

CONSTRUYENDO BÓVEDAS TABICADAS II BUILDING TILE VAULTS II

EDITORES | EDITORS

F. VEGAS, R. MARÍN, L. GARCÍA-SORIANO, C. MILETO



edUPV

Universitat Politècnica de València

Construyendo Bóvedas Tabicadas II

Building Tile Vaults II

Edición a cargo de | Edited by:
Fernando Vegas López-Manzanares
Rafael Marín Sánchez
Lidia García-Soriano
Camilla Mileto

Colaboradores | Collaborators:
Santiago Tormo Esteve
Arturo Zaragoza Catalán

Entidades colaboradoras | Collaborating entities

Generalitat Valenciana. Conselleria d'Educació, Investigació, Cultura i Esport
Ajuntament de València
CTAV. Colegio Territorial de Arquitectos de València
CAATIE Valencia.
Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de València.
EMR. Estudio Métodos de la Restauración SL.
Cátedra Unesco. Arquitectura de Tierra, Culturas Constructivas y Desarrollo Sostenible

Citar como / Cite as:

Vegas López-Manzanares, F., Marín Sánchez, R., García-Soriano, L., Mileto, C. (eds.) (2022).
Building Tile Vaults II. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València.

Primera edición / First edition, 2022

© editores / editors:

Fernando Vegas López-Manzanares
Rafael Marín Sánchez
Lidia García-Soriano
Camilla Mileto

© de los textos y fotografías: sus autores / of texts and photographs: their authors

© de la presente edición / of this edition:

edUPV
www.lalibreria.upv.es
Ref.: 555_03_01_01

Diseño y maquetación / Design and layout:

Lidia García-Soriano
Enrique Mateo

ISBN: 978-84-904-8827-0

Depósito Legal / Legal deposit: V-782-2022

<https://doi.org/10.4995/2021.602801>



Bajo licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional
Licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International license.

Cubierta: Imagen de la construcción del Panteón de la Familia Soriano Manzanet en Villarreal. Agosto 2015.
Vegas-Mileto / Cover: Image of the construction of the Soriano Manzanet Family Pantheon in Villarreal.
August 2015. Vegas-Mileto.

Índice | Index

Prólogo	vii
Prologue	ix

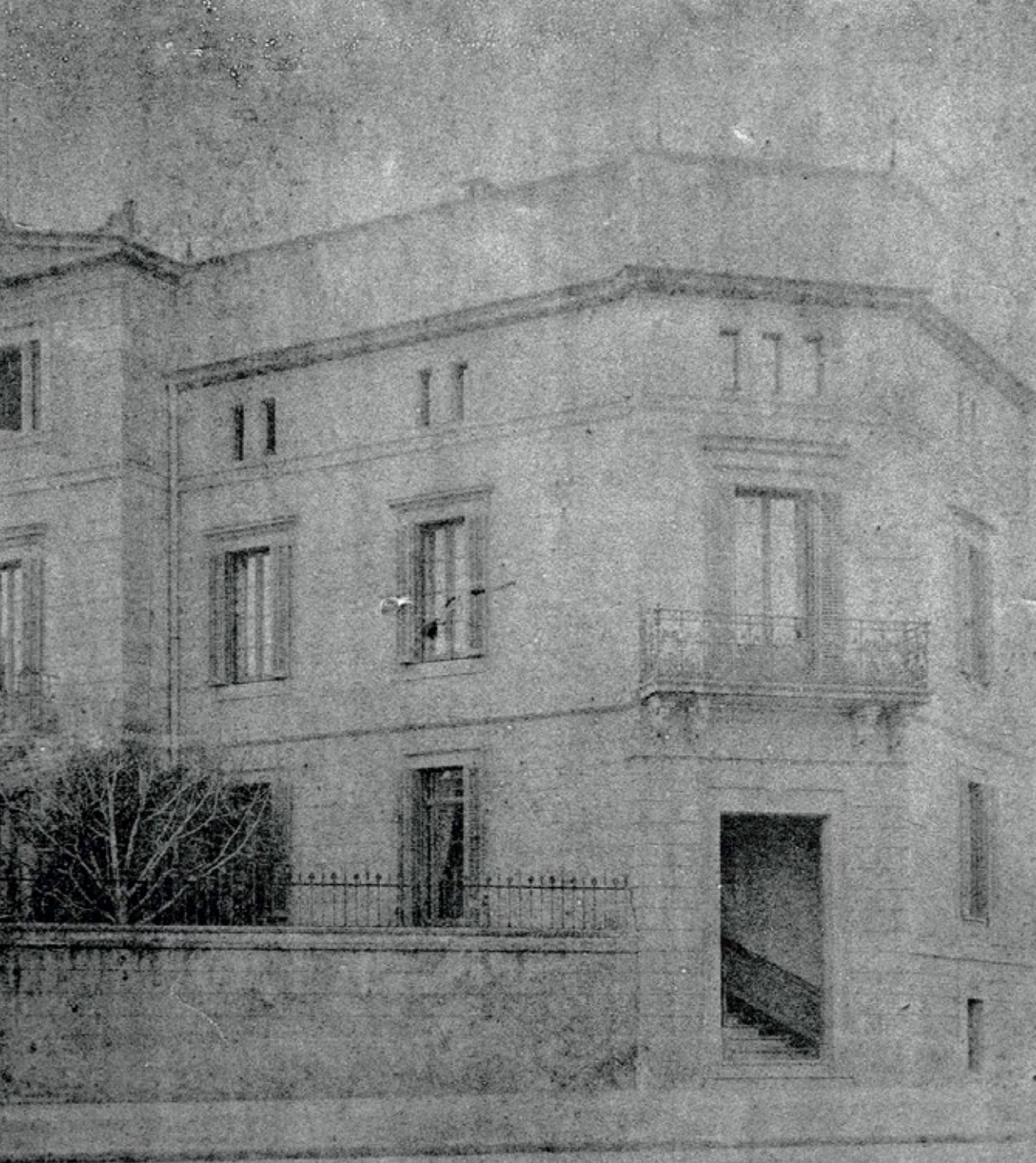
I. HISTORIA Y CONSTRUCCIÓN | HISTORY AND CONSTRUCTION

Bóvedas sin cimbra: ladrillo autoportante por hojas o recargado	2
<i>Enrique Rabasa Díaz</i>	
Bóvedas de ladrillo sin cimbra en las fortalezas de las órdenes militares en el Campo de Montiel y el Campo de Calatrava (Ciudad Real).....	16
<i>Jesús Manuel Molero García, Ignacio Javier Gil Crespo, David Gallego Valle</i>	
Tile vaulting and its oriental pedigree.....	36
<i>Paolo Vitti</i>	
Bóvedas tabicadas en Al-Ándalus y el Magreb	52
<i>Antonio Almagro</i>	
Tabiques, enjutas, costillas y callejones: otra forma de ver las bóvedas tabicadas.....	66
<i>Arturo Zaragozá Catalán, Rafael Marín Sánchez</i>	
A brief history of masonry shells in India, 1786 to present	84
<i>Aftab A. Jalia</i>	
Guastavino in India	104
<i>Fernando Vegas, Camilla Mileto</i>	
Masonry vaults in vice-royal Naples. Construction persistences and discontinuities between the 16th and the 17th centuries	126
<i>Valentina Russo</i>	
Tile vaulting in Naples: first experimentations in the early 19th century	138
<i>Lia Romano</i>	
La bóveda tabicada en el futuro próximo	150
<i>Manuel Fortea Luna</i>	

II. NUEVOS USOS | NEW USES

Versatilidad de la bóveda tabicada en la arquitectura contemporánea.....	166
<i>Camilla Mileto, Fernando Vegas, Lidia García-Soriano</i>	
Escuchando a las bóvedas tabicadas	180
<i>Julio Jesús Palomino Anguí</i>	

A timbrel vaulting journey of learning from nature.....	192
<i>Peter Rich</i>	
Bóvedas tabicadas de tierra. Una alternativa para entornos poco industrializados	206
<i>F. Javier Gómez-Patrocínio, Lidia García-Soriano, Fernando Vegas, Camilla Mileto</i>	
La bóveda tabicada en Andorra.....	218
<i>Enric Dilmé Bejarano</i>	
III. INTERVENCIÓN ESTRUCTURAL STRUCTURAL INTERVENTION	
Los ensayos sobre bóvedas tabicadas de Rafael Guastavino en Estados Unidos: la necesidad de validar un sistema.....	232
<i>Esther Redondo Martínez</i>	
Las bóvedas de Guastavino en los Estados Unidos. Métodos de diagnóstico	248
<i>Berta de Miguel Alcalá, Gabriel Pardo Redondo</i>	
El mortero de cemento en la obra de Guastavino	262
<i>Fernando Vegas, Camilla Mileto</i>	
Comportamiento estructural de las cúpulas tabicadas	280
<i>René Machado</i>	
Comportamiento estructural de las bóvedas tabicadas ante los terremotos. Observaciones tras los terremotos recientes de Italia.....	288
<i>Francesco Doglioni</i>	
Las cúpulas azules. Intervenciones de conservación	300
<i>Rafael Soler Verdú, Alba Soler Estrela</i>	
Las cúpulas tabicadas armadas de Domènech i Montaner, entre el colapso y la restauración: ¿Pudieron tener otro diseño?.....	314
<i>José Luis González Moreno-Navarro</i>	
Influences and analogies between masonry arch and cross vault: from construction to seismic response.....	328
<i>Angelo Gaetani, Paulo B. Lourenço</i>	
Las Escuelas Nacional de Artes de La Habana, Cuba: uso, degradación, consolidación y restauración.....	340
<i>Michele Paradiso</i>	



Casa propia de Rafael Guastavino en Barcelona (1872-1875) construida con amplias bóvedas tabicadas recibidas con mortero de cemento Portland importado desde Inglaterra, que cubrían habitaciones enteras (cliché original de Rafael Guastavino, 1881, propiedad de los autores)

El mortero de cemento en la obra de Guastavino

Fernando Vegas, Camilla Mileto

PEGASO Centro de Investigación Arquitectura, Patrimonio y Gestión para el Desarrollo Sostenible,
Universitat Politècnica de Valencia

Abstract

Master builder Rafael Guastavino Moreno (1842-1908) is famed for his enormous contribution to Catalan architecture, and along with his son Rafael Guastavino Exposito (1872-1950), for his influence on American architecture. In Barcelona, many architects from following generations recognized their indebtedness to their work. In the United States, the record of the imprint left in the architectural identity can be found in over a thousand works. Among Guastavino's many virtues, the best-known was his masterful use of tile vaults. He combined this ancient constructive technique with new materials such as cement mortar, which provided better protection from damp, greater resistance, and quicker setting speed. Guastavino used this mortar for doubling tile vaults at least since 1868; he imported Portland cement from England in 1872; and he led a pioneering manufacturing of Portland cement in Spain in the 1870s. This text explores the origins, evolution and trajectory of this early use of cement mortar in his tile vaults, in addition to its composition, procedures and execution.

Keywords: *Architecture, natural cement, Roman cement, artificial cement, Portland cement, artificial stone, construction.*

Resumen

El maestro de obras Rafael Guastavino Moreno (1842-1908) es afamado por su significativa aportación a la arquitectura catalana y, junto con su hijo, llamado Rafael Guastavino Expósito (1872-1950), su contribución a la arquitectura estadounidense. En Barcelona, las generaciones sucesivas de arquitectos reconocieron la deuda para con su obra. En Estados Unidos, un millar de obras brindan testimonio de la huella que dejó en la identidad arquitectónica americana. Aunque destacó por varias virtudes, su obra trascendió por su maestría en el empleo de la bóveda tabicada. Guastavino combinó esta técnica constructiva con nuevos materiales como el mortero de cemento, que le confería incolumidad a la humedad, mayor resistencia y velocidad de fraguado. Guastavino empleó este mortero en el doblado de sus bóvedas tabicadas al menos desde 1868, importó desde Inglaterra cemento Portland en 1872 y pilotó una pionera fabricación de cemento Portland en España en la década de 1870. Este texto indaga en el origen, la evolución y la trayectoria de este temprano empleo del mortero de cemento en sus bóvedas tabicadas, además de su composición y métodos de puesta en obra.

Palabras clave: *Arquitectura, cemento natural, cemento romano, cemento artificial, cemento Portland, piedra artificial, puesta en obra.*

El cemento natural y el cemento artificial Portland durante el siglo XIX

La trascendencia de la utilización del mortero de cemento por parte de Rafael Guastavino Moreno, (en adelante *Guastavino* o *Guastavino padre* para diferenciarlo de *Guastavino hijo*), no debe soslayarse. En las décadas de 1860 y 1870, el empleo en la arquitectura común de morteros de cemento tanto naturales como artificiales, pero especialmente los artificiales como el Portland, era todavía algo novedoso y no solo en España. El hallazgo del cemento natural en 1796 de James Parker, la invención en 1817 del cemento artificial a partir del descubrimiento del comportamiento hidráulico de las cales de Louis Vicat (1786-1861), y la concesión en 1824 de una patente a Joseph Aspdin (1778-1855) por la fabricación de una cal hidráulica artificial de fraguado rápido que denominó “cemento Portland”, son hitos conocidos en la historia del material. Los morteros hidráulicos habían irrumpido en la primera mitad del siglo XIX para quedarse. Pero la difusión del cemento artificial Portland estaba lejos de consolidarse.

El cemento natural, también denominado cemento romano por evocación del hormigón romano, aunque no tuviera más relación con él que su carácter hidráulico, o cemento-yeso por la rapidez de su fraguado y su posible uso en forma de pasta, fue muy popular durante el siglo XIX. Su problema principal es que mostraba una gran variabilidad según productores y sus características dependían no solo de cada uno de ellos, sino de la homogeneidad y calidad de la veta de piedra natural empleada en cada momento por el mismo fabricante. En términos generales se podría afirmar que poseía un buen grado de hidráulicidad y un fraguado rápido manteniendo su volumen estable, con lo que a veces se podía emplear en forma de pasta. El cemento artificial Portland, cocido a una temperatura mayor y con componentes añadidos en la proporción justa, ofrecía mayor homogeneidad y permitía un mayor control de la calidad. Tenía igualmente un buen grado de hidráulicidad y fraguaba con retracción, lentamente en los primeros minutos, facilitando la puesta en obra, para después endurecer y adquirir incluso más resistencia que el cemento natural. Inicialmente,

este nuevo material pertenecía al ámbito de ingeniería civil para la creación de cimentaciones bajo el agua o la erección de puentes o muelles merced a su hidráulicidad, y tardaría unos años en llegar a la arquitectura.

En Inglaterra, I.C. Johnson (1811-1911) fabricó en 1845 el primer cemento Portland con materiales similares a los actuales, cocido a una temperatura de 1.400-1.500 °C, y comenzó paulatinamente su producción. En Alemania, H. Bleitbreu fabricó el primer Portland alemán en Stettin en 1852 y le siguió J.H. Hagenah en 1867 (Newby 2001). En Francia, É. Dupond y C. Demarle manufacturaron el primer Portland en su fábrica de Boulogne-sur-Mer solo en 1855, año en el que fue presentado en la Exposición Universal de París, seguidos por la cementera Pavin de Lafarge que comenzó su producción en 1869. En Bélgica, la empresa de los señores Dufosse y Henry comenzaron a fabricar el primer cemento Portland en 1872. El mismo Guastavino afirmaba que el empleo del cemento y el renacimiento de lo que él denominaba “construcción cohesiva” habían comenzado entre 1845 y 1850 (Guastavino 1896, 41).

La existencia de excelentes cales y cementos naturales como alternativa retrasó la producción del cemento artificial en otros países como Estados Unidos, Italia o España. En Estados Unidos, Canvass White (1790-1834) había patentado el cemento Rosendale en la década de 1820, un cemento natural popular que sería empleado hasta principios del siglo XX en los edificios y monumentos de Nueva York, incluso en detrimento del cemento Portland. Este fue fabricado por primera vez en Estados Unidos solo a partir de 1875 por David O. Saylor (1827-1884) en Coplay (Pennsylvania), pero se necesitarían más de veinticinco años para doblegar la costumbre de utilizar el cemento natural Rosendale. En Italia la Sociedad Anónima de Cales y Cementos de Monferrato comenzó la fabricación de cemento artificial con regularidad a partir de 1885.

En España, la producción de cemento natural fue introducida por soldados ingleses en 1835 (Mayo 2015, 66). En la década de 1850, se producía cemento romano en explotaciones

de pequeña dimensión, al menos en las provincias de Alicante, Barcelona, Gerona, Guipúzcoa, Logroño, Madrid, Palencia, Valencia y Vizcaya, y cales hidráulicas en estas mismas provincias además de Badajoz, Burgos, Cáceres, Guadalajara, Huelva, Oviedo, Segovia, Toledo (Espinosa 1859, 133-48; Mayo 2015, 54-5). La bibliografía afirma que la primera producción de cemento Portland en España tuvo lugar en hornos verticales continuos entre 1898 y 1910 (Mayo 2015, 61), y en hornos horizontales rotatorios a partir de 1904 en la fábrica Asland que diseñó Guastavino para Eusebi Güell desde Estados Unidos (Fernández 2006). En este artículo se muestra que la producción de cemento Portland en España ya comenzó en la década de 1870 en hornos verticales discontinuos pilotada por Rafael Guastavino.

En todos estos países sin excepción, la primitiva producción de cemento natural e incluso de cemento Portland tenía lugar en incómodos hornos de carga discontinua. En el último cuarto del siglo XIX, se comenzaron a introducir los hornos de carga continua que mejoraban y abarataban la producción. El proceso inicial de fabricación del cemento Portland debió mejorar todavía con tres aportaciones posteriores: la invención de los hornos horizontales rotatorios, la adición de yeso para controlar el fraguado y el empleo del molino de bolas para moler la materia prima y el clínker.

La formación no reglada de Rafael Guastavino Moreno en Valencia

La cuestión sería averiguar a través de qué vía se le despertó a Guastavino este prurito por el empleo del cemento natural en general y del cemento artificial Portland, en particular. Guastavino residió en Valencia al menos hasta finales del año 1860, periodo durante el cual descubrió su vocación como arquitecto a través del legado de su tatarabuelo, el maestro de obras Juan José Nadal (1690-1763) (Vegas y Mileto 2012) y trabajó como delineante en un estudio de arquitectura local (Wight 1901a). Nadal empleó mortero de cal en caliente en muros y cimientos y exclusivamente yeso en sus diversos estratos de bóvedas (fig. 1) (Vegas et al.

2019). En cualquiera de los estudios de arquitectos donde trabajó, pudo entrar inicialmente en contacto con los morteros de cemento (Vegas y Mileto 2012; Vegas et al. 2020).

Es importante reseñar esta etapa de formación no reglada no solo porque marca su interés inicial y rumbo personal en la profesión, sino porque más de treinta años después, en Estados Unidos, todavía hacía referencia al tesón con el que algunos arquitectos no solo catalanes sino también valencianos buscaban una marca de cemento fiable que ofreciera garantías para el cálculo estructural (Guastavino 1896, 42). Aquella experiencia inicial había sido lo suficientemente determinante como para reseñar muchos años después la obsesión de los profesionales valencianos por encontrar un cemento de calidad.

Es interesante señalar que, en aquellos años de formación no reglada en Valencia, se había creado una fábrica de cemento natural denominada “La Confianza”, dirigida por Juan Bautista Ravena, con canteras en las cercanías de la ciudad. Los análisis encargados en 1855 al profesor José Almazán de la Escuela Especial de Ingenieros de Caminos de Madrid habían arrojado los siguientes resultados: el cemento en pasta amasado con agua fraguaba sumergido de manera casi inmediata y adquiría una gran dureza a los 4-5 minutos; mezclado con arena a partes iguales generaba un mortero poseía una rapidez de fraguado similar; mezclado con arena a razón de 1,5:1 con el mismo amasado y sumersión, el tiempo de fraguado era de 5-6 minutos; y que todas estas mezclas endurecían con igual fuerza y rapidez al aire libre. La mezcla no fraguaba correctamente si la proporción ascendía a 2 de arena por 1 de cemento. Estas extraordinarias prestaciones merecieron una noticia especial en la Revista de Obras Públicas (Redacción ROP 1855, 216) y una mención en el tratado de Espinosa (1859, 141-2), un manual de construcción que se publicó durante su época de delineante en Valencia. No cabe duda de que un material así llegaría a oídos de los arquitectos de la época y, fácilmente, al joven Guastavino trabajando con ellos. Además, la sede de la sociedad La Confianza estaba ubicada en la plaza de Calatrava nº 20, a 300 m de la vivienda de



Figura 1. Juan José Nadal emplea exclusivamente el yeso en los arcos formeros de rosca, nervios y primera y sucesivas capas de sus bóvedas tabicadas, como se puede observar en el espacio comprendido entre las bóvedas y el tablero de cubierta de la iglesia parroquial de San Jaime de Vila-Real en Castellón (foto: Tato Baeza, 2009).

Guastavino sita en la calle Verónica 9 (Vegas y Mileto 2012, 135). Además, en la región existían otras fábricas: la calidad y velocidad de fraguado del cemento natural fabricado en la cercana ciudad de Novelda (Alicante) había difundido su uso hasta llegar incluso a Madrid (Espinosa 1859, 142).

Por último, no es intrascendente recordar que su padre, Rafael Guastavino Buch, trabajaba como ebanista para arquitectos y obras varias en Valencia, de modo que se podría afirmar que el joven Guastavino se había criado entre andamios, capazos, serrines y garlopas, adquiriendo una soltura en los materiales, las técnicas y los oficios de la construcción de la que se beneficiaría muy pronto (Vegas et al. 2017).

La formación reglada de Rafael Guastavino Moreno en Barcelona

En 1861, con 19 años, ya casado y con dos hijos a su cargo, Rafael se matriculó en la Escuela de Maestros de Obras (Montaner 1983, 24-5; Rotaeche 2013, 951-2). Elías Rogent i Amat (1821-1897) y José Casademunt i Torrents (1804-1866) eran responsables del primer curso. Joan Torras i Guardiola (1827-1910) coordinaba el segundo curso donde impartía directamente las asignaturas de *Materiales y Construcción* y *Mecánica*. Francisco de Paula del Villar y Lozano (1828-1901) era el responsable del tercer curso (Montaner 1983, 25). Aunque siempre tuvo predilección por las estructuras metálicas, Joan Torras dedicaba casi una cuarta parte de su

asignatura a los morteros y sus conglomerantes (Farga Pellicer 1867-68). Entre ellos, trataba del cemento natural, que lo clasificaba como una cal hidráulica con mayor contenido en arcilla y la denominaba *cimento* como Matalana (1848, 90), pero no mentaba en absoluto el cemento artificial Portland (Farga Pellicer 1867-68, 149-151, 200-203).¹

En 1867, Torras tenía todavía ideas equivocadas sobre el *cimento* que, según él, fraguaba bajo el agua pero no lo hacía a la intemperie. También utilizaba el vocablo *cemento* para nombrar a la puzolana artificial formada por la chamota o “*picadís* de arcilla cocida” que se empleaba para tornar el mortero de cal aérea en hidráulica (Farga Pellicer 1867-68, 184). Se puede afirmar que el conocimiento genérico aportado por Torras a Guastavino sobre morteros y conglomerantes le sería de gran utilidad en su vida profesional, pero no en lo relativo a los morteros de cemento, donde Guastavino tendría que formarse por cuenta propia, a través de su experiencia en obra. A la muerte de Torras en 1910, su biblioteca personal reflejaba todavía su prurito por las estructuras metálicas y, en cambio, no recogía ninguna publicación significativa sobre el cemento (Feliu 2011, 290-3).

Sea como fuere, Guastavino guardó un recuerdo entrañable de sus maestros Elías Rogent y Joan Torras, a quienes atribuyó la sugerencia de construir sus bóvedas cohesivas (Guastavino 1893a, 9). Sin embargo, también afirmó que “hasta el año 1868 los profesores de la Escuela de Barcelona (...) no comenzaron a prestar atención al modo de construcción cohesiva” (Guastavino 1893a, 42). Esto es, Rogent y Torras eran una excepción en la tónica general. Joan Torras parece también haberle sugerido la construcción imitando la sabiduría de las bóvedas concrecionadas de la naturaleza (Guastavino 1893a, 13).

Por otra parte, a mediados del siglo XIX, había varias fábricas de cemento natural de pequeño tamaño en Cataluña (Redondo 2013, 141), entre las que destacaban la producción en San Celoni (Barcelona), Figueras y San Juan de las Abadesas (Gerona) (Ballesteros 1869; Mayo 2015, 53). Esta producción dispersa solo servía para el abastecimiento local y no se exportaba a otras regiones.

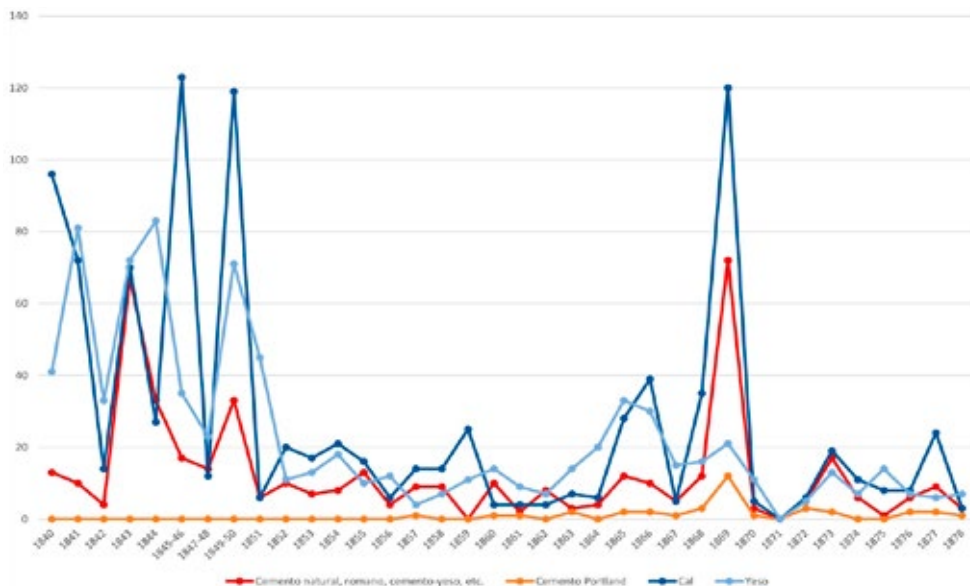
Posibles referencias al cemento para Guastavino en la literatura de la época

En los años de formación de Rafael Guastavino se publicaban varias revistas. La *Revista de Obras Públicas*, fundada en 1853, nombra esporádicamente en sus artículos el cemento, especialmente el natural, fundamentalmente ligado a obras ingenieriles como puentes, muelles, etc. Un ejemplo es el citado sobre el cemento valenciano La Confianza (Redacción ROP 1855, 216). En todo caso, se puede estimar que no era necesariamente una publicación de referencia para arquitectos, sino más bien para ingenieros. Lo mismo se puede afirmar de la *Revista de Caminos Vecinales, Canales de Riego y Construcciones Civiles* (1863-1880). Los ocho escuetos números del periódico quincenal *La Arquitectura Española* (1866) apenas tienen referencias al cemento por su enfoque y falta de extensión y continuidad. El *Anuario de la Sociedad Central de Arquitectos* (1866 1868, 1869) tampoco se destaca por tratar del tema y, en cualquier caso, ya se solapa cronológicamente con el primer empleo del cemento por parte de Guastavino (Isac 1987; Ten y Celi 1996).

Su desconocimiento del idioma inglés² le impedía acceder a la literatura técnica inglesa de revistas y manuales que trataba el cemento. En cambio, su conocimiento del francés³ sí le permitía acceder a la *Révue Générale d'Architecture et des Travaux Publics*. Esta revista, que se publicó entre 1840 y 1888, fue una referencia internacional en el ámbito de la arquitectura, con múltiples suscripciones desde el extranjero. Además, como ya se ha demostrado (Vegas et al. 2020), Guastavino la conoció, consultó y extrajo de ella algunas de sus ideas.

En 38 años, entre el número I (1840) y el número XXXV (1878), la frecuencia con la que en la revista se nombran los aglomerantes es la siguiente: 481 veces el cemento, 1.008 veces la cal y 819 veces el yeso. En esas 481 ocasiones que nombra el cemento, 445 corresponden al natural y 36 al Portland. Todas estas alusiones evolucionan lentamente en el tiempo, sobre todo las relativas al cemento Portland (Tabla 1).

Tabla 1. Número de veces que aparecen las palabras cemento natural (también denominado cemento romano o cemento-yeso), cemento Portland, cal y yeso en la *Révue Générale d'Architecture et des Travaux Publics* entre 1840 y 1878 (elaboración propia).



En esta revista, se puede destacar un artículo publicado en plenos estudios de Guastavino, que señala la construcción de bóvedas tabicadas rebajadas de dos estratos de rasilla recibidos ambos con mortero de cemento, -se sobreentiende natural-, para cubrir algunos depósitos de agua en Passy, en París (Daly 1862, 129-30), lo que implica que ya en aquella época se utilizaba la bóveda tabicada recibida con mortero de cemento natural para situaciones expuestas al agua. Son también interesantes algunos artículos posteriores que pueden haber marcado algunos de sus criterios profesionales, a juzgar por la similitud de los planteamientos y razonamientos.

A señalar el texto escrito por un ingeniero militar que defiende la cohesión de las bóvedas concrecionadas (*vôutes monolithes*) respecto al equilibrio de las formadas por dovelas (*vôutes en voussoirs*) que se pueden desarticular, y destaca especialmente las prestaciones de las bóvedas tabicadas con mortero de cemento que se transforman en una sola masa.” (Cosseron de

Villenoisy 1869, 146-53). En efecto, el paralelismo con los escritos posteriores de Guastavino donde defiende el concepto de la bóveda cohesiva o por asimilación frente a la bóveda mecánica o por gravedad (Guastavino 1893a, 46-50, entre otros) es incontestable.

En lo que atañe a los libros, el cemento brilla por su ausencia en los tratados españoles de Villanueva (1827); en las tres ediciones del libro de Fornés y Gurrea (1841, 1857, 1872), muy interesante por otra parte por su edición valenciana, su incidencia en las bóvedas tabicadas y la coincidencia de la 2ª edición con la estancia de Guastavino en Valencia; y en el vocabulario de Matallana, que únicamente nombra al *cemento romano* como equivalente a la cal hidráulica (Matallana 1848, 90).

Esta situación cambió radicalmente con la aparición del manual de Espinosa (1859), que vino a llenar un importante vacío en la literatura técnica escrita en castellano. Este manual

incluye tipos de horno, fabricación y análisis químicos del comportamiento de las cales hidráulicas y cementos. Espinosa da fe del éxito creciente del cemento Portland (Espinosa 1859, 86), e incluso está al día de su fabricación en Boulogne-sur-Mer (Espinosa 1859, 87). También traza un panorama amplio de la producción antaño de cales hidráulicas y cemento en España. Significativamente, Espinosa señala también la posibilidad de construir bóvedas tabicadas, una técnica usada sobre todo en Cataluña para erigir escaleras y cubrir crujeas de edificios rurales, no solo con yeso sino también cemento. Y no solo para el doblado, sino también para el primer estrato, si su fraguado era suficientemente rápido (Espinosa 1859, 284-5).

Existe además un interesante manuscrito del capitán de ingenieros Ramón de Ballesteros, que da la medida del estado del empleo de esta técnica en aquel momento y su eventual aparejado con cemento (Ballesteros 1869). Estas memorias redactadas por los ingenieros militares de la época priorizaban la atención en los nuevos materiales y novedades internacionales y buscaban reflejar soluciones concretas de posible aplicación a construcciones de ámbito militar (Ferrerías 1998). Ballesteros señala la existencia de las bóvedas tabicadas con cemento mencionadas en los depósitos de Passy, en París, y otras similares en los depósitos de agua de Béziers y Agde, también en Francia, o Mers-el-Rebir cerca de Orán (Argelia). Además, señala la existencia de bóvedas similares en una fábrica de cemento romano de Vassy (Francia) y en la bóveda ojival de una iglesia de Barcelona (sin especificar cuál). A destacar que, salvo Passy en París y Vassy, que producían cemento romano, el resto de enclaves se encuentran en el ámbito histórico tradicional de las bóvedas tabicadas: Cataluña, el Languedoc-Rosellón y el Magreb. La luz de estas bóvedas reseñadas oscilaba entre 13,50 y los 18,60 m y su espesor, con dos o tres estratos de rasillas y un fino alisado de cemento superior, entre 8 y 11 cm. Si bien Guastavino difícilmente pudo acceder a este manuscrito, es interesante porque señala que la combinación de las bóvedas tabicadas con pasta o mortero de cemento tenía ya varios precedentes en 1869.

El cemento natural en la arquitectura de Guastavino

En el inicio de su carrera, Guastavino afirmó haber hecho unas tentativas con la construcción de hormigón en masa con cemento natural, en sus palabras “cemento mezclado con fragmentos de piedra, grava o arena” (Guastavino 1893a, 14), que descartó finalmente en favor de la bóveda tabicada recibida con cemento, que resultaba más fácil de ejecutar. Se desconoce en qué obra ensayó en el empleo del cemento romano para realizar hormigón en masa.

En la cimentación de la fábrica Batlló (1868-70), tuvo problemas reiterados con las diversas marcas de cemento romano que adquirió, porque el hormigón no llegaba a fraguar. Tras muchas pruebas, se fabricó un mortero hidráulico en obra de fraguado lento formado por dos partes de cal, dos de arena y tres partes de polvo de ladrillo (Guastavino 1893a, 57), siguiendo seguramente las enseñanzas obtenidas de su maestro Torras (Farga Pellicer 1867-68, 195). Esta experiencia negativa por la irregularidad del cemento romano, variable en sus características de marca a marca e incluso de saco a saco de un mismo fabricante, despertó en él seguramente el deseo de trabajar con un mortero artificial de cemento, el Portland que le ofreciera un resultado con garantías (Guastavino 1893a, 17, 42). En el resto de la fábrica Batlló, empleó un cemento semi-rápido de Gerona (Wight 1901a, 80), quizás el cemento romano de Figueras,⁴ para doblar los revoltones del primer piso y los tableros del pavimento del edificio de hilaturas, y doblar con tres gruesos las bóvedas vaídas de los telares (Graus et al. 2008, 328-32). El empleo de cemento en pasta o mortero es significativo porque su precio era muy alto y la extensión de la fábrica notable, pero servía para garantizar la impermeabilidad e incolumidad de las bóvedas vaídas de la sementerrada sala de telares. En obras posteriores y hasta 1872, continuó empleando el mortero romano semi-rápido de Gerona (Wight 1901a, 80), tanto para el doblado de las bóvedas tabicadas, como para la decoración de fachada, como en la Casa Blajot (1871).

En Estados Unidos, Guastavino recurrió siempre que pudo al cemento Portland, pero

existen algunas excepciones a esta regla. Por ejemplo, las bóvedas de Carnegie Hall en Nueva York (1890) están construidas con cemento natural con aditivos puzolánicos (Lane 2000, 37). Se desconoce la razón de esta elección, salvo por la eventualidad de que en aquella época la producción y la distribución del cemento Portland no estaba tan desarrollada en Estados Unidos frente a la del cemento natural. Incluso el promotor español José Francisco Navarro Arzac (1823-1910) tuvo que recurrir tanto al cemento Portland como al Rosendale durante la erección de los apartamentos Navarro frente a Central Park de Nueva York en la década de 1880 y la impredecibilidad en la calidad y la distribución de ambos le exasperó al punto de interesarse personalmente en la mejora de la fabricación del cemento Portland (Navarro 1904, 63), quién sabe si también espoleado por su propio compatriota Guastavino.

Por lo demás, Guastavino propuso el empleo del hormigón de cemento Rosendale como eventual relleno para las enjutas de las bóvedas, como alternativa a la solución construir tabiquillos en el trasdós para soportar el tablero del pavimento (Guastavino 1893a, Lám. I). Sin embargo, este conglomerado formado por piedra, grava y cemento, a menudo mezclado con cenizas o carbonilla, no era apreciado por Guastavino como material de construcción estructural o permanente (Guastavino 1904, 17).

Guastavino reconocía la calidad del cemento Rosendale y apreciaba su fraguado más rápido que el Portland, pero le reprochaba su bajo contenido de silicato y el uso incorrecto de que era objeto por parte de los albañiles de antaño, que lo manipulaban y utilizaban como si tratara de cal o como si fraguara a la velocidad más lenta del Portland, dejando la masa mezclada durante horas o incluso hasta el día siguiente (Guastavino 1904, 43). De este modo, no se aprovechaba nunca su primer fraguado hidráulico, sino solo el denominado segundo fraguado aéreo, en realidad el endurecimiento producido por la carbonatación del hidróxido de calcio, mucho más lento, de meses de duración y con necesaria exposición al dióxido de carbono del aire. El lento e imperfecto o inacabado endurecimiento en el interior de la fábrica podía

congelarse en invierno y provocar colapsos y accidentes (Guastavino 1893b, 128). Guastavino también se escandalizaba de la costumbre arraigada de añadir algo de cal al mortero de cemento para aparejar los ladrillos con un clima helado (Guastavino 1896, 21).

La piedra artificial de cemento en la obra de Guastavino

Guastavino también empleó el cemento natural semi-rápido de Gerona (Wight 1901a, 80) para la creación de un friso en fachada de la Casa Blajot (1871) con la historia de los progresos de la humanidad (Rogent y Doménech 1897, 161) que, curiosamente, parece inspirado en el frontispicio de la revista *Revue Générale de l'Architecture et des Travaux Publics* (fig. 2). El escultor Rosendo



Figura 2. Portada (1869) de la revista *Revue Générale de l'Architecture et des Travaux Publics*, cuyo frontispicio parece haber inspirado el friso con la historia de los progresos de la humanidad diseñado por Rafael Guastavino para la Casa Blajot (1871) (New York Public Library).



Figura 3. Casa Blajot (1871) de Rafael Guastavino, apenas construida, con la presencia del friso sobre la entrada principal (ÁLVAREZ, F., 1872-1874. *Álbum fotográfico de los monumentos y edificios más notables que existen en Barcelona*. Barcelona: Tipografía de L. Obradors y P. Sulé. Arxiu fotogràfic de Barcelona).

Nobás i Ballbé (1838-1891) se encargó del modelado en arcilla para la creación del molde donde verter el cemento romano (Wight 1901a, 81) en forma de pasta, sin árido, a juzgar por la información observable en la última restauración⁵ (Mari 2014) (fig. 3). La decoración en piedra artificial con cemento romano constituía una novedad en España. A nivel internacional, el inventor británico F. Ransome (1818-1891) ostentaba una patente de fabricación y había creado la Patent Concrete Stone Company en 1865, que se había exhibido en la Exposición de París de 1867 (Lavezzari 1869; Ferrand 1870). El profesor Joan Torras se había hecho eco en el curso 1867-1868 de estos recientes experimentos, pero la técnica era muy reciente y todavía por introducir en el mercado (Farga Pellicer 1867-68, 212-217).

Asimismo, la cuarta patente concedida a Guastavino en Estados Unidos (Guastavino 1888) incluía losetas decorativas en bajorrelieve prefabricadas de cemento, sin indicar si era natural o artificial, que se aparejaban en arco para formar revoltones de forjados de viguetas metálicas cuya ala inferior quedaba protegida también por una moldura prefabricada de cemento (fig. 4).

Si bien Guastavino despreció posteriormente el empleo de la piedra artificial de cemento por el tratamiento químico de antaño mediante ácido sulfúrico, cuya acción aumentaba el sulfato cálcico tornando el material más percedero (Guastavino 1904, 17), tras su muerte, su hijo recurriría a la piedra artificial para brindar mejoras acústicas a sus bóvedas. En efecto, junto

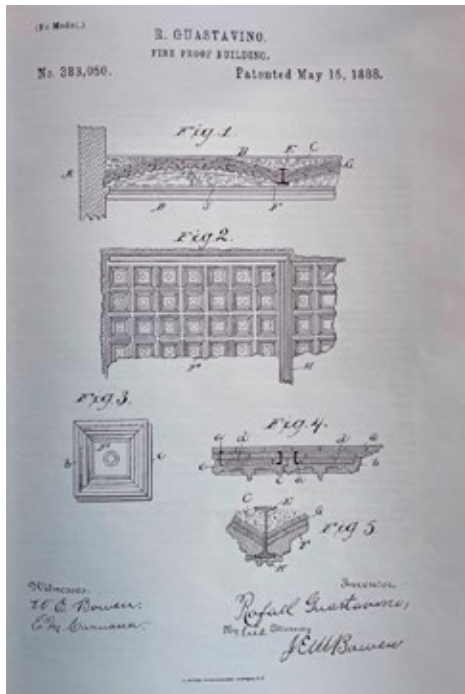


Figura 4. Patente de bóvedas ignifugas decoradas con plaquetas decorativas de piedra artificial a base de cemento. Fire-proof building. May 15, 1888. Inventor: Rafael Guastavino. United States Patent Office (APT Bulletin Vol. XXX, n. 4, 1999).

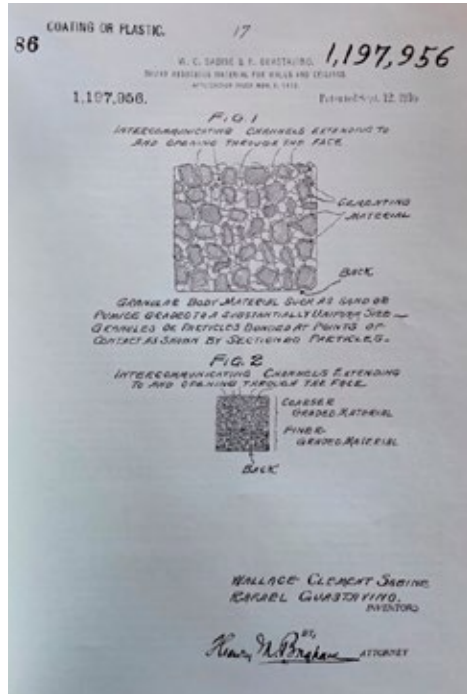


Figura 5. Patente de la plaqueta Akoustolith conformada por fraguado de cemento con piedra pómez con granulometría homogénea en modo de dejar muchos huecos aptos para la absorción. Sound-absorbing material for walls and ceilings. Sept. 12, 1916. Inventors: Wallace Clement Sabine and Rafael Guastavino. United States Patent Office (APT Bulletin Vol. XXX, n. 4, 1999).

con el ingeniero W.C. Sabine (1868-1919), tras la primera experiencia semifallida de cerámica acústica Rumford (1914), fabricó las plaquetas acústicas denominadas Akoustolith (1916), que no eran fruto de una cocción cerámica, sino del fraguado del cemento Portland con árido grueso seleccionado de piedra pómez (fig. 5) (Pounds et al. 1999). La porosidad necesaria para garantizar las virtudes acústicas que generaba una cierta fragilidad e irregularidad en la cerámica Rumford se gestionaba con mayor seguridad, solvencia y economía en el conglomerado cementicio de granulometría controlada de la plaqueta Akoustolith. Guastavino padre, que reseñó en vida el empleo de la piedra pómez en los

cementos de la Antigüedad romana (Guastavino 1893b, 126; Guastavino 1904, 69), no llegó a imaginar que su hijo la emplearía para producir piedra artificial con virtudes acústicas.

El cemento artificial Portland en la arquitectura de Guastavino

En 1872, Guastavino importó cemento Portland desde Inglaterra para la construcción de su propia casa en la calle Aragón de Barcelona (fig. 6) (Wight 1901a, 80). Este hecho inusitado da la medida de la trascendencia que le concedía Guastavino a este cemento, ya que

consta que en 1870 la única ciudad española que comercializaba cemento Portland inglés era Sevilla (Valdés 1870, 660-73). El alto precio del Portland importado y los aranceles añadidos a esta importación para proteger la producción de cemento romano local dificultaron su adquisición y empleo (Redacción DH 1878; Guastavino IV 2006, 7). Guastavino reaccionó ante estas dificultades promoviendo la producción de cemento Portland en España. El arquitecto había comprado en 1871 unos terrenos en Almodévar (Huesca) para crear una explotación vitivinícola. Al pie de la vecina estación de tren de Tardienta se erigía la fábrica de yeso y cemento romano de Rafael Montestruc (fig. 7), a quien Guastavino regaló el libro de Vicat (1818) e instruyó personalmente para fabricar cemento Portland. Las obras que realizó el arquitecto a partir de mediados de la década de 1870 emplearon cemento Portland de la fábrica de Montestruc (Wight 1901a, 80). La experiencia no trascendió, porque en 1885 Pardo afirmaba que el cemento Portland no se fabricaba en España (Pardo 1885, 81), aunque por otro lado en 1893 Guastavino afirmaba conocer el precio del



Figura 6. Casa propia de Rafael Guastavino en Barcelona (1872-1875) construida con amplias bóvedas tabicadas recibidas con mortero de cemento Portland importado desde Inglaterra, que cubrían habitaciones enteras (cliché original de Rafael Guastavino, 1881, propiedad de los autores).



Figura 7. Estado actual de la fábrica de Rafael Montestruc en Almodévar (Huesca), que produjo cemento artificial Portland en la década de 1870 con la ayuda de Rafael Guastavino (Victor Cantero, 2016).



Figura 8.

cemento Portland local español, (probablemente el Portland de Montestruc, a razón de 3\$ por barril, frente a los 2,5\$ que costaba en Estados Unidos (Guastavino 1893a, 119-20).

En 1881 Guastavino emigró a Estados Unidos en busca de éxito, pero también, supuestamente y según su testimonio, por la calidad superior y garantías de su cemento Portland (Wight 1901b, 101). Pero la producción de cemento Portland era limitada respecto a la preponderante producción de cemento Rosendale y la situación era tal que algunos fabricantes estadounidenses de Portland llegaban a estampar en sus sacos falsas marcas europeas por el mayor prestigio de estas (Hadley 1945, 17).

Guastavino necesitaba conocer exactamente la calidad y prestaciones del cemento Portland a emplear (Guastavino 1893a, 17). Sin embargo, en las últimas dos décadas del

siglo XIX, las prestaciones y la velocidad de fraguado de las diversas marcas de cemento Portland estadounidenses adolecían de resultados fidedignos y regularidad matemática (Guastavino 1893a, p. 43).

En sus primeras obras en Nueva York, como los apartamentos de la Av. Columbus (1883) y el Arion Club (1886), a falta de confianza en los cementos Portland estadounidenses, producidos entonces todavía en hornos de carga discontinua⁶, Guastavino optó por recibir los dos primeros estratos de la bóveda tabicada con yeso y las tres siguientes con mortero de cemento Portland (Wight 1901c, 185; Wight 1901d, 214).

El mismo Guastavino reconocía la deuda con los fabricantes ingleses de cemento Portland por su mayor seguridad y vaticinaba que, cuando se pudiera producir Portland de manera segura en Estados Unidos, su precio



Figuras 8 (pág. anterior) y 9. Bóvedas tabicadas de la fábrica Asland en el Clot del Moro, Castellar de n'Hug, Barcelona, concebida a instancias de la sugerencia y contacto que estableció Rafael Guastavino entre Eusebi Güell y José Francisco Navarro. Diseñada por el mismo Guastavino desde su oficina en Nueva York, se debió construir con cemento fabricado in situ en hornos verticales tradicionales, a la espera de la instalación de los hornos horizontales rotatorios suministrados por la entonces recién creada empresa Allis-Chalmers e importados desde Estados Unidos, que permitieron la producción masiva de cemento artificial Portland en España (Vegas & Mileto, 2018).

habría sido un 20% más barato que el inglés (Guastavino 1893a, 146). Esta situación llegaría con la consolidación de la producción en los hornos horizontales rotatorios de Navarro al filo del siglo XX (Hadley 1945). Guastavino contactó con Eusebi Güell desde Estados Unidos para proponerle la creación de una fábrica de cemento artificial Portland en Barcelona (fig. 8) a partir de la patente de hornos horizontales de Navarro (Redacción El Financiero 1924, 196), con lo que se puede afirmar que no solo pilotó la primera producción española de cemento Portland en la

década de 1870, sino que también promovió en España la producción moderna de cemento Portland.

Composición y puesta en obra de los morteros de Guastavino

Lo que es cierto en cualquier caso es que Guastavino controlaba minuciosamente la proporción de los materiales en sus morteros de cemento y el proceso de mezcla y ejecución. Prefería el empleo de árido anguloso o de machaqueo frente al árido redondeado,

porque aumentaba la resistencia de la estructura interna del mortero (Guastavino 1904, 28; Lane 2000, 31). Disciplinado por la importancia del agua en las pasteras de yeso, estaba atento a la proporción de agua de la mezcla y usaba ladrillos porosos que permitieran absorber el eventual exceso de agua del mortero de cemento Portland (Guastavino 1893a, 144).

Es interesante apuntar que Guastavino aceleraba el fraguado del mortero de cemento Portland calentando el árido para deshidratarlo y forzar una mayor avidéz al agua o, simplemente, para elevar la temperatura de la mezcla y acelerar el fraguado (Guastavino 1890b). El ingeniero Lavezzari, cuyos artículos de química parecía seguir Guastavino (Vegas et al. 2020), había sugerido un procedimiento similar en un artículo de 1866. Lavezzari proponía elevar la temperatura de los componentes de un mortero hidráulico, lo que favorecía la combinación química y aumentaba hasta veinte veces la velocidad de fraguado. Sugería además otros acelerantes de fraguado de los morteros hidráulicos, como la cal viva en polvo o el yeso, que había experimentado con gran éxito (Lavezzari 1866, 175-7), si bien no nos consta que Guastavino los empleara.

En todo caso de octubre a abril, la época más fría del año, además de calentar el árido, Guastavino encarecía el empleo exclusivo de cemento Portland para aprovechar su fraguado hidráulico. Este mortero era fiable, no requería exposición al aire para fraguar y permitía acelerar el proceso (Guastavino 1893a, 110). La proporción prescrita para esta época era de 1:2 cemento Portland y arena angulosa y lavada, que fraguaba incluso hasta 6 grados bajo cero (Guastavino 1893b, 128).

Se debe destacar que, en otras ocasiones documentadas, como el test de las bóvedas contra incendios que realizó a instancias del Buildings Department de Nueva York en 1897, empleó una proporción de una parte de cemento Portland por cada parte de arena de Cow Bay (Parks y Neumann 1996, 29), proporción quizás debida a la necesidad de soportar mejor el fuego. En esta prueba, el Portland fue

importado desde Inglaterra porque Guastavino no se fiaba del Portland local y no quería arriesgar un resultado fallido (Lane 2000, 18, 31-2).

Guastavino hijo heredó todos los arcanos de su padre. En 1909, la construcción de la cúpula de St. John the Divine, sin andamio, desde el trasdós, apoyándose en los tramos construidos el día anterior inclinados sobre el vacío, es una buena muestra de la confianza en el resultado de sus materiales y proceso de mezcla y ejecución. Tras un primer estrato probablemente recibido con pasta de yeso mezclado con muy poca agua para aumentar la resistencia,⁷ el mortero de cemento prescrito en la cúpula lucía una proporción de 1 de cemento por cada 2,5 de árido, similar a la empleada en otras bóvedas, mientras que el mortero usado en sus fábricas era de 1 de cemento por cada 3 de árido, diferencia que brinda una idea la precisión de sus prescripciones (Lane 2000, 29-31).

Otro tipo de mortero diferente empleado por la empresa Guastavino era el requerido para aplacar el intradós con un patrón decorativo, un azulejo eventualmente esmaltado o una baldosa acústica. En la cúpula del Parlamento de Nueva Delhi (India), Guastavino hijo a través de Blodgett recomendó emplear un mortero con una proporción de 3 partes de cal y 8 de árido, una pequeña cantidad de cemento Portland añadido a sentimiento (Blodgett 1923).

Conclusión

Parece que la única clave de todo el proceso radicaba en conocer muy bien la materia prima que empleaba y mezclar cemento con buena arena seca y limpia de arcilla o polvo. De todas formas, en un mundo competitivo como Estados Unidos, la falta de un secreto en especial parecía la mejor razón para generar misterio en torno a la composición del mortero y así proteger la exclusividad de las patentes sobre el sistema constructivo (Lane 2000, 28-9). A pesar de las indicaciones que dejó Guastavino en sus presupuestos, proyectos y escritos, revistas de la época como *Science* afirmaban que la composición exacta de los morteros era un secreto (Redacción S. 1890, 137).

Guastavino fue un pionero en el empleo y la promoción del cemento Portland, no solo en España, donde pilotó la primera producción de este cemento en hornos de carga discontinua 25 años antes de lo que indica la bibliografía oficial, sino también en Estados Unidos, donde su trayectoria discurrió en paralelo con la creación y consolidación de la producción de cemento en hornos horizontales rotatorios por parte de su compatriota José Francisco Navarro, para cuya difusión en España sirvió además de mediador en la fábrica Asland. No en vano poseyó un conocimiento químico y destreza en la manipulación del material que le permitieron el desarrollo junto con su hijo de una obra que sorprende hoy todavía.

Notes

- ¹ No se puede conocer el contenido de las clases de Construcción que impartía el profesor Joan Torras Guardiola en el curso 1862-1863 (Rotaèche, 2013, 953) que estuvo matriculado como alumno Rafael Guastavino Moreno, pero sí se puede tener una aproximación bastante certera a través de los apuntes manuscritos tomados por el alumno Rafael Farga Pellicer de esta asignatura en el curso 1867-1868 que se conservan en el archivo histórico de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona.
- ² Se sabe que Guastavino no conocía el inglés antes de emigrar a EEUU (Guastavino IV, 2006, X, 11-2), y no lo llegó a dominar (Blodgett, 1938, 20).
- ³ Se sabe que Guastavino conocía el francés de manera indirecta por dos motivos: en primer lugar, su conocimiento del libro de Louis Vicat (1818) (Wight, 1901, 80); en segundo lugar, porque se matriculó en el primer curso de la Escuela Politécnica Provincial de Barcelona en 1871, y uno de los requisitos de entrada era el conocimiento del francés (Rotaèche, 2013, 956).
- ⁴ En un artículo previo, los autores especulaban con que el cemento fuera producido por el empresario Ignacio Girona y Agrafel (1824-1889) en las Minas de la Granja de Escarpe (Lleida), dados los errores que existen en este artículo de Wight, pero el testimonio de Espinosa (1859, 135), permite conocer que existía producción de cemento en la provincia de Gerona que encajaría en estas características.

- ⁵ Agradecemos a Pedro Tojeiro del Institut Municipal de Paisatge Urbà de Barcelona la información proporcionada.
- ⁶ El pionero David O. Saylor fue el único productor de cemento Portland en Estados Unidos hasta 1885, y su empresa, Coplay Cement Company, solo instaló los primeros hornos de carga continua en 1893, que estuvieron activos hasta 1904, cuando la producción fue desbancada por los hornos rotatorios de Navarro.
- ⁷ De la observación directa y táctil de la cúpula por el intradós por parte de los autores durante unas obras de reparación en 2006 se puede afirmar que el primer estrato estaba recibido con una pasta, no con un mortero, ante la falta de árido, probablemente de yeso, ya que es muy dudoso que Guastavino hijo confiara el primer estrato a la resistencia de una pasta de cemento Rosendale en una obra tan comprometida.

Referencias

- BALLESTEROS, R. (1869). *Bóvedas tabicadas y otras aplicadas a construcciones modernas*. En REDONDO, E. 2013. Op.cit., 465-80.
- BASSEGODA NONELL, J. (1973). *Los maestros de obras de Barcelona*. Barcelona: Eds. Técnicos Asociados.
- BLODGETT, W.E. (1923-10-01). *Letter to Baker*. RIBA. V&A. BaH/61/1.
- BLODGETT, W.E. (1938). *Memoirs*. Inédito.
- COSSERON DE VILLENOISY. (1869). “Remarques sur les théories les plus répandues de la poussée des terres et de la poussée des voutes”. *Revue Générale de l'Architecture et des Travaux Publics*, Vol. XXVII, 146-53.
- DALY, C. (1862). “Panorama du Mouvement Architectural du Monde. France”. *Revue Générale de l'Architecture et des Travaux Publics*, Vol. XX, 112-32.
- ESPINOSA, P.C. (1859). *Construcciones de albañilería*. Madrid: Severiano Baz.
- FARGA PELLICER, R. 1867-68. *Lecciones de construcción (dictadas por el Profesor Joan Torras Guardiola). Curso de 1867 á 68*. Academia de Bellas Artes de Barcelona. Barcelona: inédito.

- FELIU, A. (2011). "La biblioteca personal de Joan Torras Guardiola". En FELIU, A. & VILANOVA A. (ed.), *La Barcelona de ferro*. Barcelona: MUHBA et al., 290-3.
- FERNÁNDEZ, M. (2006). *La fábrica de ciment Asland de Castellar de n'Hug*. Barcelona: MNACTEC.
- FERRAND, S. (1870). *Étude critique. Les ciments hydrauliques. Le passé, le présent, l'avenir*. Reseñado por LAVEZZARI, É. 1872. *Revue Générale de l'Architecture et des Travaux Publics*, Vol. XXIX, 236-8.
- FERRERAS, F.J. (1998). "Las memorias del Cuerpo de Ingenieros Militares". BORES, F. et al. *Actas del 2º CNHC*. Madrid: Inst. Juan de Herrera et al., 165-71.
- FORNÉS y GURREA, M. (1982) [1841] *El arte de edificar*. Madrid: Poniente.
- GRAUS, R. ROSELL, J. y M. VILLAVERDE (2008). *L'Escola Industrial de Barcelona. Cent anys d'ensenyament tècnic i d'arquitectura*. Barcelona: Diputació et al.
- GUASTAVINO, R. (1888). "Fire-proof building". US Patent Office, n. 383.050, *APT Bulletin* vol. 30, nº 4, 59-156.
- GUASTAVINO, R. (1890a). "Details of fireproof factory". *The American Architect and Building News* vol. XXVII, nº 739. 22 Feb. Lám. I.
- GUASTAVINO, R. (1890b). "Construction of Tiled Arches for Ceilings, Staircases, etc." US Patent Office, nº 430.122, *APT Bulletin* vol. 30, nº 4, 59-156.
- GUASTAVINO, R. (1893a). *Essay on the theory and history of cohesive construction applied especially to the timber vault*. Boston: Ticknor and Co.
- GUASTAVINO, R. (1893b). "Cohesive Construction. Its pasts, its present, its future". *The American Architect and Building News*. Agosto 26, 125-9.
- GUASTAVINO, R. (1896). *Prologomenos on the function of masonry in modern architectural structures. Part I*. New York: Record and Guide Press.
- GUASTAVINO, R. (1904). *The function of masonry in modern architectural structures. Part II*. Boston: America Printing Co.
- GUASTAVINO IV, R. (2006). *An Architect and his Son*. Maryland: Heritage Books.
- HADLEY, E.J. (1945). *The magic powder: history of the Universal Atlas Cement company and the cement industry*, New York: G.P. Putnam's Sons.
- ISAC, Á. (1988). *Eclecticismo y pensamiento arquitectónico en España (1846-1919)*. Granada: Dip. Provincial.
- LANE, D.R. (2000). *Putting Guastavino in context: a scientific and historic analysis of his materials, methods and technology*. Tesis inédita. NYC: Univ. of Columbia.
- LAVEZZARI, É. (1866). "Un mot de chimie a propos des mortiers". *Revue Générale de l'Architecture et des Travaux Publics*, Vol. XXIV, 172-8.
- LAVEZZARI, É. (1869). "Exposition Universelle de 1867. Les chaux, les ciments et les matériaux artificiels". *Revue Générale de l'Architecture et des Travaux Publics*, Vol. XXVII, 264-73.
- MARÍ, J.C. (2014). *Restauració d'façanes principals de la Casa V. Blajot*. Barcelona: inédito.
- MATALLANA, M. (1848). *Vocabulario de arquitectura civil*. Madrid: F. Rodríguez.
- MAYO CORROCHANO, C. (2015). *El cemento natural en el Madrid de los siglos XIX y XX*. Tesis doctoral inédita. Madrid: UPM.
- MONTANER, J.M. (1983). *L'ofici de l'arquitectura*. Barcelona: UPB.
- NAVARRO, J.F. (1904). *Sixty-six business record*, New York: L.H. Biglow & C.
- NEWBY, F. (2001). Early Reinforced Concrete. Vol. 11, *Studies in the History of Civil Engineering*. Brown, J. (ed). Aldershot-Hampshire: Ashgate.
- PARDO, M. (1885). *Materiales de construcción*. Madrid: M. Tello.
- PARKS, J. & NEUMANN, A.G. (1996). *The Old world builds the New. The Guastavino Company and the technology of the catalán vault, 1885-1962*. New York: Columbia University.
- POUNDS, R., RAICHEL, D. & WEAVER, M. (1999). "The Unseen World of Guastavino Acoustical Tile Construction: History, Development, Production", *APT Bulletin* vol. 30, nº 4, 33-9.

- REDACCIÓN DH. (1878). *Diario de Huesca*, 16 marzo.
- REDACCIÓN *El Financiero*, Años XXIV, Octubre de 1924, p. 196.
- REDACCIÓN ROP. (1855). “Noticias varias”. *Revistas de Obras Públicas* 18, 216.
- REDACCIÓN S. (1890). “A new system of fire-proof floor-construction”. *Science* vol. 15, n. 369 (feb. 28, 1890), 137-138.
- REDONDO MARTÍNEZ, E. (2013). *La bóveda tabicada en España en el siglo XIX: La transformación de un sistema constructivo*. Tesis doctoral inédita. Madrid: UPM.
- ROGENT PEDROSA, F. & DOMÉNECH i MONTANER, L. (1897). *Arquitectura moderna de Barcelona*, Barcelona: Parera y Cia.
- ROTAECHE, M. (2013). “Rafael Guastavino Moreno, maestro de obras en España: del taller de sastrería al Privilegio de Invención”. *Actas 8º CNHC*. Madrid: Inst. Juan de Herrera, 949-60.
- TEN, A.E. y CELI, M. (1996). *Catálogo de las revistas científicas y técnicas publicadas en España durante el siglo XIX*. Valencia: Universitat de València – CSIC.
- VALDÉS, N. (1870). *Manual del ingeniero y del arquitecto*. 2ª ed. Madrid: G. Alhambra.
- VEGAS, F., & MILETO, C. (2012). “Guastavino y el eslabón perdido” en AAVV. *Construyendo bóvedas tabicadas*. Valencia: UPV, 133-156.
- VEGAS, F., MILETO, C., CANTERO, V. (2017). “El arquitecto Rafael Guastavino (1842-1908): obra en cuatro actos”. *Ars Longa* nº 26, 209-30.
- VEGAS, F., CANTERO, V. MILETO, C. (2019). “La construcción según Juan José Nadal”. HUERTA, S., GIL, I. *Actas del 11º CNHC*, 1115-22.
- VEGAS, F., MILETO, C., CANTERO, V. (2020). “Aproximación al higienismo en la arquitectura de Rafael Guastavino”. *Ars Longa* nº 29, 201-218.
- VICAT, J.L. (1818). *Recherches expérimentales sur les chaux de construction, les betons et les mortiers ordinaires*. París: Goujon.
- VILLANUEVA, J. [1827] (1977). *Arte de la albañilería*. Madrid: Casariego.
- WIGHT, P.B. (1901a). “The Works of Rafael Guastavino I”. *The Brickbuilder* 10, April: 79-81.
- WIGHT, P.B. (1901b). “The Works of Rafael Guastavino II”, *The Brickbuilder* 10, May: 100-2.
- WIGHT, P.B. (1901c). “The Works of Rafael Guastavino III”, *The Brickbuilder* 10, Sept.: 184-8.
- WIGHT, P.B. (1901d). “The Works of Rafael Guastavino IV”, *The Brickbuilder* 10, Oct.: 211-4.