

Un modelo de arquitectura militar española de la Ilustración: Taxonomía de los almacenes de pólvora (siglos XVIII-XIX)

A model of Spanish military architecture of the Enlightenment: Taxonomy of military engineers' gunpowder magazine projects in the 18th-19th centuries

Cinta Lluís-Teruel  Universitat Internacional de Catalunya. España. cintalluis@uic.es (autor de contacto)
Josep Lluís i Ginovart  Universitat Internacional de Catalunya. España. jluis@uic.es
Antonio Bravo Nieto  Universidad Nacional de Educación a Distancia. España. anieto4@hotmail.com
Sergio Ramírez González  Universidad de Málaga. España. ramirezgonzalezs@hotmail.com

RESUMEN

La construcción de almacenes de pólvora en la España de los siglos XVIII-XIX es un fiel reflejo de la mecánica constructiva de la Ilustración en los diferentes dominios de la Monarquía Hispánica, desarrollada por los ingenieros militares. La clasificación morfológica y tipológica de 271 proyectos de almacenes, custodiados en diferentes archivos españoles, nos permite una lectura cronológica de tales edificios adecuada para entender su evolución. Dentro de la gran variedad de modelos existentes puede establecerse el momento álgido en la realización de estos trabajos entre 1715-1755, en virtud de la utilización de bóvedas de cañón a prueba de bomba. A partir de estas fechas se imponen ejemplos de obras de fábrica con estructuras de madera más sencillas, hasta el punto de sacrificar el concepto de la resistencia de las bóvedas por la estrategia de aumentar los recintos de protección de los almacenes y alejarlos fuera de las plazas fortificadas.

Palabras clave: Polvorín; bóvedas; catenaria; ingenieros militares; mecánica científica; arquitectura militar.

ABSTRACT

The construction of gunpowder stores in Spain (XVIII - XIX) is a faithful reflection of the construction mechanics of the Illustration in the different domains of the Hispanic monarchy developed by military engineers. The morphological and typological classification of the projects kept in the Spanish archives allows a chronological reading of the powder magazines, and at the same time makes it possible to understand the evolution of these constructions. In conclusion, it is established that the peak of these projects was between 1715-1755 using bomb-proof barrel vaults. From this date onwards, structurally simpler models of masonry with wooden structures were imposed, changing the concept of the strength of the vaults for a strategy of increasing the protective enclosures, and moving the gunpowder stores away from the fortified squares.

Keywords: Powder magazines; vaults; catenary; military engineers; scientific mechanics; military architecture.

Cómo citar este artículo/Citation: : Cinta Lluís-Teruel, Josep Lluís i Ginovart, Antonio Bravo Nieto, Sergio Ramírez González (2024). Un modelo de arquitectura militar española de la Ilustración: Taxonomía de los almacenes de pólvora (siglos XVIII-XIX). Informes de la Construcción, 76(574): 6656. <https://doi.org/10.3989/ic.6656>

Copyright: © 2024 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Recibido/Received: 07/11/2023
Aceptado/Accepted: 07/05/2024
Publicado on-line/Published on-line: 01/10/2024

1. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Durante mucho tiempo, la historia referente a la arquitectura canónica subestimó el estudio de la arquitectura militar, relegándola a un plano de análisis limitado en el que sólo se consideraban sus aspectos meramente defensivos o castrenses, y donde otras reflexiones edilicias parecían estar ausentes del debate historiográfico. En los últimos años el esfuerzo de algunos investigadores se ha dirigido precisamente a dar respuesta a este asunto; sin embargo, resulta evidente que aún hoy día se encuentra realmente lejos de llegar al nivel de conocimiento y debate teórico que otros ámbitos de la arquitectura tienen.

Por otra parte, esta visión sobre la arquitectura militar parecía centrarse casi de manera exclusiva en el estudio de murallas, torreones y baluartes, de modo que se interesaba mucho menos en otros aspectos, caso de sus técnicas constructivas o el análisis de edificios levantados por ingenieros militares que formaban parte de cualquier ciudad o plaza fuerte: almacenes, aljibes, almacenes de pólvora e, incluso, iglesias.

Hay que destacar estudios pioneros como el de *Los Ingenieros militares en España, siglo XVIII: repertorio biográfico e inventario de su labor científica y espacial* de Horacio Capel (1) o la participación de Alicia Cámara Muñoz en la obra colectiva *La città e le mura* (2) en el campo de la historia de la arquitectura, hasta el punto de vincular las obras de los ingenieros militares en la estrategia de poder de monarcas como Felipe II o Carlos III. A los que a partir de aquí se han sumado en los últimos decenios una amplia nómina de historiadores del arte, geógrafos y arquitectos. Estos han trabajado para una mejor comprensión de este capítulo de la propia historia de la arquitectura, así como para el conocimiento y la formación de sus autores, los ingenieros militares.

La investigación se centra sobre un modelo arquitectónico concreto, el de los almacenes de pólvora. Al margen de su fijación, más o menos amplia, en los diferentes tratados de fortificación de los siglos XVIII y XIX, no son muchas las investigaciones recientes sobre estos edificios. Es más, podemos afirmar que una parte de ellas se deben a la necesidad práctica de documentar trabajos de restauración y rehabilitación como elementos del patrimonio protegido en España y diferentes países de América, Norte de África y Filipinas, que requerían un estudio previo del monumento. Hoy día conocemos algunos trabajos, curiosamente más numerosos en el ámbito americano como ocurre con Valparaíso y Cusco (3-5). En España la nómina es muy reducida, destacando un estudio sobre un almacén en Canarias (6), los repuestos de pólvora de Melilla (7), una intervención sobre el almacén de Figueras (8), las tipologías de almacenes en la segunda mitad del siglo XIX (9) o sobre aspectos de la mecánica ilustrada en su construcción (10).

Por su parte, otros autores han abordado el tema de los almacenes de pólvora en estudios generales sobre plazas fortificadas o trabajos acerca de ingenieros militares concretos, pero sin acometer un análisis individual o específico al respecto.

En definitiva, creemos oportuno plantear una visión general sobre esta tipología edificatoria, intentado englobar todos los proyectos localizados en diferentes archivos españoles, sin limitación geográfica. De esta manera, nos ofrece una amplia representación sobre la que poder trabajar y obtener resulta-

dos, que permite conocer mejor esta tipología arquitectónica y las técnicas constructivas que estuvieron en su base.

2. EL ALMACÉN DE PÓLVORA EN LA TRATADÍSTICA DEL SIGLO XVIII

El proyecto constructivo en la arquitectura militar revela siempre la complejidad de la estrategia defensiva de las plazas fortificadas y la protección de un país. Una de las piezas esenciales para la buena guarda de una plaza fueron los almacenes de pólvora, que debían abastecer a la imprescindible artillería de una forma racional y operativa. Estas construcciones *ex novo*, complementaron o sustituyeron la costumbre de situarlos en cavidades naturales o bajo tierra, así lo aconseja el jesuita José Cassani (1673-1750) (11).

Dada la peculiaridad resistente de las referidas construcciones, los almacenes del siglo XVIII representan un claro exponente de la aplicación de la mecánica ilustrada en España por parte del Cuerpo de Ingenieros Militares creado en 1711 (12). Esta cultura científica se ve reflejada en la amplia tratadística específica de la arquitectura militar, muchas de cuyas obras se custodian en la Biblioteca de la Academia de Matemáticas de Barcelona (1720) (13) o bien, en las bibliotecas particulares de los propios ingenieros militares como Jorge Prosper Verboom (1665-1744) (14), Ricardo Clemente Aedo Espinosa (+1787), Ailmer Burgo (+1788), Pedro Martín Cermeño (1722-1790) o Miguel de Roncali (+1794) (15).

La primera definición morfológica de los almacenes de pólvora empleados por Sébastien Le Prestre, Señor de Vauban (1633-1707), aparecerá en 1691 en la *Maniere de fortifier selon la methode de Monsieur de Vauban*, editada por el abad Du Fay y a la que el propio Vauban dio su consentimiento (16). En esta obra aparece la planta de un almacén protegido por un recinto exterior y con una sección de muro dotada de la característica ventilación contra impacto. Está cubierto con bóveda de cinco a seis pies de toesa, aunque no se muestra definida geométricamente, a la que recubre para estar a prueba de bomba con una capa de tierra de seis pies (17) (Figura 1.a). Esta tipología se incluirá de nuevo en la edición de 1693, pero presentando la sección constructiva de una bóveda de cañón, con paredes reforzadas mediante contrafuertes (18) (Figura 1.b). Cronológicamente se muestra una estructura similar al edificio recomendado por Vauban en la *Escuela de Palas à sea Curso Mathematico* (1693), atribuido a José Chafrion (1653-1698) (19) (Figura 1.c). A su vez, Bernard Forest de Belidor (1698-1761), recoge el almacén de Vauban en *La science des ingénieurs* (1729), con unas bóvedas que presentan cuatro roscas de ladrillo, provistas de relleno de mampostería hasta alcanzar un total de ocho pies (Figura 1.d) (20).

La obra de Belidor es publicada por John Müller (1699-1784) como *A treatise containing the elementary part of fortification, regular and irregular. For the use of the Royal academy of artillery at Woolwich* (1755), en la que tratará de los *Of Powder-Magazines* (21) (Figura 1.e). Este tratado fue traducido para el uso de la Academia de Matemáticas de Barcelona por Miguel Sánchez Taramas (1769), bajo el título *Tratado de fortificación, ó Arte de construir los edificios militares, y civiles*. Reflexiona John Müller que las bóvedas de cañón soportan mejor los impactos de las bombas que las de forma gótica y que han de ser de mampostería o de ladrillo, dispuesto en tres roscas y con un espesor de tres pies con rel-

leno total de nueve, siguiendo la tradición de Vauban (22). En los *Principios de fortificación* (1772) realizado por Pedro Lucuze (1692-1779) para el mismo uso de la Academia, los define en el Capítulo XIX dedicado a «Edificios principales» (23) (Figura 1.f). Estos tratados forman la base en la que se apoyará la metodología de la clasificación.

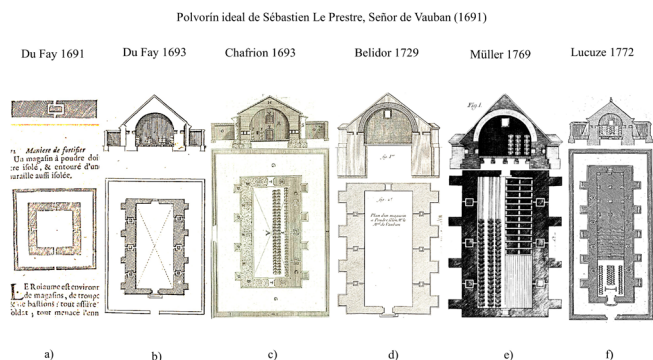


Figura 1. Referencias del almacén de pólvora ideal de Vauban

Por último, merece la pena revisar brevemente cómo a lo largo del siglo XIX se descartan todas estas prescripciones y se hace necesario evolucionar hacia nuevos modelos y tipologías para construir estos edificios, debido a la vertiginosa transformación del alcance y potencia de las armas de fuego, que sitúa el debate en aspectos bien diferentes. En esa centuria se buscaban nuevos prototipos, algunos transformando los parámetros anteriores y otros modificándolos totalmente.

A mediados de este siglo, se convirtió en preocupación de primer orden para el Cuerpo de Ingenieros encontrar el modelo adecuado para construirlos. Por esta razón, se formó una comisión de ingenieros españoles que, en 1847, visitó varios países para analizar las características de edificios militares que se empleaban en ellos (24).

Los resultados de esta comisión se publicaron en 1849 (25), llegando a conclusiones a veces dispares centradas en si debían tener o no contrafuertes exteriores o interiores (como proponía el ingeniero holandés Johannes Gerrit Willem Merkes, 1798-1859), o en la forma de su planta; rectangular, ovalada, circular. De todas formas, desde mediados del siglo XIX los vertiginosos avances en el poder de la artillería y de la técnica constructiva y de materiales, relegan todos estos ensayos y aportaciones de una forma rápida y contundente.

El peso de los hechos superaba el desconcierto que se evidenciaba en los diferentes artículos que se publicaron por entonces: Saturnino Rueda (1852) (26), Eduardo Martín y Pérez (1860) (27) y Emilio Cazorla y Prast (1872) (28), entre otros. Sin embargo, no podemos olvidar que todos estos trabajos del siglo XIX representan un importante interés por el almacén de pólvora, que adquiriría entonces como edificio singular una destacable atención y estudio por parte de los más relevantes ingenieros militares del momento.

3. TAXONOMÍA DE PROYECTOS EN ARCHIVOS ESPAÑOLES

La clasificación morfológica y tipológica de estos almacenes nos permite establecer una secuencia formal, geográfica y cronológica de su construcción, que, a su vez, complementa

el conocimiento técnico de la estrategia histórica defensiva. Por ello, se han estudiado hasta el momento un total de 528 proyectos y dibujos¹ en archivos hispánicos (29), lo que nos permite una inicial y exhaustiva selección.

En una primera catalogación se han primado los documentos que, al menos, disponen de una planta y sección precisa del edificio, seleccionando inicialmente 295 representaciones de este tipo. En una segunda criba, más específica, se han descartado aquellos documentos en los que existe coincidencia en las fechas y autoría, por lo que se tratan de diferentes copias o versiones del mismo proyecto. Finalmente se han seleccionado 271 representaciones gráficas datadas entre 1610 y 1887, aunque 24 proyectos (un 8,85%) tienen una datación aproximada al no aparecer reflejada en el documento (Figura 2).

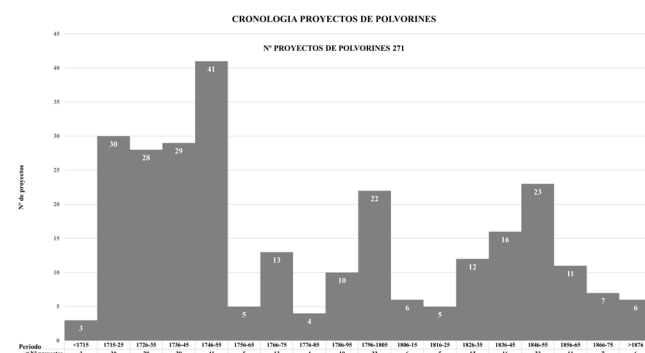


Figura 2. Distribución cronológica de 271 almacenes de pólvora

La metodología utilizada se ha basado en la creación de una base de datos y en su tratamiento estadístico. Se establecen como criterios para la clasificación aspectos como la referencia del archivo, la plaza a la que pertenece, el país, fecha, año, autor y título del proyecto. Por otra parte, han sido relevantes los criterios morfológicos de su diseño, en base a la finalidad defensiva, determinando la protección bien a prueba de bomba, bien estableciendo recintos de seguridad a su alrededor.

También se han determinado los sistemas constructivos utilizados y que reflejan su tipología formal: arcos de diafragma, bóvedas apuntadas, de cañón, rebajadas, tabicadas y de sección especial; así como los sistemas estructurales construidos con madera; muros de fábrica con vigas, cerchas y estructuras portantes de leño. En otro orden de cosas, se establece, dentro de esta caracterización de la tipología constructiva, la diferenciación entre obra nueva o rehabilitada, así como el número de naves que tienen los almacenes.

Se analizan 13 adjetivaciones por cada proyecto, con lo que el número de elementos a valorar asciende a 3523. Esta base de datos tiene la limitación de que se realiza sobre el concepto de proyecto, que no es coincidente a veces con su construcción fáctica. De todas formas, esta primera aproximación se basa en un número bastante significativo de documentos suficientemente amplio como para interpretar el conjunto.

El conjunto para clasificar consta de 271 proyectos de almacenes de pólvora: 47 de ellos pertenecen a intervenciones sobre edificios existentes, mientras que la gran mayoría, el

¹ La toma de datos finaliza el 28 de noviembre de 2022.

82,72%, son edificaciones de nueva planta. Desde el punto de vista geográfico 225 están situados en los territorios de la España actual, mientras que el 17,28% se localizan en Cuba, Puerto Rico, Italia, Argentina, Colombia, Estados Unidos, Norte de África y Trinidad y Tobago.

Se abordan en esta primera taxonomía los conceptos morfológicos de estos edificios que corresponden a su disposición formal, los tipológicos que corresponden a su sistema constructivo y los metrológicos empleados en la representación por la importancia tanto en su construcción, como en la enseñanza en las Academias de Matemáticas.

4. CLASIFICACIÓN MORFOLÓGICA DE LOS ALMACENES DE PÓLVORA

Pedro de Lucuze clasifica la morfología de almacenes de pólvora en un doble tipo. Primero aquel derivado de la resistencia del bloque al fuego enemigo (tipo T-a), que comprende tanto los que presentan un modelo sencillo, como los realizados a prueba de bomba con mayor sección estructural. En segundo lugar, considera la protección del edificio principal mediante recintos de circunvalación, que oscilan desde los que carecen de protección hasta aquellos que disponen de dos muros perimetrales (tipología T-b).

4.1. Resistencia al impacto pirobalístico (T-a)

El tipo más resistente resuelto a prueba de bomba está construido con unas primeras roscas de bóveda de piedra o ladrillo de grosor suficiente y trasdosado bien con relleno superior de mampostería irregular, bien mediante un sistema de amortiguación formado por un entramado de madera recubierta con tierra. Existen 76 representaciones de secciones a prueba de bomba, que suponen el 28,04% del total de los proyectos estudiados. De estos presentan bóvedas de cañón un 62,96% (Figura 3.a) y apuntadas un 47,05% (Figura 3.b), utilizadas mayoritariamente en la primera mitad del siglo XVIII.

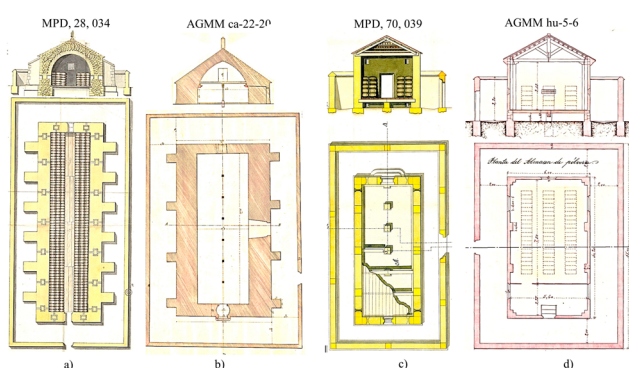


Figura 3. Polvorines: a, b) a prueba de bomba; c, d) sencillos

Por su parte, los modelos sencillos representan el 72,06% del total, y aparecen cubiertos con bóvedas más delgadas -incluso tabicadas- y mediante estructuras de madera (Figura 3.c) o con cerchas (Figura 3.d), teniendo como principal característica que no resisten el impacto pirobalístico.

4.2. Recintos de protección (T-b)

En cuanto al apartado dedicado a los «Repuestos de pólvora» Lucuze señala que se han de circunvalar mediante una pared

sencilla, creando un recinto de protección también recomendado por Vauban. Existen 206 proyectos con un espacio de protección (Figura 4.a), doce de ellos con dos recintos pertenecientes a edificios de cubiertas con cerchas (Figura 4.b) o de tramados de madera (Figura 4.c). Sin perímetro de protección contabilizamos 46 proyectos (Figura 4.d) y otros ocho donde no puede determinarse este aspecto.

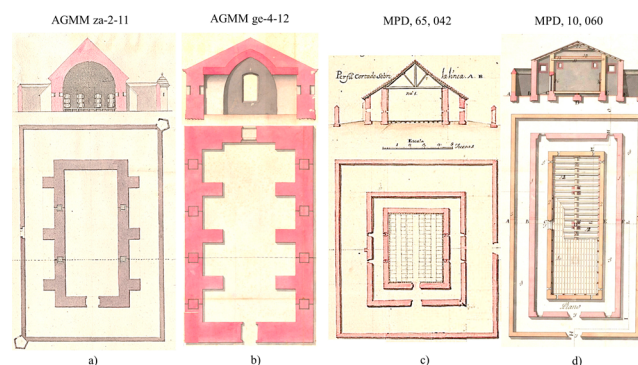


Figura 4. Morfología con los recintos de circunvalación

5. CLASIFICACIÓN TIPOLOGICA

Esta clasificación se establece en función de las condiciones constructivas de los almacenes comprendidos en los 271 proyectos, configurando de esta manera la forma de los edificios. Se consideran un total de nueve tipologías, cinco que utilizan cubiertas con bóveda de fábrica y cuatro con sistemas constructivos de madera. Las primeras las subdividimos en aquellos almacenes con bóveda de cañón de directriz recta (T-1), que representan el 29,89%, y con bóvedas apuntadas (T-2) con un 10,70%, ambas generalmente a prueba de bomba. Por otra parte, indicaremos aquellas construcciones abovedadas sencillas, caso de las rebajadas (T-3) con un 4,80%, de sección especial (T-4) con el 2,21% y las tabicadas (T-5) con un 2,58% de los proyectos. En cuanto a las construcciones con cubiertas de madera las clasificamos en cuatro tipos: las estructuras de paredes de fábrica cubiertas con vigas de madera (T-6) representan numéricamente la mayor cantidad con un 34,69% de las representaciones; las apoyadas sobre arcos de diafragma (T-7) con un 1,85%; las estructuras cubiertas con cerchas (T-8) con otro 11,44% y finalmente las construidas totalmente con estructuras portantes de madera (T-9) con un 1,85% del total de los proyectos.

5.1. Bóvedas de cañón de directriz recta (1715-1882), 81 proyectos (T-1)

Es el polvorín canónico derivado de Vauban y los ejemplos se concentran principalmente entre el periodo 1715-1755, con 51 proyectos que suponen el 62,96% del total de esta tipología. Cronológicamente coinciden con la creación del cuerpo de Ingenieros Militares y la Academia de Matemáticas de Barcelona. En este primer periodo las bóvedas son a prueba de bomba y de una nave, construidas con mampostería tallada como el de Barcelona (1723) (AGS. MPD. 18, 097) (Figura 5.a) o de rosca de ladrillo como en San Sebastián (1722) (AGS. MPD. 28, 034). (Figura 5.b).

Existen cuatro ejemplos de construcción de un doble cañón como el de Gibralfaro en Málaga (1747) (AGS. MPD. 23, 016) (Figura 5.c), mientras encontramos un revival de esta tipología construido con bóveda sencilla entre (1829-1846) en la Habana, Cuba (1842) (AGMM. CUB-30-04) (Figura 5.d)

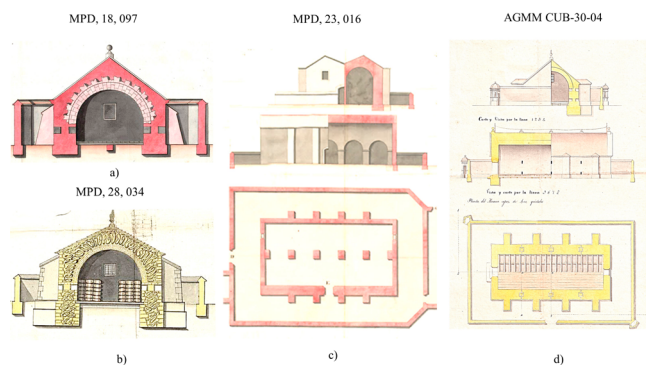


Figura 5. Tipología de almacenes de pólvora con bóveda de cañón

5.2. Bóvedas apuntadas realizados entre 1689-1874, 29 proyectos (T-2)

Un antecedente de esta tipología es la representación de una cúpula apuntada en Fuenterrabía (c.1689) (AGS. MPD. 09,101) (Figura 6.a). Están construidos generalmente con bóveda a prueba de bomba 55,17%, como el ejemplo de Figueras (1769) (AGMM. ge-4-12), y otras con una bóveda sencilla de una nave, como el proyecto de Gerona (1738) (AGS. MPD. 01,018) (Figura 6.b).

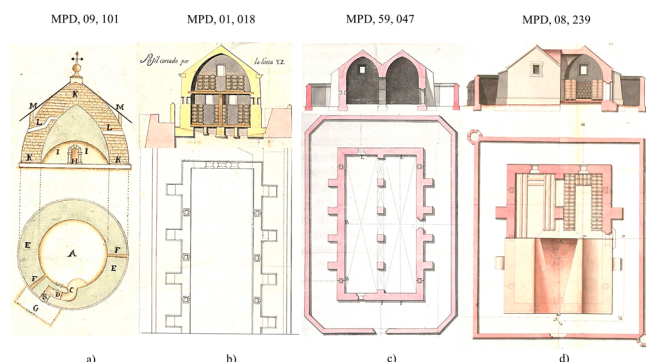


Figura 6. Tipología de polvorines con bóveda apuntada

A partir de 1724 se crea una tipología específica de almacén de pólvora con dos naves y cubiertas a 4 pendientes como los de Gibralfaro (AGS. MPD. 59, 046) (1724) y (MPD. 59, 047) (1725) (Figura 6.c), con una variante de cumbreras en el eje de las naves y otra perpendicular a estas en el centro de estos espacios. Se crean así hasta un total de 8 pendientes, como los proyectos para erigir cuatro almacenes en Cádiz (1728) (AGS. MPD. 08, 239) (Figura 6.d), y los de Ceuta de 1736 (MPD, 19, 193), de 1737 (MPD, 07, 180) y (MPD, 19, 194) y de 1746? (MPD, 07, 181), y la representación posterior del de Cádiz (1874) (AGMM ca-22-9), probablemente construido en la primera mitad del siglo XIX. La propuesta de este tipo constructivo con bóvedas ojivales se concentra en 20 proyectos durante el periodo (1715-1755), desaparecerán a partir de 1785 y reaparecerán después de 1837 con la revisión de 5 proyectos en Cádiz (AGMM ca-10-6, AGMM ca-11-12, AGMM ca-22-9), Vitoria (AGMM vi-2-14) y Colombia (AGMM col-5-7).

5.3. Bóvedas rebajadas (1731-1877), 13 proyectos (T-3)

Por su mecánica las bóvedas rebajadas pueden tener un menor grosor que las de medio punto y apuntadas; por el contrario, necesitan más estribo, proporcionado bien por el

grosor del muro de cerramiento, o bien, mediante los contrafuertes del polvorín. Son tres proyectos construidos en Catalunya, La Seo de Urgel (1731) (AGMM l-7-5) (Figura 7.a), Lérida (1737) (AGMM l-7-5) y Tortosa (1748) (AGMM t-18-7) (Figura 7.b), donde la forma geométrica de esta es muy similar a la bóveda tabicada, y conocida en esta geografía como a la catalana.

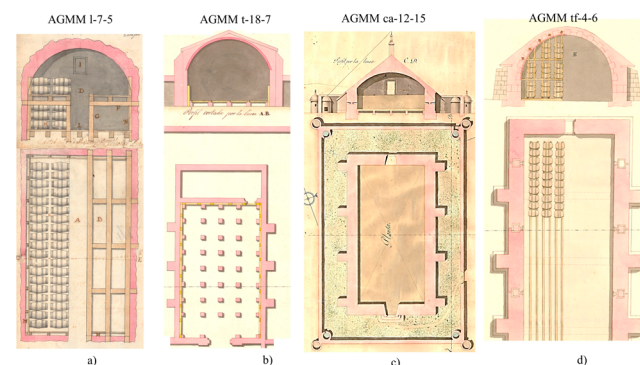


Figura 7. Tipología de almacenes de pólvora con bóveda rebajada

Se utilizan mayoritariamente a partir del siglo XIX, dado que la estrategia de las construidas a prueba de bomba había cambiado, justificando su empleo por su menor sección.

Presentan algunas peculiaridades con bóvedas muy planas, como la de Cádiz (1840) (AGMM ca-12-15) con una relación flecha-luz de tan solo 0,23 u (Figura 7.c). En otros proyectos, como el de Santa Cruz de Tenerife (c.1850) (GMM tf-4-6), la forma de la bóveda se traslada también a la cubierta, acabando así el almacén de pólvora (Figura 7.d).

5.4. Bóvedas de sección especial (1718-1736), 6 proyectos (T-4)

En esta tipología se incluyen un tipo de bóvedas de sección elíptica, con tangente a 90° en su imposta como la de Pamplona (MPD, 31, 031) (Figura 8.a), y otras dibujadas mediante óvalos, y que en su arranque sobre el muro forman un ángulo menor o mayor de 90° . El proyecto realizado para San Sebastián de 1727 (CGE. Ar. F-T.2-C1_180.a) está dibujado con dos centros de arcos diferentes, formando en su imposta un ángulo mayor a 90° (Figura 8.b). Existen, además, cuatro proyectos representados como óvalos trasladados con un arranque menor de 90° similares a la forma catenaria. Un primero en Barcelona (1731) (MPD, 07, 057), dos representaciones similares en Tortosa (1733) (AGMM t-18-16, MPD, 13, 035) (Figura 8.c) y otro en La Coruña (1736) (MPD, 17, 057) (Figura 8.d). En estas cuatro representaciones se puede plantear la hipótesis de buscar una realidad constructiva de una bóveda de cadena, que son las que se aproximan al arco ideal planteado por Robert Hooke (1635-1703) y publicadas por Bernard Forest de Bélidor (1698-1761), en *La science des ingénieurs dans la conduite des travaux de fortification et architecture civile* (1729) (30)².

² Hooke en la *A description of helioscopes, and some other instruments* (1676), proponía: *The true Mathematical and Mechanical form of all manner of Arches for Building*, cuya solución fue «*Ut pendet continuum flexile, sic stabit contiguum rigidum inversum*». La forma catenaria fue empleada por Christopher Wren (1632-1723) en la cúpula de San Pablo (1675), donde colaboró Hook. En el inicio Libro II de *La science des ingénieurs*, Bélidor, determina las topologías de bóvedas; medio punto, apuntadas a tercio punta, las elípticas, las planas, y las de la cadena. En Cap. III. Prop 5, del libro II plantea

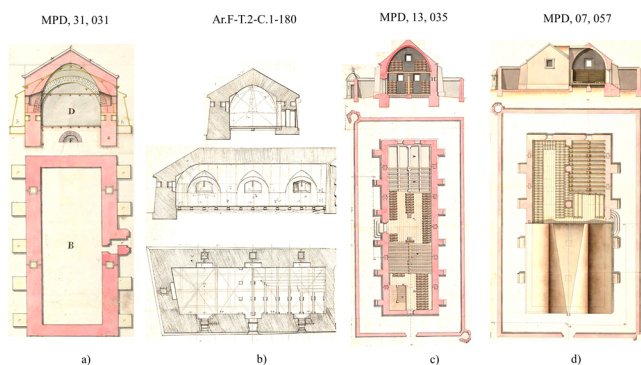


Figura 8. Tipología de almacenes de pólvora con bóvedas de sección especial

5.5. Bóvedas Tabicadas (1743-1846), 7 proyectos (T-5)

La bóveda tabicada es el paradigma de las estructuras cohesivas de poco grosor. Fueron inicialmente utilizadas por los ingenieros militares desde su instauración en la plaza de Barcelona de la Ciudadela (31)³. Su empleo se realiza en el Levante español (1743-17451), primero en Cartagena (MPD, 18, 256, MPD, 18, 258) (Figura 9.a), Málaga (MPD, 57, 052) y Benimanent (Valencia) (MPD, 06, 169) (Figura 9.b). Este tipo de bóvedas va a reaparecer en el siglo XIX en Tarragona (AGMM t-7-18) (Figura 9.c), Cardona (AGMM b-9-29) (Figura 9.d), e incluso en Rebolleda (Burgos) (AGMM bu-1-14).

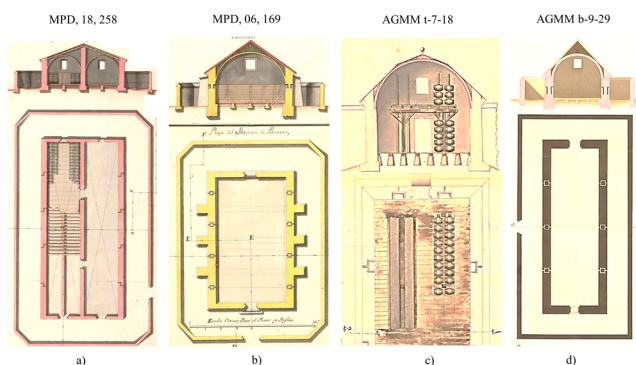


Figura 9. Tipología de almacenes de pólvora con bóvedas tabicada

5.6. Estructuras de paredes de fábrica con vigas de madera (1610-1887), 94 proyectos (T-6)

Esta tipología es la más habitual en los proyectos analizados, representado un 34,56% del total. Su distribución es constante en toda la cronología estudiada, teniendo tres puntos máximos con 12 proyectos en las décadas (1726-1735), (1796-1805) y (1846-1855), siendo coincidente con los periodos álgidos de la actividad proyectual. Disponen mayoritariamente de recintos de circunvalación, tan solo el 5,32% de esta tipología no dispone de esta característica morfológica. Sus condiciones constructivas no necesitan gran especialización, a diferencia de las construcciones abovedadas.

la curvatura que conviene dar a una bóveda, para que todas sus partes estén en equilibrio, y cuyo resultado es la forma de catenaria.

³ Esta tipología constructiva fue utilizada en la construcción de cuarteles, caballerizas, almacenes de víveres y munición, cuerpos de guardia, hospitales, iglesias o edificios principales.

Existe una gran variedad formal de este tipo de edificaciones, tanto en dimensiones, como en tipos de distribución interior y número de plantas. Formalmente oscilan desde construcciones muy sencillas con una nave como la de Pinar del Río de Cuba (1859), (AGMM CUB-190_11) (Figura 10.a), hasta dos naves con tre paredes de carga de Cádiz (1728), (MPD, 08, 237) (Figura 10.b), dos naves entre pilares con una planta superior en Figueras (1755), (MPD, 10, 073) (Figura 10.c), otras con dos recintos de protección: uno de ellos, cubierto formando cuatro naves en Lérida (1842), (AGMM l-19-8) (Figura 10.d), y proyectos de grandes almacenes con seis naves como el caso de Zaragoza (1726), (MPD, 22, 069).

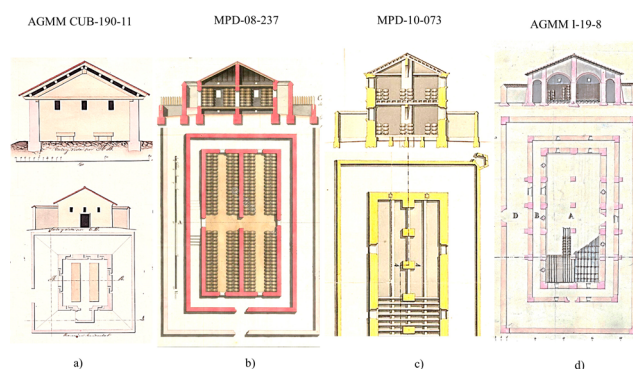


Figura 10. Tipología con paredes de fábrica y vigas de madera

5.7. Arcos de diafragma con madera (1684-1774), 5 proyectos (T-7)

Las estructuras con arcos de diafragma tienen origen medieval y fueron ampliamente empleadas en la estructuración de las arquitecturas compuesta con naves. Las vigas de madera se disponen en la misma directriz del espacio principal, mientras que los arcos de diafragma se disponen perpendicularmente a ellas, construyendo sobre ellos la generatriz de la nave y la forma de la pendiente de la cubierta. Forma parte de esta tipología el proyecto de Fuenterrabía (1684), (MPD, 63, 004) (Figura 11.a). Pueden ser de arcos apuntados como en La Coruña (1774), (MPD, 28, 027), con menos estribo que los que disponen de arcos de medio punto (Figura 11b), como el proyecto de Valencia (1751), (MPD, 06, 169) (Figura 11.c), disponiendo esta forma una variante con dos naves como en Barcelona (1761), (MPD, 20, 031) (Figura 11.d).

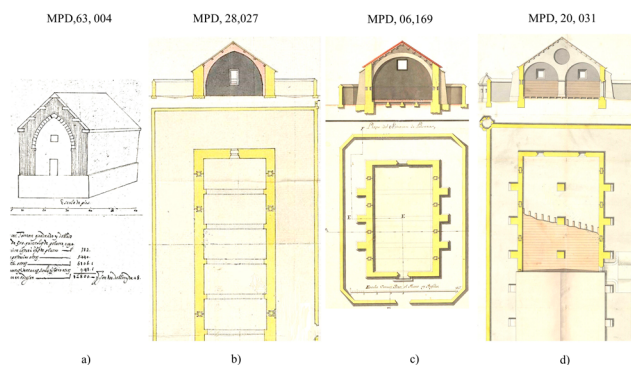


Figura 11. Modelos de polvorines con arcos diafragma y vigas de madera

5.8. Estructuras cubiertas con cerchas (1721-1878), 31 proyectos (T-8)

Otra tipología son las realizadas con pares de armadura, a modo de cerchas de madera, con cubiertas a dos aguas que cubren estructuras con luces más grandes que las soportadas por muros de fábrica (T-6). Mayoritariamente se realizan con cercha de cuchillo español como el proyecto de El Ferrol (1772), (MPD, 04, 089) (Figura 12.a). En otras ocasiones son cuchillos con tirantes inclinados, como en Pamplona (1723), (MPD, 64, 023) (Figura 12.b).

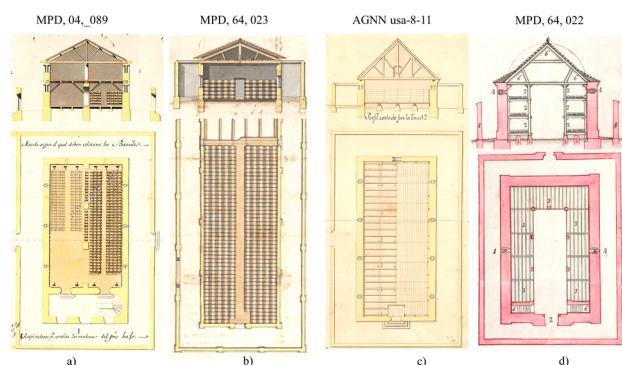


Figura 12. Tipología de polvorines con cerchas de madera

Se presentan casos singulares de grandes dimensiones y que combinan ambas alternativas: son el proyecto de San Agustín de Florida (c.1770), (AGMM usa-8-11) (Figura 12.c), o la armadura de mansarda de Málaga (1721) (MPD, 64, 022) (Figura 12.d).

5.9. Estructura portante de madera (1730-1836), 5 proyectos (T-9)

Existe una tipología en la que tanto la estructura portante como las cubiertas están realizadas con madera. El primer precedente es un proyecto de almacenes realizado para Fuenterrabía en 1723 cerca del Cubo de la Madalena y del Torrellón (Ar. F.T.2-C.2-350) (Figura 13.a). Reaparecerá la tipología en el de Zamora en 1821 (AGMM za-2-13) (Figura 13.b), para ser utilizada en la Habana 1836, en los proyectos (AGMM CUB-49_01, AGMM CUB-144_05, AGMM CUB-144_14) (Figura 13.c).

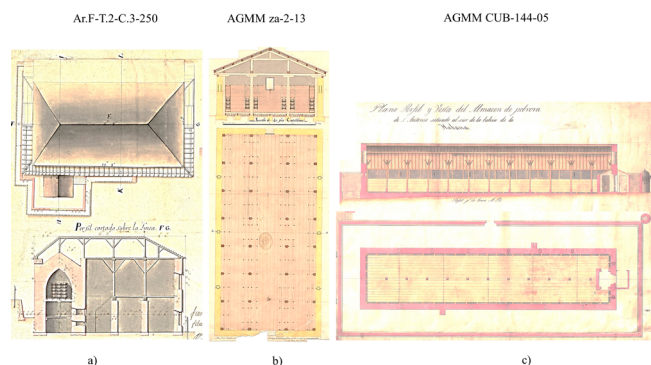


Figura 13. Tipología de polvorines con estructura portante de madera

6. CLASIFICACIÓN METROLÓGICA

Los proyectos de ingeniería analizados (1610-1887) también explican y reflejan la evolución del sistema de unidades métricas. Especialmente interesante es el uso y discrepancia en las medidas militares desde la toma de posesión como rey de España en 1700 de Felipe V hasta Isabel II. Los ingenieros militares utilizaron inicialmente, en función del origen de sus linajes y de manera indistinta, la vara de Burgos decretada por Felipe II en 24 de junio de 1568, y que habían utilizado generalmente los ingenieros de los Austrias, y la medida francesa de la toesa introducida en España por Felipe V (32)⁴.

Las discrepancias entre los ingenieros militares españoles, desde la actividad docente de la Academia, donde se utilizaba la vara a la práctica constructiva usual de la toesa, obligó a una circular de 14 de Julio de 1750 a los Capitanes Generales, en la que se previno que no solo se debía usar la Vara Castellana en la Enseñanza de las Matemáticas, sino que también se observe en todo lo perteneciente al Ejército y la Marina, en lugar de la utilización de la toesa. Fernando VI (1716-1788) rectificará la circular con la Real Orden de 14 de febrero de 1751, en la que se dispuso que en todas las dependencias de guerra se usara la toesa. La medida de toesa es de 194,90 cm., cuyo pie es de 32,48 cm. En el debate de la unidad de medida, utilizada en la enseñanza de la Academia de Matemáticas y la de su práctica habitual, hace que, en 1768, su director, Juan Martín Zermeno (1700-1773), replantee de nuevo las discrepancias entre la utilización de ambas medidas. Todo ello comportará la publicación por Pedro de Lucuze (1692-1779) de la *Disertacion sobre las medidas militares que contiene la razon de preferir el uso de las nacionales al de las forasteras* (1773).

Ante el debate, Carlos IV (1748-1819) en la Real orden de 20 de enero de 1801, adoptará como medida del reino la vara castellana de Burgos, cuya medida se fija en 83,59 cm, y su palmo en 20,90 cm (33). Finalmente se adopta el sistema métrico decimal, y como unidad fundamental de longitud el metro, por la Ley del 19 de julio de 1849 de Isabel II, sancionada en San Ildefonso el 19 de julio de 1849, conocida como la *Ley de Pesos y Medidas*.

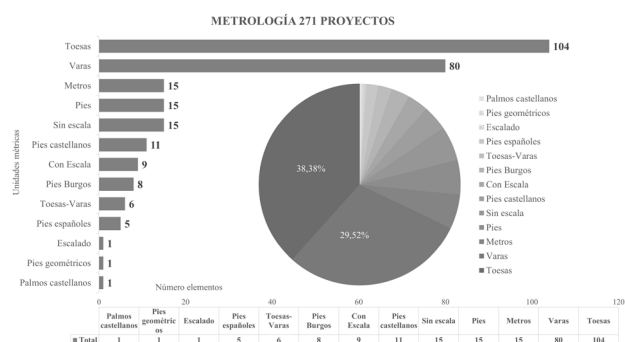


Figura 14. Metrología de los proyectos de almacenes de pólvora

Mayormente las representaciones graficas van acompañadas de la escala gráfica; tan solo un 5,54% de ellas no disponen de

⁴ La toesa explicaba Pedro de Lucuze, que es una unidad de longitud, o extensión de seis pies, por lo cual se llama Sexpeda, Orgia, Pertica, y Hexapeda: viene de la voz Tesa o Tensa. La Toesa de París estaba expuesta en la puerta de Chatelet y considerada como la medida Real, era utilizada en el Norte de Francia, mientras que en el Sur los patrones métricos se ajustaban a la cana.

esta referencia. Las escalas graficas utilizan como unidades la toesa, vara, metro, pie, pie castellano, pie de Burgos, pie español, pie geométrico, palmo castellano, o con escala, o simplemente escalado (Figura 14).

El proyecto más antiguo de la serie estudiada es *La casa de la pólvora* de Fuenterrabía (1610) (AGS. MPD. 44, 039), que está realizado en una escala gráfica de 60 pies, al igual que las otras dos representaciones en la misma plaza de 1684 (AGS. MPD. 63, 004) y de c. 1689 (AGS. MPD. 09, 101), que son anteriores a 1715, momento en que se impone la toesa sustituyendo a la métrica de los Austrias. Esta media es la más utilizada con 104 representaciones gráficas, y aplicada sistemáticamente entre (1715-1751) con el 90,38% de estas planimetrías coincidente con la Real orden de 14 de febrero de 1751.

La vara tiene una vida útil superior; se utiliza en una amplia cronología (1718-1850), pero tan solo el 6,25% de todos sus proyectos son anteriores a la Real orden del 1751. Existen hasta seis proyectos entre 1718-1746, donde se representan en la planimetría conjuntamente las escalas gráficas con unidades de toesas y de varas castellanas. Sin desdeñar, los 41 proyectos con unidades propias de España derivadas del pie de vara, con lo que las representaciones con metrología propia ascienden a 121. El decreto de Isabel II unificará a los convenios internacionales la referencia de la unidad que es utilizada en 15 de estos proyectos a partir del año 1860.

7. ANALISIS DE LOS RESULTADOS ESTADÍSTICOS

La mayor parte de los proyectos están situados en el actual territorio español con un 82,66% de estas representaciones centradas en el siglo XVIII. La consecuencia del *Reglamento Adicional a la Ordenanza del Real Cuerpo de Ingenieros, que S.M. ha resuelto se observe para el servicio de este cuerpo en Indias* (1805), hará que en el siglo XIX aparezcan actuaciones en las antiguas tierras de ultramar: Puerto Rico, Argentina, Colombia, Estados Unidos o Trinidad y Tobago.

Especial interés plantea la actividad de los almacenes de pólvora en Cuba con un número significativo de proyectos, un total de 37 representaciones gráficas, generado por la necesidad estratégica y el ímpetu constructivo de la Real Junta de Fomento de la isla de Cuba (34) (Figura 15).

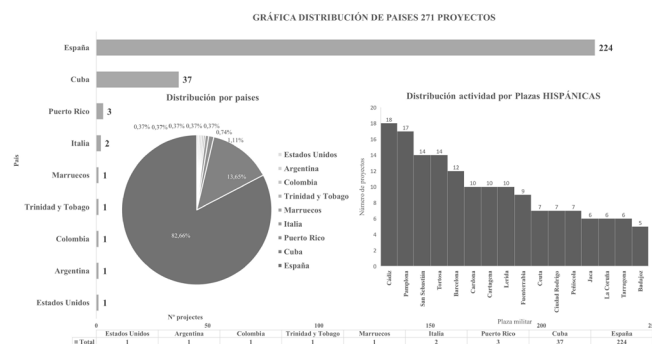


Figura 15. Distribución geográfica de los proyectos de almacenes de pólvora

En el territorio español los proyectos de almacenes de pólvora se concentran en los puertos importantes de la península como Cádiz, Cartagena o La Coruña; en el frente Norte

del Pirineo: Fuenterrabía, San Sebastián, Pamplona y Jaca; en el territorio catalán Barcelona, Cardona, Lérida y Tarragona; la frontera con Portugal: Ciudad Rodrigo y Badajoz; o lugares estratégicos de control marítimo: Ceuta y Peñíscola, o fluvial como Tortosa (Figura 15).

Respecto a las cuestiones morfológicas relacionadas con las funciones pirobalísticas, los proyectos a prueba de bomba se concentran en la primera mitad del siglo XVIII y fueron construidos con obra de fábrica gravitatoria, donde el grueso de la mampostería habría de soportar el impacto. Se utilizan principalmente las bóvedas de cañón (67,11%), y en menor medida las apuntadas (21,05%) y las rebajadas (9,21%). Mayoritariamente esta solución se construye de forma *sencilla*, tanto con la modalidad de bóvedas más delgadas como la tabicadas, de la misma manera que el conjunto de almacenes acabados con cubiertas de madera (Figura 16.a). En cuanto a la morfología los recintos de protección de los polvorines están generalmente resguardados, de manera que el (75,65%) están diseñados con un solo recinto de circunvalación, y tan solo el 4,43% se construyen con dos muros perimetrales utilizados en los sistemas estructurales más sencillos cubiertos de madera (Figura 16.b).

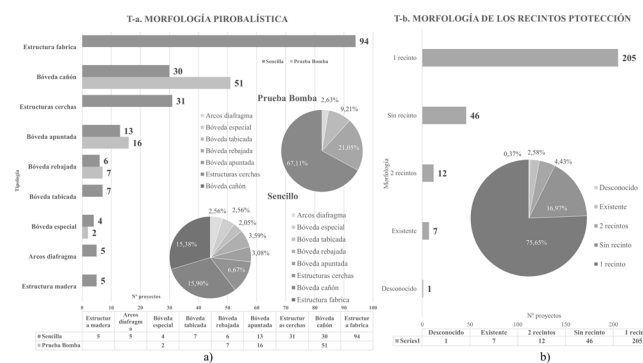


Figura 16. Clasificación morfológica de los almacenes de pólvora. a) Clasificación en su función pirobalística (T-a); b) Clasificación según los recintos de protección (T-b)

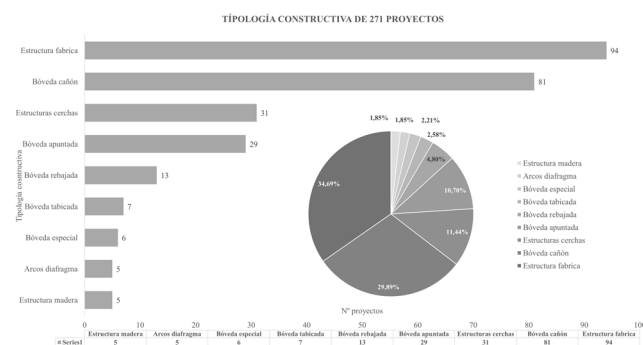


Figura17. Tipología constructiva de los almacenes de pólvora

Por lo que se refiere a la tipología constructiva existen dos grandes grupos (Figura 17), aquellos cubiertos con sistemas abovedados (T-1, T-2, T-3, T-4, T-5) contruidos con mampostería, y las estructuras acabadas con techos de madera (T-6, T-7, T-8, T-9). Las más frecuentes de los almacenes de pólvora son las estructuras de fábrica a rematar con tramadas de madera (T-6), representando el (34,69%), y el de las bóvedas de cañón (T-1) con un (29,89%) del total de proyectos. Pese a que la bóveda canónica de la tratadística es la de cañón

(T-1), donde la luz de bóveda es igual a la de su flecha, van a aparecer otras tipologías de cobertura.

En las bóvedas rebajadas (T-3), la luz es mucho mayor que el galibo de la sección. En el caso de las bóvedas apuntadas (T-2) y las de sección especial (T-4), la flecha del arco de bóveda es mayor que su luz, quizás buscando la forma estructural ideal de la bóveda catenaria que bien conocían algunos militares irlandeses y escoceses católicos, a los que Felipe V les conservó su rango militar (35)⁵.

8. CONCLUSIÓN

Cronológicamente el momento álgido de los proyectos de almacenes de pólvora (Figura 18), se sitúa entre 1715-1755, coincidente con la creación del Cuerpo de Ingenieros Militares (1711) y de la Academia de Matemáticas de Barcelona (1720). En este periodo se utilizan mayoritariamente bóvedas de cañón de directriz recta, construidas a prueba de bomba con un recinto de circunvalación, al uso en la tratadística militar ilustrada. A partir de esta fecha se imponen modelos estructuralmente más sencillos de obras de fábrica cubiertas con armazones de madera, con los almacenes protegidos por uno o dos recintos perimetrales. Existe un revival de los proyectos de almacenes de pólvora entre (1826-1865), especialmente localizado en las tierras de ultramar, más en concreto en Cuba, utilizando bóvedas de cañón de sección sencilla. La estrategia militar ha evolucionado a mediados del siglo XVIII, coincidente además con el cambio metodológico del cambio de la toesa por la vara castellana, y también lo hará su morfología y tipología constructiva. Se abandona el concepto de la resistencia de las bóvedas ante el impacto de los proyectiles, buscando una construcción menos especializada que la utilizada en la fábrica de bóvedas, donde se necesitan muchos medios auxiliares para su cimbrado. La nueva estrategia tiende a simplificar la construcción y, por ello, utiliza paredes o arcos de carga cubiertos con vigas simples de madera. Para cubrir espacios mayores los ingenieros militares van a utilizar diferentes tipos de cerchas, llegando a construir en las geografías frondosas con estructuras por-

tantes de madera. La tendencia con la aparición de los nuevos explosivos fue aumentar los recintos de protección, y alejar además los almacenes de pólvora fuera de las plazas fortificadas, que desaparecerán como tales en el último cuarto del siglo XIX.

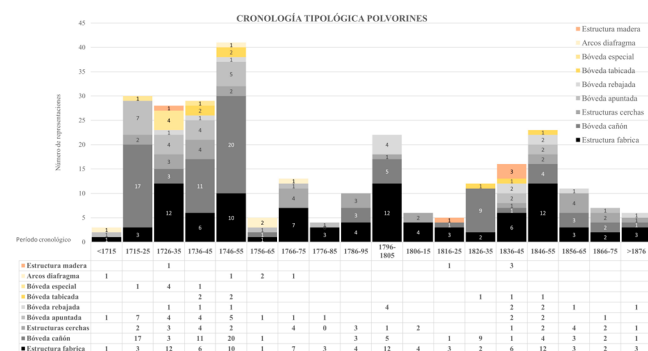


Figura 18. Cronología de las tipologías constructivas de los almacenes de pólvora

FUENTES DE FINANCIACIÓN

I+D+i "Cartografías de la ciudad en la Edad Moderna: relatos, imágenes, representaciones" (PID2020-113380GB-I00 / AEI / 10.13039/ 501100011033), financiado por la Agencia Estatal de Investigación (Ministerio de Ciencia e Innovación).

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

Los/as autores/as de este artículo declara no tener conflictos de intereses financieros, profesionales o personales que pudieran haber influido de manera inapropiada en este trabajo.

DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Cinta Lluís-Teruel: Análisis formal, Investigación.

Josep Lluís i Ginovart: Conceptualización, Metodología.

Antonio Bravo Nieto: Metodología, Redacción – borrador original.

Sergio Ramírez González: Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición.

REFERENCIAS

- Capel, H. (1983). *Los Ingenieros militares en España, siglo XVIII: repertorio biográfico e inventario de su labor científica y espacial*. Barcelona: Edicions Universitat de Barcelona.
- Cámara, A. (1989). Città e difesa dei regni peninsulari nella Spagna Imperiale (secoli XVI-XVII). En: De seta, C., Le Goff, J. *La città e le mura*. Roma-Bari: Laterza, pp. 80-106.
- Valdivia, S., Torres, C. (2009). Diagnósis para puesta en valor de almacén de pólvora en Excárcel, Valparaíso. *X Congreso Latinoamericano de Patología y XII Congreso de calidad en la construcción, CONPACT, 2009*, Valparaíso Chile.
- Viñuales, G.M. (2005). Almacén de Pólvora del Cusco. *Atrio* 10(11), 57-64.
- Zamora, M. (1996). Polvorín central de Valparaíso 1807-1809. *Loma de Elías/Cerro Cárcel. Revista Archivum*, 5, 101-118.
- Poggio, M., Rodríguez, J.G. (2013). El torreón de la pólvora de Calcinas (Historia y Patrimonio). *ASRI, Arte y Sociedad*, 3.
- Ramírez, S., Bravo Nieto, A., Bellver, J.A. (2019). La recuperación de dos repuestos de pólvora del siglo XVIII en Melilla: Análisis y restauración. *Espacio, Tiempo y Forma, Serie VII, Historia del Arte*, 7, 209-229. <https://doi.org/10.5944/etfvii.7.2019.22468>
- Vila R. (2020). *Memoria de obras de emergencia de consolidación y apeo del polvorín en el baluarte de san Narciso de la fortaleza de san Fernando en Figueras (Girona)*, 76.
- Benedicto, A.M. (2003). Almacenes de pólvora y explosivos en la segunda mitad del siglo XIX. Un estudio tipológico. *Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*. Barcelona: Universidad de Barcelona, 15 de agosto de 2003, 147.
- Lluís i Ginovart, J. (2015). La mecánica ilustrada en los ingenieros militares españoles. El proyecto de los almacenes de pólvora (1715-1798), *Informes de la Construcción*, 67(539), e103. <https://doi.org/10.3989/ic.14.109>
- Cassani, J. (1705). *Escuela Militar de Fortificación ofensiva y defensiva. Arte de fuegos y de esquadronar*. Madrid: Antonio Gonçalves de Reyes, 86.
- Lluís i Ginovart (2015). El estudio comprende 74 proyectos de este intervalo del Archivo General de Simancas, e103.
- Segovia, F. (2004). Els fons bibliogràfics de l'Acadèmia de Matemàtiques, en: MUÑOZ, Juan Miguel, *L'Acadèmia de Matemàtiques de Barcelona. El llegat dels enginyers militars*. Madrid: Ministerio de Defensa, 77-92.

⁵ Algunas de estas familias emigrantes construyeron además bodegas de vino carlón (dulce) con bóvedas catenarias.

- (14) Muñoz, J.M. (1995). La biblioteca del ingeniero general Jorge Próspero Verboom. *Boletín de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando*, 80, 343-362.
- (15) Galland-Seguela, M. (2004). Las condiciones materiales de la vida privada de los ingenieros militares en España durante el siglo XVIII. *Geo Crítica/Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, 8, 157-180.
- (16) Bragard, Ph. (2014). Du Fay et les autres. La diffusion de la fortification selon Vauban dans la théorie européenne autour de 1700. En: Virol, M. *L'influence de Vauban dans le Monde*. Besançon: Namur, 17-38. La impresión del frontispicio aparece con la fecha de 1681, pero todo parece indicar que es una errata de imprenta.
- (17) Du Fay, A. (1681). *Maniere de fortifier selon la methode de Monsieur de Vauban. Par monsieur l'abbé Du Fay*, Paris: Veuve Jean-Baptiste Coignard & Jean-Baptiste II Coignard, 170-172.
- (18) Du Fay, A. (1693). *Maniere de fortifier selon la methode de Monsieur de Vauban... Par monsieur l'abbé Du Fay... Seconde edition augmentée*, Paris. Veuve Jean-Baptiste Coignard & Jean-Baptiste II Coignard, 191-193.
- (19) Chafrión, J. (1693)., *Escuela de Palas ò sea Curso Mathematico. Tomo I*. Milán: Empreinte Real, por Marcos Antonio Pandulpho Malatesta, 175-177.
- (20) Belidor, B.F. (1729). *La science des ingénieurs dans la conduite des travaux de fortification et architecture civile*. Paris: Chez Claude Jombert. 62-76.
- (21) Muller, J. (1755.) *A treatise containing the elementary part of fortification, regular and irregular. For the use of the Royal academy of artillery at Woolwich. Illustrated with thirty-four copper plates*. London: Printed for A. Millar, 215-222, Plancha XVII.
- (22) Muller, J. (1769). *Tratado de fortificación, ó Arte de construir los edificios militares, y civiles escrito en inglés por Juan Muller; traducido en castellano, dividido en dos tomos, y aumentado con notas, adiciones y 22 láminas finas sobre 26, que ilustran al original, por Miguel Sanchez Taramas; tomo primero*. Barcelona: Por Thomas Piferrer, 357-369. Lámina XVII.
- (23) De Lucuze, P. (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, 85-90. Fig. 82 y 83.
- (24) AA.VV. (1849). *Estudio de edificios militares por la comisión creada con este objeto por Real orden de 4 de febrero de 1847*, 83-89.
- (25) Piélagos, C., García San Pedro, F., Martín del Yerro, F. (1847-1849). Estudio de edificios militares por la comisión creada con este objeto por Real orden de 4 de febrero de 1847. *Memorial de Ingenieros*. Madrid: Imprenta del Memorial de Ingenieros. 83-89, fig. 91 a 98.
- (26) Rueda, S. (1855). Memoria sobre los almacenes de pólvora y medios de liberarlos de los terribles efectos del rayo. *Memorial de Ingenieros*, Madrid: Imprenta del Memorial de Ingenieros, tomo X, pp. 1-59.
- (27) Martín, E. (1860). *Memoria sobre los almacenes de pólvora, circunstancias convenientes que deben reunir, número más adecuado y su situación en las plazas según la importancia de ellos, precauciones que deben tomarse en las remociones, etc*. Madrid: Imprenta y librería de D Eusebio Aguado, 11-12, 29.
- (28) Cazorla, E. (1872). Consideraciones sobre almacenes de pólvora y su aplicación a la plaza de Melilla, suponiéndola guarnecida convenientemente. *Memorial de Ingenieros*. Madrid: Imprenta del Memorial de Ingenieros, Tomo XXVII, 7-73.
- (29) Archivo General de Simancas (AGS), Archivo Cartográfico de Estudios Geográficos del Centro Geográfico del Ejército (CGE), Archivo General Militar Madrid (AGMM), Biblioteca Nacional de Madrid (BN), Archivo General Militar de Segovia (AGMS) y Archivo Intermedio Militar de Melilla (AIMML).
- (30) Lluís i Ginovart, J., Coll-Pla, S., Costa-Jover, A., López Piquer, M. (2017). Hooke's Chain Theory and the Construction of Catenary Arches in Spain. *International Journal of Architectural Heritage*, 11(5), 703-713. <https://doi.org/10.1080/15583058.2017.1290851>
- (31) Lluís i Ginovart, J., Lluís-Teruel, C., Ugalde-Blázquez, I. (2021). Bóvedas tabicadas en la ingeniería militar española (s. XVIII). *Informes de la Construcción*, 73(562), e393. <https://doi.org/10.3989/ic.80000>.
- (32) De Lucuze P. (1773). La Toesa, 3-5.
- (33) *Carta Circular agosto 1757 para que las Chancillerías, Audiencias y Universidades, informasen a S.M. lo que se les ofreciese sobre pesos y medidas del reyno*, se cotejaron las varas que custodiaban las ciudades de Burgos, Ávila y Madrid. En: Coronas González, Santos, 1996, pp.939-940.
- (34) López, I.J. (2016). El Cuerpo de Ingenieros Militares y la Real Junta de Fomento de la isla de Cuba. Obras públicas entre 1832 y 1854. *Espacio Tiempo y Forma. Serie VII, Historia Del Arte*, 4, 483-508.
- (35) Lluís i Ginovart, J. (2019). Scientific Knowledge of Spanish Military Engineers in the Seventeenth Century. En: *Military Engineerng*. Dekoulis, G. (ed.), London, Intechopen, <https://doi.org/10.5772/intechopen.87060>.