teorías eran más conocidas a través de la aparición de obras apócrifas y de la interpretación de terceros autores. En la página que sirve de portada a la traducción que del *Traité de l'attaque et de la défense des places* (La Haya, Pierre de Hundt, 1737) hará Ignacio de Sala en 1743, se puede leer que el manuscrito de esta obra se conservó como tal *durante muchos años con gran cuidado en la Biblioteca del Rey Christianissimo para que las máximas de este autor no pudieran practicarse en perjuicio de la Francia*, de tal forma que fue necesario *sacarse algunas copias y finalmente se imprimió en La Haya el año de mil setecientos treinta y siete*. Además de esta obra, BIRAL (1985) reconoce también como de Vauban el libro titulado *Le Directeur général des fortifications*, publicado en La Haya, en 1685.

Las pocas memorias de Vauban que alcanzaron a ser editadas durante su vida fueron las de Londres, *New Method of Fortifications as Practice by Monsieur de Vauban*, en 1691 y las que bajo la firma del Abate Du Fay aparecerían en París en 1693, 1694 y 1707, y en Amsterdam en 1692, y de las que nos ocuparemos más adelante. Sin embargo, alrededor de la figura de Vauban existe una larga lista de textos, explicativos algunos, a manera de compendio otros, y aquellos que sencillamente tomaron algunos apartados para sí y los incluyeron en su propia obra; no es extraño ver tales características en los tratados de Pfeffinger, Sturm, Blondel, Milliet Deschasles y más explícitamente en Belidor.

La sentencia de GUTIÉRREZ (1991), que afirma que Vauban no fue un tratadista de fortificación, sino *un realizador de obras construidas que narraba sus experiencias y creaciones*, no puede dejar de parecernos cierta, aunque reconozcamos que la obra propia escrita por Vauban no fue ni mucho menos corta, pero no pública. BORNECQUE (1984), enumera al menos cinco textos manuscritos que tratan aspectos técnicos de la construcción de fortificaciones o de obras complementarias y que aún hoy se conservan en bibliotecas francesas: *Profil général des revêtements avec table explicative* (1687), *Mémoire des choses à pratiquer dans une ville menacée de bombardement*, *Desseind d'un mouton pour enforcer les poutrelles des écluses* (1687), *Instruction sur le façon et manière d'appliquer les chapes en ciment des souterranis* (1693), *Sur la manière de fonder des maçonneries dans l'eau* (1701) y *Traité des palissades bonnes ou mauvaises* (1702). A BORNECQUE, la lectura de tales manuscritos le permiten conocer un Vauban preocupado por los problemas prácticos y organizativos que conlleva la construcción de una obra particularmente compleja, para lo cual establece algunos principios de acción relacionados en especial con la economía y eficiencia de los trabajos:

- Toda modificación de la obra respecto a los planos debía ser consultada con el ingeniero en jefe.
- Se debía llevar un riguroso control sobre los precios unitarios.
- Había que llevar a cabo una selección del personal de mano de obra, teniendo en cuenta sus grados de especialización.
- Existía preocupación por los detalles técnicos: confección de morteros, ensamblaje de piedras y maderas, etc.
- Se llevaba a cabo un control sobre las horas de trabajo, las pausas, las previsiones de seguridad, los salarios y la jerarquización de las funciones.

También hay que decir que uno de los mayores logros de Vauban, importante para comprender el cambio que opera en la mentalidad del siglo XVIII, es su método de cálculo para evaluar la capacidad defensiva de una plaza, teniendo en cuenta tanto el número de hombres necesarios para su defensa y aprovisionamiento, como el tiempo estimado de la resistencia a un sitio¹ (en la obra del militar francés Guillaume Le Blond, *Tratado de la Defensa de las Plazas*, traducido al castellano en 1777, es posible encontrar algunas de estas tablas que contienen entre otras cosas, un cálculo detallado de las guarniciones, víveres, municiones y provisiones necesarias para un determinado número de hombres en un lapso específico de tiempo). Considera además que es inútil aplicar sistemas cerrados ante la diversidad de situaciones que era posible encontrar, y a cambio, es partidario de enfrentar cada problema de acuerdo con sus propias determinantes.

Pero también sabemos que para Vauban, la construcción se aprendía mediante el ejercicio de la práctica:

Il n'y a point d'officier capable d'un peu de bon sens que je ne puisse rendre capable de la conduite d'une tranchée, d'un logement de contrescarpe, d'une descente de fossé, attachement de mineur, etc., en trois sièges un peu raisonnables; mais un bon bâtisseur ne se fait qu'en quinze années d'application, encore faut-il qu'il soit employé à diverses choses, et qu'il soit homme de grande application.

Vauban, *Oisivetés*, Tomo II, pág. 379. Citado por VÉRIN (1994), pág. 192.

No hay oficial capaz de un poco de buen sentido que yo no pueda hacer capaz de la conducción de una trinchera, de la habilitación de una contraescarpa, del descenso de un foso, del esfuerzo de una mina, etc., en tres sitios un poco razonables, pero un buen constructor no se hace sino en quince años de aplicación, de manera tal que sea empleado en varias cosas y que sea un hombre de gran aplicación.

Con estas palabras, Vauban enfatiza por una parte su opinión de que el conocimiento conceptual es insuficiente, pero por otro denota la complejidad que él percibe dentro de la experiencia de la construcción y la importancia del desarrollo de las habilidades.

Por Belidor, en su *Science des Ingénieurs* (París, 1729) sabemos que Vauban también codifica los contratos de los trabajos de obra empleados por los ingenieros del Rey; ellos deben contemplar cuatro aspectos: las dimensiones principales de la obra, las cualidades de los materiales, el orden de las obras y las condiciones entre las partes. El contrato debía dar al detalle los costos de cualquier operación constructiva. Belidor retoma estas propuestas, y en

tanto en este libro como en *Architecture hydraulique* propone un modelo general de contrato para los trabajos, utilizando el esquema de Vauban (sobre ellos hemos de insistir más adelante).

Para determinar el espesor de los muros, Vauban estableció fórmulas matemáticas que comprobó mediante la práctica constructiva en distintas plazas, así como para establecer el espesor del recubrimiento de los muros (tabla que también recoge Belidor). Sin embargo, tales criterios y conocimientos no llegaron a hacerse explícitos en las ediciones impresas de su obra, y tampoco en la única traducción castellana.

El “Traité de l’attaque et de la défense des places”:

Según BIRAL - MANNO (1985), la primera edición es de 1737, también en La Haya, por Pierre de Hondt. Otra edición de 1742, contiene según este mismo autor, el primer tratado *Del ataque de las plazas*, idéntico al de la edición príncipe, pero en el segundo anexa un tratado minas, escrito por un *Officier de Distinction*. El ejemplar que hemos tenido a la vista, no cuenta con dicho tratado de minas.

El libro está dividido en dos partes, que ocupan un total de 336 páginas, equivalentes a 124 U.P., y que se acompañan de 32 planchas. Se tiene pues la certeza de que la primera parte fue efectivamente escrita por Vauban probablemente entre 1667 y 1672², pero se guardan dudas respecto a la segunda. La primera parte *Del Ataque de las Plazas*, se divide en 25 capítulos, cuyos temas siguen aquello que el título resume, sin involucrar ningún aspecto relacionado con la construcción material de fortificaciones. Es un tratado militar, en donde se consignan ideas acerca del reconocimiento de las plazas, las líneas de ataque, las baterías, las salidas, las minas, la fabricación de pólvora, la manera de ofender una plaza irregular e inclusive las funciones de los oficiales durante el sitio.

La segunda parte, dividida en 8 capítulos, explica las ventajas que una plaza puede brindar para su defensa en virtud del asentamiento, pero también trata de las medidas defensivas que se deben tomar, así como de las salidas, la defensa de la contraescarpa, semilunas y bastiones. Las láminas explican casi al detalle la ejecución de minas como medio importante para el asedio de una plaza. En su tratado, la geometría está desprovista de la carga simbólica impresa en los autores precedentes; ella es una herramienta que permite garantizar la máxima eficiencia de sus propuestas. También las matemáticas son para él una herramienta particularmente útil para calcular aspectos utilitarios: volúmenes de obra, áreas de superficies, determinación de costos, elaboración de presupuestos, etc.; es decir, para las fases de planeamiento y control racional de la edificación.

Los “Sistemas Vauban”:

Por su obra impresa sabemos que Vauban no “propone sistemas”, ellos obedecen más bien a una interpretación posterior hecha por militares, matemáticos e historiadores. Él responde acertadamente a los proyectos que el Estado le encarga logrando los objetivos propuestos dentro de un modelo de trabajo que le permite obtener un alto grado de eficiencia. Clara muestra de ello es que el *Sistema* de sus fortificaciones, tal como se entendía durante los

siglos XVI y XVII, no es un modelo acabado en todas sus partes sino que se perfecciona a sí mismo; ni siquiera lo aplica de igual forma en las obras que realiza, afrontando las limitaciones impuestas y controlando las variables: esa es la ventaja del dominio de la técnica.

En los tres sistemas que se le atribuyen, el nivel de complejidad se hace progresivo. El conocido como *Primer Sistema Vauban*, reconocido como tal a partir de 1680 ([Lámina XLII](#)), nace directamente de las sugerencias introducidas por Pagan en 1645, incluyendo ahora la construcción de almacenes de pólvora en el centro de los baluartes vacíos. Cada lado del baluarte es defendido por el flanco del baluarte adyacente mediante el fuego que se cruza por delante de las cortinas; el sistema contemplaba también la acción de obras exteriores complementarias que tienen un mayor peso estratégico dentro del conjunto que el que hasta ahora se les había concedido: revellines, medialunas, reductos y tenazas, se anteponen al primer recinto como cáscaras que cubren la deseada pulpa de una fruta³.

En el *Segundo Sistema Vauban*, se crea una defensa paralela, distanciando las obras de acción lejana mediante dos murallas concéntricas, separadas la una de la otra; la exterior controla la acción de los atacantes y la interior constituye la defensa de seguridad más próxima. De esta manera, aleja las obras principales de la acción de las balas enemigas ([Lámina XLIII](#)). Este sistema fue aplicado en las plazas de Belfort y Landau, y se perfecciona en el llamado *Tercer Sistema Vauban*, que intenta fortalecer la capacidad resistente de la plaza mediante cortinas abaluartadas y que incorpora además las propuestas del barón de Coehoorn acerca de los fosos de agua, estacadas, pasajes subterráneos y ampliación de vías internas para maniobras. Este sistema fue ampliamente conocido por haber sido aplicado en la nueva fundación de Neuf-Brisack en 1697, obra que se considerará en muchos de los tratados del siglo XVIII como paradigma de las formas abaluartadas.

Pero a cada propuesta defensiva surgía una contra-propuesta que anulaba sus pretensiones. La lucha entre contrarios, entre defensa y ataque que es también entre construcción y destrucción, queda patentemente expresada en tales soluciones ([Lámina XLIV](#) y [Lámina XLV](#)). La acción de los zapadores y minadores, el orden de las líneas de ataque, la sucesión continua de las acciones y en general, unos esquemas de la guerra bien estructurados tanto en ataque como en defensa, fueron dando pie a un auténtico equilibrio entre las dos fuerzas. Ello explica la revaloración que tuvo la llamada fortificación de campaña, que enseñaba la manera de hacer refugios provisionales en los extramuros de las plazas agredidas.

En la visión que imprime Vauban es posible apreciar una de las más importantes transformaciones de la mentalidad reinante alrededor del tema de las fortificaciones: en él, el principio de invulnerabilidad es reemplazado por el de destrucción retardada. La relación ataque - defensa, como equilibrio provisional adquiere una nueva unidad de medida: el tiempo. Si recordamos que a lo largo de toda la tratadística precedente, el objetivo fundamental es el de hacer invulnerable una fortaleza así ella tenga que dotarse de complicadas construcciones, Vauban comprende bien la imposibilidad de tal ideal, y opta por alargar el tiempo en que ella sea capaz de defenderse. Tal cambio en los objetivos modificará también y necesariamente los criterios de evaluación de los sistemas. Con Vauban es posible pensar en que queda superado el pensamiento clásico de la fortificación, preocupado por el logro de la forma perfecta, a cambio de un mayor interés por aspectos técnicos y especialmente constructivos y no sólo por los procesos en sí mismos, sino por

aquellos que contribuyen a la concepción del edificio y a sus posibilidades de ser llevado a cabo, con el fin de prolongar la resistencia del edificio y de los hombres que lo defienden.

GUTIÉRREZ (1991), ha intentado explorar el legado de Vauban en las fortificaciones americanas, limitándose a una comparación entre las formas y no las técnicas (entendidas en la extensión de su propia complejidad), pero no por ello deja de ser interesante la faceta que nos muestra también de un militar con visión de dominio que aplica métodos de cálculo y razonamientos matemáticos en sus propuestas para ocupar territorialmente y colonizar tierras americanas (especialmente el actual Canadá), llegando incluso a estimar cuadros de crecimiento demográfico para comunidades cerradas y autosuficientes, y esquematizando el orden social que en ella se había de mantener.

Sin embargo, hay que recordar que todas estas ideas estuvieron ausentes del entorno del arquitecto militar, hasta bien entrado el siglo XVIII.

1.1.2. La versión francesa de Du Fay

En 1694 aparece *Véritable maniere de bien fortifier de M. de Vauban, Où l'ont voit de quelle méthode on se sert aujourd'hui en France, pour la Fortification des Places ...* La obra consta de dos tomos. El primero se inicia con una advertencia al lector y un tratado preliminar de principios de geometría para luego exponer el *Verdadero método de fortificar* de Vauban (según BIRAL-MANNO (1985) esta parte habría sido escrita por Du Fay).

El segundo tomo, probablemente escrito por el caballero de Cambray, contiene cuatro libros anteceditos de un prefacio; el libro I contiene también un tratado de geometría *para la inteligencia de los hombres*, en donde además trata las subdivisiones que de ella hace: altimetría, longimetría, planimetría, estereotomía (donde enseña a calcular el volumen de los sólidos), *celometría y metamorfosis*. Termina este primer libro con definiciones ordenadas alfabéticamente de las maneras de *bien fortificar* de Vauban. El libro II contiene las máximas de fortificación, enumeración de principios que guían toda acción mediante ideas precisas y cortas; también trata de la situación de las plazas y cualidades estratégicas del terreno en tanto que el libro III aborda el tema de las construcciones geométricas y el IV se plantea en forma de problemas dichas construcciones, desde las más simples, pasando a las más complejas.

Aunque no existe un capítulo un apartado dedicado explícitamente a temas relacionados con la construcción material de las fortificaciones, es posible encontrar párrafos que explican aspectos relacionados con ella y que no siguen un orden secuencial correspondiente con el de los procesos de ejecución, sino que aparecen indiscriminadamente a lo largo del discurso.

En el libro I del primer tomo, encontramos los siguientes apartados de importancia. Acerca de los cimientos y las murallas:

Les fondemens doivent être de pierre. En Maçonnerie, on observe de en point employer de pierres sans mortier, ni de mortier sans pierres. Le grais n'aspire point le mortier, ou le rustique, sans cela il en feroit point le liaison. On conduite une muraille de niveau; quand on la pousse plus à un côté qu'à

l'autre, elle est sujette à se fendre: le mortier frais & le mortier sec ont de la peine à faire liaison: on pose les pierres de taille sur leurs lits, & les maçons frappent deffus pour les faire porter également par tout.

Pág. 50.

Los cimientos deben ser de piedra. En cuanto a la mampostería, se cuidará de no utilizar piedra sin argamasa, ni argamasa sin piedra. Recordemos que la piedra arenisca no absorbe la argamasa y por lo tanto no hay unión entre las dos. Se deben edificar las murallas bien niveladas, de lo contrario tienen tendencia a hendirse: la argamasa fresca y la seca no forman una buena unión; se depositan las piedras de sillería sobre su lecho de argamasa y los albañiles las golpean para que asienten por igual.

Aunque considera útil la función que cumplen los contrafuertes, sólo establece la dimensión de la separación entre ellos, dejando que sus propias dimensiones (largo, altura y espesor) queden condicionadas a las características de los suelos.

Pour aider le revêtement à soutenir la poussée du rempart, on fait de 18 en 18 pieds des contreforts: ce sont des avances dans le rempart, qui prennent racine au revêtement, & qui sont de la même matière.

Pág. 50.

Para que el revestimiento pueda soportar el empuje del recinto, se colocan contrafuertes cada 18 pies: son avances de la muralla, hechos del mismo material, que parten del mismo revestimiento.

En el momento de entrar a tratar el tema de los perfiles generales de las obras, reaparecen los asuntos propios de la materialidad de las fortificaciones, haciendo un recuento de las consideraciones a tener en el proceso de ejecución: *Para edificar, se empieza por los cimientos...* (pág. 68); y explica el proceso de pilotaje en terrenos con agua y en terrenos pantanosos, amarrando con maderas las cabezas de los pilotes y rellenando los espacios entre ellos con mampostería y cemento, y ladrillos colocados de canto. En cuanto a las maderas para los pilotes, recomienda el uso del roble, el aliso, el abeto y el castaño. En el tratado no aparecen los principios absolutos citados por otros autores, y por el contrario, existen postulados abiertos que de entrada asumen diversos condicionantes en el proceso de construcción:

On compte la profondeur des fondemens, depuis le lieu de leur assiette jusqu'au niveau du fosse. Ils doivent être assez larges pour qu'on y puisse asseoir la muraille de revêtement avec son talus, & qu'il y ait encore un pied & demi de faillie de côté & d'autre, qu'on appelle retraite, c'est à dire, qu'on se retire d'un pied & demi de part & d'autre, afin que la muraille soit plus solide.

De là on infere, que pour bâtir des fondemens, on doit au paravant savoir quelle hauteur aura la muraille qu'on doit élever deffus.

Pág. 69.

La profundidad de los cimientos se cuenta desde su base hasta el nivel del foso. Deben ser lo bastante anchos como para asentar la muralla de revestimiento y su talud, sobrando 1 pie y medio a ambos lados; se reserva esa distancia suplementario a ambas partes para dar mayor solidez a la muralla.

Por lo tanto deducimos que para construir los cimientos hace falta saber de antemano cual será la altura de la muralla que se pretende edificar por encima.

En las últimas líneas del primer tomo, explica las características de los almacenes, y para los de pólvora, explica las de las bóvedas que los protegen contra el efecto de las bombas:

Une voute à l'épreuve de la bombe a cinq ou six pieds d'épaisseur au moins, s'il arrive, que plusieurs bombes tombent au même endroit, les unes ébralent la voute, les autres la crevent. Pour y remédier, on peut disposer les magasins à poudre d'une manière, qu'il y ait six pieds de terre au dessus de la voute, cette terre amortir les bombes, & les rend de nul effet.

Pág. 83.

Una bóveda a prueba de bombas debe tener un mínimo de 5 a 6 pies. Puede ocurrir que varias bombas caigan en este mismo sitio: la primera puede sacudir fuertemente la bóveda y las siguientes la desmantelan. Para remediar esto se pueden disponer los almacenes de la pólvora de manera que haya un espesor de 6 pies de tierra por encima de su bóveda. Esta tierra amortigua las bombas y anula sus efectos.

No existen en todo el libro más alusiones a temas de construcción. Si consideramos sólo el primer tomo, que tiene una extensión de 57 U.P., los contenidos de construcción aquí citados sólo llegan a ocupar 0,5 U.P. (0,8 % del total).

1.1.3. La versión castellana de Ignacio de Sala

El interés por la obra de Vauban se hizo extensivo también a España, donde el cuerpo de ingenieros militares se consolidaba a lo largo del siglo XVIII. Fue entonces Ignacio de Sala el encargado de hacer su traducción, a la que trata de enriquecer con unas *Reflexiones y adiciones ...* de su propia cosecha pero que están más orientadas al tema de las minas que al de la adecuación o adaptación de las ideas del francés, tal como cabría esperarse.

Sala, de origen catalán, trabajó en las obras de construcción de *La Ciudadela* de Barcelona, bajo las órdenes del Marqués de Verboom; en 1718 pasa a dirigir las obras de fortificación de la plaza de Cádiz y en 1724 toma bajo su dirección las de toda Andalucía, siendo uno de sus proyectos más conocidos el del edificio para la Fábrica de Tabacos de Sevilla. Su tarea como traductor coincide con los años de esta estancia en el sur de España (1743). En 1748, Sala es enviado a Cartagena de Indias como gobernador de la provincia, concentrando para sí no sólo el poder político sino el conocimiento técnico; en 1751 pasa a Portobelo, y finalmente regresa a España en 1754.

El tratado, en la versión de Sala, *Tratado de la defensa de las plazas* (Cádiz, 1743), consta de dos partes: la primera, que contiene la traducción parcial del texto de Vauban *Traité de l'attaque et de la défense des Places*, y la segunda, constituida por las *Reflexiones y adiciones ...* (Cádiz, 1743) del propio Sala. La edición consta de 43 páginas (19 U.P.), una extensión igual a las de las explicaciones del ingeniero militar español, que ocupan de la página 45 a la 90, haciendo un total de 20 U.P. Valga la pena anotar, que la versión completa del tratado

francés ocupa 125 U.P. y comprende dos partes, del ataque y de la defensa de las plazas. Sala traduce únicamente la segunda parte y de manera resumida.

Comparemos las tablas de contenidos de ambos textos:

Vauban (he traducido los títulos)

Cap. 1: de las ventajas particulares que las Plazas pueden tener por el terreno donde ellas están situadas y por su fortificación.

Cap. 2: de las precauciones que se deben tomar en el sitio de una Plaza.

Cap. 3: de la línea de contra ataque.

Cap. 4: de las salidas.

Cap. 5: de la defensa de la contraescarpa.

Cap. 6: de la defensa de la semiluna.

Cap. 7: de la defensa de los bastiones.

Cap. 8: de los castigos que merecen aquellos que defienden mal las plazas

Sala (títulos tal como aparecen en el libro)

Cap. 1: de las precauciones que se deben tener antes de que la Plaza sea sitiada.

Cap. 2: de la línea de contra ataque

Cap. 3: de las salidas.

Cap. 4: de la defensa del camino cubierto.

Cap. 5: de la defensa del revellín.

Cap. 6: de la defensa de los bastiones.

Las adiciones de Sala, ocupan como ya dije, una extensión igual a la del texto que ha traducido, y en ellas expone experiencias prácticas complementarias. Son seis sus títulos:

- De las lenguas de sierpe.
- De las minas y hornillos bajo el glacis.
- De la defensa de las plazas de Armas del Camino Cubierto.
- De la retirada del camino cubierto, y defensa del Foso, y de la Brecha.
- De la cortadura del Revellín.
- De la cortadura del baluarte.

En el texto que le es propio, Sala apela a sus proyectos ejecutados en la defensa de Cádiz para explicar pasajes que difícilmente se comprendían del tratado de Vauban, e incluso para corregirlos y adaptarlos a los nuevos tiempos (el manuscrito de Vauban podría haber sido escrito hacia 1670). Pero como en su versión original, los métodos usados por el francés en la ejecución de sus obras están ausentes, y ni siquiera se comentan las propuestas geométricas de las obras construidas. Sala es un mero traductor.

1.1.4. La teoría de Vauban acerca de los muros

Como se puede comprobar, el legado impreso de Vauban es de una pobreza que sorprende, sin embargo, entrado el siglo XIX, empezaron a hacerse cada vez más conocidas muchas de sus teorías, algunas de las cuales eran ya para entonces prácticamente inútiles.

Belidor, seguidor incondicional de Vauban, transcribe en su obra *La Science des Ingenieurs ...* (1729), algunas de las recomendaciones que éste hacía respecto a la determinación del perfil de muros de contención de tierras, y que intenta comparar con los datos que se pueden obtener a través de sus fórmulas matemáticas (*Livre I, De la Theorie de la Maçonnerie: Parallele du Profil general de Mr. de Vauban avec les régles des Chapitres précédens*; págs. 67-

70). Ante todo, Belidor resume las consideraciones que Vauban hacía previamente a el dimensionado del muro:

- *Si la mampostería del país es buena, se puede dar a la cima del muro un espesor de 4½ pies; en caso contrario, se harán de 5 pies y 6 pulgadas ...*
- *Que se han de redoblar los contrafuertes situados en los ángulos salientes de los muros ...*
- *Que dichos contrafuertes se ligarán bien a los muros, y que se harán hasta la altura del cordón, y mejor aun si se elevan un poco más para soportar el parapeto ...*
- *Que el tamaño del contrafuerte ha de variar proporcionalmente con la altura del muro ...*
- *Que la sección del contrafuerte ha de ser de forma trapezoidal, con su base mayor adosada al plano interior del muro ...*

A esta última sugerencia, Belidor antepone la suya, que consiste en hacerlos de forma contraria, amparándose en un concepto de la mecánica: si se la base menor se adosa a la cara interior, el centro de gravedad M se aleja también del muro, y permite que el contrafuerte cumpla mejor su papel de lastre frente al volcamiento del muro. (*Lámina XLVI*: Figura 12, plancha 3, pág. 76 del Libro I del tratado de Belidor).

También ha resultado de mucha utilidad el libro escrito por A. Demanet como curso de construcción para sus alumnos de la Escuela Militar de Bruselas, *Cours de Construction* (3ª edición francesa, Publications Scientifiques - Industrielles de E. Lacroix, 2 vol., París, sin año, uno de cuyos ejemplares se encuentra en la Biblioteca Pública Arús de Barcelona), dictado entre 1843 y 1847 y que incluso fue traducido al castellano directamente de la edición belga (Madrid, Imprenta de Santiago Aguado, 1863-64).

Se trata de un curso en apariencia bastante completo; dividido en seis partes, inicia su exposición con el reconocimiento y empleo de los materiales (piedra, maderas y metales), para luego tratar lo que él mismo llama *teoría de la construcción*, que comprende la teoría de la resistencia de sólidos, la determinación del espesor de los muros y la teoría del equilibrio de sólidos. La cuarta parte está consagrada a las fundaciones y la quinta, a lo que el autor denomina *aplicaciones*, en donde explica algunas construcciones civiles y militares, entre ellas puentes en piedra y trabajos hidráulicos. La parte final de su libro contiene algunas recomendaciones acerca de la economía de los trabajos y las labores de mantenimiento y restauración.

Este resumen nos permite apreciar que los temas que todavía en el siglo XIX demandan preocupación son los relacionados con la determinación del espesor de muros y su cimentación; y todavía más sorprendente resulta ver que Demanet luego de demostrar su conocimiento de las ecuaciones matemáticas desarrolladas a finales del siglo XVIII para tales cálculos, apela también a los “métodos prácticos” de Vauban. En el *Article II* de la tercera parte (páginas 463-480), Demanet trata de los muros sometidos a empujes horizontales u oblicuos, y la determinación de su *espesor teórico* (*l'épaisseur théorique*), el cual depende de la conjugación de una serie de variables: ángulo del declive natural de los suelos y su densidad, y altura del muro. El problema que plantea, aumenta progresivamente su complejidad, involucrando variables tales como el paralelismo o inclinación de las paredes del muro,

siempre demostrando un gran rigor matemático. Pero después de tan extensas explicaciones, dice:

Les épaisseurs de murs que l'on obtient au moyen des formules précédentes ne peuvent être considérées que comme des limites purement théoriques.

Pág. 471.

Los espesores de muros que hemos obtenido por medio de las anteriores fórmulas, no pueden ser consideradas sino como sus límites puramente teóricos.

Y acto seguido recomienda el uso de las reglas empíricas usadas por Vauban para hallar el espesor de los muros de revestimiento en obras de fortificación:

Donner au sommet du mur une épaisseur constante de 1,624 m, quelle que soit sa hauteur, faire le talus intérieur vertical, et donner un cinquième d'inclinaison au talus extérieur.

Pág. 473.

Dar a la cúspide del muro un espesor constante de 1,624 m, cualquiera que sea su altura, haciendo vertical el talud interior, y dar una quinta parte de inclinación al talud exterior.

Rematando con la sentencia de que los muros así contruidos han resistido perfectamente más de un siglo. Un argumento bastante convincente.

1.2. Sebastián Fernández de Medrano

Sebastián Fernández de Medrano, nacido probablemente en 1646, alcanzó dentro del ejército español los cargos de Maestre de Campo y Sargento General de batalla; desempeñó el puesto de *Director de la Academia Militar de Bruselas* en la que impartió sus enseñanzas a numerosos oficiales, y tras haber perdido la vista y haber publicado al menos nueve títulos, falleció en 1705.

Su figura ha sido harto destacada por todos aquellos que han estudiado no sólo a los tratados de fortificación española, sino por los interesados en la tratadística de arquitectura puesto que el conjunto de su obra parece ofrecer una síntesis de los contenidos de la mayor parte de tratados precedentes, tanto de arquitectura civil y militar como de matemáticas, geometría y geografía.

Generalidades: extensión y difusión de su obra

En el listado que hemos elaborado, se han podido reunir nueve títulos distintos de sus obras, logrando también el poderlas consultar directamente. El que parece ser su primer libro apareció impreso en Bruselas en 1677: *Rudimentos geométricos y militares*⁴, que dividido en ocho libros, dedica la mayor parte de sus páginas a temas propios de la geometría tanto

especulativa como práctica, y que termina con una explicación de la manera de fabricar relojes de sol. Los dos últimos apartados se introducen ya en temas militares: el primero para tratar acerca de la formación de escuadrones, y el segundo para enseñar los términos más generales de la fortificación regular e irregular.

En 1680 se publica *El práctico artillero, el perfecto bombardero ...*⁵, un texto que recoge buena parte de los principios contenidos en los tratados españoles de artillería; y en 1687 lo hace *El ingeniero, Primera Parte de la Moderna Arquitectura Militar*⁶; dividida en dos tomos, el primero constituye sin duda la primera versión de su libro más conocido y completo, *El Architecto Perfecto en el Arte Militar*⁷, que verá la luz con este título sólo hasta 1708. En *El Ingeniero ...*, Fernández de Medrano invierte el orden de los temas en relación con su libro anterior, y empieza su exposición con temas propios del trazado y construcción de obras de fortificación, dejando en la segunda parte los relacionados con la geometría.

Al año siguiente, en 1688 aparece su *Breve Descripción del Mundo, o Guía Geographica de Medrano*⁸, escrita en verso, y que incluye un mapa completo del mundo, pero que no guarda relación con el tema que nos ocupa. Y es en 1698 cuando reaparece otra edición de *El ingeniero, Primera Parte de la Moderna Arquitectura Militar*, pero esta vez escrito en francés y bajo el título de *L'ingenieur pratique ou l'Architecture militaire et moderne ...*⁹, que precede dos libros menores: *Máximas y ardidés de que se sirven los extranjeros ...*¹⁰, y la traducción *Los seis primeros libros de Euclides ...*¹¹.

1.2.1. *El Architecto Perfecto en el Arte Militar ...*

Luego de este recuento, podemos concluir que Fernández de Medrano, sobre arquitectura militar, lo que escribe en realidad es un sólo libro, que aumenta y corrige a lo largo de tres ediciones, una de ellas en francés, siendo la tercera y última *El Architecto Perfecto en el Arte Militar, dividido en cinco libros*, que aparece como tal en 1708. El libro consta de 464 páginas enumeradas, descontando el prólogo, la dedicatoria y la tabla de contenidos, que no llevan numeración. Se acompañan los textos con 35 estampas cuyas páginas llevan una numeración independiente de los textos. Cada página consta de 30 líneas y cada una de ellas lleva en promedio 50 caracteres; por lo tanto, la extensión total del libro corresponde a 221 U.P.

Como lo indica en su título, el tratado consta de cinco libros no divididos en capítulos sino en subtítulos no enumerados. El Libro I trata de la *Fortificación Regular y Irregular à la Moderna*; él comienza por las definiciones generales de los términos empleados y las máximas y preceptos de la fortificación; prosigue con la explicación de la construcción de figuras geométricas y la delineación de los elementos de las fortalezas; concluye con la explicación de los métodos usados por los autores más citados incluyendo el suyo propio. El Libro II guarda una estrecha relación con el primero puesto que en él se explican las características, ventajas y desventajas de aquellas partes descritas en el primero (líneas de defensa, flancos, golas, cortinas, ángulos, casamatas, contraminas, altura de las murallas, cordón, contrafuertes, garitas, hornabeques, etc.).

El Libro III es el que dedica el mayor número de páginas a explicar aspectos referentes a la construcción; se titula *La fábrica de Cuarteles, Almacenes à Prueba de Bomba, y de toda suerte de Murallas tanto en Tierra como en el Agua*, con una extensión total de 29,50 U.P. (un 13,35% del total). Incluye además 5 láminas (un 14% del total) que ilustran las explicaciones sobre construcción. El Libro IV es *sobre la defensa y el ataque de una plaza*, y el Libro V termina el tratado con una explicación de los conocimientos de geometría, trigonometría, cálculo y regla de proporciones que el autor considera necesarios para la formación del arquitecto militar. Esta vinculación sigue tratándose de un nexo de forma entre matemáticas y arquitectura pues aún no aparece una justificación cuantitativa para aspectos tales como el espesor de los muros o el cálculo de los empujes de los rellenos, para citar sólo dos casos.

Los contenidos de construcción en el Libro III:

La afirmación que hago en las últimas líneas del párrafo anterior queda demostrada con las palabras escritas por Fernández de Medrano en el comienzo del Libro III:

Lo que se ha tratado en los libros antecedentes es lo que pertenece à lo Theorico de la Arquitectura Militar, y el que lo huviere de reduzir à la practica, ha de estar versado en la Arithmetica, Trigonometria, y Geometria practica, y en el uso de algun instrumento Geometrico ...

Pág. 179.

En estas palabras, Fernández de Medrano expresa una interesante conceptualización de su época: la *reducción a la práctica* de una teoría (y por tanto no *reducido* pero sí *sujeto a reducción*, es decir, *extenso*) necesita de la *aritmética*, la *geometría* (especulativa y práctica), la *trigonometría* y el uso de *algún instrumento geométrico*. ¿De qué *reducción* nos habla? Si recordamos el ya remoto tratado francés de Errard, de lo que se trata es de la posesión, control y ejercicio *de una técnica*. Como Vauban, es consiente de nuevas preocupaciones y prioridades:

Tambien sirve la dicha Arithmetica, y lo demas para calcular el solido del cuerpo de las murallas, fossos, y esplanadas, paraque sabiendo el tiempo que ha de durar una obra en acabarse, y el coste que tendrà segun los materiales, y sus propios precios, y lo que ganan los obreros por dia, pueda dar noticia de todo...

Pág. 179.

El conocimiento de tales áreas de las matemáticas se pone en evidencia no sólo al momento de delinear las plantas y trazar el perfil de las obras de fortificación y su paso del papel al terreno (un aspecto al que en varios tratados se le dedican breves capítulos). Ellas también son importantes a la hora de determinar los volúmenes de la obra ejecutada o por ejecutar; en el hecho de calcular los tiempos de duración de las obras y al momento de estimar presupuestos. Es decir, en los procesos de programación y control de los procesos constructivos.

Como vemos, hasta comienzos del siglo XVIII esa proclamada vinculación entre matemáticas y arquitectura, destacada como privilegio de los ingenieros militares, tiene unos límites que bien vale la pena dejar en claro.

Pasadas estas primeras páginas, Fernández de Medrano entra en una explicación clara y ordenada de los aspectos más importantes de la construcción de fortificaciones. Empezando por describir las ventajas y desventajas de los sitios en que se pretende levantar una fortificación, pasa repaso a los lugares altos ubicados en la cúspide de un cerro, continúa con los pantanosos y termina con los terrenos llanos y secos:

Las Plaças que se fabrican en llano tienen la ventaja de que con facilidad se levantan las Murallas, dando sus fossos buena y abundante tierra para todos los terraplenes.

Pág. 182.

El temor a la resistencia y estabilidad de los suelos parece o bien superado o bien disminuido ante la necesidad de proveerse de grandes volúmenes de tierra gruesa útil para la elaboración de terraplenes.

Luego de hacer algunas consideraciones importantes a tener en cuenta antes de emprender el fortificar una plaza, entra de lleno en el tema de las murallas y sus materiales; en esta explicación asume una posición que aunque no es novedosa en sí misma si es de destacar la reflexión que en torno a ella hace:

Las Murallas devieran ser de tierra, y no revestidas, porque embazando en ellas las balas, no hacen brecha con tanta facilidad como en la de piedra, que desencajada una se lleva otras tras de si, y à veces un gran pedazo de la Muralla... y aunque à esto se puede hazer el reparo y dezir que porque las Murallas revestidas de piedra ò ladrillo, son mas alabadas, y estimadas que las de tierra, se responderà que es porque generalmente se ofrecen mas distintas, y hermosas à la vista: mas el motivo que se tiene para hazerlas asi, no es este, porque como he dicho devieran ser de tierra sola, sino que como sucede que no se pueden mantener con razonable altura sin grandes declivios ò escarpes, haziendo estos gran cama para las lluvias, y nieves, facilitando la subida y bajada de la gente, y aun el ganado quedando al cabo de quatro, ò seis años desmoronada, y rovada siendo preciso renovarla de continuo, se ha tenido por mejor revestirlas quando se puede conservandolas asi por largos años, y con poco escarpe.

Pág. 184.

Con esta larga disertación parece quedar zanjada la polémica de varios autores anteriores acerca del material constitutivo de las murallas; pese a todo, líneas más adelante dice inclinarse por las de ladrillo que son las que hacen menos destrozos ante el impacto de las balas de cañón, para retomar el tema de las murallas en tierra proponiendo un método para su construcción:

De todo lo referido se colige que si fuera possible hallar modo para hazer murallas de tierra que se mantuviesen tanto tiempo, y con tan poco declivio como las revestidas, que serian las mas perfectas: pues yo digo que no es tan dificultosa esta empresa (siendo la tierra a proposito) pues con hazer tapias sobre cimientos, ò sobre toda la escarpa de piedra, como se

estila en España, que tengan de grueso doze pies, se conseguirà lo que se pretende, y dado caso que se tenga temor de que la fuerça del terraplen derrive la muralla de tapias, se haràn embutidas en dicho terraplen con otras tapias de cinco à ocho pies de espesso, formando con ellas otra muralla paralela à la primera, distante de ella de quinze pies, que en este modo soy de opinion que se tendrà una muralla de mucha mas resistencia que la de piedra, sin estar sujeta a los incouvenientes dichos arriba...

Pág. 185-186.

Además de la preocupación constructiva de su propuesta, también expone su preocupación estética:

...y que dado caso que se haga asi la muralla, se ofrecerà muy rustica, y tosca a la vista, que es cosa poco decente en una Villa de reputación; pero esto también se salva con que en España se veen en algunos lugares, muchas casas, cuyas paredes son de tapias, y parecen por una, y otra parte ser de piedra ò ladrillo, porque hechandolas una capa de hieso ò cal, las hazen por encima de tal ornato que se muestran parecer en dicha forma y finalmente se pueden adornar hechandola una camisa de un ladrillo y en conclusion devieranse hazer asi...

Pág. 186.

Aunque no trata sobre el papel de los contrafuertes en la estabilidad del muro, sus características quedaron expuestas páginas atrás cuando define las partes de la fortificación:

Los Contrafuertes ò Estribos, son unos Pilares quadrados, que se hazen al rededor de las murallas revestidas por la parte interior, quando el terreno no es bueno; daseles de seis à siete pies hazia la Plaça y de cinco ò seis de ancho, distantes unos de otros ocho à diez, y unas y otras medidas se aumentan, ò disminuien segun la buena ò mala condicion del terreno: Hazense estos pilares para impedir que la tierra no caiga toda de golpe sobre la Muralla; y la arruine. Ellos han de quedar embutidos en el terraplen de la muralla sin descubrirse cosa alguna.

Pág. 124.

Una vez expuesto el tema de las murallas en términos generales, entra a hablar de los materiales. De los tipos de cal, prefiere la de *Marmol*, por hacerse de piedra más dura y sólida, la cual se emplea en la elaboración de argamasa en una proporción de una parte de cal por dos de arena, y si es de mala calidad la primera, se aplica en proporciones iguales. Una vez preparada la argamasa, se dejará reposar 3 ó 4 días, y si se necesita de una muy fuerte, se preparará la cal con la ceniza ó cisco que queda en el horno, a *partes iguales* (la argamasa fuerte la recomienda emplear en las primeras hiladas de las murallas). Otra argamasa fuerte pero muy costosa es la que lleva adición de ladrillo molido o carbón de piedra y cisco de cal a partes iguales. En cuanto a la arena, rechaza de plano la arena blanca y prefiere la roja, que *apretada en la mano cruje y haze ruido, por ser grasa y humeda, lo que haze que se ligue bien con la cal*. Hablando de la tierra, prefiere la arcilla, *que es como greda, ò tierra de que hazen bodoques*, y la que se extrae de los pantanos, *que al secarse se pone dura como una piedra*.

De hecho, el propio autor reconoce el carácter no científico de este conocimiento:

Antes que passar adelante me ha parecido advertir aquí, como estas cosas de que vamos hablando, es cierto que pertenecen mas à la Gente comun que tienen por oficio traficar en ellas, que no à lo científico de la Architectura Militar: Mas como es preciso que el Ingeniero haya de saber la fuerça, vigor y resistencia de cada material, para que los obreros, y emprendedores de las obras, no empleen por lo bueno y concertado, lo que les estuviere à ellos mas à quento...

Pág. 189.

Es decir, que buena parte del conocimiento constructivo de los ingenieros y arquitectos militares sigue depositado en el que tienen los oficios, y que su papel es apropiarlo para sí y sistematizarlo. Esta es una propiedad importante en los comienzos del siglo XVIII. Continuando con la descripción de los elementos, explica el tepe (*tepe ò zespede*), el ladrillo (constitución y dimensiones), la piedra y los pilotes (en maderas tales como el roble y la encina, con diámetros de $\frac{3}{4}$ a 1 pié, y longitudes de 5, 10, 15, 20 o más pies terminados con puntas metálicas). Además, ilustra estos componentes y otros que se usaban comúnmente en la elaboración de trincheras y fortificaciones de campaña, tales como candeleros, zarzos, blindas, cestones, fajinas, salchichas, abrojos e inclusive carretillas de mano ([*Lámina XLVII-A*](#)).

Terminada la descripción de los elementos, el autor pasa a relatar minuciosamente los procesos propiamente dichos de construcción (puesta en obra) en los trabajos de fortificación. Se apoya para esto en las Planchas XVII y XVIII que se incluyen ([*Lámina XLVII-B*](#)).

En cuanto al *modo de levantar las Murallas revestidas de piedra ò ladrillo*, inicia su explicación por las labores de replanteo, excavación del foso y relleno del terraplén; continúa con la elaboración del cimiento y termina con la construcción del muro de mampostería, en el que conserva la pendiente que recomendaba Cristóbal de Rojas en 1598 guardando la proporción de 5:1. A partir de esta descripción, analiza varios tipos de murallas y de partes que le son complementarias: contraescarpa, entrada encubierta, murallas de tierra revestidas con tepes, murallas de tierra y fajina, murallas de tapias y finalmente murallas en madera. A partir de un caso tipo se permite generalizar acerca de la construcción de murallas:

Hasta aquí se ha tratado de levantar las Murallas de qualquier materia, pero ha sido con la suposicion de que en los fossos y cimientos no se ha hallado al abrirlos ningùn inconveniente: siendo así que se encuentran muy de ordinario, como lo son hallar agua, arena, ò piedra, y para este ultimo se notará lo siguiente.

Pág. 213.

Y para el caso de encontrar piedra en la excavación de los cimientos se limita a explicar como abrir la brecha con el empleo de la pólvora. En caso de hallar agua o arena, plantea la necesidad de cimentar con pilotes y explica una racional forma de disponer de ellos: se han de colocar consecutivamente y separados entre sí por una distancia de 1 pié por las líneas exterior, interior y media del grueso de las murallas, hincándolos con un mazo hasta dejar sus cabezas 1 pié por fuera del nivel del terreno; estas cabezas permiten amarrarlos entre sí con maderas de sección cuadrada para luego rellenar con piedra, cal y escorias de ladrillo los espacios residuales entre ellos.

Terminado este aspecto, Fernández de Medrano se introduce en el tema de la *Arquitectura Hidráulica*, en donde no demuestra la misma destreza para manejar los temas como sí ocurre con los anteriores. Expone cuatro situaciones siendo la primera la más general: *Como se puede fabricar en agua corriente ò en las Orillas del Mar, y dentro del agua:*

Esta materia de fabricar en las aguas ò contra ellas es la mas ardua que puede emprender el mas experto Ingeniero de Campaña, el qual podra bien designar las defensas y reparos segun el Orden de la Architectura Militar, pero el manejo y practica de la fabrica requiere personal que lo haya exercitado...

Págs. 221-222.

El método propuesto es el de los llamados *cajones flotantes*, que permiten acceder al fondo que se ha de cimentar mediante grandes cajas de madera de forma piramidal, abiertos por arriba y abajo y con los costados en tablas sellando sus juntas, para luego achicar el agua y llegando al fundamento, hincar pilotes o arrojar escollera. Este sistema sería muy usado en las obras de fortificación del Caribe americano. Los otros tres casos expuestos son mucho más particulares pero seguramente nacidos del nuevo abanico de necesidades que se le planteaban a los ingenieros militares y que en esta obra merecen un tratamiento especial: fabricación de *cavezas de mar*, *diques contra el agua* y *cofres*. Los temas de *Arquitectura Hidráulica* no se acompañan de ninguna ilustración a pesar de que demandan términos más complejos y procedimientos poco frecuentes, pero sus descripciones y el orden de su exposición hacen recordar algunos dibujos de la obra de Samuel Marolois¹².

Otro par de temas que trata Fernández de Medrano con una dedicación poco usual en tratados precedentes, son los de los *Quarteles* y *Almazenés*, cuyas cubiertas debían ser a prueba de bombas; para ellos plantea un techo:

...que sea en forma de tejado, y con unos maderos de un pie en quadro cada uno, que quedan unidos y abraçados como dixè hablando de las Baterias, havian de quedar los de sus Esplanadas; estos se cruzaràn por dos ò tres partes, con otros maderos semejantes, y sus huecos se llenaràn de Tierra, aumentando sobre este pavimento a un pie de Tierra, luego uno de estiercol, y dos de Tierra, que por todo son ocho pies de grueso, y siendo todo de Tierra serà mejor, y suficiente espesor para resistir à las bombas...

Págs. 230-231.

Y cuando entra a hablar de los almacenes, que son edificios de poca área y generalmente aislados del resto de las construcciones, trata sobre el espesor de los muros capaces de soportar el peso de sus cubiertas:

Para que estèn à prueba de bomba, se haràn los techos de los pequeños del grueso que hemos pintado en los quarteles, y que acaven en forma piramidal, dando a sus paredes 8 pies de grueso; mas para los Almazenés reales tendràn las tales paredes 12 pies, y formandolos de dos, tres ò quatro galerias, se haràn para mantener las bovedas, unos pilares de 7 à ocho pies en quadro, y tan altos que contengan uno, ò dos alojamientos; las bovedas se haràn de quatro pies de espeso, y igualados los huecos que forman en su union con otras por la parte superior con tierra, se levantarà sobre ellas un pie de tierra, sobre que se harà un tablado de las maderas de

un pie en quadro, travados como queda dicho: y sobre ellos hacer de tierra hasta de 12 à 14 pies de altura que se cubrirà con su tejado.
Págs. 233-234.

Lo que describe Fernández de Medrano es una solución arquitectónica ante un determinante constructivo: los pilares, capaces de soportar el peso de las cubiertas abovedadas, permiten la continuidad espacial al unir varios almacenes, evitando emplear muros portantes.

El Libro III se cierra con una explicación del autor acerca del sistema por él ideado para cubrir las plazas bajas, problema de vieja data pues las casamatas descubiertas quedaban expuestas a la acción ofensiva de los atacantes, y cubiertas impedían la salida del humo provocado al disparar los cañones. La propuesta, que ilustra con la Plancha XX (*Lámina XLVIII*), dedicada exclusivamente a mostrar su invención, consiste en crear mediante gruesos muros siete troneras angostas pero independientes y vinculadas entre sí mediante arcos, que se cubren con un plano inclinado de tierra y tepes capaces de "tragar" las balas de cañón; la altura de las troneras y el corredor común que las une por su parte posterior ayudarían a la evacuación de la humareda. La proximidad de las troneras con un almacén aseguraba la provisión oportuna de las municiones.

Sin duda, *El Arquitecto Perfecto en el Arte Militar*, es una obra que constituye una síntesis de los conocimientos precedentes, y que a diferencia de la *Escuela de Palas*, ocupada principalmente de los asuntos relacionados con el trazado de las fortificaciones y la recopilación de un cuerpo de teorías ya reconocidas, muestra un Fernández de Medrano que expone clara y ordenadamente todos y cada uno de los aspectos necesarios en el saber del arquitecto militar de la época asumiendo sus variadas y complejas vertientes: desde lo puramente militar hasta lo más detallado de la técnica constructiva. Pero también es una muestra de los vacíos y desconexiones en los conocimientos científicos de la época, pero precisamente por ello se hace necesario detenerse en este tratado y entenderlo como un auténtico "estado de la cuestión" en el momento de entrar a estudiar las obras del siglo XVIII.

2. Los ajustes finales

2.1. Modelos matemáticos y conocimiento constructivo en los tratados de fortificación del siglo XVIII

Dice VÉRIN (1993) que “*es a comienzos del siglo XVIII que se ponen en su sitio explícitamente las características del ingeniero moderno. Se exigirá particularmente de sus trabajos la prontitud, la solidez, la economía*”¹³. Pero el camino por el que transcurre la búsqueda de estos objetivos no es allanado, ni tampoco se caracteriza por ser immaculado o libre de deserciones.

La *ciencia del ingeniero* buscará controlar matemáticamente la concepción y la puesta en obra: ya no se trata del artesano medieval que fusiona idea y realización material, ni del hombre Renacentista que busca en la geometría el camino hacia las formas perfectas. Eso ha quedado atrás. PICÓN (1988) nos dice que durante el siglo XVIII se produce la disociación de dos profesiones que hasta entonces estaban bastante próximas: arquitectura e ingeniería, pero que tal separación se debe entender más como maneras distintas de relación con el entorno: *la diferencia es de actitud más que de competencias particulares*; el ingeniero no lleva sus conocimientos más allá de los límites que la práctica le indica y que en últimas constituyen la esencia de su trabajo; “la teoría” se entiende ahora distintamente para ingenieros y arquitectos; si para los primeros ella nace de las ciencias y se apoya en el cálculo numérico, para los segundos su comprensión se mantiene más próxima a los ideales formales presentes en los tratados del siglo XVII e iniciará un recorrido distinto y que aquí no vamos a entrar a considerar.

Si hasta ahora, la durabilidad, la estabilidad y la solidez de un edificio, cualquiera que él fuera, estaban dados por una ejecución bondadosa, usando los materiales adecuados, el dimensionado de las partes obedecía al plan general, a las dimensiones del conjunto, al buscado equilibrio de los elementos ... en últimas, al orden geométrico que servía para garantizar de alguna manera la inexpugnabilidad de todo el recinto: la pendiente exterior de las murallas, su espesor y el de sus cimientos, la separación entre los contrafuertes o la longitud de las cortinas, seguían inscritos en la concepción dimensional del conjunto, y era *la práctica*, el acierto y el error, quienes se encargaban de avalarlas.

El ingeniero del siglo XVIII ha de redefinir tales relaciones y se apoyará ahora en el conocimiento de la mecánica para comprender de manera abstracta los elementos estructurales; es una época de matematización de las disciplinas, en las que se hacen además progresos significativos en el estudio de la mecánica de sólidos y en la resistencia de materiales.

Tampoco podemos desconocer que la cristalización del sistema técnico que agrupa a las actividades edificatorias se vio estimulado por la puesta en vigencia de unos nuevos valores colectivos: eficacia, racionalidad, economía, y como lo expresa QUINTANILLA, *alguna forma de moralidad realmente aceptable*.¹⁴

La aparición del libro de Belidor *La Science des Ingénieurs ...* en 1729, se considera que representa *un hito* en la historia del desarrollo técnico y más aún, del desarrollo de las ideas

del siglo XVIII. Si COLLINS (1970) lo considera como *el primer tratado sistemático sobre la construcción de edificios, basado en métodos algebraicos*, GONZÁLEZ (1993) atenúa su importancia y la relativiza a los problemas específicos del dimensionado de muros de contención y de estribos de arcos y bóvedas, aunque también reconoce su trascendencia al plano de la arquitectura civil. Vamos entonces a estudiar cuatro aspectos importantes: el estado de la cuestión del saber inmediatamente antes de la aparición de este libro a través de un pequeño texto, también francés, aparecido por primera vez en 1716: *Traité des Ponts*, de Gautier; luego analizaré el propio texto de Belidor, para después hacer lo mismo con la versión y adaptación española de Sánchez Taramas que gozó de gran difusión y que curiosamente pasó primero por una versión inglesa de John Müller. Finalmente, explicaré los contenidos del tratado de Prony, aparecido en 1790 y que cierra definitivamente el listado de los textos técnicos del siglo XVIII.

2.1.1. Sistemas gráficos para cálculo de muros y arcos en la obra de Gautier

Un tratado particularmente interesante de comienzos del siglo XVIII, es el de H. Gautier, *Traité des Ponts*¹⁵(1716), libro del que se hicieron con seguridad varias ediciones de las cuales, ya en la segunda, de 1727, se incluía una “Disertación sobre los pilares, dovelas y empujes de los puentes” (*Dissertation sur les Culées, Pilles, Voussoirs et Poussées des Ponts, avec Devis et Reglamens faits a cé sujet*, París, Chez Andre Cailleau, 1727). Gautier se nos presenta en la portada de su texto como *Arquitecto, Ingeniero e Inspector de Puentes y Caminos*, es decir que no es un ingeniero militar, ni tampoco tiene a su cargo tareas de fortificación, pero sus principios resumen algunas de las teorías más en boga en su época¹⁶ y ofrece una metodología propia que evidencia el estado de las diferencias entre la práctica constructiva y los métodos matemáticos. De hecho, un puente es un objeto que se sitúa a mitad de camino entre la arquitectura y la ingeniería. En él se hacían necesarios conocimientos relativos al dimensionado de los elementos de los arcos y sus pilares, a la construcción de fundaciones bajo el agua y en lugares húmedos, a la solución de problemas de estereometría y en algunos casos, al empuje de las aguas contra muros. La preocupación estética estaba más en el conjunto que en el detalle, así se colocasen finalmente sobre él las molduras o esculturas que consideraran necesarias para presentarlo.

El *Traité des ponts*, está dividido en dos capítulos y varias disertaciones, que abarcan en total 344 páginas (equivalentes a 224 U.P). El primer capítulo trata de los puentes en general, mientras que el segundo lo hace de los de mampostería y madera; ambos ocupan sólo 248 páginas (161 U.P.), dedicándose a partir de aquí a reflexiones tales como un reglamento de caminos públicos y consejos para las tareas de mantenimiento. Esta primera parte es bastante pobre en consideraciones técnicas, dedicándose a examinar ejemplos del pasado, especialmente obras de Alberti y Palladio.

De mayor interés ha resultado la disertación acerca de los pilares, dovelas y empujes que se producen en los puentes, y que son aplicables incluso a la arquitectura civil. Tiene una extensión de 67 páginas que corresponden a 43 U.P., y se divide en nueve capítulos, todos ellos concernientes a asuntos relacionados con la determinación de las dimensiones de los estribos de los arcos y el espesor de muros de contención de tierras.

A lo largo de estos nueve capítulos Gautier discute problemas relacionados con la estática y la resistencia de materiales, con la clara intención de aplicar sus principios a la comprensión de los problemas estructurales y constructivos. En el preámbulo de sus disertaciones, define a la arquitectura de su tiempo como *un arte que requiere del conocimiento de las leyes de la mecánica*, pero *imperfecta* ante la falta de acuerdo acerca de los principios que en ella puedan ser válidos:

Les Arts no son fondez que sur les Méchaniques, & les Méchaniques sont partie des Mathematiques, qui sont des Sciences qui se démontrent.

L'Architecture est un Art qui dépend en partie de ces Sciences & surtout des Méchaniques, mais encore de la Phisique ... Les arts sont encore fort imparfaits, & surtout l'Architecture, où l'on voit que les choses y changent des deux à trois fois differement dans chaque Siecle ...

Pág. 341-342.

Las Artes no son fundamentadas sino en la Mecánica, y la Mecánica es una parte de las Matemáticas, que son Ciencias que se demuestran.

La arquitectura es un Arte que depende en parte de estas Ciencias, especialmente de la mecánica y sobre todo de la física ... Las artes son todavía imperfectas, y especialmente la Arquitectura, donde se ve como las cosas cambian dos y tres veces cada siglo ...

Gautier considera que en la arquitectura (cualquiera que ella sea), tanto la preocupación por las correctas proporciones como el comportamiento mecánico de las edificaciones constituyen sus mayores dificultades:

La proportion dans tous les Ouvrages d'Architecture de quelque espece qu'ils puissent être, & le Méchanisme de leurs efforts, dons les plus habiles Architectes ne sont point convenus a été jusqu'a present le plus difficile de cet Art.

Pág. 342.

La proporción en todas las Obras de Arquitectura, de cualquier especie, y el Mecanismo de sus esfuerzos, son los aspectos en donde ni los más hábiles Arquitectos han podido ponerse de acuerdo y son ahora los más difíciles de este Arte.

Los primeros problemas que el autor enfrenta son el del cálculo del espesor de los estribos de los arcos, y su altura, acerca de los que existían ya para comienzos del siglo XVIII varias teorías. El físico Philippe De La Hire (*Traité de Mecanique ou l'on explique tout ce qui est nécessaire dans la pratique des arts*, París, 1695) es el primero en conseguir, de acuerdo a unas hipótesis *más o menos ciertas*, un método numérico para determinar las dimensiones necesarias en la construcción de arcos y bóvedas¹⁷; pero cuya comprensión no fue nada fácil, e inclusive sufrió reinterpretaciones, como la que hará el propio Belidor en el capítulo VIII de *La Science des Ingénieurs ...* (1729). Gautier, comentando el trabajo de De La Hire afirma:

J'avouë ingenuëment que je ne suis pas assez habile pour la comprendre. Je n'ai pas pû même suivre son Operation tant je la trouve composée; & je regarde tout ce qu'il nous a dit, comme une chose dont les demi sçavans, & surtout les Ouvriers, ne sçacvroient comprendre. Car si pour

concevoir ce qu'il raporte, il faut sçavoir absolument l'Algebre, dont il emprunte les secours, je ne crois pas qu'aucun Tailleur de pierres, Apareilleur, ni Architecte ... en puissent jamas profiter ...

Pág. 350.

Reconozco ingenuamente que no soy lo bastante hábil para comprenderlo. Yo mismo no he podido seguir sus operaciones tal como las encuentro, y veo todo lo que dice como una cuestión donde los mediosabios y sobre todo los obreros no sabrán comprender. Porque si para entender aquello que se explica es necesario dominar el Álgebra, de la cual se sirve, no creo que ningún cantero, aparejador, ni arquitecto ... las puedan jamás aprovechar ...

Tal incomprensión, es entonces la que empuja a Gautier a adoptar los métodos geométricos más simples y a buscar la manera de darles una demostración basándose para ello en formulaciones que adquieren un tono matemático. Sin embargo, sus métodos siguen siendo gráficos.

Primero, explica aquel que consiste en prolongar la cuerda que corta el tercio del arco, cuyo origen todavía se considera incierto¹⁸ y que resulta válido sólo en los casos en que las dimensiones del arco son reducidas (*Lámina XLIX*): se divide el intradós del arco en tres partes, AO, OP y PM y se traza la cuerda PM que se prolonga en el segmento MS de tal forma que su longitud sea igual a MP; por el punto S se levanta una perpendicular al diámetro AM, determinándose así el espesor del pie derecho (o estribo del arco). Gautier dice de este método:

Cette Operation n'est point prouvée pour faire voir qu'elle soit juste ou veritable. Ainsi ce n'est rien dire, & c'est donner au hasard que de la suivre.

Página 354.

Esta Operación no se ha demostrado para saber si ella es precisa o veraz. Nada podemos decir, sólo que es más producto del azar que de la comprensión.

Descartado este procedimiento, este autor lleva a cabo una extensa construcción geométrica amparada a su vez en la conclusión que extrae de un repaso a los conceptos emitidos por autoridades como Palladio, Alberti o Serlio, y que le hacen dudar de la validez de un único procedimiento cierto:

Tant de varieté dans ces ouvrages, nous doivent faire penser que leurs Auteurs n'ont encore observé aucune Regle generale ni certaine, qui soit fondée sur des principes démontrez pour établir les Piles des Ponts.

Pág. 363.

Ante la variedad de sus obras, nosotros debemos pensar que los Autores no han todavía observado ninguna Regla general ni cierta, que sea fundada sobre principios demostrados para establecer los Pilares de los Puentes.

Su explicación -resumida en la figura 1- le lleva a establecer una dimensión para el espesor del estribo (segmento IL=HG), mayor que la que resulta *del método del Padre Deran o de M.*

Blondel (segmento MR), haciendo de esta construcción una ley extrapolable a los arcos planos, rebajados y ojivales, que si bien reinterpreta el método geométrico tradicional, tampoco asume las explicaciones de De La Hire y ni siquiera llega a alcanzar un gran nivel de veracidad. Gautier defiende su fácil aplicación por parte de los maestros y aparejadores:

Il n'y a personne ce me semble, qui sans même beaucoup de Géométrie comme sont la plupart des Maîtres, Maçons, des Apareilleurs, & des Tailleurs de Pierres, ne puissent comprendre ce que j'avance, le tracer, & le démontrer sur toutes sortes d'Arches sans beaucoup d'operation.

Pág. 358.

Me parece que no hay persona, que hasta sin mucho de Geometría como lo son la mayoría de los Maestros, Albañiles, Aparejadores y talladores de Piedra, no puedan comprender lo que he dicho, el trazado, y la demostración acerca de todos los arcos, sin muchas operaciones.

Con la misma intención, plantea además un método gráfico para determinar el espesor de los muros de contención de tierras (figura 10): sea el volumen de tierras contenido en el cuadrado ABCD, y ABD el triángulo que se estima ejerce el empuje efectivo sobre el muro; se traza la recta DH, paralela a la hipotenusa del triángulo AFD (cuya área es equivalente a la mitad del triángulo ABD). Para reducir el triángulo ADH a la forma de un muro de contención (Figura 11), se hace más grueso en el vértice Q y se recorta en su base por P, de tal manera que su área siga siendo equivalente a la del triángulo ADH. El razonamiento de Gautier se basa en que al hacerse el muro de mampostería y siendo su superficie igual a la mitad de aquélla que corresponde a las tierras que hacen el empuje, éste podrá soportar con suficiencia tales esfuerzos.

Considera también determinante la calidad de los materiales, sus pesos específicos y el efecto erosivo del agua sobre los morteros y las hierbas por entre las juntas de las piedras, para lo cual basta con tomar precauciones durante el proceso de construcción, además de unas tareas de mantenimiento del muro. Finalmente, incluye en la página 383 una tabla que resume las dimensiones de los muros de contención en las diferentes situaciones propias de su construcción.

A la vista de todo esto, verificamos de nuevo que la verdad no es un requisito del conocimiento técnico; para Gautier -que es todavía un hombre del siglo XVII-, más importante que las ecuaciones planteadas ya por hombres de ciencia, es el hecho de disponer de un método que de alguna manera legitime un saber que hasta ahora había sido correcto y que estaba expresado en un buen número de obras construidas; es por eso también que recurre a la historia de la arquitectura y a sus grandes figuras: Alberti, Palladio, Scamozzi, e incluso a los mismísimos puentes romanos todavía en pie. Las construcciones geométricas de Gautier ya no están amparadas en el rito o en la magia, (en ese sentido ha roto con la tradición medieval) sino que obedecen a una correspondencia entre construcción gráfica y construcción material; su intención es siempre facilitar a los maestros y aparejadores los procedimientos de puesta en obra.

Pero ¿Gautier es consciente de los límites técnicos de su propuesta? No lo sabemos con certeza, aunque una revisión de las dimensiones de los puentes que incluye como ejemplos a lo largo de su libro, nos hacen creer que no. Los métodos gráficos proporcionan unas

dimensiones adecuadas en arcos de poca distancia libre entre sus apoyos, pero son incapaces de dar una respuesta efectiva a aquellos cuyos pilares son demasiado altos.

2.1.2. *Las propuestas de Belidor*

Si Gautier menosprecia por su dificultad de comprensión a las propuestas matemáticas de De La Hire, a Bernard Forest de Belidor, de origen catalán pero producto de la educación francesa, se le puede considerar como un sucesor. Autor de varias obras, su tratado *La Science des Ingénieurs ...*, publicado en 1729 adquiere rápidamente gran popularidad entre arquitectos militares y constructores civiles: el suyo es un trabajo ambicioso donde intenta sistematizar la ejecución de edificios usando métodos algebraicos y modelos matemáticos, acentuando una preocupación por los procesos técnicos de la edificación. De acuerdo con V. NASCÈ¹⁹, *todos los libros de ingeniería y arquitectura, que fueron escritos a partir de la mitad del siglo XVIII estuvieron profundamente influenciados por esta obra, especialmente en dos aspectos particulares: el dimensionamiento de la estructura y los mecanismos de dirección de los trabajos de fortificación.*

La obra, consta de dos volúmenes que contienen seis libros, cada uno de los cuales está enumerado individualmente, logrando una extensión total de 498 páginas equivalentes a 440 U.P. Acompaña al texto un conjunto de 52 ilustraciones.

El libro I (80 páginas con tres ilustraciones, equivalentes a 70 U.P.), está consagrado por entero a la manera *de servirse de los principios de la mecánica para obtener las dimensiones convenientes a los revestimientos de las obras de fortificación, para estar en equilibrio con el empuje de las tierras que han de sostener*. Dividido en seis capítulos, se vale de ejercicios, teoremas, lemas y corolarios para explicar el dimensionado de muros de contención: trata de la determinación del centro de gravedad de diversas figuras, el cálculo del espesor de muros y la magnitud de los empujes del terreno. El Libro II (64 páginas con tres ilustraciones, equivalentes a 56 U.P.) tiene cuatro capítulos, que tratan de la mecánica de las bóvedas, *para mostrar la manera de determinar el espesor de los estribos*. Como en el anterior, se organiza a partir de ejercicios, teoremas y corolarios.

Una vez expuestos los métodos de resolución a tales problemas, los libros III y IV tratan aspectos relacionados con la construcción misma de los edificios: combina conceptos teóricos y empíricos. El libro III *comprende el conocimiento de los materiales, sus propiedades, sus detalles y la puesta en obra*; tiene 12 capítulos (90 páginas y 5 ilustraciones, equivalentes a 80 U.P.) que constituyen una completa monografía sobre las propiedades físicas y empleo de los materiales. El libro IV *trata de la construcción de edificios civiles y militares* (104 páginas y 25 ilustraciones, equivalentes a 92 U.P.), donde en 14 capítulos expone las distintas tipologías de puertas, garitas, almacenes, arsenales y otros edificios que se hacían al interior de las fortificaciones, precedidas por algunas explicaciones acerca de las calidades de la madera y del hierro.

El libro V está dedicado a *la decoración de los edificios* (80 páginas y 14 ilustraciones, equivalentes a 70 U.P.), donde expone la teoría de los órdenes arquitectónicos a través de 12 capítulos, tema que se justifica en el uso que de ellos se hacía en la traza y construcción de las portadas de las fortificaciones, así como en la ampliación del repertorio programático que

ponía a los ingenieros militares al frente de edificios con carácter civil. El libro VI y último, *comprende la manera de hacer los Devis para la construcción de las fortificaciones y de las construcciones civiles* (80 páginas con 2 ilustraciones, equivalentes a 70 U.P.)²⁰. Sin duda, este constituye uno de los libros más interesantes del tratado, al cual le hemos de dedicar algunas reflexiones en páginas venideras.

El orden en que los libros se disponen dentro del tratado, guarda una clara intencionalidad: primero se presentan teorías abstractas sobre problemas concretos nacidas del conocimiento de las leyes de la mecánica; luego se expone un conjunto de conocimientos teóricos y empíricos acerca de la materia y finalmente se trata de la manera de resolver tipológicamente una edificación y las estimaciones necesarias para su puesta en obra. En la primera edición de 1729, los libros I, II, III y VI ocupan el primer volumen, en tanto que los libros IV y V ocupan el segundo. ¿Responde esto también a una intención? No lo sabemos, pero el carácter distinto que ambos volúmenes adoptan es evidente. En el primero, Belidor recoge los contenidos que él mismo considera más importantes para el ingeniero moderno y que conforman su contribución más original, tal como lo afirma en el prefacio del tratado; en él resume conocimientos abstractos (teorías), recomendaciones acerca de los materiales (reglas), y precisiones sobre la conducción de los trabajos que buscan regular la práctica constructiva (instrucciones).

El segundo volumen, con los libros III y IV, se ocupa fundamentalmente de asuntos relacionados con la respuesta tipológica de los edificios y su decoración; su intención es establecer modelos visuales: se vale de plantas y secciones que ejemplifican la manera de responder a casos, como si se tratase de un catálogo de figuras de las que se puede echar mano cuando sea necesario. Pero aquí el esquema teorías-reglas-instrucciones sigue estando presente, así no se ampare en modelos matemáticos. Belidor es la expresión más clara del grado de madurez alcanzado por la tecnología constructiva puesta al servicio de los arquitectos e ingenieros militares.

Por todo esto, si ya en Belidor encontramos un cuerpo de conocimientos constructivos diferenciados por sus contenidos (que determinan en la fase de concepción arquitectónica la características de la parte material y que permiten que este edificio se convierta en realidad física), también es posible percibir la estructura que lo convierte en un *sistema de acciones* (conocimiento representacional y conocimiento operacional), tal como lo entendemos hoy en día y lo hemos adoptado en el prefacio de esta tesis. Su tratado es producto de toda una reflexión precedente y de su confrontación con la práctica, alimentado y promovido por un afán que parte de la necesidad de asegurar la defensa y consolidación de unos nuevos estados.

Entremos ahora en una revisión más detallada de los contenidos que se expresan en cada uno de estos apartados.

Valoraciones iniciales y formulación de teorías:

Desde el discurso preliminar que antecede al primero de sus libros, Belidor expone su particular visión del conocimiento, tanto del que se adquiere a través del contacto con la

experiencia como del que es producto de la especulación teórica, y explícitamente, del que hace uso del lenguaje matemático:

Depuis qu'on a cherché dans les Mathematiques les moyens de perfectionner les Arts, on y a fait des progrès qu'on n'eût osé esperar auparavant ... l'opinion qu'il n'y a que la seule pratique qui peut les mener au but, est encore un obstacle qui n'est pas le moins difficile à vaincre; il est bien vrai que l'experience contribuë beaucoup à donner des connoissances nouvelles, & qu'elle fournit tous les jours aux plus habiles gens des sujets de reflexion ...

Págs. 1-2 (libro I).

Desde que se han buscado en las Matemáticas los medios de perfeccionar las Artes, se han hecho progresos que nadie antes podía esperar ... la opinión de algunos de que es sólo la práctica lo que les puede llevar a su fin, es todavía un obstáculo no menos difícil de vencer; es bien cierto que la experiencia contribuye mucho a dar conocimientos nuevos, y que ella suministra permanentemente a las más hábiles personas ideas de reflexión ...

Belidor no cuestiona la contribución de la experiencia, pero piensa que los saberes que resultan de la práctica se transmiten de una generación a otra *con los mismos defectos*, permaneciendo así en un estado de imperfección, *tal como ocurre con la arquitectura*, a la que considera incapaz de resolver analíticamente problemas que requieren del conocimiento matemático:

Cela vient sans doute, de ce que la plûpart des hommes ne consultant point assés la raison; esclaves du préjugé, c'est presque toûjours l'usage qui les détermine, & pour ne parler que de l'Architecture ... aucun Architecte n'a donné des principes pour trouver le point d'équilibre entre les forces agissantes & celles qui doivent résister ... quelle épaisseur il faut donner aux revêtemens des Terrasse ... aux piés-droits des Voûtes, aux Culées des Ponts ...

Pág. 2 (libro I).

Todo ello es sin duda, porque la mayoría de los hombres no consultan suficientemente la razón; esclavos de los prejuicios, es apenas el uso lo que les determina, y por no hablar de la Arquitectura ... ningún arquitecto ha establecido los principios para hallar el punto de equilibrio entre las fuerzas actuantes y resistentes ... sobre el espesor que ha de dar a los revestimientos de los terraplenes ... a los pies derechos de los arcos o a los pilares de los puentes ...

Su crítica es contundente. Por encima de la conveniencia y el gusto, defiende al álgebra y a la mecánica como el lenguaje en el que se debe expresar el conocimiento del arquitecto. Tal es el propósito explícito de su libro: reconducir los métodos de los que él aprende, *sustituir la experiencia por un nuevo sistema teórico* como vía para alcanzar el conocimiento.

Ainsi pour commencer à suivre la méthode selon laquelle il m'a paru que l'Architecte devoit être traité ... nous allons enseigner dans ce Livre ci, une nouvelle théorie pour régler l'épaisseur des revêtemens de maçonnerie ...

Pág. 4 (libro I).

Así, para comenzar a seguir el método según el cual me parece que el arquitecto deba ser tratado ... hemos de enseñar en este libro, una nueva teoría para reglar el espesor de los revestimientos de la mampostería ...

Para este primer caso, la *Theorie de la Maçonnerie*, Belidor inicialmente hace un recuento de saberes previos que considera necesarios (y que él ya había tratado en su *Nouveau Cours de Mathématique*, París, 1725, y al que cita en numerosas ocasiones): la determinación del centro de gravedad de superficies planas. El primer paso consiste en determinar el espesor de un muro sometido a un empuje reduciendo tal situación al de una máquina simple: el plano inclinado, y haciendo tres concesiones previas:

La premiere est que l'on doit regarder un Mur comme étant assis sur des fondemens inébranlables ... La seconde, est qu'on doit considerer un Mur comme composé d'une seule pierre ... La troisième, c'est qu'on peut regarder le profit d'un Mur comme exprimant le Mur même ...

Pág. 12 (libro I).

La primera es que se debe ver el Muro como si estuviese apoyado sobre unos fundamentos inquebrantables ... La segunda, es que se ha de considerar al Muro como compuesto de una sola piedra ... La tercera, es que se puede entender el perfil del Muro como expresión misma de todo el Muro ...

Su explicación se inicia con el caso más simple: un muro de caras paralelas sometido a una fuerza perpendicular a su plano vertical; el caso se hace cada vez más complejo: sus caras asumen inclinaciones de un lado y otro, variando para cada caso la ecuación inicial, donde y es el espesor del muro y bf es el valor de dicho empuje:

$$y = \sqrt{2bf}$$

Una vez obtenida esta expresión, él busca la manera de cuantificar el valor del empuje que hacen las tierras, es decir, el valor bf ; para lo que se vale de dos principios, el uno *sacado de la mecánica*, el otro *de la experiencia*. De acuerdo al primero, si existe un peso H en equilibrio sobre el plano inclinado AC (*Lámina L, figura 1*), es porque se produce un empuje K que sostiene este peso siguiendo una dirección EK paralela a la horizontal, de tal manera que K es al peso como la altura AB es a la base BC; y si el triángulo ABC es rectángulo en B, y $AB=BC$, el valor del empuje K será igual al del peso H.

¿Cómo determina Belidor que el triángulo ABC es rectángulo y que sus ángulos A y C son de 45° de inclinación? Por la experiencia:

C'est une chose démontrée par l'expérience, que les Terres ordinaires, quand elles sont nouvellement remuées & mises les unes sur les autres sans être battües ni entre-lassées par aucun fascinage, prennent d'elles-mêmes une pente ou talud, qui fait avec l'horison un angle de 45 degrés ...

Pág. 29 (libro I).

Es una cosa demostrada por la experiencia, que las tierras ordinarias, cuando no han sido removidas ni puestas las unas sobre las otras sin ser mezcladas, ni entrelazadas por faginas, ellas por sí mismas

adoptan una pendiente o talud que hace con el horizonte un ángulo de 45 grados ...

Y aquí el problema se reduce de nuevo: basta con hallar el peso del volumen de la masa de tierra. Para un metro lineal de muro, el valor del empuje es igual a:

$$\frac{\gamma h^2}{2} \text{ y que se reduce a la expresión } \frac{\gamma h^2}{4}$$

también como fruto de su observación experimental, donde γ es el valor de la densidad del suelo²¹. El gran defecto de su teoría está no sólo en las consideraciones iniciales (el muro monolítico y el apoyo simple sobre el cimiento), sino en la deducción que hace de la práctica y que generaliza para todos los casos: el que el ángulo de inclinación sea de 45°.

En cuanto a su teoría de los arcos (*Lámina LI*), Belidor de nuevo reduce el problema analítico al de una máquina simple, en este caso la palanca, cuyo punto de apoyo es P, el vértice exterior del pie derecho, y sobre quien actúa una fuerza en dirección LQ que trata de producir su volcamiento, siendo L el centro de gravedad del semiarco. El desarrollo del problema se concentra en la determinación tanto del esfuerzo que intenta producir dicho vuelco, como en establecer la magnitud del brazo de palanca HN ²². Retoma las formulaciones de De La Hire, variando el tipo de palanca que asume para su demostración. De nuevo, la descripción arquitectónica que hace Belidor se efectúa a través de una serie de problemas, de dificultades progresivas; su forma de razonamiento es moderna: más que sobre el álgebra, Belidor se apoya en la modelización de los hechos. Nos encontramos ante una manera abstracta de considerar los elementos estructurales.

Sus teorías se nos presentan despojadas de dudas, de incertidumbres; son una forma de conocimiento científico aplicado: la mecánica (que es parte de la física) y el álgebra (que es abstracción matemática), se ponen al servicio de la demostración; el problema se reduce a mínimos; se crea un modelo sobre el papel; se aumenta progresivamente su complejidad; se expone su capacidad para responder a un caso y a otro ... ya no sólo se posee al objeto sino también a las fuerzas que actúan sobre él (se representan como vectores), que lo intentan volcar, que ocasionan mayores gastos en las obras ... el modelo también es aséptico, estándar, desprovisto de lo impredecible, de lo incierto: el perfil del muro se expresa gráficamente a través de una geometría perfecta, de líneas rectas y continuas, inmaculadas, como si se tuviese un control riguroso de todas las dimensiones en aras de un ideal formal ... por ello es necesario también poner en cinturón aquello que no depende de quien proyecta y que se puede modificar o alterar cuando se lleva a la práctica. Hay que codificar el tratamiento de los materiales, su puesta en obra ...

Las reglas:

Si las reglas son enunciados que describen tipos de acciones que se pueden llevar a cabo en cada situación²³, es a partir del tercer libro, una vez superadas las teorías, cuando podemos encontrar un extenso y ordenado repertorio de ellas.

El libro III del tratado de Belidor guarda dos niveles de contenidos: de los capítulos 1 al 5, todas son explicaciones referentes *a las propiedades de los materiales*; los comprendidos entre el 6 y el 12, describen y pormenorizan *sus procesos de colocación*. En el primer grupo, aparecen uno a uno aquellos que ya se consideraban como básicos: piedra, ladrillo, cal, arena, puzolana, y yeso, terminando con los morteros, es decir, la adecuada mezcla que permite la unión entre ellos. A las piedras las clasifica según su dureza; explica además los procedimientos de extracción que se llevan a cabo en las canteras y su colocación en aparejos. Belidor no asume explicaciones estereotómicas y en algún pasaje se deja llevar por las creencias, aquellas que como él mismo había afirmado *se transmiten de una generación a otra con los mismos defectos*:

Ce n'est pas seulement la gelée qui détruit la Pierre, on croit que la Lune l'altere, ce qui peut arriver pour les Pierres d'une certaine espece, dont les rayons de la Lune peuvent dissoudre les parties les moins compactes: en ce cas on pourroit croire que ces rayons sont humides & que venant à s'introduire dans les pores de la Pierre ...

Pág. 2 (libro III).

No es solamente el hielo quien destruye la Piedra; se cree que la Luna las altera, tal como puede llegar a suceder con las de cierta especie, donde los rayos de la Luna pueden disolver las partes menos compactas: en este caso podemos creer que los rayos son húmedos y que se introducen en los poros de las Piedras ...

A los ladrillos los considera como *piedras artificiales* que requieren de dimensiones precisas *para que sean cómodos durante la puesta en obra*, y a la cal como una piedra calcinada *que constituye el alma de la albañilería*. Trata de los tipos de arena, puzolana y yeso: la manera de reconocerlos, de identificar sus calidades y de hacer con ellos morteros usando las proporciones adecuadas.

Es a partir del sexto capítulo, donde el autor demuestra una mayor preocupación por aquello que él llama *los detalles de construcción de la albañilería* y que no es otra cosa que el control de los procesos en busca de una disminución de los costos y de una mayor brevedad en los tiempos: reconoce la necesidad de saber de los materiales de la región donde se ha de edificar y de evaluar las dificultades de su transporte (para ello introduce una tabla con los pesos por unidad de volumen de varios: ladrillos, piedras, arena, etc.) y sugiere establecer patrones de referencia para medir el rendimiento de la mano de obra:

Le temps qu'on employe pour la construction de la Maçonnerie est encore une connoissance necessaire si l'on veut fe mettre en état d'exécuter les ouvrages dans le tems prescrit, & répondre aux intentions de la Cour: pour cela il faut savoir ce que chaque ouvrier peut faire par jour.

Pág. 28 (libro III).

El tiempo que se emplea para la construcción de la albañilería es también un conocimiento necesario si se quieren tener las condiciones para ejecutar las obras dentro del tiempo prescrito, y responder a las intenciones de la Corte: por ello es necesario saber lo que cada obrero puede hacer cada día.

El capítulo séptimo trata expresamente *de las instrucciones sobre la conducción de los trabajos*, que es de nuevo una transcripción hecha por Belidor *de una pequeña obra* de Vauban que lleva por título *Le Directeur General des Fortifications*. En sus páginas se da cuenta de las precauciones que el ingeniero había de tener hacia los asentistas, albañiles y operarios con el fin de mantener un adecuado control sobre los procesos. Se exponen también las precauciones sobre el transporte de tierras y la manera de calcular los volúmenes removidos (*Lámina LII*).

Cuando entra en el tema de las cimentaciones, busca dar una respuesta a cada caso: terrenos rocosos, terrenos ordinarios o de buena consistencia, sobre pilotes o sobre cajones, haciendo uso de la mampostería o de la albañilería ... (*Lámina LIII*). Si hasta aquí nos encontramos con reglas acerca de las propiedades de la materia, su uso y la manera de establecer relaciones con el personal de obra, es en la totalidad de los libros IV y V donde las encontramos en relación con expresiones tipológicas. En este par de libros, tal como mencioné, el autor encuadra un extenso repertorio de formas para resolver portadas, puentes, cisternas, garitas o cuarteles, apelando incluso a los órdenes arquitectónicos (*Lámina LIV*).

Las instrucciones:

Y si las instrucciones, antes que una forma de conocimiento, son un conjunto de enunciados que indica qué reglas hay que seguir y en qué orden, y que se expresan en forma de mandatos²⁴, el *Devis*, que expone Belidor es una clara muestra de ellas.

On peut donc dire qu'un Devis doit être regardé comme le chef-d'oeuvre de l'Ingénieur ... Le Devis est un mémoire instructif de toutes les parties d'un ouvrage, qu'on veut construire; il explique l'ordre & la conduite du travail, les qualités & façons des matériaux, & généralement tout ce qui rapport à la construction & à la perfection de l'ouvrage.

Pág. 2 (libro VI).

Se puede entonces decir que un *Devis* debe ser entendido como el jefe de obras del Ingeniero ... El *Devis* es una memoria instructiva de todas las partes de una obra que se quiere construir; él explica el orden y la conducta de los trabajos, las cualidades y los modos de los materiales, y generalmente todo aquello que interviene en la construcción y la perfección de la obra.

Las instrucciones en él contenidas deben estar *claramente enunciadas, bien detalladas y sin omitir nada esencial*; no debe dar lugar a equívocos y ha de referirse además a la planta y el perfil del proyecto (es decir al plano arquitectónico, que se entiende ahora no sólo como un instrumento de la acción sino como su guía: aparecen entonces en ellos alusiones a los detalles constructivos y a las especificaciones técnicas).

Belidor nos expone un modelo de contrato, aquel que Vauban aplicó para la construcción de la plaza de Neuf-Brisach, y que consta de cuatro partes:

- Descripción de la situación de la plaza y su trazado.
- Dimensiones de las partes principales.

- Cualidades de los materiales.
- Conducción de las obras (orden de las tareas y condiciones entre las partes).

Recordemos que en el desarrollo de la tratadística militar del siglo XVII el tema del paso que mediaba entre el proyecto en un papel y su traslación al terreno había ido adquiriendo una importancia relativa, y que inclusive la misión de muchos de los instrumentos al servicio del arquitecto buscaban optimizar esta tarea. De lo general a lo particular, de lo conceptual a lo práctico, en el *Devis* se organizan todas aquellas actividades que buscan optimizar un mismo y deseado fin; en él reaparecen las consideraciones sobre las dimensiones de las partes de una plaza fuerte, pero ya el autor no necesita detenerse en ellas ... le basta con saberlas y emplear adecuadamente unos materiales que también sabe reconocer ... y más aún, se permite conducir los trabajos y controlar su calidad. En orden del *Devis*, se expresa también el orden de los tratados de fortificación.

También a través del *Devis* se podía hacer un estimativo detallado de los costos para cada uno de los procesos constructivos. Las actividades quedan no sólo desglosadas, sino organizadas, programadas secuencialmente, abarcables ... el *Devis* es sin duda la expresión más elaborada de un proyecto técnico tal como se entendía en el siglo XVIII; en él se regula *todo aquello que interviene en la construcción*, en la deseada *perfección* de la obra. No es sólo una serie de mandatos, el *Devis* es también previsión, anticipación, control de lo hasta ahora incontrolable; el *Devis* pone en palabras el saber de los oficios, lo ordena, lo regula ... es un modelo abstracto que pone a la práctica bajo el control de un modelo teórico.

Para QUINTANILLA (1988), una *realización técnica es un sistema de acciones humanas intencionalmente orientado a la transformación de objetos concretos para conseguir de forma eficiente un resultado valioso*. La técnica, como entidad de carácter abstracto, ha de entenderse pues no como la realización misma sino como el conjunto de las realizaciones técnicas posibles dentro de esa estructura de conocimientos, acciones y productos. Lo que Belidor nos enseña es el manual de operaciones que la caracteriza, y que trata de hacer genérico al caso de la construcción de obras de fortificación, primero, y luego al de trabajos hidráulicos. El conjunto de acciones, tal como él nos lo presenta, ha sido intencionalmente sistematizado mediante una planificación consciente en aras de optimizar los resultados.

En Belidor nos encontramos con:

- Un conjunto coherente de conocimientos, nacidos unos de la pura experiencia, amparados otros en modelos matemáticos de comportamiento, algunos de ellos imprecisos pero útiles.
- Un manual de instrucciones con la clara finalidad de ordenar las acciones: racionalidad práctica.
- La formulación de objetivos precisos, que comparados con los resultados, les permiten medir la eficiencia de sus acciones.

Es decir, que la técnica se cristaliza y adquiere desde ahora un grado de madurez que es a la vez producto de la construcción progresiva del nivel de conocimientos y de su organización dirigida; y si las apreciaciones estéticas están presentes en su obra, ellas no aparecen integradas en la valoración del conjunto. En ese sentido, Belidor perfila el carácter de la ingeniería moderna, incapaz de involucrar las consideraciones expresivas en la evaluación del

resultado final; convierte a las formas en un repertorio auxiliar que orienta la fisonomía de la técnica.

2.1.3. *Las versiones de Müller y Sánchez Taramas*

No se conoce todavía ninguna traducción completa al castellano del libro de Belidor, así que debemos pensar que su difusión en la península se produjo bien a través del texto original en francés, o gracias a traducciones parciales, como la que Rosario CAMACHO atribuye al arquitecto Antonio Ramos, encargado de la construcción de la catedral de Málaga²⁵.

En 1755 aparece en Inglaterra y escrito por John Muller (profesor de artillería y fortificación) el libro *Elements of Mathematics. For the use of the Royal Academy of Artillery at Woolwich*, texto en el cual se recogían los principales aspectos desarrollados por Belidor en *La Science des Ingénieurs ...* y que tenía el claro fin de servir de texto a sus alumnos en la Academia de Woolwich. Este texto tuvo también varias ediciones, y en la tercera, aparecida en 1765, el autor añade los *Elements of perspectiva*, lo que hace que la obra quede con siete extensos volúmenes.

En 1769, Miguel Sánchez Taramas, profesor entonces de la Real Academia de Matemáticas de Barcelona, traduce al castellano y bajo el título de *Tratado de fortificación* (Barcelona, 1769) los dos volúmenes que tratan el tema, agregándole al texto original algunas notas, gráficos y adiciones que enriquecen el contenido y aseguran una rápida difusión entre el personal militar de Toda España. Según MONTANER (1990), se trata de *la obra del siglo XVIII que mejor explica el estado del bagaje de conocimientos y las obras realizadas en España por los ingenieros militares a mediados de este siglo*²⁶.

Si Muller es un autor especulativo, que fundamenta toda su teoría en una estricta base matemática y sin establecer normas empíricas, Sánchez Taramas agrega reflexiones sobre obras españolas antiguas y modernas: desde el *Puente del Diablo* de Martorell, hasta el fuerte de *San Fernando de Figueras*, cuya construcción se llevaba a cabo al mismo tiempo en que se traducían el libro. Desde el punto de vista técnico, los aportes del español se basan también en los juicios conocidos de Vauban y Belidor, principalmente.

Esta versión castellana está dividida en dos tomos. El primero consta de tres partes que abarcan una extensión de 430 páginas, equivalentes a 184 U.P. La parte primera se divide en tres secciones donde se exponen respectivamente la teoría de los muros, la teoría de los arcos, y *la fuerza y calidad de las maderas*. La segunda parte tiene seis secciones dedicadas al conocimiento de los materiales (piedras, ladrillos, cal, arena, terrazo, puzzolana, yeso, y modos de hacer morteros). La tercera parte se divide en 24 secciones y explica el modo de trazar una fortaleza sobre el terreno y la manera de realizar el cálculo de las obras.

El Tomo II tiene 356 páginas, equivalentes a 152 U.P. Corresponde a la cuarta parte del tratado que en tres secciones y una adición explica los principios de arquitectura hidráulica.

Comparemos ahora la tabla de contenidos de la traducción de Sánchez Taramas con la de *La Science des Ingénieurs*, de Belidor:

<i>La Science des Ingénieurs</i> , de Belidor.	Traducción de Sánchez Taramas de la obra de Müller, <i>Tratado de fortificación ...</i>
Volumen 1:	Volumen 1, parte 1:
Libro 1: dimensionamiento de muros.	Sección 1: teoría de los muros
Libro 2: dimensionamiento de las partes de los arcos	Sección 2: teoría de los arcos
	Sección 3: fuerza y calidad de las maderas
	Volumen 1, parte 2:
Libro 3: Conocimiento de los materiales: piedras, ladrillos, cal arena, terrazo, puzzolana, yeso y modos de hacer morteros.	Conocimiento de los materiales: piedras, ladrillos, cal, arena, terrazo, puzzolana, yeso, y modos de hacer morteros
	Volumen 1, parte 3:
Libro 4: construcción de edificios civiles y militares	Modo de trazar una fortaleza sobre el terreno y la manera de realizar el cálculo de las obras
Libro 5: teoría de los órdenes	
Libro 6: <i>Devis</i>	

Sánchez Taramas lo que traduce finalmente es el libro de Belidor siguiendo el orden de sus contenidos pero suprimiendo la parte dedicada a la teoría de los órdenes y resumiendo considerablemente el último libro dedicado a los pliegos de condiciones y contratos entre ingenieros y asentistas.

Teoría de los muros:

En el prólogo, Taramas justifica la importancia de los temas a tratar, utilizando dos criterios que son sin lugar a dudas, una herencia de Vauban: la solidez de las obras y la economía en los gastos, aspectos en los que insistirá constantemente a lo largo del libro.

La Arena, ocasiona mayor empujo, que la Tierra; y esta mayor que la Greda; luego el hacer los Muros de igual robustez en estos tres casos, seria exponerlos à que se arruinasen en el primero, y que en el tercero consumiesen demasiados materiales. Asimismo siendo la Piedra de mayor gravedad específica, que el Ladrillo, es evidente, que los Muros de Piedra no necesitan tanto grueso, como los de ladrillo; no obstante, que los citados Autores (que son Algunos miembros de la Academia de las Ciencias de París, y M. Belidor) no han hecho distinción de ellos en sus teorías.

Página 2 del Prólogo.

Como en Belidor, la teoría de los muros que aquí se expone, parte de dos suposiciones previas: el comportamiento monolítico del muro, *como si constituyese una sola piedra* (aunque separado sí del cimiento), y el declive natural de los suelos, que es la pendiente que adoptan las tierras en reposo, considerándoles *sin variaciones en las de una misma especie* (como condición para que ambos supuestos se cumplan, dice Muller que el muro debe construirse cuando menos con un año de antelación al hecho de ser sometido al empuje de las tierras). Este tema ocupa una extensión equivalente a 18 U.P. (un 10% del total).

El primer problema que plantea, consiste en determinar el valor de la presión que hace un determinado volumen de tierras (representado por el triángulo CDT, en la *figura 1 de la Lámina LV*), sobre el perfil de un muro (superficie ABCD), siendo S el centro de gravedad de CDT, R el punto donde se aplica la presión y W el valor del empuje perpendicularmente

ejercido sobre el muro. Su demostración, basada en la proporcionalidad de los triángulos lo lleva a la siguiente ecuación:

$$W = \frac{(DC \times CT)^2}{2}$$

para la cual es necesario conocer el ángulo del declive del suelo. El Problema II, consiste en determinar el espesor BC del muro, capaz de soportar tal empuje; demostración en donde Taramas no se muestra solvente, y que concluye mediante un ejemplo numérico. El seguimiento paso a paso de este ejemplo permite comprobar que Taramas incluye datos no comprobados que lo conducen a una demostración acomodada.

Los problemas siguientes no hacen otra cosa que aumentar el nivel de complejidad de la situación: muros con contrafuertes, muros con parapetos, empujes de terrenos inclinados y muros con contrafuertes contruidos con declive hacia adentro tal como lo sugería la economía en el gasto de materiales. Acerca de ellos, Taramas contrata la visión de Vauban y Belidor diciendo finalmente que lo mejor es hacerlos con base rectangular (siendo KN=LM) porque ello *facilita su construcción*.

Pero ante tantas demostraciones, Muller -como Gautier- busca hacer más sencilla la comprensión de sus planteamientos, e incluye una tabla, *que contiene reglas generales para determinar las dimensiones de los muros de piedra, ò de ladrillo de qualquiera altura, con arreglo à los diferentes angulos*. Estas tablas, constituyeron en últimas la fuente más inmediata para el ingeniero, acudiendo a ellas cada vez que se le planteaba la resolución de un problema de esta naturaleza.

Teoría de los arcos:

Muller a través de Taramas explica acertadamente la importancia que para la fortificación tenía el conocimiento de las propiedades mecánicas de arcos y bóvedas:

Para la fabrica de los Almacenes de polvora à prueba de Bomba, es indispensable en un Ingeniero mucho fondo de habilidad, y de prudencia; porque en mi concepto, no se han establecido hasta ahora por algun Autor, Reglas seguras, que le dirijan.

Pág. 43.

Y aunque por la práctica se han establecido principios y se han resumido en tablas algunas dimensiones, el autor cree conveniente *establecer una Theoria, que corresponda, y satisfaga à las varias circunstancias, que ocurran*. Esta actitud indica claramente su intencionalidad por dar forma al conocimiento, por establecer en él categorías que permitan su aplicación y especialmente su transmisión (recordemos que Taramas es profesor de la Real Academia de Matemáticas de Barcelona), así sea necesario valerse de pequeñas trampas, tal como ocurre en su explicación acerca de los muros.

Como en el caso anterior, se plantean problemas en los que va aumentando progresivamente su nivel de complejidad, partiendo de considerar a las dovelas del arco como piezas asentadas, *siguiendo à Mr. Belidor, y unidas con mezcla de tal naturaleza, que impidiendo el que se resbalen unas sobre otras, no resulte el compuesto una sola Piedra*. El Problema I consiste en determinar la presión que ejerce el arco sobre los pilares que le sostienen, para lo cual se vale de la descomposición de fuerzas que hace una dovela MN, cuyo centro de gravedad es x y que ejerce un momento sobre el pilar ABCD (*figura 1, Lámina LVI*).

En su demostración, la fuerza vertical xa de la dovela M, se elimina *por la resistencia de la mezcla*, considerando sólo la fuerza xb , cuya componente db es quien trata de producir un momento de vuelco en el pie derecho. Por lo tanto, el momento de presión del arco contra el pie derecho es igual al producto de la distancia CI multiplicada por la sumatoria de todos los pesos en dirección db . L es el centro de gravedad del semiarco AEFG, y en últimas, reduce el problema a la manera de encontrar tal punto. En los problemas siguientes, Taramas encuentra el espesor de los pies derechos en función del empuje calculado, y extiende su demostración a los arcos rebajados y ojivales. La extensión de este tema alcanza las 23 U.P. (12,5% del total). Pero sus demostraciones acerca de los arcos también adolecen de inexactitudes:

Cuando murió el gran matemático D. Jorge Juan, marino, se encontró en sus papeles, por medio de su secretario, lo equivocado que el célebre Juan Muller iba sobre los empujes de los arcos rebajados; y no lo quiso divulgar en su vida por no hacer quedar mal a Taramás, y por consiguiente a los individuos de la Academia de Barcelona, tan acreditados y sabios ...

Josep Renart i Closes, *Cuarto Centenario* (legajo 28), citado por MONTANER (1990), pág. 171.

Según amplía MONTANER (1990), Taramás había sido notificado del error, pero lo disimula ante el hecho de que la obra estaba en un avanzado estado de impresión, y el libro de Muller, *en conjunto, podía ser de gran utilidad para la instrucción de los jóvenes ingenieros*²⁷. ¿No queda aquí muy claramente comprobado que en el conocimiento técnico prima la utilidad sobre la veracidad?

Conocimiento de los materiales:

Las páginas dedicadas a este tema ocupan una extensión de 37 U.P. (20% del total), y son relaciones detalladas, que siguen fielmente las hechas ya por Belidor. Empieza su exposición por las maderas enumerando sus clases y explicando la manera de determinar su resistencia a la flexión por métodos experimentales y analíticos, en función de la sección y la longitud de las piezas. Hace también consideraciones acerca de la manera de unir piezas en estructuras de cubiertas y forjados y extiende sus conclusiones incluso a la arquitectura civil:

La Theoria de las Maderas, que se ha explicado en esta seccion, tiene muy grande uso en la Architectura Civil, y Militar; pues no solo enseña el modo de hallar la resistencia, o la fuerza de los maderos con relación a sus dimensiones, y situaciones; si no tambien quando estan trabados, ò ligados de qualquier forma, unos con otros...

Pág. 144.

Reúne en su apartado de *Materiales* tanto a las piedras y ladrillos como a la cal, la arena, los morteros y el yeso. La descripción es bastante precisa y detallada. En cuanto a la piedra, diferencia sus tipos y explica los métodos de extracción; hace lo mismo con la cal, y hasta nos cuenta de aquella que se hace a partir de la cremación de conchas marinas²⁸; en cuanto a los morteros, trata de las proporciones de las mezclas, cuya fuerza y consistencia no depende sólo de la de los materiales, si no también del modo de prepararlas. Incluye además dos tipos de mezcla que aun hoy se siguen haciendo popularmente en América y particularmente en Colombia: la una es la que se hace juntando cal con pelos de vaca (*para cimientos pobres*, dice Taramas), y la otra a partir de limaduras metálicas:

La liga de Cal comun, y escoria de Hierro, forma una argamasa muy exquisita para enlucir Cisternas, pues llega à endurecerse tanto, que jamás la penetra el agua ...

Pág. 174.

Otra consideración interesante, que refleja la firme decisión de sistematizar y controlar los procesos constructivos, la encontramos en la explicación que hace el autor acerca de los ladrillos. A más de tratar sobre sus tipos, formas y modos de fabricación, evidencia la necesidad de establecer dimensiones fijas, es decir, de producir piezas estandarizadas con el fin de poder cuantificar con mayor precisión el número de unidades que requería una construcción, así como para controlar los rendimientos de la mano de obra:

Un Oficial de Albañil con su Peon, puede facilmente asentar 1000 ladrillos en un dia, quando el Muro tenga de espesor Ladrillo y medio ... Con esta experiencia, y sabiendo el Ladrillo que cabe en el cubo de una medida conocida, como la Vara, se puede regular el número de jornales, que se invertirán en una porción de Obra determinada, en qualquier tiempo.

Págs. 159-160.

Esta preocupación por la precisión numérica y por las unidades de medida, va a estar también muy presente en otros profesores de la Real Academia de Matemáticas de Barcelona; ya en 1766 había aparecido impreso el libro de su director Pedro de Lucuze, *Advertencias para la medida, y cálculo de los desmontes o excavaciones, en terrenos irregulares, con una regla para todos ellos* (Barcelona, Imprenta de Francisco Suriá, 1766) En este breve manual se explicaban las reglas útiles a seguir durante la realización de excavaciones, junto con una teoría acerca de los centros de gravedad y algunas observaciones prácticas *para evitar los errores y aproximarse a la verdad*. Más evidente resulta esta inquietud en el libro también escrito por Lucuze *Disertación sobre las Medidas Militares que contiene la razón de preferir el uso de las Nacionales al de las Forasteras* (Barcelona, Imprenta de Francisco Suriá, 1773), esfuerzo por crear un cuerpo doctrinal español en el terreno de la arquitectura militar y por establecer un sistema único de unidades de medida.

Los procesos de ejecución y la mano de obra:

La tercera parte de este tratado *contiene el modo de trazar una fortaleza sobre el terreno, formar el cálculo y ejecutar las obras*. Es sin duda la unidad temática que mayor extensión alcanza: 100 U.P. (54% del total), donde se resumen buena parte de los conocimientos prácticos que un aprendiz de ingeniero militar había de conocer para asumir la dirección de una

construcción. Si los capítulos precedentes abarcan todas aquellas consideraciones y cálculos necesarios en las labores de planeamiento y diseño -el conocimiento que permite concebir los edificios-, aquí se nos muestra el repertorio de las tareas propias de quien ejecuta una obra -el conocimiento que permite hacer los edificios.

El autor hereda de Vauban los factores que condicionan el proyecto de una obra de fortificación, pero esta vez los desglosa de una manera que sorprende por su claridad conceptual. Las famosas *Máximas* de la fortificación han quedado plenamente superadas:

- El costo que ocasiona su construcción.
- El número de tropas y avituallamientos que se necesitan para su sostenimiento, *porque si el importe de su manutención fuese igual, ò excediese el beneficio que de ella resulte, es cierto que lexos de ser útil, sería gravosa en su ejecución.*
- La capacidad de la plaza respecto al espacio que ella ocupa.

El análisis de estos objetivos con relación a sus resultados, o lo que es igual, el análisis de la eficiencia del sistema, lo haremos en uno de los apartados siguientes. pero lo que resulta indiscutible y evidente es el hecho de que la técnica constructiva juega un decisivo papel en la búsqueda de la optimización de los resultados. A lo largo del libro, Muller/Taramas nos ha venido insistiendo en que el costo, es controlable a través del conocimiento de los materiales y de conocimiento de los procesos, amparados en una fase de planeamiento apoyada en el cálculo numérico.

En esta unidad es donde aparecen las explicaciones acerca de las técnicas de cimentación, de ejecución de presupuestos, de construcción de murallas ... es un *Metodo, que se ha de observar en la construcción:*

Habiendo explicado ya quanto conduce à la naturaleza, y qualidades de los Materiales que se emplean en la construccion, como tambien el modo de establecer los fundamentos de los edificios; nos resta tratar ahora de las Reglas que corresponden para aplicarlos ventajosamente en toda clase de Obra ...

Pág. 280.

Su descripción es detallada, demostrando incluso una gran preocupación por el detalle; por ejemplo, cuando trata de los tipos de cimientos que se han de construir según el tipo de suelo, incluye aquel que se hace sobre tierras poco firmes, para lo cual es necesario hacer una plataforma de madera apoyada en pilotes. La viga de madera exterior de esta plataforma requiere de una muesca que le permita recibir las primeras hiladas de la fábrica del muro; en las figuras 3 y 5 de la lámina VIII de su tratado, es posible advertir tal sugerencia (*Lámina LVII*).

Acerca de los almacenes de pólvora, cuya importancia había sido probada a partir de los modelos empleados por Vauban, y que aparecerán en el castillo de San Fernando de Figueras, Muller incluye explicaciones que Taramas comenta y amplía:

Para lograr la buena construcción que requieren los Almacenes de Pólvora, es forzoso zelar continuamente el trabajo que hagan los obreros, à

fin de que los Muros tengan la debida union y trabazon que constituye la buena solidez ...
Pág. 365.

Es este otro de los aspectos presentes en el libro y sobre los cuales ya MONTANER (1990) hace referencia: el conjunto de recomendaciones acerca del trato y la relación que se establece entre el ingeniero director de obras y el personal ejecutor (maestro, albañil, etc.). Como ya mencioné, el libro aparece en medio de la actividad constructora generada por la obra de Figueras, lo que hace que Taramas vuelque en él opiniones y experiencias que en ella se generan: desconfianza respecto a los precios unitarios que cobran los asentistas, dificultades en el momento de medir las cantidades de obra ejecutada, preocupación por el suministro y manipulación de los materiales y especialmente las diferencias entre lo que la teoría académica recomendaba y el uso de prácticas basadas en la experiencia.

... porque la discreta elección y uso de los Materiales, es lo que principalmente conduce à la duración de la Obra, y no el destino confuso, que por ordinario les dan los Alarifes.
Pág. 148.

Defiende con vehemencia la importancia del conocimiento sistemático por parte de los ingenieros y arquitectos en contra del saber tradicional de los constructores:

Siempre debe reflexionar el Ingeniero el mejor metodo, que corresponda à la construccion de la Fabrica propuesta, sin sugetarse con nimiedad à las Reglas de los Obreros, los quales ordinariamente están preocupados de su antigua practica, y no saben apartarse de ella.
Pág. 286.

El 16 de enero de 1790, los ingenieros Félix Arriete y Miguel Taramas (sobrino), firman una relación donde se consignan los libros, instrumentos, muebles y efectos que se encuentran en la Real Academia Militar de Matemáticas de Barcelona en el momento del fallecimiento de Miguel Sánchez Taramas, y donde se puede leer: *Trescientos ochenta exemplares en papel y dos encuadernados (de dos tomos cada uno) de la obra de Muller que traduxo del Yngles Don Miguel Taramas, cuyo numero de que consto la ympresion, y su distribucion consta por menos en el libro donde se lleva la apuntación correspondiente ... de los exemplares vendidos se han encontrado existentes en caxa trescientas setenta y siete pesetas y ocho dineros.*²⁹

2.1.4. El tratado de Prony

Las teorías de Gaspard Marie Riche, barón de Prony (1758-1839)³⁰, son un claro producto de *Ecole des Ponts et Chaussées*, a la que había ingresado en 1776. Se conoce que trabajó en la construcción del puente de Neuilly y en la del puerto de Dunquerque, hasta 1785, llegando luego a ser miembro de la “Comisión de pesos y medidas de la Revolución”, y considerado fundador de la *École Polytechnique*³¹, donde ejercerá la enseñanza de la mecánica. Discípulo de Perronet, su figura juega un papel importante en el entorno académico y científico de la Francia de fines del siglo XVIII y comienzos del XIX; sin embargo, hemos de limitarnos aquí a reseñar lo que no es conocido a través de su tratado, y en especial a su carácter de ingeniero más próximo al espíritu de la Revolución Industrial que al de las obras de

fortificación. De manera clara podemos afirmar que el tratado de Prony es el límite de nuestro trabajo.

Su obra más conocida y sin duda la más extensa, es *Nouvelle Architecture Hydraulique ...* (París, Firmin Didot, 1790) la cual consta de dos partes. La primera, fechada en 1790, tiene 575 páginas que hacen 421 U.P; contiene *Un traité de mécanique à l'usage de ceux qui se destinent aux constructions de tous les genres, et des Artistes en général*; se acompaña de un índice, además de las notas y tablas correspondientes y 15 planchas de una excelente calidad. La segunda parte³², que data del año 1796, contiene *la description détaillé des machines à Feu*; posee 196 páginas que constituyen 143 U.P., es decir, un 18% del total de este tratado; se acompaña también de un índice y 50 planchas, que superan en calidad a las de la primera parte (muchas de ellas en formato grande que se deben desplegar a la lectura del libro y en las que se representan al detalle numerosas máquinas de vapor). Está dividida en una única sección de 14 apartados que explican el contenido de las ilustraciones.

Una tercera parte anunciada por Prony, y que trataría la descripción de máquinas para elevar y conducir el agua, no alcanzó a ser llevada a cabo por el autor³³.

Parece claro que para los intereses de esta tesis se hace más interesante una revisión de la primera parte, cuyo título evoca deliberadamente al ya usado por Belidor, *Architecture Hydraulique ...*, de 1737. La sección primera trata *de la estática*, que se inicia con la explicación de principios generales y que le conducen a las aplicaciones de ellos en las máquinas simples y en el equilibrio de los arcos. La sección segunda versa sobre *la dinámica*, donde explica del movimiento de los cuerpos a partir de la teoría del movimiento del centro de gravedad. La sección tercera, o *de la hidrostática*, incluye las ecuaciones del equilibrio de los fluidos y la estática en las burbujas, contiene aplicaciones de sus teorías a ejemplos tales como la estabilidad de diques que soportan el empuje tanto de aguas como de tierras; y dedica también una rápida explicación al funcionamiento de máquinas destinadas a elevar los líquidos. La sección cuarta es *de la hidrodinámica*; de menor extensión y mucho más elemental: a partir de algunas reflexiones preliminares, desarrolla la teoría del movimiento de los fluidos. La sección quinta, trata *de las máquinas y motores que se pueden aplicar, en consideración a las diferentes circunstancias físicas que influyen sobre el equilibrio y el movimiento*. Esta revisión de su libro nos permite ver que la intención de Prony no es la de dirigirse a un ingeniero preocupado por la construcción de obras de fortificación y ni siquiera por las tareas de planeación, ejecución y control, tal como se venían observando en los tratados precedentes. Prony intenta crear un lenguaje común para los hombres de ciencia de su época, sin distinción de sus profesiones particulares; su interés se concentra en los procesos que describe más que en los objetos producidos: para él, el conocimiento se manifiesta a través de sus efectos, de sus aplicaciones, las mismas que ahora se pueden predecir y controlar mediante modelos de cálculo numérico.

Si bien incluye entre sus temas una teoría sobre el equilibrio de los arcos, y un método para dimensionar el espesor de los muros de contención de tierras, y lo hace desde consideraciones puramente matemáticas, aparta todas aquellas reflexiones acerca de la práctica que hemos visto en Gautier, Belidor y Muller/Taramas. En *De l'équilibre des voûtes*, Prony, introduce primero las definiciones más útiles para luego exponer los tres principales problemas relacionados con la construcción de arcos: la masa y las dimensiones de los pies derechos, la forma y geometría de las figuras, y las condiciones necesarias para el equilibrio

de las dovelas. Sus razonamientos también están estrictamente amparados en la demostración algebraica que conduce a la formulación de detalladas ecuaciones; pero su objetivo es perfeccionar una teoría que pueda ser genérica a todo tipo de arcos:

Toute la théorie que nous avons exposée dans ce chapitre est applicable aux voûtes construites en pierre, en brique ou autres matieres semblables.

Pág. 168.

Toda la teoría que hemos expuesto en este capítulo es aplicable a los arcos en piedra, en ladrillo o en cualquier otro material similar.

En las láminas que sirven para explicar el tema, vemos que para este caso los dibujos están rodeados de máquinas simples: tornos, engranajes, poleas, prensas (*Lámina LVIII*). La guerra parece ser cosa del pasado, y la construcción la entiende más como un dominio del ingeniero que de la arquitectura “ordinaria”:

L'art de la construction des voûtes est une des parties les plus importantes et les plus difficiles de l'architecture hydraulique; elle impose, dans bien des circonstances, la double tâche de combiner les belles formes et la décoration de l'architecture ordinaire, avec la solidité qu'exigent des monuments dont la durée intéresse la sûreté publique, et dont la beauté doit être une preuve parlante et durable des lumieres d'une nation et de son amour actif pour les arts. Le génie, la science et le goût, doivent donc se prêter des secours mutuels dans les ouvrages de cette espece.

Pág. 152.

El arte de la construcción de arcos es una de las partes más importantes y más difíciles de la arquitectura hidráulica; ella implica, en buenas circunstancias, la doble tarea de combinar las bellas formas y la decoración de la arquitectura ordinaria, con la solidez que exigen los monumentos cuya duración interesa a la seguridad pública y cuya belleza debe ser una prueba parlante y durable del brillo de una nación y de su amor por las artes. El ingenio, la ciencia y el gusto, deben entonces prestarse ayuda mutua en las obras de esta especie.

Para Prony, si la construcción concierne tanto al arquitecto civil como al militar, compartiendo de hecho preocupaciones y campos de acción comunes, el conocimiento constructivo del ingeniero busca la manera de resolver necesidades inmediatas y con un sentido de utilidad pública, común a los demás ingenieros franceses del siglo XVIII. La solidez del edificio se debe mostrar, debe quedar evidente en la fisonomía final del edificio y expresar los nuevos valores nacionales impulsados desde la Revolución. También cuando explica el tema del empuje de tierras sobre los muros, busca sus consecuencias sobre problemas relacionados con la hidráulica (*Lámina LXIX*):

Notre but principal, dans ce moment, a été de développer les analogies, souvent mentionnées précédemment qui existent entre les fluides et les différentes substances dont les parties sont liées par la cohésion et retenues par le frottement ...

Pág. 291 (al final de su teoría acerca de muros de contención, págs. 288-291).

Nuestro principal objetivo en este momento, es el de desarrollar las analogías, frecuentemente antes mencionadas, que existen entre los fluidos y las diferentes sustancias donde las partículas están unidas por la cohesión y retenidas por el frotamiento.

Sobre la dimensión de muros, existe del mismo autor un método gráfico, expuesto en *Recherches sur la poussée des terres et sur la forme et les dimensions à donner aux murs de revêtement* (París, 1802), cuya traducción castellana (realizada en 1845 para el uso de la Inspección General de Caminos) se encuentra en la Biblioteca Nacional de Madrid. Este procedimiento, explicado por BENVENUTO (1981), reelabora la fórmula obtenida por Coulomb para finalmente resumirse en una tabla.³⁴

Con Prony, el desprendimiento de la técnica con respecto a las ciencias puras, se consuma. La extensa parte de su obra dedicada a enseñar no sólo las características y las ventajas de las máquinas de vapor, sino también sus múltiples posibilidades, nos perfilan la imagen del ingeniero moderno que pone sus conocimientos al servicio de los procesos de producción; su dominio de la técnica le hace conocedor de los conocimientos que la estructuran. Teoría y práctica se funden dentro de una misma concepción orientada al logro de unos objetivos concretos en beneficio de la sociedad, y bañado de un optimismo que envuelve los últimos años de un siglo particularmente complejo.

Si además, a esta concepción aplicamos de nuevo algunos principios expresados por QUINTANILLA (1988), podemos interpretar que la preocupación de Prony, es también la de establecer *variantes* de una técnica: sistemas con propiedades idénticas de estructura, pero con valores diferentes. Quintanilla limita estos valores a los de *rendimiento* y *duración*, conceptos claros para el francés a la hora de sugerir el empleo de máquinas de vapor en las más diversas actividades humanas; pero en el caso de la técnica constructiva, hay *variaciones* también en la intencionalidad del producto final: ingeniería y arquitectura comparten una técnica aunque sus fines los entienda de manera diferente. ¿Bajo el dominio de quiénes ha de desarrollarse a partir de ahora la construcción de los edificios? El ingeniero moderno tiene el objetivo de concebir el proyecto también en términos del sistema técnico concreto para resolver el problema con el que se enfrenta mediante la adecuada combinación de las técnicas disponibles.

2.2. El perfeccionamiento de la práctica

2.2.1. El reparto de las tareas

La formulación de instrucciones implica la existencia implícita de un “operador pragmático”³⁵, y dentro de un sistema de acciones complejo, como el de la técnica que nos ocupa, ello deriva necesariamente en:

- La aparición de individuos diferenciados encargados de la ejecución precisa de tales instrucciones, y
- El afán de perfeccionamiento del ejercicio de las tareas (*principio de innovación*).

No podemos entender una cosa sin la otra.

Lo que a través de los tratados se bosqueja como una serie de procedimientos propios de la realización de un proyecto de fortificación, se traduce rápida y claramente dentro de la férrea jerarquía militar que organizaba a los ingenieros militares, en unos rangos y oficios diferenciados. Son ellos los primeros en desarrollar un proceso de división del trabajo, que se inicia por la que hemos definido como *labores de planeamiento y tareas de ejecución y control*. Así, desde los tratados antiguos de los siglos XVI y XVII, se entendía que el pasar un trazado del papel al terreno era una actividad que requería un cambio mental: del manejo de entidades y formas abstractas a una tarea donde la habilidad del operario y la precisión de algunos instrumentos jugaban un importante papel que el tratadista se limitaba a describir dentro del limitado marco de sus posibilidades. Progresivamente, las diferencias entre idea y ejecución se manifiestan a través de personajes específicos, desplazando el papel del conocimiento depositado en los oficios.

Se genera entonces la necesidad de que algunos aprendan el ejercicio de su actividad mediante la instrucción (*transmisión de información operacional*), y quienes lo aprendan mediante el entrenamiento. O a través de ambas actividades: los ingenieros formados en la Real Academia de Matemáticas de Barcelona, luego de cursar algunos períodos académicos, se veían en la necesidad de enriquecer su conocimiento con la práctica mediante “pasantías” en las obras de fortificación que se construían en España y particularmente en Cataluña.

Dentro de cada uno de estos niveles de especialización se desarrollan distintos subniveles. Para los trabajos de concepción se empleaba a un ingeniero de alto rango en la planeación estratégica global que se desarrollaba a través del diseño puntual de plazas fortificadas; otros de menor escalafón se encargaban de plantear una traza general y finalmente eran los ayudantes y delineantes quienes se enfrentaban a la solución de problemas y detalles que aparecían en el desarrollo de los planos. En ayuda de estos últimos, aparecieron entonces libros como el de Buchotte, *Les règles du dessein et du lavis pour les plans ...* (París, Ch. A. Jombert, 1743), que contiene de manera codificada las principales convenciones a emplearse en la ejecución de planos de arquitectura militar y civil.

La obra proyectada tardaba varios años y seguramente quien estaba a cargo de su traza ya no estaría frente a su construcción ... los planos necesitaban entonces ser más detallados y precisados sus elementos constructivos: el plano se convierte también en una guía para la acción, en un agente transmisor de órdenes no expresadas en palabras sino mediante gráficos: plantas, secciones, axonometrías, ... ellos se suman progresivamente el lenguaje del arquitecto militar. A diferencia de los planos de arquitectura civil, dirigidos a enseñar el objeto de manera simulada, el plano del ingeniero militar se integra decididamente al proceso técnico, no es un dibujo para la contemplación sino para la acción. También es común encontrar informes escritos donde se describe el estado de desarrollo de las obras, así como estimaciones de los dineros gastados e inclusive correspondencia entre personal militar donde se pregunta por la manera de hacer mejor una determinada tarea. Cuando tratemos sobre el castillo de San Fernando de Figueras podremos enseñar estos casos con ejemplos.

Ligado al proceso que aquí hemos llamado de cristalización de la técnica constructiva, no podemos evitar el considerar la presencia de artefactos mecánicos vinculados a este proceso. Basta recordar también que desde el tratado de Vitruvio se planteaba ya la importancia de su

uso en los procesos de construcción, disociando de los conocimientos del arquitecto la preocupación por su funcionamiento. Ese aspecto es el que nos sigue interesando; no vamos aquí a preguntarnos por las teorías pronunciadas alrededor de ellas, entendidas como unidades autónomas sino en relación con su contribución a la aplicación de la técnica constructiva y la búsqueda del incremento del nivel de eficiencia.

La definición que de las máquinas hace QUINTANILLA (1988) no sólo es clara sino particularmente útil: *una máquina es un artefacto físico capaz de transformar energía de determinado tipo en trabajo mecánico, pero una máquina junto con su usuario constituyen un sistema técnico*³⁶. Efectivamente, y para ir más lejos (o más atrás, si pensamos que una herramienta de mano es un artilugio más primitivo que una máquina), hay que decir que una relación similar se establece entre un operario y sus herramientas de trabajo; la preocupación que ellas despiertan en autores de tratados de fortificación como Manesson Mallet, Fritach o Fernández de Medrano, no es gratuita. Además de que en una empresa tan grande como la construcción de una fortaleza había que contar con el llamado “material de campaña”, en estos autores es evidente el afán por registrar las diferencias entre las herramientas y la especificidad que ellas tienen en las tareas de ejecución; si las herramientas del operario manual son una forma de adaptación de sus propios miembros a las exigencias de un trabajo, el dominio de ellas contribuye a expresar la jerarquía que se plantea al interior de los oficios.

Fritach (1630), por ejemplo, nos muestra cuatro tipos distintos de palas, cada una con forma distinta de acuerdo a su uso: para remover tierra, para extraer tepes, para excavar grandes volúmenes y de mano. Manesson Mallet (1684), es uno de los primeros que además de demostrar su interés por las herramientas manuales, busca de manera racional el perfeccionamiento de su empleo teniendo como objetivo final una mejora en el rendimiento de los trabajos; él busca en los principios de la mecánica la forma de desplazar el centro de gravedad de las carretillas desplazando la carga hacia el punto de apoyo y facilitar con ello el desplazamiento de los operarios sobre las empinadas rampas de acceso a los terraplenes (págs. 310-311). Y Fernández de Medrano, más tímidamente, se limita a recalcar su importancia y las incluye como objetos imprescindibles en el ejercicio de las labores constructivas que describe.

Pero las herramientas manuales van siendo reemplazadas por artefactos mecánicos que hacen más eficiente la inversión de la energía: ellas acortan la duración de los tiempos de duración de los trabajos y disminuyen el número de hombres empleados; pero también requieren del intelecto humano para su creación. Si antiguamente el uso de máquinas artesanales estaba limitada al entorno que más necesitaba de ellas o al ejercicio de *hombres de ingenio* capaces de diseñarlas, son los ingenieros militares, inmersos en ese afán innovador, quienes reorientan su relación con la mecánica: ellos cuentan con la base aritmética y geométrica y la precisión que exige su dimensionamiento. Ya no hablamos de las máquinas simples que nos describe la física clásica: plano inclinado, cuña, tornillo, ... sino de máquinas más complejas formadas por componentes aislados que requieren de un ensamblaje y que buscan fundamentalmente la producción de un movimiento.

No resulta entonces extraño que la Academia de Ciencias de París publicase a partir de 1735 un compendio con las máquinas e invenciones puestas al servicio de diversas actividades humanas, incluyendo la técnica constructiva. En *Machines et inventions ...* (París,

Martín/Coignard/Guerin, 1735), aparecida bajo la dirección de M. Gallon³⁷, se aprecian los más diversos *ingenios*, muchos de ellos para aplicarse en las construcciones militares: la grúa para levantar fardos “*sin frotamiento*” (*Lámina LX*), el puente levadizo para salvar fosos (*Lámina LXI*), o los parapetos rebatibles (*Lámina LXII*), estaban pensados directamente para servir a los procesos de ejecución. Otros intentaban mejorar la extracción y tratamiento mismo de los materiales, como las máquinas para aserrar y pulir el mármol (*Lámina LXIII* y *Lámina LXIV*), o aquélla para pulverizar el yeso (*Lámina LXV*).

Muchas páginas podríamos dedicar a enumerar interesantes ejemplos que en este libro se encuentran, pero lo que es realmente importante destacar, es que el perfeccionamiento de la técnica constructiva en el siglo XVIII, de la mano de los ingenieros militares, se complementa también mediante la integración de artefactos cada vez más complejos que son capaces de alterar el desarrollo mismo de los procesos y la concepción de las formas (como en el caso de los parapetos rebatibles). La modificación no la podemos tildar de radical, pero sí de representativa; tampoco podemos decir que hasta antes del siglo XVIII estuviesen desterradas las máquinas de la práctica constructiva, lo que ocurre ahora es que ellas ahora son consideradas dentro de la estructura global, el ingeniero recupera su vinculación con ellas y asume el ideal de que su perfeccionamiento contribuye al perfeccionamiento íntegro del sistema.

2.2.2. *Los efectos globales*

Tal como lo expresa QUINTANILLA (1988), el problema de la definición de eficiencia de un sistema técnico no radica en el concepto mismo, al que se puede llegar de manera intuitiva: *una técnica es más eficiente que otra si consigue el mismo resultado con menor coste*, por ejemplo. El problema real está en la determinación previa de los objetivos y en su cuantificación: objetivos y resultados han de determinarse de manera independiente y mediante un patrón de medida que sea común.

Destaquemos aquí y ahora una conclusión que parece obvia pero necesaria: el conjunto de las fortificaciones modernas se ha servido siempre de la técnica constructiva, asignándole a ella un papel variable; los objetivos intrínsecos de ella son siempre más o menos los mismos: llevar a cabo la materialización de una idea -el proyecto-, haciendo un correcto uso de los materiales, en pos de la estabilidad y durabilidad del conjunto, las variaciones las hemos encontrado es en las formas en que se manifiestan y se organizan los conocimientos que la conforman. Los criterios de rendimiento y economía permanecen de manera implícita y ya hemos visto cómo con el tratado de Belidor, quedan perfectamente delineados, vinculados y controlados mediante el *Devis*.

Pero pensemos en una escala mayor: en los efectos de la definición de esos objetivos dentro del conjunto de fortificaciones permanentes, un conjunto de artefactos que resultan de esa técnica, aunque no *exclusivamente* de ella. Si hacemos una rápida visión retrospectiva, recordaremos que hasta mediados del siglo XVI la *fuerteza* de una plaza dependía fundamentalmente de la *solidez de sus murallas* y del *valor* de los hombres que la defendían. Para los tratadistas del Renacimiento, lo primero se obtenía a través de dos cosas: la adecuada ejecución material, y sobre todo por la disposición geométrica del perímetro del edificio, acorde con una forma poligonal perfecta; el tema del *valor* de los hombres se

continuó considerando de la misma manera en que lo hacían los antiguos romanos, y que conocemos a través de la obra de Vegetio. Para lograr el primero de estos objetivos, estaba el arquitecto o el ingeniero militar, para el logro del segundo, estaba el militar y su capacidad de mando y dirección sobre sus subordinados.

Nótese que la suma de objetivos se realiza en unidades de medición distintas: si el logro de la forma era “cuantificable”, en la medida en que la traza se asemejaba al ideal geométrico, el valor no dejaba de ser una consideración subjetiva que se relacionaba con prejuicios, como por ejemplo la nacionalidad de los soldados o su religiosidad. En el momento de evaluar los resultados, ambos criterios tampoco garantizaban hacer la estimación adecuada de la eficiencia: una plaza podía caer en manos del enemigo sólo por la cobardía de sus hombres, sólo por una traza inadecuada, o por ambas cosas. El resultado en cambio hacía referencia a un término absoluto: la plaza caía o no caía. Si lo hacía, era ineficiente; si no, se convertía en paradigma. La técnica constructiva aparece entonces como un referente lejano en el momento de fijar los objetivos. Basta con dar una mirada a las llamadas *Máximas de la fortificación*, es decir, aquellos postulados que el arquitecto debía siempre tener presentes y que reaparecen sucesivamente en varios autores, con algunas ligeras variaciones de uno a otro.

Sebastián Fernández de Medrano, en *El Arquitecto Perfecto en el Arte Militar ...* (1708), enumera quince máximas, y ninguna de ellas alude siquiera a la solidez de las murallas:

- I.- *Que la línea de la Defensa no sea mayor que el alcance del Mosquete ...*
- II.- *Que el flanco no sea mayor de 180 pies, ni menor de 100 ...*
- III.- *Que la media gola sea de la grandeza del flanco ...*
- IV.- *Que la cortina sea de cuatrocientos á quinientos pies ...*
- V.- *Que la cara del Baluarte sea de 300 à 360 pies ...*
- VI.- *Que todo ángulo flanqueado ... no sea menor de sesenta grados.*
- VII.- *Que el ángulo flanqueado sea recto ...*
- VIII.- *Que el Fosso sea de la grandeza del flanco ...*
- IX.- *Que la estrada encubierta sea de 25 á 30 de ancho ...*
- X.- *Que la esplanada tenga de 60 á 100 pies ...*
- XI.- *Que no aya parte de la Plaça que no esté vista y defendida por otra ...*
- XII.- *Que toda fortificación exterior esté dominada ... desde el exterior.*
- XIII.- *Que el Baluarte terraplenado sea preferido al vacío ...*
- XIV.- *Que un mesmo recinto fortificado con menos Baluartes à la defensa del Mosquete tenga primer lugar que el que tubiere más ...*
- XV.- *Que la Fortificación Irregular se aproxime quanto fuere a la Regular ...*

Libro I, *Máximas y preceptos ...*

Distinto es el caso de Pedro de Lucuze, que en *Principios de Fortificación ...* (Barcelona, 1772), incluye por ejemplo:

Máxima IV: las partes expuestas á las baterías del sitiador, han de tener la robustez necesaria para resistir el ataque ...
Sección primera.

Y para las obras exteriores dice más adelante:

Máxima V: debe revestirse de mampostería de piedra o ladrillo, con proporción al cuerpo de la plaza ...

Las consideraciones que hace el arquitecto militar de los siglos XVI y XVII, están siempre ligadas a las dimensiones geométricas. En cuanto al tema del *valor*, veíamos que el tratado de Theodoro Barbo, *Se vence el arte con el arte ...* (1680?), representaba una ruptura: variaciones espaciales, sustentadas en el conocimiento de la técnica son las que a su juicio garantizan la capacidad defensiva de una plaza; la geometría y de manera incipiente, la técnica son las nuevas y únicas depositarias de la fuerza.

Es a partir de 1670, con las consecuencias de la práctica de Vauban, que la eficiencia del sistema de fortificaciones permanentes pasará a depender en buena medida de la técnica constructiva que la hace posible, produciendo que los demás factores intenten expresarse ahora en términos cuantitativos; la razón sustituye el criterio del valor y para ello es necesario conocer la cantidad de municiones y de víveres que garanticen la subsistencia de los hombres para un número determinado de días o semanas. Hasta las acciones de los enemigos, el ataque, se ponen ahora en términos numéricos. Estos cambios, o mejor aún, este perfeccionamiento de la técnica constructiva traerá como consecuencia la transformación del sistema de fortificaciones permanentes y declarará, junto con otros factores, su obsolescencia. Las críticas de Prósperi y de Montalembert, que analizaremos al final de esta unidad, nos ayudarán a demostrar esta tesis.

Ahora bien, si la eficiencia es la forma en que se expresa la *evaluación interna*, hay que recordar que en la *evaluación externa* se utilizan criterios relacionados con la utilidad o el valor que ella tiene para la sociedad. En este sentido, no debemos olvidar los efectos que la construcción de complejas obras de fortificación tuvo para la sociedad, al margen del elevado costo que ello demandaba para un reino y que en últimas recaía sobre el grueso de la población; pero traducirlo únicamente en términos de costes y beneficios sería dejar de lado algunas otras consideraciones. Si la eficiencia tecnológica de las fortificaciones modernas, la midiésemos sólo por sus costes y beneficios, reduciríamos el problema al de su rentabilidad económica. Uno de los efectos que trajo consigo la construcción de estos edificios, fue el de la expropiación de parcelas de pequeños propietarios, ahí donde era necesario levantar la fortaleza. La estimación de las indemnizaciones caía también dentro de las tareas del ingeniero. Belidor nos lo aclara en *La Science des Ingénieurs ...*:

Pour les Particulieres dont les héritages doivent être occupées par les Fortifications, on ne peut avoir trop d'attention pour leur rendre la justice qui leur est due, & pour les dédommager en quelque façon du chagrin de perdre leurs biens; ainsi il ne faut point agir en toute rigueur avec eux; mais bien régler l'estimation, de manière que le Roy n'y soit point lezé, & que le Particulier n'y perde rien ...

Págs. 28-29.

En el caso de los particulares, cuyos dominios deben ser ocupados por las fortificaciones, no debemos prestar mucha atención a sus reclamaciones de lo que por justicia les corresponde, y para las indemnizaciones en ninguna clase de tristeza por perder sus bienes; pero tampoco es necesario tratarlos con todo el rigor; más bien, liquidar la estimación de manera que el Rey no sea lesionado, y el particular no lo pierda todo ...

En el Archivo de la Corona de Aragón, de Barcelona, se conservan los expedientes de las llamadas “Zonas polémicas”, correspondientes a los litigios surgidos entre el Estado y los particulares por terrenos que quedaban situados dentro de las áreas libres que una fortificación requería para asegurar su visibilidad y defensa. El aparente bienestar colectivo que se buscaba con las obras defensivas, quedaba pues relegado por las fuertes repercusiones sociales que iban en detrimento del nivel de vida de los ciudadanos. Y es que a pesar de las fuertes inversiones económicas y de los grandes sacrificios de la colectividad, las plazas no garantizaban la inexistencia de los desbastadores efectos de las guerras.

Es al final del siglo XVIII cuando se involucran también consideraciones económicas y sobre todo políticas en la evaluación de los objetivos y resultados de las plazas fortificadas. El tratado de Jean Claude Le Michaud d'Arçon, *Considérations militaires et politiques sur les fortifications ...* (París, Imprenta de la República, Año 3)³⁸, por ejemplo, trata extensamente las consideraciones estratégicas que justifica el empleo de las fortificaciones por parte de los nacientes Estados Nacionales; para Michaud, la disposición laberíntica de las obras defensivas guarda la callada intención de regular el ataque del enemigo: cada plaza se comporta como la pieza de un tablero de ajedrez, las nuevas formas de la guerra se desarrollan a nivel de un extenso territorio y el edificio entra en el juego de las decisiones de gobierno.

También Julienne Belair, quien escribe *Éléments de fortification ...* (2ª ed., París, Chez Magimel, 1793), integra al saber del ingeniero la geografía física como instrumento que le permite una mayor comprensión de los territorios. En Belair se aprecia además la imagen de una sociedad ideal en las que las fortalezas aseguran la paz y la tranquilidad de los estados; no duda incluso en recordar las imágenes de las obras defensivas precolombinas, conocidas a través de las cartas impresas de Hernán Cortéz acerca de la conquista de México:

La ville de Tabasco ... étoit fortifiée d'une espece de muraille dont ils se servoient dans presque toutes les Indes. Ce mur étoit composé de gros troncs d'arbres enfoncés en forme de palissades, joints de telle maniere qu'ils y avoient des ouvertures pour tirer leurs fleches. L'enceinte étoit de figure ronde, sans redens ni aucuns défences ...

Nota (b) de la página 20.

La villa de Tabasco ... estaba fortificada con una especie de muralla donde se refugiaban en tropel todos los Indios. Este muro estaba compuesto de gruesos troncos de árboles colocados en forma de palizadas, unidos de tal manera que se dejaban las aberturas para lanzar sus flechas. El recinto era de forma circular, sin salientes ni ningún tipo de defensas ...

Volvamos a la escala de la técnica constructiva. En la medida en que ella se hace más madura desde dentro, crecen alrededor suyo también las expectativas: los desarrollos alcanzados de la

mano de ingenieros son asimilados por arquitectos y usados en el ejercicio de sus trabajos. Al final de esta unidad haremos una reflexión acerca de la supervivencia de sus criterios hasta bien entrado el siglo XIX.

3. La crisis del modelo

3.1. Félix Prósperi: una visión desde la periferia

De acuerdo a los datos que se recogen en algunos libros³⁹, Félix Prósperi nació en Luca (Italia)⁴⁰, en 1689 pasando su juventud en Sicilia, donde ingresó de manera regular en un regimiento español de infantería. En 1714 era capitán al servicio de la República de Venecia, participando en la defensa de Corfú y en la toma de Provenza, pero su incorporación definitiva al ejército español se habría de producir en 1721 a través del Regimiento de Milán. En 1728, siendo Capitán, solicitó su ingreso al Cuerpo de Ingenieros, para lo cual debió superar las pruebas necesarias; posteriormente fue trasladado a Andalucía y en 1731 se embarca en Cádiz con destino a América: ejercería su carrera primero en Santo Domingo donde permaneció por espacio de cinco años⁴¹, luego en Veracruz donde reparó las fortalezas de San Juan de Ulúa y finalmente en Méjico. En 1747 fue nombrado Ingeniero jefe con categoría de General.

A pesar de tan altas graduaciones obtenidas, son constantes los apuntes acerca de las dificultades personales que Prósperi afrontaría durante su prolongada estancia en América⁴²: regresaría a España en 1752 para participar en las fortificaciones de Barcelona, Cádiz y Zaragoza (1753) retirándose luego a Bologna (1754) al cumplir la edad de 65 años.

3.1.1. La crítica de Prósperi

La figura de este personaje podría pasar desapercibida, sumándose a la extensa lista de ingenieros destinados a esa especie de exilio forzoso que constituía el traslado a las Américas, de no ser porque escribió un libro, que si bien fue poco conocido y valorado en su época, constituye una muestra evidente de la crisis alcanzada por el sistema de la fortificación permanente hacia mediados del siglo XVIII. El tratado, titulado *La Gran Defensa, Nuevo Methodo de Fortificación ...* (México, 1744), se compone de seis libros, cuyos títulos son los siguientes: Libro I, *Del orden doble*; Libro II, *Del orden reforzado*; Libro III, *Del Orden Sencillo*; Libro IV, *Examen y confronto de las fuerzas*; Libro V, *De la Fortificación Irregular*; y Libro VI, *De varias cosas útiles y curiosas*.

Para 1744 el llamado *Sistema Vauban* conducía a pesar de todas sus ventajas, a una saturación de las fortificaciones en donde unas obras exteriores que protegían el recinto se cubrían a su vez con un nuevo conjunto de obras exteriores, y el consecuente encarecimiento de las edificaciones no aseguraba en modo alguno su inexpugnabilidad, sólo les hacía más duraderas. La propuesta de Prósperi, que también parte de consideraciones geométricas por una lado, y de una experiencia propia destacable, por el otro, se resume en dos aspectos generales: (1) se ocultan al máximo las defensas con flancos descubiertos pero cañones escondidos; y (2) los flancos de los baluartes no defienden entre sí sus caras, sino que defienden las caras de los revellines y desde éstos las de los baluartes.

Tales diferencias conducían a una ostensible reducción del volumen material de las obras de fortificación: la figura triangular, rechazada hasta entonces como apropiada para ser abaluartada, era la forma inicial de su propuesta, y los revellines las únicas obras exteriores.

En el primer libro, el autor expone las características en detalle de su *Nuevo Methodo*. A partir de la construcción del triángulo se examinan las fortificaciones cuadradas, pentagonales y hasta de ocho lados; se explica la nueva disposición de revellines y baluartes, así como de los demás elementos propios de las construcciones militares: foso, murallas, terraplenes, puertas, camino cubierto, plaza de armas, estacada y glacis, entre algunos otros. Más adelante hemos de detenerme a analizar las peculiaridades de las murallas que expone Prósperi.

El segundo libro, que trata *Del Orden Reforzado*, expone con mayor brevedad y a partir de lo ya explicado en el primer libro, lo relacionado con las variantes que sufre esta modalidad. Para ello se vale de cuatro capítulos que apenas alcanzan a ocupar 7 folios (3,22 U.P.). Algo similar ocurre con el tercer libro, que trata *Del Orden Sencillo*; consta también de cuatro capítulos breves en una extensión de 8 folios (3,68 U.P.) donde compara su visión del triángulo (unidad básica) con la de los *modernos* y además describe *otras varias ideas sobre fortificación*.

En el cuarto libro se analizan las peculiaridades ya no constructivas o de trazado de la fortificación propuesta, sino de las militares: fuerzas que lo componen, métodos de defensa, ciudadelas y por último enumera 16 ventajas de su método, entre las cuales vale la pena citar algunas:

- Se vale del cañón y no del fusil como arma fundamental en la defensa.
- Bajo costo.
- Se necesita poca guarnición para su defensa.
- Poca altura de las murallas.
- Mínima cantidad de obras exteriores, valiéndose únicamente de los revellines.

Lo que Prósperi propone es un modelo más eficiente: los objetivos son los mismos, los resultados son distintos.

El quinto libro está dedicado a la fortificación irregular, comparando los métodos de los *modernos* con el suyo propio y ejemplificando su invención sobre el caso concreto de la *Plaza de Maestric*. Es tal su interés en que sean oídas sus ideas que plantea la forma de aplicar tales principios sobre plazas ya construidas. El sexto y último libro, contiene la descripción de varias cosas que él mismo denomina útiles y curiosas, tales como: modo de medir con el agua las obras de fortificación; instrumento estadiométrico para levantar planos de reinos, y un navío insumergible.

3.1.2. La propuesta constructiva de Prósperi

Sin duda, uno de los aspectos más destacados de este autor es que acompaña su nueva propuesta formal con una propuesta constructiva que le es propia; las características y las

ventajas que se obtienen del nuevo método de fortificación que expone, se acompañan con una nueva concepción de la estructura material de la edificación y en especial, de los muros.

No puedo menos de admirarme en veer que hombres de primer nota estan empeñados en gastar a los Principes cantidades considerables en la erección de unas Murallas, que muchas veces arruina el peso intolerable de sus terraplenes, quales à fuerza de contrafuertes, que entran en dichas tierras las mantienen en equilibrio.

Pág. 64.

Son cinco las innovaciones que introduce Prósperi en su diseño y construcción. El *perfil A* ilustra la sección según *Autores modernos*; el *perfil B* lo hace del nuevo método propuesto (*Lámina LXVI*):

Primeramente las dispongo apoyadas y arrimadas al Terraplen; porque las tierras no empujan en ellas con aquella fuerza, que hacen en la de los modernos. Lo segundo las ordeno mas bajas, à fin de que no sean muy descubiertas, y en pressa del agresor. Lo tercero las hago sin contrafuertes, dejandole unos pequeños Refuerzos. Lo quarto no las levanto desde la profundidad del fosso. Y el quinto las conservo siempre de un mismo espesor, assi áriba, como abajo, à saber, paralelas.

Pág. 64.

Hasta las dos terceras partes de su altura, están construidas en piedra o ladrillo, y el tanto el último tercio de la muralla como todo el terraplén que las cubre por encima, se forran con tepes hacia el exterior.

Las levanto hasta las dos tercias partes de su altura ordinaria, sea la que fuere, que con esto conserva mayor fuerza, y no es batida desde la Campaña, revistiendo de tepes, lo que queda del terraplén, y parapeto, que carga sobre su remate la mayor parte, y no admito cordon en la misma.

Pág. 66.

Al evaluar la magnitud de los empujes que soportan las murallas en los casos A y B, el autor compara las áreas equivalentes de los volúmenes de tierra que ejercen acción sobre los muros, cuyas hiladas dispone perpendiculares a su plano inclinado⁴³. La comparación gráfica es clara: en los métodos de la fortificación moderna ellos se comportan como muros de gravedad capaces de sostener a más de su peso propio, el empuje del terreno; empuje que se hace mayor en cuanto disminuye el ángulo que hace con la horizontal el declive natural del suelo. En la propuesta de Prósperi, el muro se contenta con ser una auténtica camisa que recubre los terraplenes, y que en virtud de su propia inclinación logra disminuir el empuje del terreno que tiene tras de sí; además, compensa el efecto de los momentos de vuelco mediante cargas verticales ejercidas por masas del mismo terreno que se colocan encima de él.

Los contrafuertes ya no son necesarios, a cambio se construyen refuerzos verticales separados entre sí 14 pies desde el zócalo del cimiento hasta su total altura; y en cuanto a la cimentación, sigue los sistemas tradicionales de pilotaje cuando la baja resistencia del suelo lo requiere y de zapatas corridas con un ancho de 11 pies y una profundidad variable.

Aunque reconoce las dificultades del proceso de puesta en obra, Prósperi remata su propuesta con una comparación de los costos unitarios de los sistemas que ilustra: el *Perfil A* tiene un volumen de 1006 toesas cúbicas y el *Perfil B* apenas alcanza las 478.

3.2. La respuesta francesa de Montalembert

Para comienzos del siglo XVIII, las fortificaciones estaban justificadas a través de *la razón, la experiencia y el instinto*, tal como lo expresa P. Maigret en su *Traité de la Sureté et de la Conservation des Etats par le Moyen des Forteresses* (París, Chez Esprit Billiot, 1725). Maigret se hace eco de la valoración hecha por Vauban a la cantidad, figura y solidez de las obras que debían tener las fortificaciones, e insiste en el orden que se debe seguir en su construcción cuidando de la disposición de los fondos necesarios, la cualificación del personal y la conducta observada en los trabajos. Valora la división del trabajo a través de tres estamentos: los obreros, *para todas las diferentes maneras en que sean necesarios*, los ingenieros, *para hacer los dibujos, ... trazar las obras, examinar los materiales y dirigir su puesta en obra*, y los tesoreros, *para pagar a los unos y a los otros*.⁴⁴

Los hombres del ejército, considerados dentro de esta mentalidad general como unos simples componentes del sistema, no podían dejar de reconocer que, a pesar de toda la complejidad desarrollada a través de las formas, el ataque superaba siempre a la defensa. Ya hemos mencionado que Vauban había sido el creador de un método que permitía evaluar la capacidad defensiva de una plaza, calculando el tiempo probable de su resistencia; Cormontaigne, utiliza tal método como modelo para sustentar uno nuevo por él propuesto, capaz de aguantar más y costar menos. La evaluación de un sistema fortificado la hacen siguiendo dos criterios:

- La estimación de su capacidad defensiva y
- La estimación de los costos de su construcción.

Para lo segundo, estaba el ingeniero, a través del dominio de la técnica. Para determinar lo primero, las cosas ya no eran tan fáciles: el tiempo de resistencia de un frente no podía ser calculado empleando en ello una unidad de medida absoluta sin dos condiciones igualmente relativas: la primera es el ataque “dentro de las formas”, es decir, según una progresión normalizada por las disposiciones defensivas y el arte de los sitios. La segunda, que la plaza sea construida por un conjunto de frentes idénticos: que ella sea completamente regular, pero que también todo el aprovisionamiento de una plaza en hombres, municiones, piezas de artillería, alimentos, sean igualmente calculables a partir del frente de un cierto tipo de sistema. Así al menos lo consideraba el Mariscal de Puysegur, autor de los dos volúmenes de *Art de la Guerre, par principes et par régles ...* (París, Ch. A. Jombert, 1749)⁴⁵, para quien el ataque, la defensa y la manera de fortificar una plaza se establecen por principios conocidos, que requieren ser demostrados con ayuda de la geometría; la misma que hasta el siglo XVII rigió el perfil de una plaza más por su carácter mítico, pasa ahora a convertirse en un instrumento de control de la acción también de la batalla: ella permite la previsión de las variables que el estrategia militar necesita conocer. En la parte final de su tratado se expone rigurosamente un método para hacer el proyecto general de una guerra.

Pero tales intentos fracasan: el método “científico” aplicado por Puysegur con relativo éxito a las técnicas de ataque se demuestra incapaz de hacer lo mismo con respecto a la defensa. Paralelamente, hay que reconocer que los adelantos en la artillería no cesaron en el siglo XVI: la aparición de las llamadas “balas de rebote” y un conjunto de pequeñas mejoras en la calidad material de los cañones, los carros de armamentos, pólvora y guarnición, contribuyeron a la movilidad de los atacantes y generaron nuevos problemas para la defensa de las plazas. La cristalización de la técnica constructiva no era suficiente para hacer invulnerables los edificios: sólo garantizaba una rápida ejecución, una economía en los gastos y una mayor durabilidad de sus partes. Eran los límites de la técnica

Otra de las expresiones de la crisis de la fortificación permanente la constituyen las presiones ejercidas por los cuerpos de artilleros franceses que tratan de demostrar la supremacía de las acciones bélicas que enfrenta directamente a dos bandos contrarios sobre el terreno sin la presencia de tan costosos edificios. A cambio, la fortificación de campaña empieza a hacer carrera relegando el arte de los sitios y con él los principios militares codificados por Vauban. Las voces disonantes contra la autoridad de Vauban y de su seguidor e intérprete Cormontaigne⁴⁶, no se hicieron esperar. DUFFY (1985), quien hace en su libro un recuento de los hechos históricos que demuestran esta situación, cita entre otros al llamado Mariscal de Saxe, quien afirma en 1756: *No soy un gran estudiante, pero nunca me he sentido intimidado por la reputación de Vauban y Coehoorn. Ellos fortificaron ciudades con inmensos costos sin hacerlas por ello más fuertes*⁴⁷. Como respuesta, tratados como el de Carnot de 1776, *De la défense des places fortes ...* (se ha consultado la 3ª ed., París, Mme. Courcier, 1812) buscan recuperar el peso de las figuras del pasado: en él se exponen de manera detallada todas las definiciones de la fortificación general siguiendo con fidelidad las ideas de militares del siglo XVII y demostrando su vigencia. Carnot se hizo conocer aun más por su *Éloge a Vauban*, de 1784, memoria ganadora del premio ofrecido por la Academia de Dijon para renacer el interés hacia los logros y la figura de Vauban. Este ingeniero apela a aquello que lo diferencia de los demás estamentos militares: el conocimiento técnico amparado en las ciencias físicas. La polémica se desata al interior de la estructura militar.

El tratado del Marc-René, Marqués de Montalembert, *La fortification perpendiculaire, ou essai sur plusieurs manieres de fortifier...* (París, Philippe Denys, 1777), aparece justamente en medio y casi podríamos que decir, que como producto de la discusión. Es una extensa obra que consta de 5 volúmenes; el primero está dividido en 6 capítulos, donde hace un recuento de la fortificación antes de la invención de la pólvora, las batallas y sitios más importantes de la historia hasta la aparición de los frentes bastionados. El volumen II (9 capítulos), continúa la explicación de las nuevas plazas de guerra y las características de las fortificaciones francesas hasta antes de 1771, haciendo un análisis tipológico donde el autor defiende la utilidad de los fuertes de perímetro circular.

El volumen III (8 capítulos) contiene los fundamentos de su propuesta sobre fortificaciones de planta circular donde los bastiones se estilizan hasta formas triangulares que se defienden entre sí y mediante revellines (*Lámina LXVII* y *Lámina LXVIII*). Hace extensiva su propuesta a puertos marítimos y plazas irregulares e incluye una explicación detallada del sistema defensivo de la ciudad de Cartagena de Indias, con planta de la ciudad y de sus baterías. El volumen IV (5 capítulos) se detiene en las características de las líneas de defensa y circunvalación de su propuesta. El volumen V y último (9 capítulos) hace lo mismo para las líneas de tiro, las minas y el alcance de los nuevos cañones.

Montalembert era militar y poseía un amplio conocimiento sobre fortificación europea; su argumento central es que era el momento de superar las formas tradicionales de la fortificación permanente, *si la artillería es el arma que acosa las fortalezas, es también ella quien debe defenderlas*. En contra de la actitud pasiva de los hombres de Estado, lo que en el fondo se busca es también una manera de pasar al ataque: un recinto no tenía por qué ser una trampa en la que sus hombres se limitaban a defenderse hasta el final de sus fuerzas. Su propuesta comienza por introducir casi 400 cañones en una fortificación, alojándolos en casamatas y no de manera expuesta sobre la muralla abierta; incluso se sirve de compactos edificios en tres o más niveles que haciendo uso de su visión periscópica garantizan con mayor éxito las respuestas defensivas. Aunque su propuesta guarda similitudes con la ya expuesta por Prósperi (1744), la de Montalembert es nacida de un ambiente de discusiones colectivas que amenazan con cambiar los principios estratégicos de un Estado. Su importancia está no sólo en los criterios que emplea para sustentar una modificación tan drástica en el sistema de fortificaciones, si no en la manera en que aplica también razonamientos objetivos, análisis cuantitativos y un uso adecuado de la técnica constructiva para sugerir cambios en la forma. Se verifica la existencia de múltiples caminos, o al menos, en este caso, de dos. Montalembert, que busca librarse del peso de las figuras del pasado, sin embargo, es el perdedor de esta batalla ideológica con sus compañeros de armas, y sería en Alemania donde sus ideas se recogen y aplican con un inusual entusiasmo.

El ideal de progreso se ha hecho en este caso manifiesto, entendido distintamente por unos y por otros, sobre una misma base de conocimientos técnicos. A la manera de pensar una fortaleza de igual manera que una máquina, expresada por Carnot, Montalembert responde:

Les places ne consomment-elles que des hommes? Une construction n'exige-t-elle pas aussi une consommation de pierres, de bois, de fer, de canons, &c? ... À cela je réponds qu'on doit compter dans la consommation dont je parle non seulement le nombre des hommes directement employés à défendre les places; mais encore celui des hommes employés à extraire les matériaux, les travailler, les transporter, &c.

MONTALEMBERT, citado por VÉRIN (1993), pág. 380.

Acaso las plazas no consumen sino hombres? Una construcción no exige también un consumo de piedras, de maderas, de hierro, de cañones, etc.? ... A esto yo respondo que se debe contar en el consumo del que hablo no solamente con el número de hombres directamente empleados en defender las plazas, sino también con aquellos que extraen los materiales, con los trabajadores, con los transportistas ...

3.3. Los tratados de fines del siglo XVIII y la supervivencia de las ideas

Si bien la propuesta de Montalembert es la expresión de un estado de saturación del sistema, no podemos afirmar que la aparición de su trabajo haya sido el fin declarado de todo aquello que hasta entonces se había construido, tanto materialmente como en el terreno conceptual e ideológico. Por el contrario, podemos afirmar que buena parte de los tratados publicados en Francia durante la segunda mitad del siglo XVIII ensalzan, complementan o explican la obra de sus dos grandes autores: Vauban y Belidor.

Así, el texto escrito por Josep Fallois, *L'Ecole de fortification ...* (Dresde, Chez George Conrad Walther, 1768) tiene la clara intención de hacer legibles algunos capítulos del tratado de Belidor, especialmente de aquellos relacionados con la determinación de las magnitudes de los elementos de los arcos. Charles Antoine Jombert, conocido también como editor, publica un *Dictionnaire portatif de l'ingenieur et de l'artilleur ...* (París, casa del autor, 1768), llevando a término una idea manuscrita también de Belidor. Trincano, en sus *Elemens de fortification de l'attaque et de la défense des places ...* (Toul, Chez J. Carez y otros, 1786), copia deliberada y expresamente tanto a Belidor como a Vauban, aunque no se adentra en la resolución de problemas matemáticos. En la obra ya citada de Carnot, *De la défense des Places Fortes ...* (1776), donde las definiciones de los elementos de una fortificación siguen con fidelidad las expresadas por Vauban, se incluye un discurso acerca *De los medios que ofrece la industria para asegurar la mejor defensa de las plazas*. Y a finales de siglo, Belair escribe sus *Elémens de fortification ...* (París, Chez Magimel, 1793), donde retoma principios de Vauban, Belidor y del propio Le Blond.

En España, durante la segunda mitad del siglo XVIII, si descontamos los tratados escritos por Lucuze, March (que es un complemento al libro de Lucuze), y Sánchez Taramas, productos todos ellos del esfuerzo de profesores de la Academia de Matemáticas, y con una clara orientación pedagógica, los tratados impresos sobre fortificación van a ser o bien traducciones de títulos aparecidos originalmente en francés, o bien textos menores y de escasa importancia para el desarrollo del tema que nos ocupa.

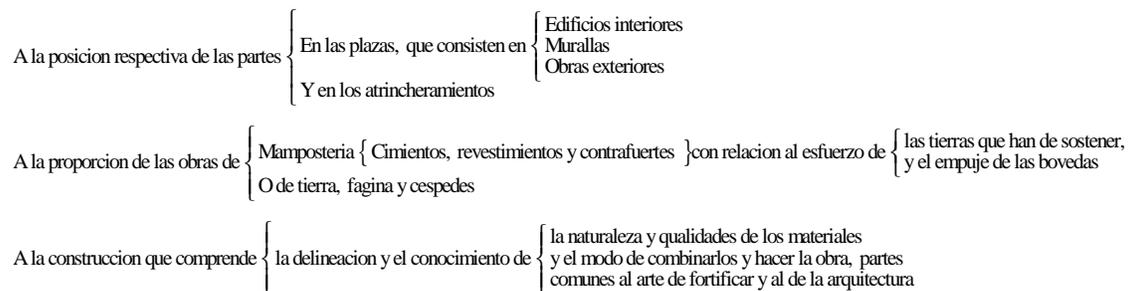
Entre las traducciones más destacadas, están las realizadas a J.L. Le Cointe, *Ciencia de puestos militares o tratado de las fortificaciones ...* (Valencia, Benito Monfort, 1770, traducido por Josep Caamaño y Gayoso de la edición publicada en París en 1759), Charles Sevin de Quincy, *Arte de la Guerra o máximas e instrucciones del arte militar ...* (Madrid, Pedro Marín, 1772?, traducida por Raymundo Ortiz de Zárate), y Guillaume Le Blond, *Elementos de fortificación ...* (Madrid, Joaquín de Ibarra, 1776, traducida por Manuel Centurión Guerrero y Torres de la 4ª edición de París de 1756), *Tratado de la defensa de las plazas ...* (Madrid, Joaquín de Ibarra, 1776, traducida por Manuel Centurión Guerrero y Torres de la edición de París de 1763), y *Tratado del ataque de las plazas ...* (Madrid, Joaquín de Ibarra, 1776, traducida por Manuel Centurión Guerrero y Torres de la edición de París de 1780). Libros todos ellos, escritos a la zaga de los principios de Vauban.

Entre los libros propios pero de escasa trascendencia están los de Sebastián Labayru, *Tratado de aritmética, geografía práctica, fortificaciones ...* (Sevilla, Diego de San Román, 1756), Antonio Plo y Comín, *El arquitecto perfecto, civil y militar ...* (Madrid, Pantaleón Aznar, 1767), y el de Vicente Ferraz, *Tratado de Castramentación ...* (Madrid, Pedro Pereyra, 1800). Mención aparte, dado que no tienen el carácter de tratado, merecen los libros de Raymundo Sanz, *Diccionario Militar ...* (Madrid, Gerónimo Ortega, 1749), y Vicente García De La Huerta, *Biblioteca Militar Española ...* (Madrid, Antonio Pérez de Soto, 1760). El primero es también una traducción del francés a partir de los glosarios contenidos en varios tratados, y el segundo es el primer trabajo que busca ordenar sistemáticamente los títulos de los libros impresos en España sobre fortificación, artillería, ordenanzas militares, náutica y tácticas de guerra.

Será pasado el siglo XVIII, cuando el baluarte se empezó a considerar como obsoleto. Después del *Ancien Régime*, las fortificaciones abaluartadas dejaron de construirse, y es

precisamente la demolición de muchas de ellas, a comienzos del siglo XIX, lo que va a dar paso a nuevas transformaciones en las ciudades europeas. Bastante claro es el ejemplo de Barcelona y los acontecimientos que rodearon la demolición de *La Ciutadella*⁴⁸. Con la preocupación sobre los costos en la producción de bienes manufacturados, viene también aquella que se interroga sobre el sostenimiento de los ejércitos y las infraestructuras militares. Con unos estados consolidados, las fortificaciones dejan de ser tan necesarias como en el pasado.

Pero, ¿qué trascendencia tiene todo este conjunto de ideas dentro de la conformación de unos nuevos ejércitos? En el siglo XIX, las obras de fortificación quedan catalogadas como armas. Si las definiciones generales, las máximas de fortificación, y los principios geométricos reguladores del trazado, seguían enseñándose en las academias militares, todo ello comenzaba a ser parte del patrimonio exclusivo del arte militar o ciencia de la guerra. El arquitecto militar del siglo XVII preocupado por las particularidades del proyecto, transformado primero en ingeniero al servicio de los estados del siglo XVIII, se convierte finalmente en un ingeniero al servicio de la industria. En el libro de José Mariano Vallejo, *Tratado completo del arte militar*, publicado en 1812⁴⁹, se encuentra un cuadro sinóptico que sintetiza los atributos del *arte militar o ciencia de la guerra*: éste, emplea como fuerzas a los hombres y a las armas; a su vez estas últimas pueden ser de mano (de esgrima o arrojadizas), mecánicas (que divide en *katabalísticas*, *neurobalísticas* y *pirobalísticas*), o defensivas. Pero es dentro de las armas defensivas que ubica no sólo a las móviles (portátiles), si no también a las inmóviles, que son las fortificaciones, y que se pueden considerar con relación a:



Esta triada no obedece a aquella formulada por Vitruvio: *firmeza, utilidad y belleza*. Por el contrario, responde a las connotaciones propias de la fortificación tal como se venían entendiendo desde Vauban: disposición de sus partes dentro del conjunto, respuesta de los elementos a las solicitudes de esfuerzos y conocimiento de los materiales y la manera en que se debe disponer de ellos. Si bien los tres elementos son una herencia de su pasado inmediato, lo que es interesante es el hecho de que a las obras de fortificación se les considere dentro de los tipos de armas, devolviendo a la arquitectura militar a su antigua vinculación con la mecánica.

Esta especial valoración de los hechos constructivos por parte del estamento militar, permite entender que personajes como el español José Marv y Mayer en sus conferencias impartidas en las academias militares españolas y recogidas en su *Estudio histórico de los medios de ataque y defensa ...* (1903), haga una contundente crítica a las fábricas empleadas en las obras de fortificación construidas hasta mediar el siglo XIX (págs. 233-236). Tales críticas se concentran fundamentalmente en aspectos constructivos:

- “Vulnerabilidad” derivada de la naturaleza y enlace de los materiales; especialmente por el uso de morteros ordinarios de cal que tardaban demasiado tiempo en fraguar en el interior de los macizos, hecho que ilustra con un ejemplo: ... *este proceso es tan lento, que el General Treusart (de ingenieros franceses) al demoler, en 1822, un baluarte de la ciudad de Estrasburgo, construido en 1666, encontró que el mortero estaba tan blando y fresco en el interior de la fábrica como si se hubiera empleado pocos días antes* (pág. 234).
- Olvido “lamentable” de los hormigones, utilizados por los romanos en la construcción de un buen número de sus obras; olvido acontecido especialmente a partir del siglo XIII a lo largo y ancho de Europa.
- Prácticas “abusivas” en la estereotomía de la piedra que implicó procesos constructivos complejos al mismo tiempo que la tradición artesanal del corte de piedra empezaba a desaparecer de las agremiaciones de constructores. Sin duda, una cuidada elaboración se ponía en contra de los ideales de eficiencia y rendimiento preconizados por los ingenieros militares: *la obsesión exageradamente minuciosa y detallista que llegó a embargar el magán de los ingenieros militares en el siglo XVIII y primera mitad del XIX, engendró trazados abtrusos y sistemas costosísimos cuya construcción aparejaba intrincadas cuestiones, dificultades sin motivo, problemas de bajadas, encuentros de bóvedas, lunetos, etcétera* (pág. 235).

En el siglo XIX los centros de formación para los ingenieros militares en España estarán concentrados en la Academia Especial de Ingenieros de Guadalajara, la Academia Especial de Ingenieros de Alcalá, la Academia de artillería e ingenieros de Segovia, y la Escuela Politécnica Superior del Ejército⁵⁰. La producción de textos vuelve a ser abundante, algunos de cuyos títulos tratan de la manera en que se han de actualizar las instalaciones militares y con ellas las plazas fortificadas: por ejemplo, José de Irizar (1850) recomienda el uso de máquinas de vapor en la ventilación de casamatas, y Leopoldo Scheidnager publica entre 1855 y 1880 varios libros que abogan por la aplicación de la electricidad, la ventilación, y la calefacción, así como la renovación de las instalaciones sanitarias en sus edificios⁵¹.

También las explicaciones basadas en el conocimiento de la mecánica se siguieron llevando a cabo, incluso empleando las fórmulas y tablas contenidas en el tratado de Belidor. Julio de Wurmb escribe en alemán un *Tratado de arquitectura militar para el uso de la Academia Imperial y Real del Cuerpo de Ingenieros en Austria ...*, que se traduce al castellano (Madrid, Imprenta del Memorial de Ingenieros, 1856) por Tomas O’Ryan Vásquez. Las explicaciones relacionadas con los muros, materiales y formas de cimentar siguen en algunos casos los principios expuestos en los tratados del siglo XVIII, aplicando las tablas de Belidor y Rondelet para espesor de muros de revestimiento con estribos:

De este ejemplo puede sacarse la consecuencia de que en muchos casos la tabla de Belidor da dimensiones demasiado grandes, y por el contrario la de Rondelet demasiado débiles ... El empleo de semejantes aproximaciones empíricas en su mayor parte ó fundadas en teorías falsas y supuestos incompletos se evitará todo lo que sea posible, sustituyendo a las tablas el empleo de cálculos analíticos, que darán resultados convenientes, cuando menos tratándose de escarpas adosadas que hayan de construirse sencillamente.

Págs. 27-28.

Wurmb retoma procesos constructivos antiguos, como el arco invertido para cimentaciones (*arcos botareles* debajo del fondo del foso), emparrillados de madera sobre las cabezas de los pilotes, o el sistema de contrafuertes abovedados, tal como se acostumbraba a describir en los tratados italianos del siglo XVI.

Notas al Capítulo II:

¹ Según VÉRIN (1994), en el *Traité sur la défense des Places*, Vauban evalúa la capacidad defensiva de *Casals*, fortaleza de Piamonte construida en 1681, calculando el tiempo presumible de su resistencia.

² GUTIERREZ (1991), pág. 11.

³ El símil no me pertenece. Giovanni BOTERO: *Della Ragion di Stato, Libri dieci* (Venecia, Nicolo Misserini, 1606), traducido al castellano por Antonio de Herrera (Barcelona, Imprenta de Jayme Cendrad, 1599), dice: *La naturaleza nos muestra para asegurarnos el arte de fortificar: porque por ninguna otra cosa ha ceñido y rodeado los sesos en la cabeza con tantos huesos, ni el corazón, sino para asegurar la vida teniendo apartados los peligros, y con mil maneras de cáscaras y cortezas ásperas y duras cubre las frutas, y con las espigas y aristas agudas defiende el trigo de los paxaros, y así me maravillo, porque dudan algunos que las fortalezas sean provechosas para los Príncipes, pues vemos que la misma naturaleza las usa.* Folio 81.

⁴ *Rudimentos Geométricos y Militares ...*, Bruselas, Viuda de Vlugart, 1677.

⁵ *El Práctico Artillero, el Perfecto Bombardero, y el Arquitecto Perfecto en el Arte Militar*, Bruselas, Francisco Foppens, 1680.

⁶ *El Ingeniero. primera parte de la Moderna Arquitectura Militar. Dividido en dos tomos, que contienen cinco libros...* Bruselas, Casa de Lamberto Marchant, 1687.

⁷ *El Architecto Perfecto en el Arte Militar, dividido en cinco libros ...* Amberes, por Henrico y Cornelio Verdussen, 1708.

⁸ *Breve Descripción del Mundo, o Guia Geographica de Medrano. Lo mas principal en verso...* Bruselas, Casa de Lamberto Marchant, 1688.

⁹ *L'ingenieur pratique ou l'Architecture militaire et moderne*, Bruselas, Casa de Lamberto Marchant, 1696? Se ha consultado la edición de 1700.

¹⁰ *Máximas y ardidés de que se sirven los extranjeros para introducirse por todo el mundo ...* sin datos, 1700. GUTIÉRREZ (1991) hace una transcripción que está fechada en 1699 pero que también carece de datos sobre su lugar de impresión.

¹¹ *Los seis primeros libros, onze y doze, de los Elementos Geometricos del Famoso Philosopho Euclides Megarensis*, Bruselas, Casa de Lamberto Marchant, sin fecha, pero el privilegio del Rey es de 1701.

¹² Samuel Marolois, Libro V de *Perspectiva theoretica ac practica, titulado Fortificationis Sive Artis Muniendi, Pars Secunda*, Amsterdam, 1647.

¹³ VÉRIN (1993), pág. 31: *C'est au début du XVIIIe siècle que se mettent en place explicitement les caractéristiques de l'ingénieur moderne. On exigera particulièrement de ses travaux la promptitude, la solidité, l'économie.*

¹⁴ QUINTANILLA (1988), pág. 20.

¹⁵ La primera edición parece ser de 1726; se ha consultado sin embargo la tercera edición: París, Chez Duchesne, 1755.

¹⁶ Otra obra suya es el *Traité de la construction des chemins*, París, Chez Laporte, 1778, uno de cuyos ejemplares se encuentra en la Biblioteca de la Capitanía General de Barcelona.

¹⁷ Según PÉREZ GÓMEZ (1980), De La Hire enseña la manera de determinar geoméricamente la carga que asume cada dovela de un arco cumpliendo con las condiciones de equilibrio, pero sin considerar la fricción entre las piezas. BENVENUTTO (1981), interpreta en la teoría de De La Hire una reducción del problema del arco al de una máquina simple: la cuña; una explicación más detallada puede encontrarse en este autor, páginas 326 y ss.

¹⁸ Para BENVENUTTO (1981), esta *sencilla regla* es considerada por Vittone en su tratado de 1760, como la única y más segura; Rondelet atribuye su paternidad al padre Derán, usada incluso por Blondel y Dechalles. Gautier también menciona a P. Deran y a M. Blondel como sus fuentes.

Acerca de lo mismo, en un texto posterior, *Tratado elemental de los cortes de Cantería o Arte de la Monteá*, escrito por Simonin y traducido al castellano en 1795, se aprecia una idéntica explicación, aclarando incluso que si el arco es ojival, la cuerda deberá cubrir no un tercio del arco sino dos tercios. Pero también explica otro método, sacado éste de las Memorias de la Academia de Ciencias de París, según el cual *los estribos deben tener de grueso a lo menos dos veces la altura de la clave. Pero esta y las contraclaves deben ser tanto más altas, o tener tanta más cola, cuanto más rebaxada sea la bóveda.* Página 61, lámina XLVI. Y lo que realmente sorprende, es la propuesta final: *Estas dos leyes se dirigen a un mismo fin, por lo que se puede escoger una ú otra, ó lo que es mejor, tomar un medio entre los dos resultados.* Página 61.

¹⁹ Sin título, en *Atti e rassegna tecnica società ingegneri e architetti in Torino - Nuova Serie*, A. 40, N. 3-4, marzo-abril de 1986, págs. 63-70.

²⁰ *Livre Sixième: Qui comprend la maniere de faire les Devis pour la construction des Fortifications et celles des Bâtimens Civils*. El término *Devis*, se podría traducir simplemente como “estimaciones”, o “presupuesto”, pero las explicaciones que hace el propio Belidor hacen que opte por seguir manejando el término en francés, dada su particularidad.

²¹ Una explicación más detallada se encuentra en BENVENUTO (1981), págs. 305-310.

²² Explicado con detalle también en BENVENUTO (1981), págs. 326-334.

²³ QUINTANILLA (1988)

²⁴ QUINTANILLA (1988)

²⁵ CAMACHO, Rosario: *El manuscrito sobre la gravitación de los arcos contra sus estribos, del arquitecto Antonio Ramos*; Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, Colegio Oficial de Arquitectos de Málaga, Málaga, 1992.

GUTIÉRREZ (1991), afirma que el ingeniero Juan Vergel, quien desarrolló tareas propias de su oficio en La Coruña hacia 1750, habría hecho una traducción completa del tratado de Belidor: *este manuscrito que pensaba imprimirse, pues hasta tenía grabados realizados en cobre, se extravió junto con otros papeles a la muerte del Ingeniero Marqués de Verboom, quien seguramente lo tenía en revisión*. Pág. 119.

²⁶ MONTANER (1990): ... *és l'obra del segle XVIII que explica més bé l'estat del bagatge de coneixements i les obres realitzades a Espanya pels enginyers militars a mitjan d'aquest segle*. Pág. 155.

²⁷ MONTANER (1990): ... *en conjunt, podia ésser de grant utilitat per a la instrucció dels enginyers joves*. Pág. 171.

²⁸ GONZÁLEZ TASCÓN (1992) dice: *Pero la peculiaridad más notable de las cales americanas fue que, con bastante frecuencia, no utilizaban como materia prima la piedra caliza, sino conchas y madréporas de origen marino ... En el Reino de Chile se recurrió con frecuencia a fabricar cal con conchas marinas, y así, por ejemplo, en Concepción se empleó durante todo el período virreinal cal de conchas, por la dificultad de encontrar calerías. Pero incluso, a veces se prefería utilizar esta materia prima aunque hubiese piedra caliza*. Págs. 44-45.

²⁹ Archivo General de Simancas, Guerra Moderna, 3030. Transcripción que se encuentra en JOAN RIERA, *Op. Cit*, nota 77 de la Unidad III.

³⁰ Apuntes sobre su vida en PICON (1988), págs. 307-308.

³¹ Es autor también de las siguientes obras a más de la que aquí se reseña: *Mécanique philosophique, ou Analyse raisonnée des diversses parties de la science de l'équilibre et du mouvement*, París, 1799; *Recherches sur la poussée des terres et sur la forme et les dimensions à donner aux murs de revêtement*, París, 1802; *Recherches physico-mathématiques sur la Théorie des eaux courantes*, París, 1804; *Leçons de mécanique analitique, données à l'École impériale polytechnique...*, París, 1810-1815; *Description hydrographique et historique des marais Pontins...*, París, 1822.

³² Por PICÓN (1988) sabemos que Prony define un programa de estudios para la *École Polytechnique* a partir de los contenidos del segundo volumen de su *Nouvelle architecture hydraulique ...*, dedicado por completo a las máquinas de vapor.

³³ BÍRAL Y MORACHIELLO (1985).

³⁴ BENVENUTO (1981), dice: *A dire il vero, il procedimento di Prony merita a mala pena il titolo di “grafico”, poiché è subordinato all'impiego della tavola 8.29* (que incluye). Págs. 318-319-320.

³⁵ QUINTANILLA (1988), pág. 40.

³⁶ QUINTANILLA (1988), pág. 83.

³⁷ Se consideró en su época tan importante este libro, que el rey de España patrocinó una traducción al castellano, publicada bajo la dirección de Miguel Gerónimo Suárez y Núñez: *Colección general de máquinas, escogidas entre las que hasta hoy se han publicado en Francia, Inglaterra, Italia, Suecia y otras partes ...* (Madrid, Imprenta de Pedro Marín, 1783). El ejemplar de la edición francesa se ha consultado en la Biblioteca del Museo Militar de Montjuic, y que perteneció a la Real Academia de Matemáticas de Barcelona; un ejemplar de la edición castellana se encuentra en la Biblioteca Universitaria de Barcelona, Sig. M-05005.

³⁸ Se ha consultado el ejemplar existente en la Biblioteca del Museo Militar de Montjuic.

³⁹ León Tello (1994) y Gutiérrez (1991).

⁴⁰ ALMIRANTE, en su *Bibliografía Militar de España* (1876), afirma que nació en Ferrara.

⁴¹ Durante su estancia en Santo Domingo, Prósperi escribiría un texto titulado “Proyectos a favor de la Real Hacienda”, que se conserva en el Archivo General de Indias (Sección V. Indiferente General. Legajo 1905). Sobre algunas concepciones más amplias de la ideología de Félix Prósperi, ver Ramón GUTIÉRREZ y Cristina ESTERAS (1991).

⁴² Además de solicitar reiteradamente su ascenso a Coronel y su regreso a España, se conocen los conflictos que sostuvo no sólo con su subordinado Luis Díez de Navarro sino con el propio Virrey Juan de Vizarrón. Para colmo de su amargura, nunca recibió la más mínima respuesta de la dedicatoria al Rey de su libro.

⁴³ Este sutil detalle, sobre el que Prósperi no hace mayor explicación, se sustentará en el tratado de Muller/Taramas (1769): ... *pero es necesario observar, que ordinariamente los Albañiles van elevando las hiladas de ladrillo àcia el paramento anterior, para formar el declivio de los Muros, y de esta mala práctica resultan las juntas tan gruesas, que con facilidad las descarna el temporal, y es preciso resanarlas cada dos ò tres años ... Fuera de esto, construyendo los Muros de esta manera, resultan sus hiladas con una inflexión, ò angulo àcia el Centro, y por consiguiente impedirá la buena union, y enlace de la Obras; en lugar, que si todas las hiladas se labrasen en un mismo Plano perpendicular al declivio, lograrían mejor union, harían mas solido el Muro, y el todo resistiría ventajosamente à la presion de las Tierras.* Pág. 285.

⁴⁴ MAIGRET (1725), capítulo VIII, ejemplar que se encuentra en la Biblioteca Universitaria de Barcelona.

⁴⁵ Se ha consultado el ejemplar existente en la Biblioteca del Museo Militar de Montjuic.

⁴⁶ CORMONTAIGNE: *Architecture militaire*, La Haya, 1741; y *Mémoire sur le nouveau système et projet de fortification* ... París, 1741. Títulos no consultados.

⁴⁷ DUFFY (1985): *The Marshal de Saxe, the conqueror of the Netherlands in the 1740s, felt entitled to say 'I am not much of a student, but I have never been overawed by the reputation of Vauban and Coehoorn. They fortified towns at immense expense without making them any stronger'* (Saxe, 1756, 141), pág. 154.

⁴⁸ Acerca de los hechos que motivaron a la construcción primero y a la posterior demolición del recinto de esta importante obra, se puede consultar la tesis doctoral de Juan Miguel MUÑOZ CORBALÁN: *La labor profesional de los ingenieros militares "borbónicos" de Flandes a España (1691-1718). Formación y desarrollo de una nueva arquitectura moderna en Cataluña*, dirigida por Horacio Capel, Universidad de Barcelona, 1991. Recientemente publicada por la Secretaría General Técnica del Ministerio de Defensa, Madrid, 1993.

⁴⁹ VALLEJO, José Mariano: *Tratado completo del Arte Militar*, Mallorca, Imprenta de Melchor Guasp, 1812.

⁵⁰ LÓPEZ MUIÑOS (1990).

⁵¹ SCHEIDNAGER, Leopoldo: Noticias sobre diferentes proyectos de cocinas económicas y uno de escusados, en su aplicación a los edificios militares (1858), Consideraciones sobre la construcción de hospitales militares (1859), Apuntes acerca del servicio sanitario en campaña, en relación con el servicio de Ingenieros (1875), La electricidad aplicada a los usos militares (1875), y Ventilación y calefacción de edificios aplicados principalmente a construcciones militares (1877).

CAPÍTULO III

LOS TRATADOS DE FORTIFICACIÓN A TRAVÉS DE LAS ACADEMIAS DE INGENIEROS

1. El conocimiento constructivo transmitido

Una de las características más representativas de cualquier forma de conocimiento es su carácter de objeto transmisible, de tal forma que hoy en día el desarrollo tecnológico incide más que nunca y de manera notable sobre sus propias formas de transmisión y difusión. Un reconocimiento de los interrogantes planteados por LYOTRAD (1994) acerca de la enseñanza de las ciencias en la sociedad contemporánea, nos ha hecho pensar que ellos son igualmente válidos de plantearse para cualquier época que considere este asunto y que los podemos extender al campo de la técnica:

*... ¿quién transmite? ¿qué? ¿a quién? ¿con qué apoyo? ¿de qué forma?
¿con qué efecto?¹.*

El cometido de las páginas venideras no es otro que un intento por tener al menos una aproximación a las respuestas de tales preguntas.

¿Quién transmite? Hasta hace pocos años, muchos estudios sobre la formación académica de arquitectos e ingenieros del siglo XVIII se centraban en las academias francesas², debido principalmente al importante papel desempeñado tanto por la *École des Ponts et Chaussées*, creada en 1747, como por la *École des Ingénieurs de Méziers*, de 1748; sin embargo, poco a poco ha venido siendo revalorizado el papel desempeñado por la *Real Academia de Matemáticas de Barcelona*³.

¿A quién? Por este centro académico pasaron un buen número, si no la mayoría, de los ingenieros militares que habrían de actuar tanto en la península como en sus colonias de América y Filipinas, extendiendo la teoría y la práctica de su oficio hasta los más lejanos rincones de sus complejas geografías.

¿Con qué apoyo? La Academia de Barcelona fue promovida y estuvo permanentemente apoyada por el estado borbónico implantado en España con el comienzo mismo del siglo XVIII; sus tareas docentes se prolongarán hasta el año de 1801.

En cuanto a *¿qué? ¿de qué forma? y ¿con qué efectos?*, ellas demandan una exposición un tanto más reposada y apoyada en datos más precisos, de lo cual tratan las páginas siguientes.

1.1. La Real Academia de Matemáticas de Barcelona

Nuestra hipótesis al iniciar este apartado considera que lo que se transmite a partir del siglo XVIII en la Academia de Barcelona, no es otra cosa que las categorías formales del conocimiento técnico tal como se expresaba en los tratados de fortificación de este siglo, que retoma uno de sus directores más influyentes, Pedro de Lucuze, compendiándolos en un texto manuscrito que fue ampliamente difundido, y cuyos efectos más patentes son las propias obras de fortificación construidas por sus discípulos en España y América.

1.1.1. Antecedentes

La referencia más lejana de lo que sería en el siglo XVIII la Real Academia de Matemáticas de Barcelona parece ser la que funcionó intermitentemente en Madrid entre 1583 y 1697.

Fundada por Felipe II, estuvo promovida por Juan de Herrera y el italiano Tiburcio Spanochi. En su primera etapa, los estudios estaban estructurados en dos grandes grupos: *conocimientos generales* (matemáticas y física) y *conocimientos aplicados* (de índole militar). Profesores en los primeros fueron Julián Firrufino, que impartía la *Geometría de Euclides* y el *Tratado de la esfera*; Juan Cedillo Díaz, Cosmógrafo Mayor de las Indias; y Juan Angel, encargado de explicar los tratados de Arquímedes; entre otros. De los temas prácticos se encargaban el ya conocido **Cristóbal de Rojas** (1598) y Pedro Rodríguez, quien trataba la materia de los escuadrones y los principios de aritmética.

Un autor reciente, LÓPEZ MUIÑOS (1990), señala también como profesores a Ginés de Roca y Torras, Bautista Labaña, Ginés de Rocamora, el también tratadista **Bernardino de Mendoza** (1577) y Pedro Ambrosio de Onderiz, este último traductor al castellano de *La perspectiva especularia de Euclides*. También Jerónimo María Aflitto, conocido a través del tratado de **Baltasar Siscara** (1675), y **Julio César Firrufino** (1626 y 1648) serían profesores en un período posterior.

También existió una Academia Militar en Bruselas, dirigida por el conocido **Sebastián Fernández de Medrano**; su funcionamiento estuvo comprendido entre 1675 y 1706, cuando la ciudad cayó en poder de los ejércitos de la Gran Alianza. Los estudios en este centro se impartían en un curso general de un año de duración para los Oficiales y Cadetes, y durante algunos años se incluyó un segundo curso complementario. Para el primero las materias de estudio eran: geometría, fortificación y artillería, geografía y arte de escuadrar; en el segundo curso o “de perfeccionamiento” se enseñaba la fortificación y el dibujo, la geometría especulativa y el tratado de la esfera y navegación. Con seguridad que los textos escritos e impresos por Fernández de Medrano eran fuente de primera mano, por lo que es posible creer que sus contenidos expresan el gran cuerpo teórico que se impartió en este centro durante sus escasos años de funcionamiento. Entre sus discípulos más destacados, está la figura de Jorge Próspero de Verboom, quien será uno de los promotores de la Academia de Barcelona, junto con el ingeniero belga Alejandro de Retz y los hermanos Antonio y Francisco Montaignu.

Aparte de los antecedentes puramente relacionados con la existencia previa de otras academias o centros de enseñanza, hay que apuntar que para el siglo XVIII la corona española se ve en la necesidad de contar con un cuerpo de ingenieros: con la llegada de la casa de Borbón al poder en la persona de Felipe V, se hizo evidente la escasez de estos profesionales, por lo que el rey francés Luis XIV debió ceder en préstamo a algunos de los que estaban bajo su mando para atender los requerimientos de su nieto monarca. Sólo en 1709 es llamado desde Flandes el ya citado Marqués Jorge Próspero de Verboom, a quien se designa *Ingeniero General de los Ejércitos, Plazas y Fortificaciones*, con el fin de estructurar un cuerpo nacional de ingenieros militares, aprobándose éste en 1711.

Entre las tareas de Verboom estaba también la de redactar un proyecto de academia para su formación, desligando sus funciones de las de los artilleros, a más de la que fue sin duda una de sus misiones más importantes: la de dirigir los trabajos de construcción de la Ciudadela de Barcelona, lugar donde va a morir ocupando el más alto cargo de su jerarquía. Verboom proponía un curso que se dictaba a lo largo de tres años, dividiendo cada uno en dos clases que comprendían los siguientes temas: aritmética, geometría, mecánica y maquinaria, fortificación, construcciones civiles y militares y filosofía natural, entre otras cosas⁴.

La génesis y en general todo el proceso histórico de la Real Academia de Matemáticas de Barcelona ha sido ya estudiado y analizado detalladamente por MONTANER (1983) y CAPEL (1988) por lo que no vamos a detenernos aquí en las particularidades de sus acontecimientos, sin embargo creemos necesario hacer un rápido repaso por los períodos que atraviesa con el fin de situar la figura de uno de sus directores más representativos: **Pedro de Lucuze**, contemporáneo de los también tratadistas **Miguel Sánchez Taramas** y **Vicente Ferraz**.

Si además tratamos de comprender el contexto cultural propio de la ciudad por aquellos años, es necesario acudir al trabajo de MONTANER (1983), menos historiográfico que el de CAPEL (1988), y cuya intención es la de *reconstruir* el cuerpo de conocimientos transmitidos por la Real Academia de Matemáticas de Barcelona a partir del reconocimiento del profesorado y los conceptos básicos por ellos impartidos⁵. Sus apreciaciones parten de considerar a religiosos jesuitas e ingenieros militares como los focos culturales y científicos más fuertes durante el siglo XVIII pues ambos disponían de un conjunto de conocimientos codificados, transmisibles y apoyados en una amplia base bibliográfica. Y aunque MONTANER relaciona a los jesuitas con las ideas del barroco y a los ingenieros con las del clasicismo francés, hemos visto como unos y otros tenían tras de sí una tradición propia en el terreno de los tratados de fortificación.

Sin embargo, la expulsión de los jesuitas por parte de Carlos III en 1767 va a dejar en manos seculares a los centros de enseñanza, favoreciendo la difusión de los más completos tratados técnicos de la época: los tratados de fortificación. Si sumamos a esto la militarización de Cataluña promovida por los efectos de la Guerra de Sucesión, y la política de los reyes españoles por impulsar la construcción de obras públicas, tenemos en el principado un excelente caldo de cultivo para la formación y desarrollo de un centro de enseñanza como la Real Academia de Matemáticas de Barcelona y de un extenso espacio para la práctica.

De acuerdo con MONTANER (1983), la labor de los ingenieros militares en Cataluña se orientó por cinco tipos de obras: las de carácter militar, las obras públicas civiles, levantamientos y reconocimientos topográficos, dictámenes y valoraciones y obras menores de reparación y limpieza⁶. En la *Lámina LXIX*, que reproduce el cuadro realizado por JOSEP MORA (1990)⁷, es posible visualizar el volumen de obras dentro de cada uno de estos tipos y las décadas del siglo XVIII en las que se producen incrementos o descensos de la actividad constructora de los ingenieros militares destinados en el principado.

Para nuestro trabajo son más significativos las del primer conjunto, las obras de carácter militar, aunque no es difícil reconocer que todos ellos se rigen por unos principios más o menos homogéneos y codificados a través de los tratados que hemos estudiado. Entre las obras militares, MONTANER cita a *las ciudadelas* (la Ciudadela de Barcelona, el Castillo de

San Fernando de Figueras y la de Palamós), *los castillos* (como el de Montjüic y Hostalrich), *las fortalezas* (como las de Tarragona o Rosas), *las casernas* (como en la Barceloneta y en Reus) y el *hospital militar de Vic*, que representa un caso único. Y entre las obras públicas civiles se destaca el edificio de la Universidad de Cervera⁸ o la carretera de Barcelona a Lérida.

Las características más sobresalientes de todas sus obras se apoyan en una arquitectura bastante sencilla y tipológicamente muy bien definida, proyectada y construida bajo las premisas de economía y rapidez a las que hemos aludido antes, y que se expresaban en una lógica constructiva y estructural de sus edificios. Estos mismos principios, que encontramos en la teoría general de la llamada fortificación moderna abaluartada, van a ser empleados en la concepción de la estructura docente impartida desde la Real Academia de Matemáticas de Barcelona.

1.1.2. Sinopsis histórica

La Real Academia de Matemáticas de Barcelona fue fundada en virtud de un *Real Despacho* del rey Felipe V, el 22 de enero de 1700; desde esta fecha y hasta octubre de 1705, cuando tuvo que ser cerrada a raíz de la caída de Barcelona en poder de las tropas aliadas que apoyaban al archiduque Carlos, sus directores fueron **Francisco Larrando de Mauleón** y José Mendoza y Sandoval, el primero de los cuales es también conocido por ser autor del tratado *Estoque de la Guerra y Arte Militar* (Barcelona, 1699). Es reabierta en 1720 bajo la dirección del ingeniero militar de origen italiano Mateo Calabro (1720-1738), quien será reemplazado primero por el aragonés Pedro de Lucuze (1738-1779), y luego por Miguel Sánchez Taramas (1779-1789) y Félix de Arriete (1789-1793). El ocaso de este centro empieza a hacerse evidente en los últimos años del siglo XVIII, y entra en una crisis que la llevará a su cierre definitivo en 1803.

Será a lo largo del segundo de sus períodos cuando la academia consolida su papel único centro de enseñanza de ingenieros militares en toda España, coincidiendo con una intensa actividad en el terreno de la construcción de fortificaciones y de la producción teórica de sus profesores.

De la dirección de **Mateo Calabro**, iniciada en 1720, poco se conoce que sea relevante, a no ser su propio *Tratado de Fortificación*, manuscrito recuperado recientemente por el profesor de la Universidad de Salamanca FERNANDO DE LA FLOR (1991), y publicado en edición facsímil. Dividido en tres partes, la primera trata *De la fortificación o arquitectura*; se subdivide en siete capítulos en donde expone las principales reglas para el trazado geométrico de una obra de fortificación *siguiendo el método del Mariscal de Vauban*, con una relación de las obras accesorias y accidentales, además del nombre de las principales líneas y ángulos de las plantas (*Lámina LXX*). La segunda parte se refiere a las ciudadelas y en la tercera trata de la fortificación de campaña y los reductos; se trata pues de un curso manuscrito centrado fundamentalmente en el problema del trazado de las obras de fortificación moderna de la escuela francesa de la segunda mitad del siglo XVII⁹.

A Calabro también se le ha atribuido un texto titulado *Proyecto para el establecimiento de la Academia Militar de Barcelona*, aparecido en 1729, y que sería un desarrollo de la propuesta

de Verboom, en donde se recogen además experiencias de las academias de Madrid y Bruselas¹⁰.

El primer reglamento propiamente dicho de la Real Academia de Matemáticas de Barcelona data del año 1739 (22 de julio), con la aparición de la *Ordenanza e instrucción para la enseñanza de las Mathematicas en la Real, y Militar Academia que se ha establecido en Barcelona ...*¹¹; ésta, según GUTIÉRREZ (1993), se habría sancionado a partir de un proyecto presentado por Pedro de Lucuze en 1737, quien buscaba suplantar la figura de Calabro (cosa que logrará a partir de 1738). En esta ordenanza no sólo se designaba la presencia de un Director General, dos Ayudantes y otro Director de Dibujo, *todos ellos ingenieros*, sino que incluso la dotaba de un conjunto importante de instrumentos didácticos y científicos: *dos globos, una esfera, un semicírculo, un cuadrante, dos brújulas, un quadro geométrico, un nivel, ... etc.*; pero lo más significativo era que responsabilizaba al Director del contenido de los cursos a impartir, y reglaba su duración y contenido:

El Curso de las mathematicas durará tres años, tiempo suficiente para enseñar en la Academia con bastante estension la theorica, y alguna practica de todo lo que necesita saberse para las operaciones de la Guerra y construcción de Plazas ...

Pág. 13.

En la *Ordenanza* se divide el curso en cuatro partes de nueve meses cada una:

... en la primera, y segunda se explicarán las partes de que debe hallarse instruido qualesquier Oficial del Exercito, para executar con acierto los encargos que se le confiaren; y en la tercera, y quarta lo demás que ha de saber un Ingeniero, y Oficial de Artillería, para el desempeño de sus empleos

...

Págs. 13-14.

Fija en cuarenta el número máximo de alumnos, no mayores de 30 años, ni menores de 15; establece los requisitos de buena conducta y nobleza para su admisión y facilita el traslado a Barcelona de los escogidos, siendo especialmente importante el *Artículo X* para sustentar parte de nuestra tesis inicial; él dice:

Para conseguir la enseñanza segun esta idea, deberá el Director General elegir los Tratados mas utiles de las Mathematicas, ordenandolos con succesivo método, para el prompto aprovechamiento de los Academicos, escribiendo las materias que se han de dictar, como doctrina suya, que ha de ser quando en la academia se explicare ...

Págs. 24-25.

Lo que evidencia claramente que lo que se transmite en la Real Academia de Matemáticas de Barcelona es el cuerpo de conocimientos contenido en los tratados de fortificación, con un sentido más que deliberado, impuesto por la mismísima autoridad real. Es más, aclara la necesidad de disponer *ordenadamente* de sus contenidos, e impone como norma la transcripción de las clases en notas manuscritas. La *Ordenanza* también precisaba sobre el contenido de los cursos, que si bien no es propiamente el que impartirá Lucuze en la Academia durante los años de su dirección, constituye la norma que lo ampara y que

seguramente fue redactada por él mismo, quien ya tenía una idea de lo que pensaba enseñar en 1737.

En el primer curso:

... se repasará la Arithmetica y explicará la extracción de raíces, los seis primeros Libros, once, y doce de los Elementos de Euclides; la Geometría Practica, inclusa una breve noticia de las Secciones Cónicas; el fundamento y el uso del Canon Trigonometrico, y Logarithmico ... y demás Instrumentos mas comunes aplicados à la Longimetria, y Sólidos ...

Págs. 28-29.

Como complemento se impartían clases relativas son la descripción del mundo y principios de mecánica celeste. Terminada esta parte, se hacía un examen que evaluaba el aprovechamiento de los alumnos, dictaminándose los que podían pasar al segundo curso; en éste:

... se explicará la Fortificación moderna, defensiva, y ofensiva; regular, è irregular; Real, y de Campaña, con el ataque, y defensa de las Plazas: el modo de acamparse, y atrincherarse: las ventajas, y defectos de los terrenos, como tambien de las lineas, y angulos de la Fortificación: su resolucion trigonometrica, y el calculo de sus solidos ...

Pág. 31.

En el tercer curso:

... se dictará la fuerza que se adquiere por medio de las Máquinas, la gravedad, movimiento, celeridad, y equilibrio de los cuerpos: el arte de mover, levantar, conducir, repartir el agua ... la proporción, y simetría de las cinco ordenes de Arquitectura: la de las varias partes de un Edificio: la descripción de plantas, y perfiles de ellos, asi rectos, como obliquos: la formacion de las bobedas, y arcos mas comunes: el empujo de ellos contra los pies derechos, ò muros, que los sostienen; y la robustez que estos han de tener para resistirle: la calidad de los materiales, y el modo de emplearlos en las construcciones de las obras: la forma de hacer seguros los cimientos sobre distintos terrenos ...

Págs. 36-37.

El dibujo sería enseñado en el cuarto curso, tratando de los principios del trazado, manejo de colores y signos convencionales y aplicación de elementos decorativos; además:

... se les habilitará en el método que regularmente se sigue en las Obras Reales, asi las que se dan por asiento, y se costéan por arbitrios particulares, à cuyo fin se les enseñará la forma de hacer las relaciones de gastos, certificaciones de medidas, y condiciones con que se deben celebrar los asientos; los tiempos más a proposito para las obras, y las precauciones que se toman para su adelantamiento, y firmeza.

Pág. 43.

Es decir, que la *Ordenanza* establece como objetivos claros la transmisión de todas aquellas expresiones propias del conocimiento técnico, a excepción de la formación de habilidades artesanales.

Como se ha apuntado, la *Ordenanza* establecía en cuatro el número de profesores: el director general, el de dibujo y dos ayudantes, que se repartían de acuerdo a los escalafones de la época; sin embargo, las tareas del director eran suficientes con las exigidas por su carácter burocrático, legando la enseñanza directa sobre los otros tres personajes. La labor de Pedro de Lucuze fue duradera: entre 1738 y 1779, sólo abandonó el cargo temporalmente para dirigir en Madrid una *Sociedad de Matemáticas* que no tuvo los frutos esperados dejando por entonces de interino al ingeniero Claudio Martel; otros profesores del período de la dirección de Lucuze serían Carlos Saliquet, Manuel Santisteban, Joan Bautista Escofet, Carlos Cabrer y Suñer (quien posteriormente tendría una destacada actuación en el trazado y dirección de obras en Buenos Aires y Montevideo), Manuel Caballero y el ya conocido Miguel Sánchez Taramas, autor de la traducción de John Müller al castellano (1769), sobre la que ya hemos hecho amplios comentarios en páginas anteriores¹².

En diciembre de 1751 apareció una nueva *Ordenanza e Instrucción de su Magestad para la subsistencia, regimen y enseñanza de la Real Escuela, o Academia Militar de Mathematicas establecida en Barcelona*¹³; en ella desaparece el cargo de Director de Dibujo, a cambio de cinco ayudantes, destinados todos a la enseñanza de los cuatro cursos establecidos. También se ratifican los premios para los alumnos, se destinan los fondos necesarios para el funcionamiento de la Academia, se regula la asistencia y los exámenes y finalmente se instauran las academias de Orán y Ceuta.

En esta nueva *Ordenanza* se reafirma el contenido de los cursos, acomodándose ya de manera precisa a los contenidos impartidos efectivamente por Lucuze y que hoy en día conocemos a través de los apuntes de clase manuscritos conservados en bibliotecas españolas y americanas. Igualmente se renuevan los instrumentos de que se había dotado al centro y se insiste en la importancia de los tratados de fortificación.

Sobre estos últimos, conocemos un listado de los libros que se consideraban necesarios en la Real Academia de Matemáticas de Barcelona en 1751, gracias a la transcripción que hace RIERA (1975) del legajo 570 (G.M.) del Archivo General de Simancas; en dicha lista encontramos, entre otros, a los siguientes autores: BELIDOR, DEIDIER, PUYSEGUR, VAUBAN, BULLET, NAVIA OSORIO, BION, GALLON, GAUTIER, y LE BLOND, muchos de los cuales son con seguridad los mismos que hemos podido consultar en la Biblioteca Militar del Museo de Montjuic en Barcelona. Y de acuerdo con la misma fuente, pero a partir del legajo 3030, se tienen en 1790, dentro de los fondos de la Academia, obras de los siguientes autores: PALLADIO, GARCÍA DE CÉSPEDES, EULER, ZARAGOZA, NEWTON, GRACIÁN, GONZÁLEZ DE MEDINA BARBA, ENRÍQUEZ DE VILLEGAS, COEHORN, PERRAULT, OZANAM, VIGNOLA, DE LA HIRE, TOSCA, DECHALES, P. CATANEO, MANESSON MALLETT, ESCALANTE, TRINCANO, FERNÁNDEZ DE MEDRANO, BERNARDINO DE MENDOZA, FIRRUFINO, PUGA Y ROJAS, DE VILLE, THETI, FOLCH, LECHUGA, SALA, RAMELLI, CARAMUEL, ALABA, ERRARD, LARRANDO DE MAULEON, BAILS, SANZ, BUSCA, LANTERI, MARCHI, LORINI, SARDI, MUT Y VEGECIO.

A la muerte de Lucuze en 1779, este es reemplazado precisamente por Sánchez Taramas en el cargo de Director General, quien se rodea de los profesores Félix Ariete, Sebastián Sánchez Taramas, Miguel Taramas, Antoni Saliquet y Carlos Cabrer Rodríguez. En 1790 asume la dirección Manuel Caballero, pero la academia será cerrada en 1794 a raíz de la

guerra con Francia; en 1796 se reabre bajo la dirección de Mariano Fernández Folgueras para clausurarse definitivamente en 1801.

1.1.3. Los contenidos del “Curso matemático” de Lucuze

El *Curso Matemático* de Lucuze, impartido probablemente a partir de 1739, comprendía entonces ocho tratados, dando cumplimiento a la *Ordenanza* de ese año: I. Aritmética, II. Geometría elemental, III. Geometría práctica, IV. Fortificación, V. Artillería, VI. Cosmografía, VII. Estática, con un apéndice dedicado a la Óptica, y VIII. Arquitectura civil. El orden de estos tratados y sus contenidos es siempre la misma, tal como lo han comprobado MONTANER (1983), CAPEL (1988) y este mismo autor, a través de la consulta de algunos de sus ejemplares en bibliotecas de Madrid y Barcelona. Pero a más de la simple relación de sus contenidos, en algunos de los tratados no es posible descubrir la fuente directa a partir de la cual se Lucuze los escribe para que así sean dictados por los profesores y manuscritos en apuntes de clase por sus alumnos.

Tratado I: De la aritmética ...

Corresponde al ejemplar que se encuentra en la Biblioteca Pública Arús de Barcelona¹⁴: *Curso Matemático para la instrucción de los militares, escrito en la Real i Militar Academia de la ciudad de Barcelona por D. Joseph de Valcarzel i Mendoza ... se comenzó el día 1º de marzo del año 1757 ...* Está dividido en seis libros, precedidos de una introducción que defiende la importancia de las matemáticas:

En todos tiempos ha sido la Mathematica digna i provechosa aplicación a los maiores ingenios, i en todos los tiempos se han conseguido por ella infinitas utilidades para la vida humana, siendo sobre todo tan preciso su conocimiento al Militar, que sin él apenas pueda dar paso con acierto en su profesión ...

El libro I trata de los números (enteros y fraccionarios); el libro II de las operaciones fundamentales (adición, substracción, multiplicación y partición); el libro III de las razones y proporciones; el libro IV de las reglas de proporción; el libro V de las potencias y raíces y el libro VI de las progresiones. A este primer tratado corresponde también el Manuscrito 3463 de la Biblioteca de Cataluña. Su extensión equivale al 10% del total de los ocho tratados.

Tratado II: de la geometría especulativa ...

Corresponde al ejemplar que se encuentra en la Biblioteca Universitaria de Barcelona¹⁵: *Tratado segundo de la geometría especulativa, escrito por Francisco Sanponts Márquez y Aguilar ...* (sin fecha). Dividido en seis capítulos y un apéndice, precedidos de un conjunto de definiciones básicas y una introducción.

- Libro I: trata de las líneas rectas y las clases de ángulos.
- Libro II: de las propiedades de los triángulos y paralelogramos.
- Libro III: de las propiedades de las líneas rectas en relación con el círculo.
- Libro IV: de las razones y proporciones entre las figuras planas.
- Libro V: de los sólidos.
- Libro VI: de la pirámide, el cilindro y la esfera.
- El apéndice está dedicado a las secciones cónicas: la parábola, la elipse y la hipérbola.

La extensión de este tratado equivale al 12,8% del total.

A partir de este segundo tratado se hace evidente la relación que existe entre el Curso de Lucuze y el de Belidor: *Nouveau Cours de Mathématique ...* (1725), cuya primera parte trata también de la geometría, se divide en ocho libros e incluye también un tratado anexo dedicado a las secciones cónicas. Miremos la distribución de los temas en la obra del francés:

- Libro I: introducción a la geometría.
- Libro II: de las proporciones, los números enteros y los quebrados.
- Libro III: de las líneas rectas.
- Libro IV: de las propiedades de los triángulos y paralelogramos.
- Libro V: de las propiedades de los círculos.
- Libro VI: de los polígonos regulares, inscritos y circunscritos.
- Libro VII: de la proporcionalidad de las figuras planas.
- Libro VIII: de los sólidos.
- El tratado anexo explica la parábola, la elipse y la hipérbola.

Tratado 3: de la trigonometría y la geometría práctica ...

Corresponde al ejemplar que se encuentra en la Biblioteca del Museo Militar de Montjuic, bajo el título de *Academia Militar*. Está dividido en ocho libros. En el libro I se explicará la fábrica y uso del canon trigonométrico y logaritmos con la resolución de triángulos rectángulos; el libro II trata de la construcción de figuras planas; el libro III de la inscripción y circunscrición de las figuras rectilíneas al círculo; el libro IV de su proporción, aumento, disminución y transformación; el libro V explica el uso de los instrumentos más comunes a la longimetería y la altimetría; el libro VI trata de la dimensión de superficies; el VII del cálculo de volúmenes y el VIII de la nivelación (*Lámina LXXI*, *Lámina LXXII* y *Lámina LXXIII*).

Cada uno de estos libros se divide a su vez en varios capítulos, ocupando una extensión que corresponde al 18,5% del total.

El *Nouveau Cours* de Belidor contiene:

- Parte II: de la trigonometría rectilínea ...
- Parte III: donde se da la teoría y la práctica de la nivelación ...
- Parte V: del cálculo de superficies y sólidos ...

Compárense la *Lámina LXXIV* del libro de Belidor, con la *Lámina LXXI* del *Curso de Lucuze*, con lo que se hace de nuevo evidente la relación entre sus contenidos y sus formas de expresión. Por su parte, la *Lámina LXXII* y *Lámina LXXIII*, evidencian que la influencia no es exclusiva de Belidor: en la primera se transcriben ilustraciones que aparecen en el tratado de **Fernández de Medrano** de 1708, y en la segunda se explica el uso del compás de proporciones, tal como lo hace **M. Ozanam** en su libro de 1700.

Tratado IV: de la fortificación ...

Corresponde al ejemplar que se encuentra en la Biblioteca de Cataluña¹⁶: *Tratado cuarto o de la fortificación ...* Se divide en cuatro libros, precedidos de un conjunto de definiciones, tal como lo hacían los tratados de fortificación.

El libro I trata de la fortificación regular; y en el inicio del primer capítulo, dice:

Imitando, pues, el arte a la Naturaleza, lebanta montes, funda pantanos, dispone ríos, tanto más vistosos quanto mas artificiales; en vez de montes eleva murallas; por ríos fosos; y por pantanos los contrafosos que se ponen después de las obras exteriores ...

El libro II trata de la fortificación irregular a través de 16 capítulos donde describe los elementos de la fortificación; el libro III explica la fortificación efectiva sobre el terreno, es decir, la que es irregular, y el libro IV contiene los principios de la fortificación ofensiva y de campaña. Su extensión corresponde al 12,2% del total, y contiene algunas ilustraciones de planta y sección.

El *Nouveau Cours* de Belidor no trata en ninguno de sus libros del tema de la fortificación de manera autónoma, lo que al parecer obliga a Lucuze a hacer uso de otro autor: **Vicente Tosca** (1712).

Vicente Tosca (1712): *Tratado XVI, de la arquitectura militar y fortificación:*

Libro I: de los principios o máximas de la fortificación

...

Libro II: de la fortificación regular ...

Libro III: de la fortificación irregular ...

Libro IV: de la fortificación efectiva sobre el terreno

Libro V: del sitio y combate de una plaza ...

Libro VI: de la defensa de una plaza ...

Tratado IV: de la fortificación, del *Curso Matemático* de Lucuze:

Libro I: de la fortificación regular, donde incluye los principios, máximas y definiciones ...

Libro II: de la fortificación irregular ...

Libro III: de la fortificación efectiva sobre el terreno

Libro IV: de la fortificación ofensiva y de campaña

Recordemos a su vez que hemos comprobado que los contenidos de este tratado de Tosca retoman los que trata el también sacerdote Milliet Dechales, tal como los expone en su obra de 1677. ¿No es esto una muestra más de la vitalidad de los tratados a lo largo de los años?

Tratado V: De la artillería, y Tratado VI: De la cosmografía ...

Tratados no vistos. De acuerdo con los datos que introduce CAPEL (1988), sus contenidos son:

- *De la artillería*: libro I, de la pólvora; libro II, de la artillería antigua; libro III, de las baterías de los cañones; libro IV, de las minas y contraminas; libro V, de los fuegos artificiales.
- *De la cosmografía*: libro I, de la esfera celeste; libro II, de la geografía; libro III, de la hidrografía; libro IV, de algunas cosas pertenecientes al tiempo.

La extensión equivalente sería del 15% para cada uno de los tratados.

Tratado VII: de la estática ...

Corresponde al ejemplar de la Biblioteca del Museo Militar de Montjuic, que se acompaña del tratado III y bajo el título conjunto de *Academia Militar*¹⁷. Consta de una introducción y tres libros. En la introducción se advierte:

La estática es una ciencia Phisico-Mathematica, que trata de la proporción del movimiento y peso de los cuerpos graves; de suerte que considera a la cantidad en quanto es grave y movable, y por esto es parte Phisica, en quanto se considera la gravedad y el movimiento y es parte Mathematica porque trata de las proporciones destes pesos y movimientos, y es importantísima en el conocimiento humano, pues todas las cosas están dispuestas en número, medida y peso, y sobre todo es necesaria en la profesión militar para averiguar las fuerzas de los cuerpos mobiles y proporcionar contra ellos los cuerpos que deben resistirles ...

El contenido de cada uno de los libros es el siguiente:

- Libro I: del movimiento de los cuerpos graves, duros y consistentes ...
- Libro II: de las máquinas o artificios por cuyo medio se pueden levantar fácilmente los cuerpos muy pesados ...
- Libro III: movimiento de los cuerpos líquidos y las máquinas para hacerlas subir y el modo de distribuirlas y conducir las ...

Incluye además un anexo dedicado a la óptica y a la perspectiva (*Lámina LXXV*). Su extensión corresponde al 11,6% del total. Los temas, en sus contenidos, estructura y método demostrativo, guardan de nuevo una gran fidelidad al *Nouveau Cours* de Belidor:

- Parte VIII: del movimiento y el choque de los cuerpos ...
- Parte IX: de la mecánica ...
- Parte X: del equilibrio y movimiento de los líquidos ...

Miremos en una escala más detallada: el tema de las máquinas simples, por ejemplo, nos muestra los mismos tipos, en el mismo orden y usando los mismos recursos expositivos:

Del *Nouveau Cours* de Belidor (1725):

Parte IX: de la mecánica
 Cap. 1: introducción ...
 Cap. 3: el plano inclinado ...
 Cap. 4: la palanca ...
 Cap. 5: la rueda sin fin ...
 Cap. 6: la polea ...
 Cap. 7: la cuña ...
 Cap. 8: el tornillo ...
 Cap. 9: máquinas compuestas ...

Tratado VII, de la estática, del *Curso Matemático* de
 Lucuze:

Libro II. de las maquinarias o mecánica
 Cap. 1: la palanca ...
 Cap. 2: de la rueda ...
 Cap. 3: de la polea o garrucha ...
 Cap. 4: el plano inclinado ...
 Cap. 5: la cuña ...
 Cap. 6: el tornillo ...
 Cap. 7: máquinas compuestas ...

Y cuando por ejemplo hablan de la cuña:

Belidor hace:
 - Definición
 - Proposición - teorema
 - Corolario
 - Escolios
 - Gráfico que acompaña el texto

Lucuze hace:
 - Definición
 - Proposición - teorema
 - Corolario
 - Gráfico que acompaña el texto

Y si comparamos las ilustraciones, de nuevo ellas guardan una evidente semejanza. Ver [Láminas LXXXVI](#) y [Lámina LXXVII](#) y compararlas con [Lámina LXXXVIII](#) y [Lámina LXXXIX](#).

Tratado VIII: de la arquitectura civil ...

Curiosamente este tratado es precisamente el más difícil de localizar, al menos en bibliotecas de Barcelona. Se conoce a través de dos versiones: *Volumen 8º del Curso de Matemáticas*, y *Tratado de arquitectura civil*, los que se conservan en el Colegio de Arquitectos de Madrid, fechados en 1754 y 1778, respectivamente, y cuyos contenidos son también iguales entre sí. En el primero no aparece dato alguno de su autor; el segundo se le atribuye a Juan de Boulligny, quien lo toma como apuntes del curso dictado por Claudio Martel, quien dice:

Se finalizó este curso de Matemática en la Real Academia de Barcelona el día 18 de febrero de 1778, Aviendo sido dictado por el coronel de ynfantería e yngeniería en gefe Don Claudio Martel, y escrito por el cadete del reglamento de Infantería de Aragón Don Juan Boulligni ...

El ejemplar consta de 143 páginas que incluye nueve láminas. Aunque afirma estar repartido tres libros, sólo contiene los dos primeros: el libro I trata *de la decoración y ornato de los edificios*, que corresponde a la teoría de los órdenes; el libro II versa *de la firmeza y seguridad de los edificios*.

En las primeras páginas se define el concepto de arquitectura:

Arquitectura en general es el arte de construir los edificios; divídase en civil y militar. La militar tiene por objeto la delineación y construcción de los edificios militares, o de las obras de fortificación; la civil se exercita en la delineación y construcción de los edificios civiles como son los templos o palacios ...

Y líneas más adelante menciona la tríada vitruviana a partir de la cual se entiende la separación que establece entre ornato, construcción y distribución a partir de los que divide los contenidos del tratado:

Con la buena arquitectura se atiende a tres fines principales que son: la decoración, la comodidad y la robustez o firmeza. De suerte que cualquier edificio debe ser agradable a la vista por su decoración o hermosura, debe también resistir a las injurias de los tiempos por su firmeza y seguridad, y finalmente debe tener el edificio todas las conveniencias o comodidades según el fin para el que se hace, o las personas que le hagan de habitantes; de forma que este tratado en tres libros o partes. Con el primero se hablará de la decoración y hermosura, en el segundo de lo que corresponde a la firmeza y seguridad y en el tercero de la distribución del terreno a fin de que en él se logre de las conveniencias o comodidades según para lo que esté destinado ...

El primer libro tiene 66 páginas y siete láminas. En él se estudian los órdenes arquitectónicos: toscano, dórico, jónico, corintio y compuesto, no sin analizar antes *las partes principales que componen el orden de arquitectura*: pedestal, columna y cornisón o entablamaneto, y los tipos de molduras. Dedicada también un apartado a los ornatos que se suelen aplicar sobre los edificios: óvalos, hojas, frutas, trofeos, armas o escudos y trata ampliamente de las proporciones entre los elementos de los órdenes:

... entre los arquitectos modernos se tiene por regla general que en cualquier orden, divida la columna con base y chapitel en doce partes se tomen cuatro para el pedestal y se toman tres partes para el cornisón; o bien toda la altura del orden se divide en 19 partes, de las cuales se dan cuatro al pedestal, doce a la columna y tres al cornisón ...

Entre sus fuentes cita a Scamozzi y Vignola

La segunda parte consta de 70 páginas y dos láminas y se divide en tres capítulos. El primero trata de *los empujes de las tierras y el modo de hallar el grueso que se ha de dar a los arcos para que puedan sostenerlas*; el segundo, *de la delineación de los arcos y las bóvedas*; y el tercero *del modo de calcular los gruesos de los pies derechos para sostener el empuje de arcos y bóvedas ...* Indudablemente que para estos temas, el Curso se sirve del tratado de Belidor de 1729 aunque antes apunta:

... como esta materia es más física que matemática, ha sido muy poco lo que han dicho los autores, siendo preciso observar aquellas reglas que ha dado la experiencia ...

Se vale entonces de los mismos razonamientos de Belidor para sus explicaciones: la estabilidad del muro de contención a partir del principio de la palanca y en forma de problemas sucesivamente más complejos que una vez resueltos derivan en escolios; trata de los procedimientos gráficos empleados en el trazado de los diferentes tipos de arcos y finalmente explica la manera de determinar el espesor de los estribos de las bóvedas.

Las láminas que acompañan este tratado evidencian de nuevo la influencia de la obra de Belidor, pero en este caso de su libro de 1729. Se configura de esta manera todo el conjunto

de fuentes directas de las que se valió Lucuze para estructurar la enseñanza de la Academia de Barcelona; sabemos además de la presencia de estos títulos en la biblioteca de la institución, y es fácil apuntar que algunas de las ilustraciones que acompañan los cursos manuscritos fueron tomadas directamente del original.

1.1.4. La obra impresa de Pedro de Lucuze

Pero Lucuze fue también el autor de tres libros impresos y generó la edición de un texto complementario a cargo de Ignacio de March (1781). Los títulos de su autoría son: *Principios de Fortificación, que contienen las definiciones de los términos principales de las obras de Plaza y de Campaña, con una idea de la conducta regularmente observada en el Ataque y Defensa de las Fortalezas ...* (Barcelona, Thomas Piferrer, impresor del Rey, 1772), *Disertación sobre las Medidas Militares que Contiene la razón de preferir el uso de las Nacionales al de las Forasteras ...* (Barcelona, por Francisco Suriá y Burgada, 1773) y *Advertencias para la medida, y cálculo de los desmontes o excavaciones, en terrenos irregulares, con una regla general para todos ellos ...* (Barcelona, Francisco Suriá - Impresor, 1766).

La primera de estas obras (1772) está dividida en tres secciones repartidas en 318 páginas., que hacen un total de 157 U.P. Se puede considerar como un libro de texto escrito y pensado para la formación de los estudiantes de la Real Academia de Matemáticas de Barcelona, hecho que el propio autor reconoce en la introducción: los *Principios de Fortificación* nacen del encargo hecho a Lucuze por el Marqués de la Mina de elaborar un Diccionario de Fortificación usando voces españolas; la obra queda terminada hacia 1755 pero el fallecimiento de este último retrasa la impresión durante 17 años. Finalmente el texto se publica siguiendo la forma de un discurso homogéneo y continuo que se aumenta con las descripciones de las medidas propias del ataque y defensa de las plazas.

No pretende ser este libro un tratado de fortificación a la manera de los anteriormente conocidos, y sí un curso introductorio para oficiales que se inician en la carrera de militar.

... y me contento con exponer sinceramente que nada hay de mi invención; pues todo se hallará con mayor extensión en los varios Escritores Militares Nacionales y Extrangeros, que han tratado profundamente esta materia. Asi, mi trabajo se ha reduciso à resumir, escoger, y ordenar las especies, que he juzgado mas del intento...

Páginas 5 y 6 de la introducción (sin número).

La primera sección, que posee 20 capítulos, contiene los términos de la *fortificación real*: definiciones, máximas, y explicación de cada una de sus partes (murallas, baterías, baluartes, cortinas, falsabragas, foso, camino cubierto, obras convenientes y accidentales, obras exteriores, etc.). La segunda sección, explicada en 21 capítulos, trata los términos propios de la fortificación de campaña: definiciones, pertrechos, obras de campaña, tipos de ataques, trincheras, zapas, minas, etc. La tercera y última de las secciones, trata en 28 capítulos los medios de aplicar las obras de campaña al ataque y defensa de las plazas.

Ninguno de sus 69 capítulos está consagrado a temas específicos relacionados con la construcción de las fortificaciones, a excepción de las alusiones contenidas en las propias

definiciones. Entiende la muralla como un conjunto conformado por el terraplén, por el revestimiento exterior de tepes, piedra o ladrillo (revestimiento que denomina *camisa*), y por sus contrafuertes cuando la fábrica es de mampostería o ladrillo. El cimiento le merece una brevísima mención:

Toda obra de mamposteria, como el muro y estribos, requiere firme cimiento, que se profunda mas ò menos, segun el terreno; pero se hace de mayor latitud, para dexar à cada lado el rodapie con que se aseguran mas el cimiento, muro y estribo.

Pág. 25-26.

Como en el Curso Matemático, Lucuze recoge la tríada de Vitruvio pero sólo para las edificaciones *sencillas*:

Este genero de obras (las que se hacen en una fortificación) se reduce à las dos especies de sencillas, y à prueba de bomba.

En las sencillas se observan las tres reglas de la buena Arquitectura: firmeza, para conseguir la duración contra las injurias del tiempo; comodidad en la distribución de las piezas, segun à que se destina el edificio; y simetría, que proporcione las partes, y perfeccione el todo.

Pág. 85-86.

La diferencia con aquellas a prueba de bombas, se lograba dando a las paredes y al techo un espesor mayor que en el género sencillo, es decir, acentuando la firmeza.

Su *Disertación sobre las Medidas Militares ...* (1773), tiene un valor ante todo documental, pues aunque no es un tratado en los términos convencionales, reúne un conjunto de opiniones acerca del uso de las unidades de longitud, comparando las que se empleaban por aquel entonces en Francia con las españolas. Sin duda, se trata de un paso más en el esfuerzo de este hombre por crear un cuerpo doctrinal “español” en el terreno de la arquitectura militar, tan dominado por los franceses desde los últimos años del siglo XVII.

El libro se divide en cuatro partes: la primera, trata de las diferencias y equivalencias entre la *toesa* francesa y la *vara* castellana; la segunda parte, es un conjunto de documentos *sacados de Reales Ordenanzas, y Ordenes particulares dadas en el Reynado del Señor Don Felipe V, en que se manda usar de la Toesa y de la Vara*; la tercera parte, contiene aquellas, que también formuladas por Felipe V, excluyeron el uso de la unidad de medida francesa; la cuarta y última parte, reúne las disposiciones “actuales” (de 1773) que excluyen la vara castellana y mandan el uso de la toesa.

Lucuze con este libro, se hace partícipe de la polémica acerca del uso de una y otra unidad de medida, inclinándose por la española y haciendo un recuento interesante sobre los orígenes y equivalencias entre ambas.

En sus Advertencias para la medida, y cálculo de los desmontes o excavaciones ... (1766), incluye como subtítulo *Demostrada y autorizada por la Theoría del Centro de Gravedad, particular de cada cuerpo, y la inteligencia que debe darse à la comunmente usada por los Prácticos, à fin de evitar errores y aproximarse más a la verdad*, lo que permite aclarar suficientemente los contenidos. Al parecer, se trata de un texto manuscrito de Lucuze que se

lleva a la imprenta más por interés ajeno que del propio autor; dice el impresor en la presentación del libro:

Habiendo llegado a mis manos un manuscrito del Brigadier Don Pedro de Lucuze, Director de la Real y Militar Academia de Mathematicas establecido en Barcelona (sujeto bien conocido por su mérito y vasta erudición en las Mathematicas) sobre el modo de medir y calcular las grandes excavaciones o desmontes en terrenos irregulares, me pareció desde luego que sería de mucha utilidad el imprimirlo en favor de todas aquellas personas que instruidas en los principios de Arithmetica y Geometría, tienen obligación de asistir a las obras de fortificación o de otra naturaleza ...

Presentación.

Consta de 116 páginas que equivalen a 34 U.P., lo que le hace un texto corto, casi un manual. Está dividido en tres partes: en la primera se explican las reglas útiles a seguir en el momento de hacer excavaciones; en la segunda se da la teoría del centro de gravedad de superficies planas y cuerpos sólidos, y en la tercera se hacen observaciones prácticas *para evitar los errores y aproximarse a la verdad.*

El estudio de Lucuze es riguroso, y obedece al parecer a una búsqueda por hacer públicos sus razonamientos acerca de las tareas de excavación realizadas al comenzar las obras del castillo de San Fernando de Figueras. A través del libro se explican criterios basados en las matemáticas y la geometría para reducir a figuras geométricas conocidas los volúmenes de tierra removidos, tema que el autor considera descuidado por la tratadística militar:

Los escritores de Fortificación, y Arquitectura pasan esta materia con tal silencio, como si fuera de poca importancia; sin duda persuadidos, que las reglas establecidas en la Geometría para los cuerpos mensurables dan suficiente luz para la práctica en Terrenos muy irregulares.

Justificación.

En 1781, **Ignacio de March** publica *Nociones Militares ó Suplemento a los Principios de Fortificación del Exmo. Señor Don Pedro de Lucuze* (Barcelona, Bernardo Pla, Impresor; 1781). Esta obra consta de tres secciones que a su vez se subdividen en capítulos. Tiene 391 páginas y 8 láminas. La Sección I contiene una introducción y un extracto de los principios matemáticos que el autor considera importantes como parte del conocimiento de todo oficial: aritmética, geometría y geometría práctica.

La Sección II trata los métodos de fortificarse en campaña; consta de ocho capítulos donde explica e ilustra los preparativos a la construcción de reductos (los reductos son pequeños puestos atrincherados, temporales y de menor importancia si se comparan con las grandes obras de fortificación pero que requerían una teorización cuyo conocimiento era indispensable para los militares); explica su ejecución y colocación de otros obstáculos, así como el valerse de casas, corrales o cementerios para crear estos puestos defensivos. La sección termina con las sugerencias en torno al ataque y defensa de dichos reductos.

La Sección III es una explicación de algunos temas pertenecientes a las obligaciones de los oficiales.

El capítulo 3 de la Sección II explica brevemente la construcción de los reductos haciendo énfasis en la pendiente que se debe dar a los muros en tierra y al empleo de ramas y fajinas para lograr su trabazón. Son estos los únicos y escasos contenidos de construcción.

De acuerdo con MONTANER (1983), Lucuze habría publicado un primer libro en 1763, *Discurso o dictamen sobre la anchura de los caminos*, pero del cual no hemos podido obtener más datos ni localizar ningún ejemplar; a más de algunos textos manuscritos que podemos considerar como versiones en borrador de sus libros impresos. Por otra parte podemos decir que luego de la publicación de la versión de Belidor hecha por Sánchez Taramas de 1769, la última obra editada a la que podemos considerar como producto de la Academia de Barcelona, es el libro de Vicente Ferraz, *Tratado de castramentación* (Madrid, Imprenta Real, 1800).

1.1.5. Otras academias de matemáticas durante el siglo XVIII

En el *Título III* de las *Ordenanzas* de 1751 se trataba de las *Escuelas Particulares*, de Orán y Ceuta:

No siendo dable, que todos los Oficiales, y Cadetes, que tuvieren inclinacion à las Mathematicas, puedan pasar para su estudio à la Academia de Barcelona, atento à la falta que harian en sus Cuerpos para el regular servicio, sucediendo esto especialmente en las Plazas de Orán, y Ceuta, por lo numeroso de sus Guarniciones, es mi voluntad continúen en una, y otra las Academias particulares de esta Ciencia, que hay erigidas en ellas, al cargo de un Ingeniero, baxo las reglas siguientes ...

Pág. 93.

El período de estudios se amplía en estos centros a cuatro años, divididos en dos períodos, pero con los mismos contenidos que los establecidos para la Academia de Barcelona:

En estas se darán los mismos asuntos, que quedan expresados para la Matriz de Barcelona y se observará en lo posible lo prevenido para esta, explicandose en el primero, y segundo año lo correspondiente à la primera, y segunda clase, y en los dos siguientes lo perteneciente à las otras dos, guardando en todo el mismo methodo ...

Pág. 97.

Existió también la llamada Academia de Matemáticas de Cartagena de Indias, siendo una de las fuentes mejor documentadas el libro de Carmen GÓMEZ PÉREZ (1992), quien da como fecha de fundación el año de 1730 por iniciativa del ingeniero militar Juan de Herrera y Sotomayor, quien desempeñó el cargo de ingeniero desde 1700, siendo nombrado quince años después jefe y director de las tareas de fortificación de la plaza¹⁸.

La academia de Cartagena de Indias habría iniciado sus tareas el 9 de abril de 1731, y las materias que en ella se impartían eran:

- Geometría práctica con sus aplicaciones y Aritmética inferior.
- Trigonometría y sus aplicaciones.

- Uso de instrumentos matemáticos, así de gabinete como de prácticas sobre el terreno.
- Método de levantar planos.
- Principios geográficos y de dibujo, necesarios para formar cartas, planos, perfiles y delineaciones de la arquitectura civil y militar.
- Fortificación moderna, enseñando a conocer todas sus partes, sus usos, máximas y delineaciones, tanto en el papel como en el terreno.
- Lecciones de la polémica ofensiva y defensiva.
- Manejo del cartabón.
- Principios de maquinaria para elevar cuerpos grandes.

La similitud entonces es considerable con el *Curso Matemático* de Lucuze que es cronológicamente posterior, lo cual nos indica en una primera reflexión dos cosas: que ambos cursos se nutren más o menos las mismas las fuentes, y que en ambos casos el programa de necesidades plantea resolver en la formación de los ingenieros aspectos casi idénticos.

Notas al Capítulo III:

¹ LYOTARD (5ª ed., 1994), pág. 89.

² Sobre la enseñanza de las ciencias y las técnicas en Francia durante el siglo XVIII, consultar: TATON, Rene: *Enseignement et diffusion des Sciences en France au XVIII siècle*, París, Ed. Hermann, 1986.

³ En este sentido ha sido muy importante el trabajo desarrollado por el profesor de la Universidad de Barcelona, Horacio CAPEL (1983 y 1988) y su equipo de investigadores.

⁴ Explicado en detalle por CAPEL (1988), pág. 120, cuadro 16.

⁵ MONTANER (1983): *La consulta de diversos manuscrits dels apunts de les classes de l'Acadèmia Militar i el buidar dels arxius personals dels enginyers militars actius a Catalunya (Arxiu de la Corona d'Aragó, Comandància d'Enginyers, Sèrie Personal), junt amb l'estudi d'altres documents i escrits fins ara gens coneguts, m'han permès reconstruir amb bastanta precisió el cos de coneixements trasmès per l'Acadèmia Militar ...* pág. 117.

⁶ MONTANER (1983), págs. 128-130. Su inventario es bastante completo y casi podría decir que constituye un listado de temas de estudio particulares e individualizados.

⁷ MORA, Josep: *Església i societat a la Catalunya del s. XVIII. Anàlisi de les principals esglésies projectades pels enginyers militars en el segle XVIII a Catalunya*, Cervera, Separata UNED, 1990, pág. 302.

⁸ Sobre este edificio existe una completa investigación expuesta en la tesis doctoral del arquitecto Josep MORA, prolongada a través de varios ensayos y artículos: el ya citado *Església i societat a la Catalunya del s. XVIII. Anàlisi de les principals esglésies projectades pels enginyers militars en el segle XVIII a Catalunya*, Cervera, UNED - Vol. II, separata especial, 1990; "Comentari arquitectònic de les tipologies de palau relacionades amb la Universitat de Cervera", en *Miscel·lània Cerverina*, 9 (1994), págs. 95-104; "La Universitat de Cervera: anàlisi d'un edifici paradigma de l'arquitectura del segle XVIII a Catalunya", en colaboración con MONTANER, Josep M., en *Miscel·lània Cerverina* III (1985), págs. 137-157; y "L'obra de la Universitat de Cervera a través dels projectes i les incidències en la construcció", en *Miscel·lània Cerverina* V (1987), págs. 137-166, también en colaboración con MONTANER, Josep M.

⁹ CAPEL (1988) se refiere a un *Curso Manuscrito*, escrito por un tal Blas de Lana y fechado en 1724, escrito a partir de las clases impartidas por Calabro, y distinto al que estudia De La Flor. Págs. 223-224.

¹⁰ MONTANER (1983), pág. 142.

¹¹ Publicada en Barcelona por Francisco Suria y Burgada, 1775, junto con otra ordenanza de 1751.

¹² Una lista detallada de los directores y profesores de la Real Academia de Matemáticas de Barcelona, incluyendo las fechas de su ejercicio, se puede consultar en CAPEL (1988), págs. 138-139.

¹³ Publicada conjuntamente con la anterior.

¹⁴ BP. Arús, sig. R-3-3-82 Ms.

¹⁵ BUB, sig. 1688 Ms.

¹⁶ B. de Cataluña, sig. 3556 Ms.; y que es idéntico a los también manuscritos de esta misma biblioteca números 3557 y 3793. También se ha comparado con el Ms. 409 de la Biblioteca Universitaria de Barcelona, siendo todos ellos iguales.

¹⁷ Se ha comparado con el manuscrito existente en la Biblioteca de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, que habría pertenecido a Juan Soler y Faneca, titulado *Tratado sexto, de la estática*.

¹⁸ Según GUTIÉRREZ (1993), Herrera y Sotomayor llega a Cartagena de Indias procedente de Chile y Buenos Aires. Morirá en Cartagena de Indias en 1732.

CONCLUSIÓN

Hemos comprobado entonces que los tratados de fortificación no se limitaron a ser los depositarios de un conjunto de saberes, almacenados en los estantes de las bibliotecas como parte de la memoria que se tiene sobre las cosas pasadas, sino que por el contrario, ellos fueron la fuente de la cual se nutrió el cuerpo de ingenieros militares español que se extendería por Europa y América.

La codificación del conocimiento por medio del lenguaje, y a través de las formas ya reconocidas de sus relatos y mediante unos recursos expresivos característicos permitieron que el saber fuese algo fácilmente transmisible y reconocible, tal como se verifica del estudio de los apuntes de clase del *Curso Matemático* dirigido por Lucuze, personaje éste que se limitó a recoger las ideas más elaboradas de la ingeniería militar francesa y la estructura de sus contenidos.

Ahora bien, ¿era suficiente con estos conocimientos tal y como los hemos reconocido en estas páginas, para asumir la tarea de construcción de complejos conjuntos fortificados? ¿bastaba acaso con conocer el *Curso Matemático* o incluso los más remotos o recientes tratados para resolver el inabarcable abanico de los casos particulares, de los pequeños detalles y de las mínimas variables que surgen en la construcción de una edificación? ¿qué papel jugaban las formas del saber en este proceso de confrontación con la práctica?

De todo lo anterior podemos concluir que el nivel de los conocimientos constructivos sí era suficiente, pero no sólo por la profundidad de sus contenidos, sino también por su extensión, es decir, y tal como lo hemos venido sosteniendo en páginas anteriores, por el dominio de un mayor número de parcelas del saber, en especial de aquéllas que le brindaban medios operativos para la acción: conocimiento de los materiales y de su empleo, principios de geometría y matemáticas, comportamiento estático y mecánico de las estructuras ...

Hemos dicho también que los tratados eran *guías para la acción*, luego ellos eran un buen punto de referencia del cual un ingeniero podía tomar reglas y organizar instrucciones con las que podía entrar a resolver los problemas constructivos, pero había de necesitar también de ese conjunto de saberes *no formalizables* depositados en los operarios (las habilidades). Recordemos que los tratados están planteados precisamente es para resolver lo imprevisto, la multiplicidad de variables y empleando para ello un conjunto de alternativas.

Por todo esto, es posible constatar entonces que la técnica constructiva requiere de la trilogía de saberes que se había venido desarrollando desde el siglo XVI y que alcanza su madurez en el siglo XVIII: reglas, instrucciones y saberes artesanales son indispensables para la práctica de la construcción.

El espacio de nuestra reflexión se limitó al de la construcción arquitectónica, considerada ella como una técnica particular, y compuesta por un conjunto de acciones controladas por el hombre a fin de transformar la materia en un objeto arquitectónico, es decir, en un edificio. En esta labor, intervienen unos conocimientos que son útiles tanto en la fase de concepción y diseño como en aquella que es propiamente operativa. La construcción por sí sola no es arquitectura; esta última se basa en un plan más complejo donde la técnica existe para resolver las necesidades funcionales y alcanzar las intenciones compositivas; sin embargo consideramos que es posible hacer estudios de cada uno de tales aspectos de manera más o menos autónoma sin que ello implique el reconocimiento de una total y

absoluta independencia; hacerlo sería desconocer los límites que encuadran el concepto general y abarcar otros que le son próximos, como pueden serlo la pintura, la escultura y hasta el propio diseño industrial, para citar sólo tres ejemplos.

Esta reflexión ha tenido como objetivo general hacer un reconocimiento de los procesos de generación, transmisión y aplicación del conocimiento constructivo a lo largo de un período de la historia que constituye el antecedente inmediato para la comprensión de la continuidad de la técnica en la América Hispana. Se insistió además que debería concentrarse no sólo en los hechos constructivos, sino también en las categorías y formas del saber que lo hacen posible: una historia de los procesos técnicos, no se puede hacer sobre el mismo modelo que permite construir una historia de las ciencias o de las humanidades; para comprender una técnica es necesario pasar examen a sus particularidades y a sus casos concretos, lo que requiere de una revisión de sus interrogantes, de sus aciertos y de sus errores; pero sobre todo, difícilmente puede prescindir de considerar las transformaciones del pensamiento y sus manifestaciones, pues una técnica tampoco es sólo el conjunto de los artefactos o un recuento de las maniobras prácticas. Uno de los aspectos más interesantes del modelo asumido aquí como herramienta de trabajo, es que él contempla todos los niveles que componen una técnica: desde los abstractos hasta los puramente prácticos.

Hay que aceptar además que, si de entrada se consideraba que toda esta reflexión alrededor de la construcción arquitectónica era necesaria como un mecanismo que permitiera aclarar la crisis expuesta en las primeras páginas de este trabajo, en tal objetivo se ha avanzado pero sin agotar los niveles de respuesta. Creemos que hasta ahora sólo hemos reconocido el cordón umbilical que vincula a las técnicas constructivas europeas y americanas: los comienzos del siglo XV y los últimos años del siglo XVIII son los bordes de esta investigación. A lo largo de este período, se construye la figura del arquitecto militar y del ingeniero, a la vez que se sucede una transformación profunda y extensa: no se trata de complejas revoluciones tecnológicas protagonizadas por destacados individuos de una comunidad científica y ni siquiera de una misma profesión, sino de cambios acumulativos en el cuerpo doctrinal de conocimientos y en las formas del pensamiento llevadas a cabo dentro de una dinámica particular, aquella que nace de la contradicción entre lo racional y su más clara negación: la guerra.

Esta particularidad no se puede perder de vista: que lo que presenciamos no es una historia de los edificios militares, ni siquiera de los procesos constructivos en su sentido estricto. A lo que asistimos es al conjunto de ideas y actos que hacen de la arquitectura y la ingeniería militar una disciplina autónoma, ceñida por principios y por reglas; ella se convierte en una nueva realidad social, y especialmente política, pero sobre todo, en una realidad epistemológica que recompone el orden de los saberes existentes.

De todos modos, este trabajo no se trata de un producto acabado. Cada tratado, cada edificio al que se hace referencia, cada autor, cada idea, expone ante nosotros un universo propio, rico y complejo donde transcurren tantas sugerencias como son posibles. Esta investigación, como concluimos lo pueden ser todas, es en el fondo una provocación para continuar recorriendo por el espacio de las ideas, y en nuestro caso, por el espacio de la técnica; el mismo que desde hace muy pocos años se ha venido desarrollando y extendiendo sobre nosotros como cuando se corta por su eje una cinta de Moëbius.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bibliografía general estudios siglos XIX-XX

AAVV:

Actas del Seminario Puertos y Fortificaciones en América y Filipinas.
Madrid, Comisión de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo (CEHOPU), 1985.

AAVV:

Architettura militare nell'Europa del XVI secolo. Atti del convegno di studi.
Siena, Ed. Periccioli, 1988.
A cargo de Carlo Cresti y Daniela Lamberini, Florencia, 1986.

AAVV:

Leonardo de Vinci: ingénieur et architecte
Montréal, Museo de Bellas Artes, 1987.

AAVV:

L'architettura militare veneta del Cinquencento.
A cargo de André Chastel y Antonio Corazzin, Milán, Ed. Electa Spa, 1988 (A).

AAVV:

Les traités d'Architecture de la Renaissance
París, Ed. Piccard, 1988 (B).

AAVV:

Architetti e ingegneri militari italiani all'estero dal XV al XVIII secolo.
Roma, Instituto Italiano de Castillos, Ed. Sillabe, 1994.
A cargo de Marino Viganó.

AGUSTÍ i CULLEL, Jaume:

Ciència i tècnica a Catalunya en el segle XVIII o la introducció de la màquina de vapor.
Barcelona, Instituto de Estudios Catalanes - Archivos de la Sección de Ciencias, 1983.

ALMIRANTE, José:

Bibliografía Militar de España.
Madrid, Imprenta de Manuel Tello, 1876.

ALMIRANTE, José:

Diccionario militar.
Madrid, Imprenta y Litografía del Depósito de Guerra, 1869.

ALONSO DE MEDINA, María Assumpció:

Figueres i l'arquitecte Roca i Bross. La formació d'una ciutat durant el neoclassicisme.
Girona, Colegio de Arquitectos de Catalunya, Ed. La Gaia Ciència, 1980.

ALVAREZ TERÁN, María Concepción:*Mapas, planos y dibujos (1503-1805). Archivo General de Simancas.*

Valladolid, Ministerio de Cultura, Dirección General de Bellas Artes, Archivos y Bibliotecas. Catálogo XXIX; vol. I, 1980.

ALLENT, A.:*Histoire du Corps Imperial du Genie.*

París, Librería de Magimel, 1805.

ALZOLA, Pablo:*Historia de las obras públicas en España.*

Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Ed. Turner, 1979.

ANGULO IÑIGUEZ, Diego:*Historia del Arte Hispanoamericano:*

Barcelona - Buenos Aires, Salvat, 1945-50.

ANGULO IÑIGUEZ, Diego:*Planos de Monumentos arquitectónicos de América y Filipinas existentes en el Archivo de Indias.*

Sevilla, Laboratorio de Arte, 1933-39, 7 vols.

APARICI Y GARCÍA, José:*Informe de la Comisión de Historia en el Archivo de Simancas.*

Madrid, Imprenta Nacional, 1848.

ARRANZ HERRERO, Manuel:*Mestres d'obres i fusters de la construcció a la Barcelona en el segle XVIII.*

Barcelona, Colegio de Aparejadores y Arquitectos técnicos de Barcelona, 1991.

BAILLY, E.:*Cours élémentaire de fortification.*

París, Libraire Ch. De la Grave, 1875.

BANUS Y COMAS, Carlos:*Estudios de arte e historia militar.*

2 vol. Barcelona, Revista Científico Militar, 1881.

BASALLA, George:*La evolución de la tecnología*

1988, Cambridge University Press, Cambridge. Versión castellana: Barcelona, Ed. Crítica, 1991.

BATEMAN, Alfredo:*Páginas para la historia de la Ingeniería Colombiana.*

Bogotá, Ed. Kelly, 1972.

BENVENUTO, Edoardo:*La Scienze delle Costruzione e il suo sviluppo storico.*

Florencia, Ed. Sansoni, 1981.

BENVENUTO, Edoardo:*L'idée construcrive en l'Architecture.*

París, Ed. Piccard, 1988.

BERNÁLDEZ, Emilio:*La fortificación moderna o consideraciones sobre el ... arte de fortificación de las plazas.*

Madrid, Imprenta del Memorial de Ingenieros, 1859.

BIBLIOTECA DE INGENIEROS:*Catálogo de la Biblioteca de Ingenieros del Ejército.*

Madrid, Imprenta del Memorial de Ingenieros, 1911.

BIBLIOTECA DEL DEPÓSITO DE GUERRA:*Catálogo general de mapas, planos y memorias del Depósito de Guerra.*

Madrid, Imprenta y Litografía del Depósito de Guerra, 1900.

BIBLIOTECA DEL DEPÓSITO DE GUERRA:*Catálogo de la Biblioteca.*

Madrid, Imprenta y Litografía del Depósito de Guerra, 1900.

BIRAL, Alessandro y MORACHIELLO, Paolo:*Immagini dell'ingeniere tra quattro e settecento.*

Milán, Ed. Franco Angeli, 1985.

BOIX, D.E.:*Estabilidad de las construcciones en mampostería.*

Madrid, Tipografía e Gregorio Juste, 1892.

BONET CORREA, Antonio:*Bibliografía de arquitectura, ingeniería y urbanismo en España (1498-1880).*

2 vol. Madrid, Turner Libros, 1980.

BONET CORREA, Antonio:*Cartografía militar de plazas fuertes y ciudades españolas. Siglos XVII - XIX. Planos del archivo militar francés.*

Madrid, Instituto de Bienes Culturales y Restauración, 1991.

BONET CORREA, Antonio:*La polémica ingenieros - arquitectos en España. Siglo XIX.*

Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Pueros, Ed. Turner, 1983.

BORNECQUE, Robert:*La France de Vauban.*

París, Ed. Arthaud, 1984.

BRAVO NIETO, Antonio:*Voces de fortificación seleccionadas del Diccionario Militar de José Almirante*

Melilla, Asociación de Estudios Melillenses, 1989.

BRAVO NIETO, Antonio:

Ingenieros militares en Melilla. Teoría y práctica de fortificación durante la Edad Moderna. Siglos XVI-XVIII.

Melilla, Servicio de publicaciones de la UNED, 1991.

BRAVO NIETO, Antonio:

“La racionalización del espacio defensivo en el Renacimiento. Dos tratados de arquitectura militar en España”

En *Boletín de Arte*, Nº 15, Universidad de Málaga, Departamento de Historia del Arte, 1994.

BRUNNES:

La fortification permanente.

Sin lugar, sin imprenta, 1890?

BUNGE, Mario:

Ciencia y desarrollo.

Buenos Aires, Ed. Siglo XX, sin año.

BURY, John:

“Renaissance Architectural Treatises and Architectural Books: a Bibliography”.

En *Les Traités d'Architecture de la Renaissance*: París, Ed. Piccard, 1988.

BUSCHIAZZO, Mario:

Historia de la Arquitectura Colonial en Iberoamérica.

Buenos Aires, Ed. Emecé, 1961.

BUSQUETS, Julio:

“Las publicaciones militares en España durante el siglo XIX”

Revista Estudios de Información, Número 6, abril - junio de 1968, pp. 33-55.

CABELLOS BARREIRO, Enrique:

Cartagena de Indias: mágica acrópolis de América.

Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, CEDEX - CEHOPU, 1991.

CALDERÓN QUIJANO, José Antonio:

Bibliografía de las fortificaciones españolas en América en la Edad Moderna.

Madrid, CEHOPU, 1985.

CALDERÓN QUIJANO, José Antonio:

“El fuerte de San Fernando de Omoa”

Revista de Indias, 1942, Año III, Nº 9, pp. 515-548.

CALDERÓN QUIJANO, José Antonio:

Fortificaciones en Nueva España.

Sevilla, Escuela de Estudios Hispanoamericanos, 1953.

CAMACHO, Rosario:

El manuscrito sobre la gravitación de los arcos contra sus estribos, del arquitecto Antonio Ramos.

Málaga, Real Academia de Bellas Artes de San Fernando - Colegio Oficial de Arquitectos de Málaga, 1992.

CÁMARA MUÑOZ, Alicia:

“Tratados de arquitectura militar en España. Siglos XVI y XVII”

Revista Goya, número 156, 1980, pp. 338-345.

CÁMARA MUÑOZ, Alicia:

Arquitectura y sociedad en el siglo de oro. Idea, traza y edificio.

Madrid, Ed. El Arquero, 1990.

CAPEL, Horacio:

Geografía y matemáticas en la España del siglo XVIII.

Vilasar de Mar, Oikos-Tau, 1982.

CAPEL, Horacio:

Los ingenieros militares en España. Siglo XVIII. Repertorio biográfico e inventario de su labor científica.

Barcelona, Universidad de Barcelona, 1983.

CAPEL, Horacio:

De Palas a Minerva. La formación científica y la estructura institucional de los ingenieros militares en el siglo XVIII.

Barcelona, Serbal-CSIC, 1988.

CASALS i BALAGUE, Albert:

La construcció arquitectónica i la crisi de la tradició (1875-1985).

Barcelona, Tesis doctoral UPC-ETSAB, 1990.

CASTELLANOS, Juan de:

Historia del Nuevo Reyno de Granada.

Barcelona, Antonio Paz y Mélia, 1886.

CASTRO, Antonio:

Algunos aspectos de la Ciencia Cierta de la Construcción Medieval.

Barcelona, Tesis doctoral - UPC, 1987.

CATÁLOGO:

Puertos y fortificaciones en América y Filipinas.

Madrid, CEHOPU, 1985.

CLAVIJO, Salvador:

Análisis y comparación de los sistemas de fortificación conocidos con los nombre de alemán y francés.

Madrid, Imprenta del Memorial de Ingenieros, 1854.

COELLO, Francisco:

“Sistemas de fortificación ...”

Boletín de la Real Academia de la Historia, 1890, Tomo XVII, pp. 101-107.

COLLINS, Peter:

Los ideales de la arquitectura moderna (1750-1950).

Ed. Castellana, Barcelona, Gustavo Gili, 1970.

CORTES ALONSO, Vicenta:*Catálogo de Mapas de Colombia.*

Madrid, Ed. Cultura Hispánica, 1967.

COULOMB*Recherches sur les moyens d'exécuter sous l'eau toutes sortes de travaux hydrauliques.*

4ª ed. París, Bachelier, 1846.

CUERPO DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO:*Estudio Histórico del Cuerpo de Ingenieros del Ejército.*

Madrid, Imprenta del Memorial de Ingenieros, 1911.

CHOUMARA, Teodoro:*Estudios de fortificación permanente.*

Madrid, Imprenta del Memorial de Ingenieros, 1861.

DE LA CROIX, Horst:*Military considerations in the city planning: fortifications.*

New York, George Brazillier, 1972.

DE LA CROIX, Horst:

"The literature on fortifications in Renaissance Italy"

Revista Technology and Culture IV, 1963, pp. 30-50.**DE LA FLOR, Fernando R.:***El fuerte de La Concepción y la arquitectura militar de los siglos XVII y XVIII.*

Salamanca, Ed. de la Diputación de Salamanca, 1987.

DE LA FLOR, Fernando R.:Estudio introductorio al *Tratado de fortificación o arquitectura militar*, de Mateo Calabro.

Salamanca, Universidad de Salamanca, 1991.

DE LA FLOR, Fernando R.:

"Una utopía de la arquitectura militar en la España de Carlos II. Véncese el Arte con el Arte de Teodoro Barbo"

Revista Anales de Arquitectura N° 2, 1990, pp. 65 - 75.**DE LA TORRE Y MIGUEL, Fernando:***Manual del artillero - ingeniero.*

Sin lugar ni imprenta; sin año, pero finales del 1890.

DELAISTRE, J.R.:*Encyclopédie de l'ingénieur, ou dictionnaire des ponts et chaussées ...*

París, J.G. Dentu, 1812.

DEMANET, A.:*Curso de construcción explicado en la Escuela militar de Bruselas de 1843 a 1847.*

3 vol. Madrid, Imprenta de Santiago Aguado, 1863-64.

DIANA, Manuel Juan:*Capitanes ilustres y revista de libros militares.*

Madrid, Imprenta de J. Antonio Ortigosa, 1851.

DÍAZ CAPMANY, Carlos:*El castell de Sant Ferran de Figueres. La seva història.*

Barcelona, Generalitat de Catalunya, 1982.

DÍAZ TRECHUELO, María Lourdes:*Arquitectura española en Filipinas (1565 - 1800).*

Sevilla, Publicaciones de la Escuela de Estudios Hispanoamericanos de Sevilla, 1959.

DIESTE, Eladio:*Un sentido de lo construido*

Bogotá, Ed. Escala, 1986.

DOMÍNGUEZ ORTIZ, A.:*Sociedad y Estado en el siglo XVIII español.*

Madrid, Ed. Ariel, 1976.

DUFFY, Christopher:*Fire and stone. The Science of fortress warfare. 1600 - 1860.*

Vancouver, Ed. David & Charles Newton Abbot, 1975.

DUFFY, Christopher:*Siege warfare. The fortress in the early modern world. 1494 - 1660.*

Londres, Routledge & Kegan Paul, 1979.

DUFFY, Christopher:*The fortresses in the age of Vauban and Frederick the Great: 1660 - 1789.*

Londres, Routledge & Kegan Paul, 1985.

ECO, Humberto:*Cómo se hace una tesis.*

Primera ed. italiana 1977. 5ª ed., Barcelona, 1983.

FINO, J.F.:*Fortresses de la France medievale: construction, attaque, défense.*

París, Ed. Picard, 1977.

FORTIER, Bruno:

“La nascita dell’Ecole des Ponts et Chaussées. 1. Lo spazio 2. Il progetto”

Revista Casabella, N° 195, octubre de 1983, y N° 496, noviembre de 1983.

FOUCAULT, Michel:*La arqueología del saber.*

1ª Ed. París, 1970. 7ª ed., México, Ed. Siglo XXI, 1979.

FOUCAULT, Michel:*Las palabras y las cosas..*

1ª Ed. París, 1966. Ed. castellana, Barcelona, Planeta Agostini, 1984.

FRAGUA, José María:*Guía breve del Museo y resumen histórico del Castillo de Montjuic.*

Barcelona, Ayuntamiento municipal, 1970.

GALCERÁN, Margarita:*La arquitectura de los Ingenieros Militares: Labor arquitectónica y científica de los Llobet en el siglo XVIII.*

Tesis doctoral. Barcelona, UPC-ETSAB, 1990.

GARCÍA SALINERO, Francisco:*Contribución al estudio del vocabulario español de arquitectura e ingeniería de los siglos XVI y XVII.*

Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1964.

GARCÍA TAPIA, Nicolás:*Ingeniería y arquitectura en el Renacimiento español.*

Valladolid, Universidad de Valladolid - Caja de Ahorros de Salamanca, 1990.

GERMANN, George:*Vitruve et le vitruvianisme: introduction à l'histoire de la théorie architecturale*

1ª ed. en alemán, 1987. En francés: Laussane, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1991.

GILLE, B.:*Les ingénieurs de la Renaissance.*

París, Ed. Hermann, 1967.

GIUFFRÉ, Antonio:*La meccanica nell'architettura. La statica.*

Roma, Ed. La Nuova Italia Scientifica, 1986.

GOMEZ PEREZ, Carmen:*El sistema defensivo americano.*

Madrid, Ed. Mapfre, 1992.

GONZÁLEZ MORENO-NAVARRO, José Luis:*El legado oculto de Vitruvio.*

Madrid, Alianza Forma, 1993.

GONZÁLEZ MORENO-NAVARRO, José Luis:*Un estudio sobre el proceso de desvinculación de los contenidos de construcción en los tratados de arquitectura de los siglos XVI al XIX.*

Tesis doctoral. Barcelona, UPC-ETSAB, 1987.

GONZÁLEZ TASCÓN, Ignacio (Ed):*Ciencia, técnica y estado en la España ilustrada.*

Zaragoza, Ministerio de Educación y Ciencia, 1990.

GONZÁLEZ TASCÓN, Ignacio:*Fábricas hidráulicas españolas.*

Madrid, MOPU, 1987.

GONZÁLEZ TASCÓN, Ignacio:*Ingeniería española en ultramar.*

Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, CEHOPU, CEDEX, MOPT, 1992.

GUARDA, Gabriel:*Flandes Indiano: las fortificaciones del Reyno de Chile. 1541 - 1826.*

Santiago de Chile, Universidad Católica, 1990.

GUARDA, Gabriel:*Influencia militar en las Ciudades del Reyno de Chile.*

Santiago, Pontificia Universidad Católica de Chile, 1967.

GÜELL, Ignacio:

“Breve reseña de fortificación ...”

Memorial de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, 1941, vol. XXV, Nº 21.

GUIDONI, E. y MARINO, A.:*Historia del Urbanismo del siglo XVII.*

Madrid, Instituto de Estudios de Administración Local, 1985.

GUTIÉRREZ, Ramón:*Notas para una bibliografía hispanoamericana de arquitectura. 1526-1875.*

Resistencia, UNNE, 1972.

GUTIÉRREZ, Ramón:*Arquitectura y Urbanismo en Hispanoamérica.*

Madrid, Ed. Cátedra, 1983.

GUTIÉRREZ, Ramón:*Territorio y fortificación.*

Madrid, Ed. Tuero, 1991.

GUTIÉRREZ, Ramón:*Arquitectura y fortificación. De la ilustración a la independencia americana.*

Madrid, Ed. Tuero, 1993.

HALE, John:*Renaissance fortification. Art or Engineering?*

Londres, Faber, 1977.

HALE, John:*Renaissance war studies.*

Londres, The Hambledon Press, 1983.

HALE, John:

“Francesco Tessini y las fortificaciones post - renacimiento en Venecia”

Revista Urbi, Nº XI, verano de 1989.

HART, James:*A practical treatise on the construction of oblique arches.*

3ª ed. Londres, John Weale, 1848.

HERRERA GARCÍA, José:*Teoría analítica de la fortificación permanente.*

Madrid, Imprenta Nacional, 1846.

HERRERO FERNÁNDEZ, María Dolores:*Ciencia y milicia en el siglo XVIII: Tomás de Morla, artillero ilustrado.*

Madrid, Tesis doctoral Universidad Complutense, 1990

HOGG, Ian V.:*Fortresses. Histoire mondiale de l'architecture militaire.*

París, Ed. Atlas, 1983.

HUGUES, Quentin:*Military architecture.*

Londres, Hugh Evelyn Ltda., 1974.

IRIZAR, José:*Memoria sobre los fuegos cubiertos.*

Madrid, Imprenta Nacional, 1850.

KEEGAN, John:*Historia de la Guerra*

(Ed. inglesa en 1993: A History of Warfare) Ed. castellana, Barcelona, Ed. Planeta, 1993.

KINOSHITA, Noboru:*El pensamiento filosófico de Domingo Gundisalvo*

Salamanca, Universidad Pontificia de Salamanca, 1988.

KRUFT, Hanno-Walter:*Historia de la teoría de la arquitectura.*

Madrid, Ed. Alianza, 1990.

KUHN, Thomas, S.:*¿Qué son las revoluciones científicas? y otros ensayos.*

Introducción de Antonio Beltrán. Barcelona, Ed. Paidós, 1989.

LA CROIX, Eugène:*Annales du Génie Civil. Recueil de Mémoires ...*

Atlas. París, Ed. E. La Croix, 1862.

LEGAY, M.:*Mémoire sur le tracé et le calcul des voutes en maçonnerie.*

París, Vve. Ch. Dunod, 1900.

LEON TELLO, Francisco José:*Estética y teoría de la arquitectura de los tratados españoles del siglo XVIII.*

Madrid, CSIC, 1994.

LEÓN TELLO, Pilar:*Mapas, planos y dibujos de la Sección de Estado del Archivo Histórico Nacional.*

Madrid, Ministerio de Cultura, 1979.

LÓPEZ MUIÑOS, Juan:

“Las enseñanzas de los ingenieros militares”

En *Algunos aspectos de la Ingeniería Militar Española y el Cuerpo Técnico*.

Madrid, Ministerio de Defensa, 1990.

LÓPEZ PIÑEIRO, José María:

Ciencia y técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII.

Barcelona, Ed. Labor, 1979.

LÓPEZ PIÑEIRO, José María:

Bibliografía histórica sobre la ciencia y la técnica en España.

Valencia - Granada, Cátedra e Instituto de Historia de Medicina, 1973.

LYOTARD, Jean-François:

La condición postmoderna.

5ª ed. castellana. Madrid, Ed. Cátedra, 1994.

LLAGUNO Y AMIROLA, E.:

Noticias de los arquitectos y arquitectura de España desde su restauración.

Madrid, Ed. Real, 1829.

LLAVE Y GARCÍA, Joaquín:

Lecciones de ataque y defensa de las plazas fuertes.

Madrid, Imprenta del Memorial de Ingenieros, 1894.

LLAVE Y GARCÍA, Joaquín:

Nociones de fortificación permanente.

Barcelona, Revista Científico y Militar y Biblioteca Militar, 1887/88.

MARCO DORTA, Enrique:

Cartagena de Indias. La ciudad y sus monumentos.

Sevilla, Escuela de Estudios Hispanoamericanos, 1951.

MARCHENA FERNÁNDEZ, Juan:

Ejército y milicias en el mundo colonial americano.

Madrid, Ed. Mapfre, 1992.

MARIÁTEGUI, Eduardo:

El Capitán Cristóbal de Rojas, ingeniero militar del siglo XVI.

Madrid, Imprenta del Memorial de Ingenieros, 1880.

MARVÁ Y MAYER, José:

Estudio histórico de los medios de ataque y defensa.

Madrid, Tipografía El trabajo, 1903.

MARZAL MARTÍNEZ, Amparo:

La ingeniería militar en la España del siglo XVIII. Nuevas aportaciones a la historia de su legado científico y monumental.

Tesis doctoral. Madrid, Universidad Complutense, 1991.

MASCHERONI, Lorenzo:

Nuove Ricerche sull'equilibrio delle volte, dell'abate L. Mascheroni.
Milán, Giovanni Silvestri, 1829.

MITACHAM, Carl:

¿Qué es la filosofía de la tecnología?
Barcelona, Ed. Anthropos, 1989.

MONTANER i MARTORELL, Josep María:

Anàlisi del pròces de transformació del cos de coneixements arquitectònics a Catalunya, en el període 1714-1859.
Barcelona, Tesis doctoral, UPC-ETSAB, 1983.

MORENO, Santiago y ARGÜELLES, Manuel:

Tratado de fortificación.
2 vol. Madrid, sin imprenta, 1877.

MUÑOZ CORBALÁN, Juan:

La labor profesional de los ingenieros militares "borbónicos" de Flandes a España (1691-1718). Formación y desarrollo de una nueva arquitectura moderna en Cataluña.
Barcelona, Tesis Doctoral - Universidad de Barcelona, 1991. Publicada por la Secretaría General Técnica del Ministerio de Defensa, Madrid, 1993.

MURATORE, G.:

La ciudad renacentista. Tipos y modelos a través de los tratados.
Madrid, Instituto de Estudios de Administración Local, 1975.

MUSEO DEL EJÉRCITO:

Catálogo del Museo del Ejército.
2 vol. Madrid, sin imprenta, 1935-55.

OBRAS HIDRAULICAS ...

Obras hidráulicas en América colonial.
Madrid, Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, CEHOPU, 1993.

OBRAS HIDRAULICAS ...

Obras hidráulicas prehispánicas y coloniales en América.
Madrid, Instituto de la Ingeniería en España, Asociación y Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1994.

ORTEGA Y GASSET, J.:

Meditación de la técnica.
Madrid, Revista de Occidente, 1939.

PACEY, Arnold:

El laberinto del Ingenio
Barcelona, Gustavo Gili, 1980.

PARSONS, William:

Engineers and engineering in the Renaissance.
Massachusetts, MIT Press, Ed. Paperback, 1976.

PÉREZ GÓMEZ, Alberto:

La génesis y la superación del funcionalismo en arquitectura.
Méjico, Ed. Limusa, 1980.

PICON, Antoine:

Architectes et ingénieurs au siècle des lumières.
Marsella, Parenthèses, 1988.

PICON, Antoine:

“Nacimiento del territorio moderno: ingenierías civil y militar a finales del siglo XVIII”

Revista Urbi, Nº XI, verano de 1989, pp. C - CXIV.

PINEIRO, Mariano Esteban et al.:

Estudios sobre la historia de la Ciencia y de la Técnica.
2 vol. León, Junta de Castilla y León, 1988.

PLAZA BORES, Angel de la:

Archivo General de Simancas. Guía del Investigador.
2ª ed. Revisada. Madrid, Ministerio de Cultura, 1992.

POTTER, James:

Handbook of the engineering sciences.
New Jersey, Princenton, 1967.

PROMIS, Carlo:

Memorias históricas sobre el arte del ingeniero y del artillero en Italia desde su origen hasta principios del siglo XVI y de los escritores militares de aquel país desde 1285 a 1560.

Traducción de José Aparici.
Madrid, Imprenta del Memorial de Ingenieros, 1882.

QUINTANILLA, Miguel Angel:

Tecnología: un enfoque filosófico.
Madrid, Colección de libros de Fundesco, 1989.

RIERA, Joan:

“L’Academia de Matemàtiques a la Barcelona il·lustrada (1715-1800)”
en Actas del II Congrés Internacional d’Historia de la Medicina Catalana, Barcelona, junio de 1975, pp. 73-128.

ROCQUANCOURT, J.:

Curso completo del Arte y la Historia Militar.
6 vol. Madrid, Establecimiento Tipográfico Militar, 1849.

ROCCHI, Enrico:

Le fonti storiche dell’architettura militare.
Roma, 1908.

RODEJA GALTER, E.:*Figueras. Notas históricas. 1753-1832.*

Figueras, Imprenta La Rápida, 1942.

RODRÍGUEZ VILLASANTE, Juan A.:*Tecnología y Arte de la Ilustración.*

El Ferrol, López Torre, 1988.

RODRÍGUEZ VILLASANTE, Juan A.:*Historia y tipología arquitectónica de las defensas de Galicia. Funcionalidad, forma y ejecución del diseño clasisista.*

La Coruña, Ed. Do Castro, 1984.

RUBIO Y BELLVE, Mariano:*La guerra moderna.*

Barcelona, Manuel Soler, 1900.

SAENZ RICO URBINA, Alfredo:*El Virrey Amat. Precisiones sobre la vida y obra de Don Manuel Amat y de Junyet.*

Barcelona, Ayuntamiento de Barcelona, Museo de Historia de la Ciudad, 1967.

SAINT PAUL, Gaspard Noizet de:*Elementos de fortificación ... escritos en francés y traducidos al castellano.*

2 vol. Madrid, Imprenta Real, 1818.

SÁNCHEZ LÁZARO, Teresa:*“Instrumentos topográficos del Siglo XVIII”**Revista Informes de la Construcción*, vol. 41, número 405, enero-febrero 1990. Madrid, pp. 19-24.**SANMARTÍN, J. Et alt.:***Estudios sobre sociedad y tecnología.*

Barcelona, Ed. Antropos, 1992.

SARMIENTO, León:*Breve historia de la Ingeniería en España. Bosquejo sobre la Ingeniería Militar en España.*

Madrid, Ed. Dossat, 1950.

SERRALACH Y RIBAS, Francisco:*Tratado de fortificación dispuesto para la enseñanza de los caballeros cadetes del Colegio Militar de la Ciudad de Santiago.*

Santiago, Manuel Antonio Rey, 1814.

SERVICIO HISTÓRICO MILITAR:*Boletín de la Biblioteca Central Militar. Documentos extraídos del Archivo General de Indias.*

2ª época, números 9, 10, 11 y 12, Madrid, 1953.

SERVICIO HISTÓRICO MILITAR:*Catálogo General de la Cartoteca.*

2 vol. Madrid, SHM, 1981.

SETA, Cesare y LE GOLF, J. (eds.):*La ciudad y sus murallas.*

1ª ed. Roma, 1989. Ed. castellana Madrid, Ed. Cátedra, 1991.

SIMMONET, Cyrille:

“Du myte algebraique au Modele Artisanal”

en L'idée constructive en l'Architecture.

París, Ed. Piccard, 1987.

SORALUCE BLOND, J.R.:*Castillos y fortificaciones en Galicia.*

La Coruña, Fundación Pedro Barrié de la Maza, 1985.

SORALUCE BLOND, J.R.:

“El arquitecto Pedro Luis Escrivá. Un tratadista español en la Italia del renacimiento”.

Revista Q, del Consejo Superior de Arquitectos de Madrid, número 68, junio de 1983, pp. 16-30.**TARRAUBELLA, Xavier:***Urbanismo, arquitectura i construcció a Catalunya. Guia d'arxius i de fonts documentals.*

Barcelona, Colegio de Aparejadores de Barcelona, 1993.

TÁRREGA Y DE ARIAS, Bernabé:*Ensayo de un compendio de fortificación para el uso de los oficiales de Infantería.*

Toledo, Imprenta de José de Cea, 1856.

TATON, Rene (coord.):*Enseignement et diffusion des Ciencias en France au XVIII siècle.*

París, Ed. Hermann, 1986.

TORNER Y DE LA FUENTE, Eusebio:*El brigadier de la Armada e ingeniero militar Don Félix de Azara y Perera.*

Madrid, Imprenta del Memorial de Ingenieros, 1892.

TOY, Sidney:*Castles, their construction and history.*

New York, Dover publications Inc., 1985 (Título original: A History of fortification from 3000 BC to 1700 AC; Londres, 1950 y 1966).

UNIVERSIDAD DE COIMBRA:*Art Militar na Biblioteca Gral da Universidades de Coimbra (S. XVI-XVIII).*

Coimbra, U. G. De Coimbra, 1990.

VALLEJO, Andrés:*Curso elemental de fortificación aprobado por S.M. para uso del Real Colegio General Militar.*

Valencia, Oficina de José Ferrer, 1827.

VÉRIN, Hélène:*La gloire des ingénieurs. L'intelligence technique du XVI au XVIII siècle.*

País, Ed. Albin Michel, 1993.

VIGO TRASANCOS, Antonio:*Arquitectura y urbanismo en El Ferrol del siglo XVIII.*

La Coruña, Colegio Oficial de Arquitectos de Galicia, 1984.

VIGREUX, L.:*Théorie et pratique de l'Art de l'ingénieur du constructeur des machines et de l'entrepreneur de travaux publics...*

Paris, Ed. Bernard, s.a.

VILAR, Juan Bautista:*Mapas, planos y fortificaciones de Túnez.*

Madrid, Ministerio de Asuntos Exteriores - AECI, 1993.

VILAR; Juan Bautista:*Mapas, planos y fortificaciones hispánicas de Marruecos (Siglos XVI - XX).*

Madrid, Ministerio de Asuntos Exteriores - AECI, 1992.

VILLENA, Leonardo:*Evolution of fortification and poliorcetica.*

S.l, s.a.

VILLENA, Leonardo de:*List of books on fortification.*

Madrid, sin lugar ni año.

VILLENA, Leonardo de:*“Bibliografía básica de poliorcética y fortificación”*

Revista Castillos de España, Madrid, Asociación Española de Amigos de los Castillos, nº 49, abril-junio de 1965; pp. 153-190.

VILLENA, Leonardo de:*“Glosario de fortificación abaluartada en cinco lenguas”*

Revista Castillos de España, Madrid, Asociación Española de Amigos de los Castillos, número especial, septiembre de 1977, pp. 58-65.

VIOLLET - Le - DUC, Eugene:*Dictionnaire raisonné de l'architecture française, du XVe au XVIe siècle*

París, B. Bance Ve. A. Morel & Cía, 1858-1875.

VIOLLET - Le - DUC, Eugene:*Histoire d'une forteresse*

1ª ed. francesa, 1874. París, Ed. facsímil, Berger - Levrault, 1978

VOLTES BOU, Pedro:*Historia de Montjuic y su castillo.*

Barcelona, Ayuntamiento de Barcelona, 1963.

WARTOFSKY, Marx W.:*Introducción a la filosofía de la ciencia.*

2ª ed. castellana. Madrid, Ed. Alianza, 1983.

WIEBESON, Dora:

Los tratados de arquitectura. De Alberti a Ledoux.
Ed. Española. Traducción de Pilar Vázquez Alvarez.
Madrid, Ed. Blume, 1988.

WURM, Julio:

Tratado de Arquitectura militar para uso de la Academia Imperial y Real del Cuerpo de Ingenieros en Austria.
Traducción del alemán por Tomás O’Ryan.
Madrid, Imprenta del Memorial de Ingenieros, 1856.

ZAPATERO, Juan Manuel:

“América cuenta con mil fortificaciones”
Revista Castillos de España, Segunda Epoca, Número Especial, septiembre de 1977.

ZAPATERO, Juan Manuel:

La fortificación abvaluartada en América
San Juan de Puerto Rico, Instituto de Cultura Portorriqueña, 1978.

ZAPATERO, Juan Manuel:

Historia de las fortificaciones de Cartagena de Indias.
Madrid, Ed. Cultura Hispánica, 1979.

ZAPATERO, Juan Manuel:

Historia del Castillo San Lorenzo el Real de Chagre.
Madrid, Servicio Histórico Militar, Biblioteca CEHOPU, 1985.

ZAPATERO, Juan Manuel:

Las fortificaciones de Puerto Cabello.
Madrid, Ministerio de Defensa - Servicio Histórico Militar, 1988.

ZASTROW, A.:

Histoire de la fortification permanente, ou manual des milleurs systemes et manieres de fortification ...
París, 1856 (la ed. original es en alemán, Lieja, 1846)

2. Bibliografía consultada de tratados impresos siglos XV-XVIII

ALABA Y VIAMONT, Diego de:

El perfecto Capitán, instruido en la disciplina militar y nueva ciencia de la artillería

Madrid, 1590.

Ref. por Cámara Muñoz (1980)

ALBERTI, León Battista:

De re aedificatoria

Floencia, 1485.

Ref. por H. De la Croix (1963)

ALGHISI, Galasso:

Delle fortificationi libri tre

Venecia, 1570.

Ref. por Bury (1988)

BARBO, Theodoro:

Se vence el arte con el arte. Nueva fortificación ...

S.l. (Nápoles?), s.a. (1680?)

Ref. por Bonet Correa (1980)

BAYARTE CALAZANS Y AVALOS, Juan:

Contragalería o nuevo adherente a la defensa del fosso...

S.l., s.a. (1674?)

Ref. por Gutiérrez (1993)

BELAIR, Julienne:

Elemens de fortification

2ª ed. París, 1793.

Localizada por búsqueda directa en la BMMM.

BELIDOR, Bernardo:

Nouveau Cours de Mathematique

París, 1725,

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BMMM.

BELIDOR, Bernardo:

La Science des Ingenieurs dans la conduite des travaux de fortification et d'architecture civile

París, 1729.

Ref. por Biral (1985)

BELIDOR, Bernardo:

Le bombardier françois

París?, 1731.

Ref. por Arte Militar - Coimbra (1990)

BELIDOR, Bernardo:*Architecture Hydraulique ...*

París?, 1737.

Ref. Biral (1985)

BELIDOR, Bernardo:*Ouvres diverses de belidor concernant l'artillerie et la ingenierie*

Amsterdam, 1764.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la Biblioteca de Cataluña.

BELLUZZI (ó BELICI), Giovan B.:*Nuova inventione di fabricar fortezze*

Venecia, 1598.

Ref. por Bury (1988)

BENAVENTE, Nicolás de:*Conclusiones mathematicas de arquitectura militar y cosmographia...*

S.l. (Madrid?), 1704.

Ref. por Bonet Correa (1980)

BILLON, Jeremie:*Instructions militaires. Divisees en six livres*

Lyon, 1627.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BUB.

BILLON, Jeremie:*Suite des Principes de l'Art Militaire*

Lyon, 1615.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BUB.

BION, Nicolás:*Traité de la construction et des principaux usages des instruments de mathematique ...*

París, 1716.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BMMM.

BITANVIEU, Simon de:*L'Art universel de la fortification*

París, 1665.

Ref. por H. Vérin (1993)

BOSSE, A.:*La pratique du trait ... pour la copue des pierres en l'architecture*

París?, 1643.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BMMM.

BRANCACCIO, Fra'Lelio:*I carichi militari*

Amberes, 1610

Localizado por búsqueda directa en ficheros de la BUB.

BUCHOTTE, M.:*Les regles du dessein et du lavis ...*

París, 1721.

Ref. por Galcerán (1990)

BUSCA MILANESE, Gabriello:*Della architectura militare, libro primo*

Milán, 1601.

Localizado por búsqueda directa en ficheros de la BUB.

BUSCA MILANESE Gabriello:*Della expugnatione et difesa delle fortezze*

Torino, 1585.

Ref. por Bury (1988)

CARNOT, Lázaro:*De la défense des places - fortes*

París, 1776.

Ref. por H. Vérin (1993)

CASSANI, Josep:*Escuela militar de fortificación ofensiva y defensiva, arte de fuegos y escuadrónar ...*

Madrid, 1704.

Ref. por Bonet Correa (1980)

CATANEO, Girolamo:*Opera nuova di fortificare* reimpresso en Brescia (1564) con el título de*Dell arte militare libri cinque ...* Brescia, 1584.

Ref. por Bury (1988)

CATANEO SENESE, Pietro:*I Quattro Primi Libri de Architettura*

Venecia, 1554

Ref. por Kruft (1990)

CEPEDA (o ZEPEDA) Y ADRADA, Alonso:*Epitoma de la fortificación moderna, así en lo regular, reducida a la regla, y al compás, por diversos modos, y los más fáciles para mover tierra ...*

Bruselas, 1669.

Ref. por Bonet Correa (1980)

CHAFRION, Josep:*Plantas de las fortificaciones de las ciudades, plazas y castillos del Estado de Milán*

S.l., s.a. (1678?)

Ref. por Bonet Correa (1980)

DAMANT:*Maniere universelle de fortifier sur le modèle du triangle et quarré, contre les facons modernes ...*

Bruselas, 1630.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BUB.

DAVILA OREJON, Gastón:*Política y Mecánica Militar para el Sargento Mayor del Tercio...*

Madrid?, 1669.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la Biblioteca de Cataluña.

DAVILA Y HEREDIA, Andrés:*Clabel geométrico de medidas, útil y necesario a todos los artífices*

Valencia, 1669.

Ref. por Bonet Correa (1980)

DAVILA Y HEREDIA; Andrés:*Descripción de las Plazas de picardía, que confinan con los estados de Flandes, con un tratado de formar escuadrones ...*

Madrid, 1672.

Ref. por Bonet Correa (1980)

DAVILA Y HEREDIA, Andrés:*Plazas fortificadas en el ducado que era de Lorena, con un tratado de Geometría Práctica para trazar figuras regulares necesarias para el uso de las artes con unas advertencias tocantes a los vientos y distribución de las aguas ...*

S.l., s.a. (1672?)

Ref. por Bonet Correa (1980)

DEIDIER:*La Science des Geometres*

París, 1739.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BMMM.

DEIDIER:*Le Parfait Ingenieur Francois, ou la fortification offensive et defensive*

París, 1757.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BMMM.

DUFAY, L'Abbe, CAMBRAY, Chevalier de:*Varitables Manieres de bien fortifier de Vauban*

Amsterdam, 1691 (pero publicada en 1702 y 1726). No hay acuerdo sobre la fecha de la primera edición, pero sin duda es del S. XVII.

Ref. por Gutiérrez (1991)

ENCYCLOPÉDIE MÉTHODIQUE:*Encyclopédie méthodique de l'Art Militaire*

París, 1784.

Localizado por búsqueda directa en ficheros de la BUB.

ENRÍQUEZ DE VILLEGAS, Diego:*Academia de fortificación de plazas, y nuevo modo de fortificar una Plaza Real*

Madrid, 1651.

Ref. por Bonet Correa (1980)

ERRARD, Jean le-Duc:*La fortification démontrée et réduite en art*

París, 1594.

Ref. por Kruft (1990)

ESCALANTE, Bernardino:*Diálogos del arte militar*

Sevilla, 1583.

Ref. por F. de la Flor (1987)

ESCUELA DE PALAS:

Escuela de Palas o Cursos Mathematico, dividido en XI tratados que contienen ...

Milán, 1693.

Ref. por Bonet Correa (1980)

FALLOIS, Joseph:

L'Ecole de la fortification ou les élemens de la fortification permanente, réguliere et irreguliere

París, 1768.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la Biblioteca de Cataluña.

FERNÁNDEZ DE MEDRANO, Sebastián:

Rudimentos geométricos y militares que propone el estudio y aplicación de los profesores de la Milicia

Bruselas, 1677.

Ref. por Bonet Correa (1980)

FERNÁNDEZ DE MEDRANO, Sebastián:

El práctico artillero, el perfecto bombardero, y el arquitecto perfecto en el arte militar

Bruselas, 1680.

Ref. por Calderón Quijano (1985)

FERNÁNDEZ DE MEDRANO, Sebastián:

El ingeniero, primera y segunda parte ...

Bruselas, 1687.

Ref. por Bonet Correa (1980)

FERNÁNDEZ DE MEDRANO, Sebastián:

Breve descripción del mundo, o Guía Geographica de Medrano

Bruselas, 1688.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la Biblioteca de Cataluña.

FERNÁNDEZ DE MEDRANO, Sebastián:

L'ingenieur pratique ou l'Architecture Militaire et moderne, contenant la Fortification reguliere et Irreguliere, avec une nouvelle methode de l'auteur...

Bruselas, 1696.

Ref. por Bonet Correa (1980)

FERNÁNDEZ DE MEDRANO, Sebastián:

Breve tratado del ataque, y defensa en una Plaza Real y todo en verso, para mejor encargarlo a la memoria

Bruselas, s.a. (1698?)

Ref. por Bonet Correa (1980)

FERNÁNDEZ DE MEDRANO, Sebastián:

Máximas y ardides de que se sirven los extranjeros para introducirse por todo el mundo ...

Sin datos. 1700?

Transcripción en Gutiérrez (1991)

FERNÁNDEZ DE MEDRANO, Sebastián:

Los seis primeros libros, onze y doze, de los elementos del Famoso Philosopho Euclides Megareense ...

Bruselas, s.a. (1701?)

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la Biblioteca de Cataluña.

FERNÁNDEZ DE MEDRANO, Sebastián:

El Architecto Perfecto en el Arte Militar, dividido en cinco libros ...

Amberes, 1708.

Ref. por Bonet Correa (1980)

FERNÁNDEZ DE VILLAREAL, M.F.:

Architecture militaire o fortificación moderna, de Georges Fournier, compuesta, traducida y aumentada por el Capitán M.F. de VillaReal

París, 1649.

Localizada por búsqueda directa en los ficheros de la BN de Madrid.

FERRAZ, Vicente:

Tratado de Castramentación ó Arte de Campar ...

Madrid, 1800.

Ref. por Bonet Correa (1980)

FIAMELLI, Giovanni Francesco:

Il Principe Difeso

Roma, 1604.

Localizado por búsqueda en ficheros de la BMMM

FIRRUFINO, Julio César:

Plática manual y breve compendio de artillería

Madrid, 1626.

Ref. por Bonet Correa (1980)

FIRRUFINO, Julio César:

El perfecto artillero, teoría y práctica

Madrid, 1648.

Ref. por Bonet Correa (1980)

FLUDD, Robert:

“De arte militare” en Ultriusque cosmi historia

Oppenheim, 1618.

Ref. por Bury (1988)

FOLCH DE CARDONA:

Geometría militar

Nápoles, 1671.

Ref. por Bonet Correa (1980)

FOURNIER, George (S.J.):

Architectura Militar o Fortification Moderna

París, 1649.

Ref. por Biral (1985)

FRITACH, Adam:*Architectura militaris nova et aucta; oder neue vermehrte fortification*

Leyden, 1631.

Ref. por Bury (1988)

GALLON, M.:*Machines et inventions*

París, 1735.

Localizado por búsqueda directa en ficheros de la BMMM.

GARCÍA DE CÉSPEDES, Andrés:*Libro de Instrumentos Nuevos de Geometría muy necesarios para medir distancias, y alturas, sin que intervengan números como se demuestra en la práctica ...*

Madrid, 1606.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BUB.

GARCÍA DE LA HUERTA, Vicente:*Biblioteca Militar Española*

Madrid, 1760.

Ref. por León Tello (1994)

GARCÍA DE PALACIO, Diego:*Diálogos militares*

Méjico, 1583.

Ref. por Gutiérrez (1993)

GAUTIER, M.:*Traité des Ponts*

París?, 1716.

Ref. por H. Vérin (1993)

GAUTIER, M.:*Traité de la construction des chemins*

París, 1778.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la B. de la Capitanía de Barcelona.

GOLDMANN, Nicolaus:*Elemetorum architecturae militaris libri IV ...*

Lugd. Batavor, ex Officina Elseveriana, 1643.

Ref. por Biral (1985)

GONZÁLEZ DE MEDINA BARBA, Diego:*Examen de fortificación*

Madrid, 1599.

Ref. por Bury (1988)

GRACIÁN, Diego:*De re militari*

Barcelona, 1566.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BUB.

HERICOURT, M.D.:*Elemens de l'Art Militaire*

París, 1752.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BMMM.

HUARTE DE SAN JUAN, Juan:*Examen de Ingenios para las Ciencias*

Madrid, 1688.

Ref. por Rodríguez Villasante (1984)

JOMBERT, Charles Antoine:*Dictionaire de l'ingenieur*

París, 1768.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BMMM.

LABAYRU Y AZAGRA, Sebastián:*Tratado de aritmética, geografía, fortificaciones ...*

Sevilla, 1756.

Ref. por Bonet Correa (1980)

LABAYRU Y AZAGRA, Sebastián:*Tratado de artillería, armas, pertrechos, municiones, metales ...*

Sevilla, 1756?

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BUB.

LANTERI, Giacomo:*Due dialoghi ... del modo di disegnare fortezze*

Venecia, 1557.

Ref. por Bury (1988)

LANTERI, Giacomo:*Duo libri ... del modo di fare le fortificationi di terra*

Venecia, 1559.

Ref. por Bury (1988)

LARRANDO DE MAULEÓN, Francisco:*Estoque de la Guerra, y Arte Militar...*

Barcelona, 1699.

Ref. por H. Capel (1988)

LE BLOND, Guillaume:*Elementos de fortificación, en que se explican los principios, y métodos de delinear las obras de la fortificación regular e irregular, los sistemas de los más célebres ingenieros. Traducido al castellano.*

Madrid, 1739.

Ref. por Gutiérrez (1993)

LE BLOND, Guillaume:*Tratado del ataque de las plazas ... Traducción sobre la 2ª edición.*

Madrid, 1777.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la Biblioteca de Cataluña.

LE BLOND, Guillaume:

Tratado de la defensa de las plazas, con varias observaciones útiles para proceder a su reconocimiento y un breve compendio de los principios ... Traducción sobre la 2ª edición.

Madrid, 1777.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la Biblioteca de Cataluña.

LE COINTE, Jean Louis:

Ciencia de puestos militares, o tratados de las fortificaciones de campaña...

Valencia, 1770.

Ref. por Bravo Nieto (1991)

LECHUGA, Cristóbal:

Discurso ... en el que trata de la artillería ... con un tratado de fortificación...

Milán, 1611.

Ref. por F. de la Flor (1987)

LECHUGA, Cristóbal:

El Maestro de campo general, con otras obras de fortificación y artillería

Milán, 1603.

Ref. por Calderón Quijano (1985)

LUCUZE, Pedro:

Advertencias para la medida y cálculo de los desmontes para las obras de fortificación

Barcelona, 1766.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BP Arús.

LUCUZE, Pedro:

Principios de Fortificación, que contiene las definiciones de los términos principales de las obras de Plaza y de campaña ...

Barcelona, 1772.

Ref. por Bonet Correa (1980)

LUCUZE, Pedro:

Disertación sobre las medidas militares

Barcelona, 1773.

Ref. por F. de la Flor (1987)

MAGGI, Girolamo y CASTRIOTTO, Fusto:

Della fortificatione delle città

Venecia, 1564.

Ref. por Bury (1988)

MAIGRET, M.:

Traité de la sureté et conservation des Etats par le moyen des Fortresses

París, 1725.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BUB.

MALLET, Allain Manesson:

Les travaux de Mars ou l'Art de la Guerre

París, 1672.

Ref. por Rodríguez Villasante (1984)

MARCH, José Ignacio de:*Nociones militares ...*

Barcelona, 1781.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la ETSAB.

MARCHI, Francesco:*Della architettura militare*

Brescia, 1599.

Ref. por Bury (1988)

MAROLOIS, Samuel:*Opera mathematica ou oeuvres mathematiques. Traictans de geometrie, perspective, architecture et fortification ...*

Den-Haag, 1614-1617.

Ref. por Bury (1988)

MASCAMBRUNO, Antonio:*Flagello militare, diviso in quattro parti ...*

Nápoles, 1693.

Localizado por búsqueda directa ficheros de la BUB.

MENDOZA, Bernardino:*Theoría y práctica militar*

Madrid, 1595.

Ref. por Almirante (1880)

MICHAUD:*Considerations militaires et politiques sur les fortifications*

París, 1794.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BMMM.

MILLIET DESCHASLES, Perre:*L'Art de fortifier, deffendre et d'attaquer des places*

París, 1677.

Ref. por León Tello (1994)

MONTALEMBERT:*La fortification perpendiculaire*

S.l. (París?), 1777-1796.

Ref. por Biral (1985)

MULLER, John:*A treatises containing the elementary parts of fortification*

2ª ed. Londres, 1756.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BUB.

MULLER, John:*Tratado de Fortificación ó Arte de Construir los edificios militares y civiles. Escrito en inglés y traducido al castellano por Miguel Sánchez Taramas.*

Barcelona, 1769.

Ref. por Bonet Correa (1980)

MUT, Vicente:*Arquitectura militar. Primera parte de las fortificaciones regulares, y las irregulares*

Mallorca, 1664.

Ref. por Bonet Correa (1980)

NAVIA OSORIO, Alvaro (Marqués de Santa Cruz de Mercenado):*Reflexiones militares*

Turín, 1724 y ss.

Ref. por León Tello (1994)

NÚÑEZ DE VELASCO:*Diálogos de contención entre la Milicia y la Ciencia*

Valladolid, 1614.

Ref. por Almirante (1880)

OPEZINGA, Pedro:*Pensamientos militares*

Roma, 1670.

Ref. por Bonet Correa (1980)

OZANAM, Jacques:*Dictionaire mathematique, ou idée generale des mathematiques*

Amsterdam, 1691.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la Biblioteca de la Capitanía de Barcelona.

OZANAM, Jacques:*L'usage du compas ...*

París, 1700.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BP Arús.

OZANAM, Jacques:*Traité de fortification, contenant les methodes anciennes & modernes pour la construction & la deffence des places ...*

París, 1694.

Ref. por Arte Militar - Coimbra (1990)

PAGAN, Blaise:*Les fortifications*

París, 1645.

Ref. por Rodríguez Villasante (1984)

PÉREZ DE XEA, Miguel:*Preceptos militares, orden y formación de escuadrones*

Madrid, 1632.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BUB.

PERRET, Jacques:*Des fortifications et artifices, architecture et perspective*

París, 1601.

Ref. por Bury (1988)

PFEFFINGER:*Fortificaçam Moderna*

Lisboa, 1713.

Ref. por Capel (1988)

PLO Y CAMIN, Antonio:*El arquitecto perfecto ...*

Madrid?, 1767.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la ETSAB.

PRONY, Gaspard Clair de:*Nouvelle architecture hydraulique, contenant l'art d'élever l'eau au moyen de différentes machines ...*

París, 1790-96.

Ref. por Biral (1985)

PROSPERI, Félix:*La Gran Defensa. Nuevo método de fortificación, dividido en tres órdenes, a saber: doble, retozado y sencillo*

Méjico, 1744.

Ref. por Bonet Correa (1980)

PUGA Y ROJAS, Tomás:*Compendio militar...*

S.l., s.a. (1707?)

Ref. por Capel (1988)

PUISEGUR:*Instructions militaires*

París, 1659.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BP Arús.

PUYSEGUR, Mariscal de:*Art de la guerre, par principes et par régles*

París, 1749.

Ref. por H. Vérin (1993)

ROJAS, Cristóbal:*Teoría y práctica de la fortificación conforme a las medidas y defensas destes tiempos, repartidos en tres partes*

Madrid, 1598.

Ref. por Bury (1988)

ROLAND LE VIRLOYS, Charles François:*Dictionnaire d'Architecture, Civile, Militaire et Navale ...*

París, 1770.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BUB.

ROVIRA, Francisco Javier:*Compendio de matemáticas, dispuesto para las escuelas del Real Cuerpo de Artillería de la Marina*

Isla de León?, 1781-1791.

Ref. por Rodríguez Villasante (1984)

ROVIRA, Francisco Javier:*Tratado de Artillería*

S.l., 1773.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BUB.

SALA, Ignacio:*Reflexiones y Adiciones sobre la Defensa de las Plazas del Mariscal de Vauban*

Cádiz, 1743.

Ref. por Calderón Quijano (1985)

SALA, Ignacio:*Tratado de la defensa de las Plazas*

Cádiz, 1743.

Ref. por Calderón Quijano (1985)

SALAZAR, Diego de:*Diálogos del arte de la guerra*

Bruselas, 1590.

Ref. por Almirante (1876)

SANTANS Y TAPIA, Juan:*Tratado de fortificación militar*

Bruselas, 1644.

Ref. por Bonet Correa (1980)

SANZ, Raymundo:*Diccionario militar, o recolección alfabética de todos los términos propios...*

Barcelona, 1749.

Ref. por Capel (1988)

SEVIN DE QUINCY, Charles:*Arte de la guerra o máximas del arte militar, escrito en francés y traducido al castellano por D. Raymundo Ortiz*

Madrid, 1772?.

Ref. por Bonet Correa (1980)

SEVIN DE QUINCY, Charles:*Histoire Militaire du Regne de Louis le Grand, Roy de France*

París, 1726.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BUB.

SISCARA, Baltasar:*Compendio de modernas fortificaciones del R.P. Fray Genaro de Aflicto, natural de la ciudad de Nápoles ...*

Madrid, 1657.

Ref. por Bonet Correa (1980)

SPECKLE, Daniel:*Architecture von Festugen*

Estrasburgo, 1589.

Ref. por H. Vérin (1993)

STEVIN, Simon:*La Castramétation*

Leyden, 1618.

Ref. por H. Vérin (1993)

STEVIN, Simón:*La fortification - Oeuvres mathematiques ...*

Leyden, 1634.

Ref. por H. Vérin (1993)

SUÁREZ Y NÚÑEZ, Miguel Jerónimo:*Colección General de Máquinas*

Madrid, 1783.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BUB.

TENSINI, Francesco:*La fortificatione*

Venecia, 1623.

Ref. por Bury (1988)

THETI, Carlo da Nola:*Discorsi di fortificationi*

Roma, 1569.

Ref. por Bury (1988)

TOSCA, Tomás Vicente:*Compendio matemático*

Valencia, 1712.

Ref. por León Tello (1994)

TRINCANO, Didier - Gregorie:*Traité complet d'arithmétique a l'usage de l'école militaire de la compagnie des Chevaux - légers de la garde ordinaire du roi ...*

París, 1781.

Ref. por Arte Militar - Coimbra (1990)

TRINCANO, M:*Elemens de fortification de l'Attaque et de la defense des places ... avec un dictionnaire des termes de fortification de guerre & de artillerie ...*

París, 1786.

Ref. por Calderón Quijano (1985)

VALTUARIO, Roberto:*De re militari, libri XII*

Verona, 1472.

Ref. por Kruft (1990)

VAUBAN, Sebastián P.:*De l'Attaque et de la Deffense des Places*

La Haya, 1737.

Ref. por Calderón Quijano (1985)

VEGECIO, Flavio Renato:*De re militaris*

Se han consultado las ediciones de:

SCRIVERIO, Petro (Roma, 1607), Stewechii (Vesalia, 1670), así como la traducción castellana de VIANA, Jayme (1764).

Ref. por Kruft (1990)

VIANA, Jayme de:*Instituciones militares de Flavio Vegecio Renato, traducidas del latín al castellano por D. Jayme de Viana*

Madrid, 1764.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la Biblioteca de Cataluña.

VILLE, Antoine:*De la charge des gouverneurs des places*

París, 1666.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BUB.

VILLE, Antoine:*Les fortifications*

Lyon, 1628.

Ref. por Bury (1988)

VILLENUEVE, Bardet de:*La tactique ou l'Art de ranger des bataillons et de faire a une armée en campagne*

La Haya, 1740.

Localizado por búsqueda directa ficheros de la BUB.

WALLHAUSEN, Johan Jacob van:*L'Art Militaire pour l'infanterie*

Oppenheim, 1615.

Localizado por búsqueda directa en los ficheros de la BUB.

ZANCHI, Giovanni B.:*Del modo di fortificar le città*

Venecia, 1554.

Ref. por Bury (1988)

ZARAGOZA, Josep:*Fábrica y uso de varios instrumentos matemáticos*

Madrid, 1675.

Ref. por F. de la Flor (1987)

3. Bibliografía de manuscritos consultados

Bibliotecas: BCat (Biblioteca de Cataluña); BUB (Biblioteca de la Universidad Central de Barcelona); BPArús (Biblioteca Pública Arús - Barcelona); BN (Biblioteca Nacional); BCM (Biblioteca Central Militar), BCP (Biblioteca del Castillo de Peralada, Figueres)

ANÓNIMO:

Ordenes militares de diferentes partes...

Nac.: Esp.; sin datación,
BCat., N° 157.

ANÓNIMO:

Reflexiones militares...

Nac.: Esp.; sin datación;
BUB, N° 427.

ANÓNIMO:

Arquitectura y máquinas militares

Nac.: Esp.; sin datación;
BN, N° 210.

ANÓNIMO:

Tratado de fortificación o arquitectura militar.

Sin datos - BCat. N° 536.

ANÓNIMO:

Curso matemático para la instrucción de los militares.

Sin datos - BCat. N° 3463.

ANÓNIMO:

Tratado tercero de la geometría práctica.

Sin datos - BCat. N° 3554.

ANÓNIMO:

Tratado de la fortificación.

Sin datos - BCat. N° 3556.

ANÓNIMO:

Tratado cuarto de la fortificación.

Sin datos - BCat. N° 3557.

ANÓNIMO:

Tratado segundo: de la geometría especulativa.

Copista: Márquez y Aguilar, Francisco Sanpons - BUB N° 1688.

ANÓNIMO:

Curso matemático para la instrucción de militares.

Sin datos - BUB N° 406.

ANÓNIMO:

Compendio matemático para la instrucción de los ingenieros militares...

Comprende 3 volúmenes que contienen 8 tratados - BCM N° G-6-1.

ANÓNIMO:

Academia militar ...

Contiene los tratados 3 (Trigonometría), tratado 7 (estática) y apéndice sobre óptica. - BMMM - A10 - E01

ANÓNIMO:

Tratado 6, de la estática.

Perteneció a Juan Soler y Faneca, arquitecto del Rey - UPC, ETSAB, R531.2

ANÓNIMO:

Recopilación de los principales sucesos acaecidos en la construcción de la Plaza de San Fernando ...

Siglo XVIII - BCP

ANÓNIMO:

Tratado cuarto de la fortificación.

Sin datos - BCat. N° 3793.

ARCHIVO CENTRAL MILITAR:

Planos varios de la Plaza de Figueras

Siglo XVIII, Sección A, Grupo VII, Subgrupo IV, del N° 9478 al N° 9533 - ACM.

ARCHIVO DE LA CORONA DE ARAGÓN:

Cartas y relaciones varias

Siglo XVIII, Fondos de la Comandancia de Ingenieros, Serie Personal - ACA

BOULIGNY, Juan:

Tratado octavo. De la arquitectura civil.

Barcelona, 1778, dictado por Claudio Martel - COAM Ms. XIX-82

BURRIVA DE MORERA, Jacinto:

De la fortificación o arquitectura militar ...

Nac.: Esp.; sin datación;

BUB, N° 409.

CABRER, Carlos:

Curso matemático para la instrucción de militares ...

Barcelona, 1775 - BCM N° G-9-9.

CALABRO, Mateo:

Tratado de fortificación

Nac.: Esp.; 1733;

Ed. facsímil, Universidad de Salamanca, 1991.

CALABRO, Mateo:

Escuela de matemática, definición y división de la matemática ...

Nac.: Esp.; siglo XVIII,

BN, N° 6901.

CONDE, Jayme:*Breve noticia de las más principales reglas del diseño militar ...*

Nac.: Esp.; sin datación;
BUB, N° 530.

COSCON, Luis*Expugnación de plazas ...*

Nac.: Esp.; 1629;
BN, N° 9565.

ESCRIVA, Luis:*Apología en excusación y favor de las fábricas del Reino de Nápoles ...*

Nac.: Esp.; siglo XVI;
BN, N° 2582.

FACCIOTTO, Bernardino:*La nova maniera de fortificacione...*

Nac.: Ita.; 1570;
Transcripción publicada por Aldo Casamento. Revista *Storia della Città*, N° 10, primer trimestre, 1979, pp. 75 - 88.

FERNÁNDEZ DE ESPINOSA, Juan:*Libro del arte militar ...*

Nac.: Esp.; 1559;
BN, N° 7470.

LUCUZE, Pedro:*Curso para ingenieros militares ...*

Barcelona, 1760, comprende 7 volúmenes - BCM N° 18-3-18.

MARCHI, Francesco:*Tratado de arquitectura militar*

Nac.: Ita.; 1546; dedicado a Felipe II y probablemente publicados posteriormente en Brescia, según Gutiérrez (1972).
BN, N°s. 12730, 12684, 12685.

MARTINI, Francisco di Giorgio:*Trattato di architettura civile e militare...*

Nac.: Ita.; siglo XV; Editado por Cesare Saluzzo con introducción de Carlo Promis (Torino, 1841); reeditado por C. Maltese (Milano, 1967); editado por Marani (Florenca, 1980).

MARTIR ANGLES, Pedro:*Asuntos militares ...*

Nac.: Esp.; sin datación;
BUB, N° 472.

PERUZZI, Baldassare:*Trattato di architettura militare...*

Nac.:Ita.; siglo XVI; Transcripción publicada por Alessandro Parronchi, Florenca, 1982.

PERVIN:*Tratado de fortificación y trigonometría ...*

Nac.: Esp.; sin datación;
BN, N° 9792, 9793.

ROJAS, Cristóbal:*Sumario de la milicia antigua y moderna*

Nac.: Esp.; 1607; Transcripción que acompaña la ed. facsímil de "Teoría y práctica de la fortificación..." con introducción de Gutiérrez. Madrid, CEHOPU, 1985.

ROSSETTI, Donato:*Fortificazione a rovescio*

Nac.: Ita; sin datación; Transcripción del mismo tratado.
BCat.; N° 537.

SAN JUAN, Juan de:*Señales para un día de batalla y otros papeles ...*

Nac.: Esp.; sin datación;
BCat., N° 757.

UÇENDA, Domingo:*Theoria y platica de la fortificación...*

Nac.: Esp.; sin datación;
BCat.; N° 535

VALCARCE MENDOZA, José:*Curso matemático para la instrucción de los militares ...*

Barcelona, 1757, comprende sólo el primer curso - BPArús N° R-3-3-82.

ZARA, Antonio:*Tratado de fortificación ...*

Barcelona, 1775 - BCM N° G-9-10

ZERMEÑO, Juan Martín:*Razones que se han tenido presentes en la formación del proyecto ...*

1753, San Fernando de Figueras, BCP.

INDICE DE TRATADISTAS ORDENADO POR AÑO DE PUBLICACIÓN Y
TÍTULO DE LIBRO

Año de publicación	Autor <i>Libro</i>	Página del texto
1472	Roberto Valtuario <i>De Re Militari libri XII</i>	27, 219
1485	León B. Alberti <i>De re aedificatoria</i>	25, 27, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 46, 85, 126, 128, 129, 204, 206
1554	Giovanni Zanchi <i>Del modo di fortificar le città.</i>	35, 37, 38, 49, 62, 220
1554	Pietro Cataneo <i>I Quattro Primi Libri de Architettura</i>	37, 60
1557	Giacomo Lanteri <i>Due dialoghi...del modo di disegnare fortezze.</i>	37, 38
1559	Giacomo Lanteri <i>Due libri ... del modo di fare fortificationi di terra</i>	37, 38
1564	Girolamo Cataneo <i>Opera nuova di fortificare.</i>	40
1564	Girolamo Maggi <i>Della fortificatione delle città.</i>	41
1570	Galasso Alghisi <i>Delle fortificationi libri tre</i>	206
1583	Bernardino de Escalante <i>Diálogos del arte militar</i>	51, 174, 209
1583	Diego García de Palacio <i>Diálogos militares</i>	51, 212
1585	Gabrielo Busca <i>Della expugnatione et difesa delle fortezze.</i>	43, 44, 45, 46, 49, 52, 174, 208
1589	Daniel Speckle <i>Architectura von festugen</i>	49, 79, 218
1590	Alaba y Viamont <i>El perfecto capitán</i>	51, 174, 206
1590	Diego de Salazar <i>Diálogos del arte de la guerra.</i>	51, 105, 218
1594	Jean Errard-le-Duc <i>La fortification demonstrée et reduicte en art.</i>	62, 63, 64, 65, 66, 67, 72, 99, 119, 174, 209
1595	Bernardino Mendoza <i>Teoría y práctica militar</i>	51, 105, 169, 174, 215
1598	Giovanni Belluzzi <i>Nuova inventione di fabricar fortezze.</i>	207
1598	Cristóbal de Rojas <i>Teoría y práctica de la fortificación.</i>	51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 69, 122, 169, 199, 217, 224
1599	Francesco di Marchi <i>Della architettura militare.</i>	43, 46, 47, 48, 49, 174, 215, 223
1599	Diego G. de Medina Barba <i>Examen de fortificación.</i>	51, 57, 174, 212
1601	Jacques Perret <i>Des fortifications et artifices, architecture et perspective.</i>	62, 67, 216
1601	Gabriello Busca <i>Della architettura militare</i>	43, 44, 45, 46, 49, 52, 174, 208
1603	Cristóbal Lechuga <i>El maestro de campo general ...</i>	62, 80, 81, 83, 174, 214

1604	Francisco Fiamelli <i>Il principe difeso.</i>	50, 211
1610	Fra'Lelio Brancaccio <i>I carichi militari</i>	207
1611	Cristóbal Lechuga <i>Discurso...con un tratado de fortificación.</i>	62, 80, 81, 83, 174, 214
1614	Samuel Marolois <i>Opera mathematica...</i>	62, 67, 75, 76, 77, 84, 123, 165, 215
1614	Núñez de Velasco <i>Diálogos de contención entre la milicia y la ciencia</i>	80, 216
1615	J.J. van Wallhausen <i>L'art militaire...</i>	220
1615	Jeremie de Billón <i>Suite des principes de l'Art militaire</i>	62, 207
1618	Simon Stevin <i>La castramentation</i>	6, 23, 62, 64, 84, 219
1618	Robert Fludd <i>De arte militari.</i>	100, 101, 211
1623	Francesco Tensini <i>La fortificatione.</i>	49, 219
1626	Julio César Firufino <i>Plática manual y breve compendio de artillería.</i>	80, 106, 169, 174, 211
1628	Antoine De Ville <i>Les fortifications...</i>	6, 62, 67, 68, 70, 71, 84, 105, 174, 220
1630	Damant <i>Maniere universelle de fortifier...</i>	61, 208
1630	A. Fritach <i>Architectura militaris..</i>	77, 78, 79, 82, 83, 84, 149, 212
1632	Miguel Pérez de Xea <i>Preceptos militares...</i>	5, 216
1634	Simon Stevin <i>La fortification...</i> la primera edición en flamenco sería de 1584, la presente corresponde a la edición francesa	6, 23, 62, 64, 84, 219
1643	A. Bosse <i>La pratique du trait.</i>	207
1643	Nicolaus Goldman <i>Elementorum architecturaremilitaris...</i>	62, 212
1644	Juan Santans y Tapia <i>Tratado de fortificación militar.</i>	80, 81, 82, 83, 218
1645	Pagan <i>Les fortifications.</i>	72, 98, 111, 216
1648	Julio César Firrufino <i>El perfecto artillero. Teoría y práctica.</i>	80, 106, 169, 174, 211
1649	George Fournier <i>Arquitectura militar o fortificación moderna... en original y en la traducción de Diego Fernández de Villa Real: Architecture militaire (1649)</i>	76, 78, 91, 92, 98, 211
1650	Jerónimo María Afflitto <i>Trattato delle moderne fortificationi... en la traducción de Baltasar Siscara: Compendio de modernas fortificaciones (1657)</i>	81, 91, 93, 98, 169, 218
1651	Diego Enriquez de Villegas <i>Academia de fortificación de plazas ...</i>	77, 80, 174, 209

1659	Puisegur <i>Instruccions militars.</i>	217
1664	Vicente Mut <i>Arquitectura militar...</i>	80, 83, 84, 85, 86, 88, 106, 174, 216
1665	S. de Bitanvieu <i>L'art universel de la fortification.</i>	61, 207
1666	De Ville <i>De la charge des gouverneurs des places la primera ed. sería de 1639.</i>	6, 62, 67, 68, 70, 71, 84, 105, 174, 220
1669	Fco. Dávila Orejón <i>Política y mecánica militar...</i>	80, 208
1669	Alonso Cepeda y Adrada <i>Epítoma de la fortificación moderna...</i>	80, 83, 86, 88, 208
1669	Andrés Dávila Heredia <i>Clabel geométrico de medidas ...</i>	23, 80, 103, 209
1670	Pedro Opezinga <i>Pensamientos militares.</i>	80, 216
1671	Pedro Folch de Cardona <i>Geometría militar.</i>	61, 80, 174, 211
1672	Allain Manesson Mallet <i>Les travaux de mars ou l'art de la guerre.</i>	72, 74, 149, 174, 214
1672	Andrés Dávila Heredia <i>Descripción de las plazas de Picardía ...</i>	23, 80, 103, 209
1672?	Andrés Dávila Heredia <i>Plazas fortificadas en el ducado que era de Lorena...</i>	23, 80, 103, 209
1674	Juan Bayarte Calzans <i>Contragalería o nuevo adherente a la defensa del foso ...</i>	80, 89, 206
1675	José de Zaragoza <i>Fábrica y uso de varios instrumentos matemáticos.</i>	76, 81, 91, 93, 94, 97, 98, 101, 155, 174, 220
1677	S. Fernández de Medrano <i>Rudimentos geométricos y militares...</i>	10, 80, 97, 107, 117, 118, 119, 120, 123, 124, 149, 151, 165, 169, 174, 177, 210, 211
1677	Pere Milliet-Deschaies <i>L'Art de fortifier, deffendre et d'attaquer des places.</i>	91, 98, 99, 108, 177, 215
1678?	José Chafrion <i>Plantas de las fortificaciones ...</i>	80, 208
1680?	Teodoro Barbo <i>Se vence el arte conel arte. Nueva fortificación.</i>	80, 89, 90, 152, 194, 206
1680	S. Fernández de Medrano <i>El práctico artillero, el perfecto bombardero...</i>	10, 80, 97, 107, 117, 118, 119, 120, 123, 124, 149, 151, 165, 169, 174, 177, 210, 211
1687	S. Fernández de Medrano: El ingeniero, primera y segunda parte...	10, 80, 97, 107, 117, 118, 119, 120, 123, 124, 149, 151, 165, 169, 174, 177, 210, 211
1691	Du Fay <i>Varitables manieres de bien fortifier de Vauban</i> Publicado en 1702 y 1726	106, 108, 112
1693	Antonio Mascambruno <i>Flagello militare ...</i>	35, 215
1693	Escuela de Palas <i>Escuela de Palas o curso matemático...</i>	61, 81, 93, 124, 210
1694	J. Ozanam <i>Traité de fortification ...</i>	99, 100, 101, 106, 174, 177, 216

1696	S. Fernández de Medrano <i>L'ingenieur pratique ou l'architecture militaire...</i>	10, 80, 97, 107, 117, 118, 119, 120, 123, 124, 149, 151, 165, 169, 174, 177, 210, 211
1698?	S. Fernández de Medrano <i>Breve tratado del ataque y defensa en una plaza real...</i>	10, 80, 97, 107, 117, 118, 119, 120, 123, 124, 149, 151, 165, 169, 174, 177, 210, 211
1699	Francisco Larrando de Mauleón <i>Estoque de la guerra y arte militar</i>	80, 83, 88, 171, 174, 213
1700	S. Fernández de Medrano <i>El arquitecto perfecto en el arte militar...</i>	10, 80, 97, 107, 117, 118, 119, 120, 123, 124, 149, 151, 165, 169, 174, 177, 210, 211
1704	José Cassani <i>Escuela militar de fortificación ofensiva y defensiva...</i>	91, 98, 208
1704	Nicolás de Benavente <i>Conclusiones matemáticas de arquitectura militar...</i>	91, 98, 207
1707?	Tomás Puga y Rojas <i>Compendio militar...</i>	3, 7, 11, 174, 217
1712	Vicente Tosca <i>Compendio matemático.</i>	2, 76, 78, 91, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 106, 174, 177, 219
1713	Pfeffinger <i>Fortificaçam Moderna</i>	108, 217
1716	Gautier <i>Traité des ponts</i>	32, 126, 127, 128, 129, 130, 140, 145, 165, 174, 212
1724	Alvaro Navia Osorio <i>Reflexiones militares</i>	174, 216
1725	B.F. Belidor <i>Nouveau cours de mathematique.</i>	2, 7, 10, 104, 108, 109, 110, 115, 116, 125, 126, 127, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 145, 150, 152, 160, 161, 163, 166, 174, 176, 177, 178, 179, 180, 184, 206, 207
1729	B. F. Belidor <i>La science des ingénieurs...</i>	2, 7, 10, 104, 108, 109, 110, 115, 116, 125, 126, 127, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 145, 150, 152, 160, 161, 163, 166, 174, 176, 177, 178, 179, 180, 184, 206, 207
1737	B. F. Belidor <i>Architecture Hydraulique ...</i>	2, 7, 10, 104, 108, 109, 110, 115, 116, 125, 126, 127, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 145, 150, 152, 160, 161, 163, 166, 174, 176, 177, 178, 179, 180, 184, 206, 207
1737	Vauban <i>De l'attaque et de la defense des places.</i>	10, 60, 99, 104, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 114, 115, 116, 117, 119, 136, 138, 139, 140, 143, 152, 155, 158, 159, 160, 161, 162, 165, 171, 174, 191, 195, 209, 218, 219
1739	Deidier <i>La science des geometres.</i>	61, 91, 98, 99, 174, 209

1739	Guillaume Le Blond <i>Elementos de fortificación...</i>	109, 161, 174, 213, 214
1740	Bardet de Villeneuve <i>La tactique ou l'Art de ranger...</i>	220
1743	Ignasio Sala <i>Tratado de la defensa de las plazas.</i>	108, 114, 115, 174, 218
1743	Ignasio Sala <i>Reflexiones y adiciones sobre la defensa de las plazas...</i>	108, 114, 115, 174, 218
1744	Félix Prósperi <i>La gran defensa...</i>	6, 10, 152, 155, 156, 157, 158, 160, 166, 167, 217
1749	Mariscal de Puysegur <i>Art de la guerre.</i>	158, 159, 174, 217
1749	Raymundo Sanz <i>Diccionario militar...</i>	161, 174, 218
1756	John Muller <i>A treatises containing the elementary parts of fortifications.</i>	138, 139, 140, 141, 143, 144, 145, 167, 215
1756	S. Labayru y Azagra <i>Tratado de aritmética, geografía, práctica, fortificaciones ...</i>	161, 213
1757	Deidier <i>Ingenieur francois</i>	61, 91, 98, 99, 174, 209
1760	Vicente García de la Huerta <i>Bibliotheca militar española ...</i>	161, 212
1764	Belidor <i>Ouvres diverses...</i>	2, 7, 10, 104, 108, 109, 110, 115, 116, 125, 126, 127, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 145, 150, 152, 160, 161, 163, 166, 174, 176, 177, 178, 179, 180, 184, 206, 207
1764	Vegetius <i>Epitoma rei militaris en la traducción de Jayme de Viana: Instituciones militares</i>	1, 14, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 30, 31, 32, 33, 37, 151, 174, 220
1766	Pedro de Lucuze <i>Advertencia para la medida y cálculo de los desmontes ...</i>	7, 142, 151, 161, 168, 170, 171, 172, 174, 175, 176, 177, 179, 181, 182, 183, 184, 185, 187, 214, 223
1767	Antonio Plo y Camín <i>El arquitecto perfecto, civil y militar.</i>	161
1768	Joseph de Fallois <i>L'Ecole de la fortification...</i>	7, 161, 210
1768	Charles A. Jombert <i>Dictionaire de l'ingenieur.</i>	161, 213
1769	John Muller / Taramas <i>Tratado de fortificación ...</i>	106, 126, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 161, 167, 170, 171, 174, 184, 215
1770	J.L. Le Cointe <i>Ciencia de puestos militares o tratado de las fortificaciones ...</i>	161, 214
1770	Charles F. Roland le Virloys <i>Dictionaire d'architecture civile, militaire et navale...</i>	217
1772?	Charles Sevin de Quincy <i>Arte de la guerra</i>	161, 218

1772	Pedro de Lucuze <i>Principios de fortificación...</i>	7, 142, 151, 161, 168, 170, 171, 172, 174, 175, 176, 177, 179, 181, 182, 183, 184, 185, 187, 214, 223
1773	Pedro de Lucuze <i>Disertación sobre las medidas militares...</i>	7, 142, 151, 161, 168, 170, 171, 172, 174, 175, 176, 177, 179, 181, 182, 183, 184, 185, 187, 214, 223
1776	L. Carnot <i>De la défense des places fortes.</i>	159, 160, 161, 208
1777	Montalembert <i>La fortification perpendiculaire.</i>	10, 152, 158, 159, 160, 215
1777	Guillaume Le Blond <i>Tratado de la defensa de las plazas...</i>	109, 161, 174, 213, 214
1777	Guillaume Le Blond <i>Tratado del ataque de las plazas...</i>	109, 161, 174, 213, 214
1781	Trincano <i>Traité complet d'arithmetique a l'usage de l'école militaire ...</i>	161, 174, 219
1781	José Ignacio de March <i>Nociones militares...(complemento al libro de Lucuze).</i>	161, 181, 183, 215
1784	Encyclopédie methodique de l'Art militaire AA. VV.	209
1786	Trincano <i>Elemens de fortification ...</i>	161, 174, 219
1790	Gaspard Clair de Prony <i>Nouvelle Architecture Hydraulique...</i>	126, 144, 145, 146, 147, 166, 217
1793	Julienne Belair <i>Elemens de fortification.</i>	153, 161, 206
1800	Vicente Feraz <i>Tratado de castramentación...</i>	5, 161, 170, 184, 211