

na:ilos

Estudios
Interdisciplinarios
de Arqueología

LAMINA XXIV



Pintura de la piedra dolomítica de la Capilla de Santa Cruz de Cangas de Onís
(Núm. 282 del Catálogo.)



Pintura principal de Peña Tu. (Núm. 202 del Catálogo.)

10

Diciembre 2023

OVIEDO

NAILOS: Estudios Interdisciplinarios de Arqueología
Número 10

Oviedo, 2023

ISSN 2340-9126

e-ISSN 2341-1074

Asociación de
Profesionales
Independientes de la
Arqueología de
Asturias



na:los

Estudios
Interdisciplinares
de Arqueología



Consejo Asesor

Xosé Lois Armada INICIPIT-CSIC	Juan José Larrea Conde Universidad del País Vasco
José Emili Aura Tortosa Universitat de València	Armando José Mariano Redentor Universidade de Coimbra
José Bettencourt Universidade Nova de Lisboa	Ana Belén Marín-Arroyo Universidad de Cantabria
Rebeca Blanco-Rotea Universidade do Minho	José María Martín Civantos Universidad de Granada
José Manuel Costa-García Universidad de Salamanca	Aitor Ruiz Redondo Université de Bordeaux
Miriam Cubas Morera Universidad de Alcalá de Henares	Ignacio Rodríguez Temiño Junta de Andalucía
Adolfo Fernández Fernández Universidad de Vigo	José Carlos Sánchez Pardo Universidade de Santiago de Compostela
Camila Gianotti Universidad de la República (Udelar)	José Luis Sanchidrián Torti Universidad de Córdoba
Fernando Igor Gutiérrez Zugasti Universidad de Cantabria	Valentín Villaverde Bonilla Universitat de València
Juan José Ibáñez Estévez Institución Milá i Fontanals, CSIC	

Consejo Editorial

Alejandro García Álvarez-Busto Universidad de Oviedo
César García de Castro Valdés Museo Arqueológico de Asturias
María González-Pumariega Solís Gobierno del Principado de Asturias
Carlos Marín Suárez Universidad de la República, Uruguay
Andrés Menéndez Blanco Universidad de Oviedo
Sergio Ríos González Arqueólogo
Patricia Suárez Manjón Arqueóloga
José Antonio Fernández de Córdoba Pérez Secretario · Arqueólogo
Fructuoso Díaz García Director Fundación Municipal de Cultura de Siero

Portada: Reproducciones de las pinturas del Dolmen de la Santa Cruz (Benítez Mellado) y del Ídolo de Peña Tú (J. Cabré). *Catálogo de la Exposición de Arte Prehistórico Español, 1921.*

Diseño y Maquetación: Miguel Noval Canga.

nailos

Estudios
Interdisciplinares
de Arqueología

ISSN 2340-9126
e-ISSN 2341-1074
C/ Naranjo de Bulnes 2, 2º B
33012, Oviedo
secretario@nailos.org
www.nailos.org

Nailos n.º 10. Diciembre 2023

© Los autores

Edita:

Asociación de Profesionales Independientes
de la Arqueología de Asturias (APIAA).

Hotel de Asociaciones Santullano.

Avenida Joaquín Costa n.º 48.

33011. Oviedo.

apia.asturias@gmail.com

www.asociacionapiaa.com

Lugar de edición: Oviedo

Déposito legal: AS-01572-2013



CC BY-NC-ND 4.0 ES

Se permite la reproducción de los artículos, la cita y la utilización de sus contenidos siempre con la mención de la autoría y de la procedencia.

NAILOS: Estudios Interdisciplinares de Arqueología es una publicación científica de periodicidad anual, arbitrada por pares ciegos, promovida por la Asociación de Profesionales Independientes de la Arqueología de Asturias (APIAA)

Bases de datos que indizan la revista | Bielefeld Academic Search Engine (BASE); Biblioteca Nacional de España; CAPES; CARHUS Plus+ 2014; Catàleg Col·lectiu de les Universitats de Catalunya (CCUC); Catalogo Italiano dei Periodici (ACNP); CiteFactor; Copac; Dialnet; Directory of Open Access Journals (DOAJ); Dulcinea; Elektronische Zeitschriftenbibliothek (EZB); ERIH PLUS; Geoscience e-Journals; Interclassica; ISOC; Latindex; MIAR; NewJour; REBIUN; Regesta Imperii (RI); Sherpa/Romeo; SUDOC; SUNCAT; Ulrich's-ProQuest; Worldcat; ZDB-network

SUMARIO

Editorial	10-11
ARTÍCULOS	
<i>Cuestiones iconográficas a propósito de la placa inferior de la Arqueta de las Ágatas de la Catedral de Oviedo</i> César García de Castro Valdés	15-53
<i>Consideraciones históricas sobre el empleo de cajones flotables en la construcción de puertos. Dos mil años de ingeniería portuaria (23 a. C.-mediados del siglo XX)</i> Elías Carrocera Fernández y Luis Blanco Vázquez	55-83
<i>Arte rupestre prehistórico de Asturias: una historia con cien años de gestión (Parte I). Del descubrimiento del Pindal al descubrimiento de Tito Bustillo (1908-1968)</i> María Glez-Pumariega Solís, Miguel Polledo González y Fructuoso Díaz García	85-117
<i>El conde de la Vega del Sella (1870-1941) a través de su correspondencia personal: Algunas novedades documentales</i> Fructuoso Díaz García y Miguel Polledo González	119-175
<i>El papel de los arqueólogos y la Administración en la pérdida de patrimonio arqueológico. Una reflexión desde el caso de la provincia de Bizkaia (País Vasco, España)</i> José Luis Ibarra Álvarez	177-211
NOTAS	
<i>Sobre las ideas preconcebidas en Prehistoria</i> Georges Sauvet	214-227
<i>Aproximación al vidrio prerromano y romano de Peña Castro (La Ercina, León)</i> Francisco Javier Marcos Herrán	228-237
<i>La resistencia de Ait Baamaran frente a Marruecos y Francia en 1917. Reconocimiento del territorio y lugares de la Batalla de Igalfen</i> Luis Blanco Vázquez y Muhammad Derbal	238-255
RECENSIONES	258-278
–	
Informe editorial del año 2023	280-281
Guía para autores	284-285

SUMMARY

Editorial	10-11
ARTICLES	
<i>Iconographical questions referred to the bottom plaque of the Agate Chest of the Oviedo Cathedral</i> César García de Castro Valdés	15-53
<i>Historical considerations about the use of floating caissons in the construction of ports. Two thousand years of port engineering (23 BC-half of the 20th century)</i> Elías Carrocera Fernández y Luis Blanco Vázquez	55-83
<i>Prehistoric rock art in Asturias: a history with a hundred years of management (Part I). From the discovery of El Pindal cave to the discovery of Tito Bustillo cave (1908-1968)</i> María Glez-Pumariega Solís, Miguel Polledo González y Fructuoso Díaz García	85-117
<i>The Count of Vega del Sella (1970-1941) through his personal correspondence: Some documentary news</i> Fructuoso Díaz García y Miguel Polledo González	119-175
<i>The role of archaeologists and the administration in the loss of archaeological heritage. A reflection from the case of the province of Biskay (Basque Country, Spain)</i> José Luis Ibarra Álvarez	177-211
NOTES	
<i>About preconceptions in Prehistory</i> Georges Sauvet	214-227
<i>Approximation to the pre-Roman and Roman glass of Peña Castro (La Ercina, León)</i> Francisco Javier Marcos Herrán	228-237
<i>The resistance of Ait Baamaran against Morocco and France in 1917. Reconnaissance of the territory and places of the Battle of Igalfen</i> Luis Blanco Vázquez y Muhammad Derbal	238-255
REVIEWS	258-278
–	
Editorial Report 2023	280-281
Guide for authors	285



Consideraciones históricas sobre el empleo de cajones flotables en la construcción de puertos. Dos mil años de ingeniería portuaria (23 a. C.-mediados del siglo XX)¹

Historical considerations about the use of floating caissons in the construction of ports. Two thousand years of port engineering (23 BC-half of the 20th century)

Elías Carrocera Fernández y Luis Blanco Vázquez

Recibido: 10-11-2023 / Revisado: 7-12-2023 / Aceptado: 15-12-2023

Resumen

En este trabajo realizamos un análisis histórico del empleo de cajones flotables en la construcción de puertos, desde los inicios, en época romana, hasta mediados del siglo XX. Describimos ejemplos del empleo de estructuras de madera hasta mediados del siglo XIX, de ladrillo en la última mitad del siglo y de hormigón armado en el XX, mostrando la evolución de la ingeniería portuaria durante dos mil años desde la perspectiva histórico-arqueológica.

Palabras clave: Ingeniería portuaria; puertos romanos; cajón de madera; cajón de ladrillo; cajón de hormigón.

Abstract

In this paper we carry out a historical analysis of the use of floating caissons in the construction of ports, from the beginning, in Roman times, until the middle of the 20th century. We describe examples of the use of wooden structures until the mid-19th century, brick in the last half of the century and reinforced concrete in the 20th,

¹ Este trabajo es una revisión ampliada de uno de los apartados que conformó el estudio *El Puerto Teleférico de Vicente Caffarena en Sidi Ifni*, realizado por nosotros en 2021.

showing the evolution of port engineering over two thousand years from a historical-archaeological perspective.

Keywords: Port engineering; roman ports; wooden caisson; brick caisson; concrete caisson.

1. Introducción

Siendo desconocido el contenido exacto de la *Limenopoeica* (tratado de la construcción de puertos, dentro de la *Mechaniqué Sintáxis*) de Filón de Bizancio, obra de mediados del siglo III a. C., ¿dónde empezar a buscar los indicios cronológicos de la utilización del sistema de cajones flotables? Para rastrear esta técnica, la precisión en los indicios es determinante, ya que la sola utilización de hormigón para las obras marítimas no es sinónimo del empleo de encofrados perdidos flotables.

La claves, o los *terminus ante y post quem*, están en los textos de Vitruvio; la compilación de conocimientos del probablemente oriundo de Formia, volcados en su *De Architectura* —27/23 a. C.—, nos proponen un estado de la cuestión sobre los métodos y técnicas empleados en la cimentación de puentes, muelles y rompeolas en el segmento temporal anterior al 27/23 a. C. Utilizamos como referencia a Vitruvio y sus textos, ya que resulta el personaje más comprometido con el objeto de este trabajo y, geográficamente, más próximo al occidente europeo. No cabe duda de que Vitruvio es nuestro nexo con el germen de la ciencia helénica. Ciertamente, tendríamos que reparar en los principios de Ctesibio, Arquímedes o en los del propio Herón; sin embargo, elegimos a Vitruvio, con independencia de la originalidad de sus propuestas, por su ulterior trascendencia.

2. Análisis histórico del empleo de cajones flotables de madera

2.1. Inicios en época romana

Observamos que de las tres maneras que Vitruvio dispone para erigir puertos artificiales dos necesitarían cajones encofradores y flotantes, pero sin fondo, añadiendo la duda del cómo eran fondeados para iniciar las operaciones de relleno².

² Es evidente que Vitruvio no relata de manera expresa el empleo de cajones flotantes. No obstante, si vamos a su capítulo XII.4, donde pormenoriza la botadura de cajones sin fondo, y traducimos convenientemente el *Hac ratione, quotienscumque opus fuerit, in aquam poterit esse progressus* por: «Mediante este proceso, será posible avanzar mar adentro cuanto sea necesario» o «Prosiguiendo de esta forma, se podrá avanzar dentro del mar cuanto se necesite», nuestro supuesto se llena de razón.

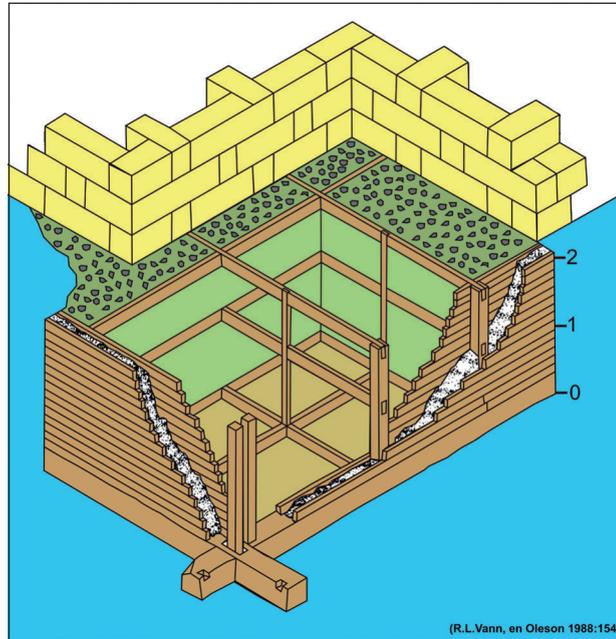
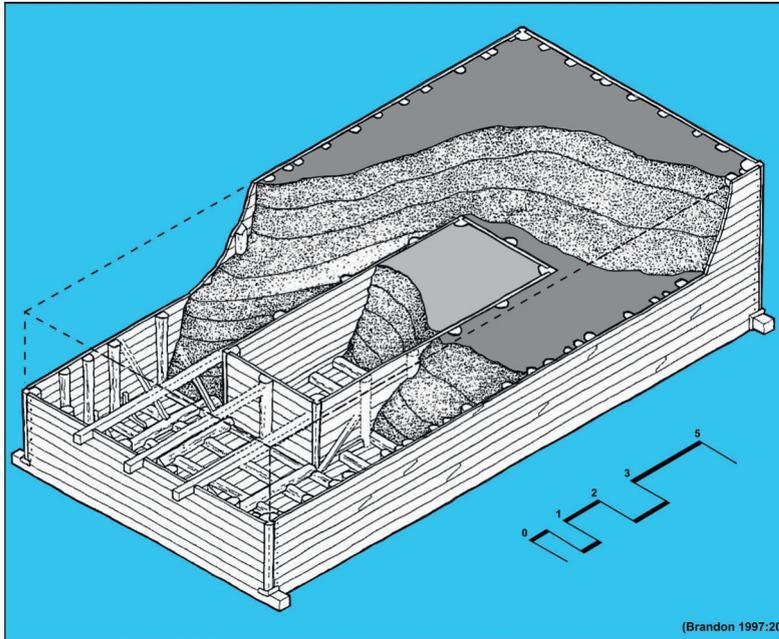


Figura 1. Reconstrucción de un cajón de madera sin fondo con doble mamparo perimetral del «sector G» de Sebastos (sobre dibujo de R. L. Vann, en Oleson 1988:154).

Existen bastantes evidencias arqueológicas que certifican la aplicación del compendio vitruviano, como pueden ser los casos de los puertos de Alejandría (Egipto), Londres (Inglaterra), Ratiatum, Fos-sur-Mer y Laurons (Francia), Astura y Anzio (Italia), Caska (Croacia) y Phanagoria (Krasnodar, Rusia) (Felici 2020:66-74), pero, por su nombradía, los restos de Sebastos (Caesarea Maritima), en la costa de Israel, son los que mejor pueden ilustrar estos comentarios. Herodes mandó construir este puerto entre el 21 y el 9 a. C., dedicándose a César Augusto; dado que, en Grecia, y en general el mundo helenístico, el término/nombre de Augusto (Venerable o Reverenciado) se asocia al vocablo Sebaste, su doble utilización fue una constante.

Las investigaciones en este refugio artificial, en concreto en el «sector G», pusieron de manifiesto la utilización de cajones de madera, sin fondo, como contenedores en los que verter el conglomerado y aglutinante necesario para fortificar la geometría preestablecida en madera. Las cajas, reforzadas y compartimentadas interiormente con travesaños, tenían unas dimensiones de 15 x 11,5 x 2 m y estaban delineadas con un doble mamparo perimetral estanco, separado entre sí por 23 cm (Brandon 1997:14). Este mínimo compartimiento proporcionaba al entramado de madera la flotabilidad necesaria para su remolque



(Brandon 1997:20)

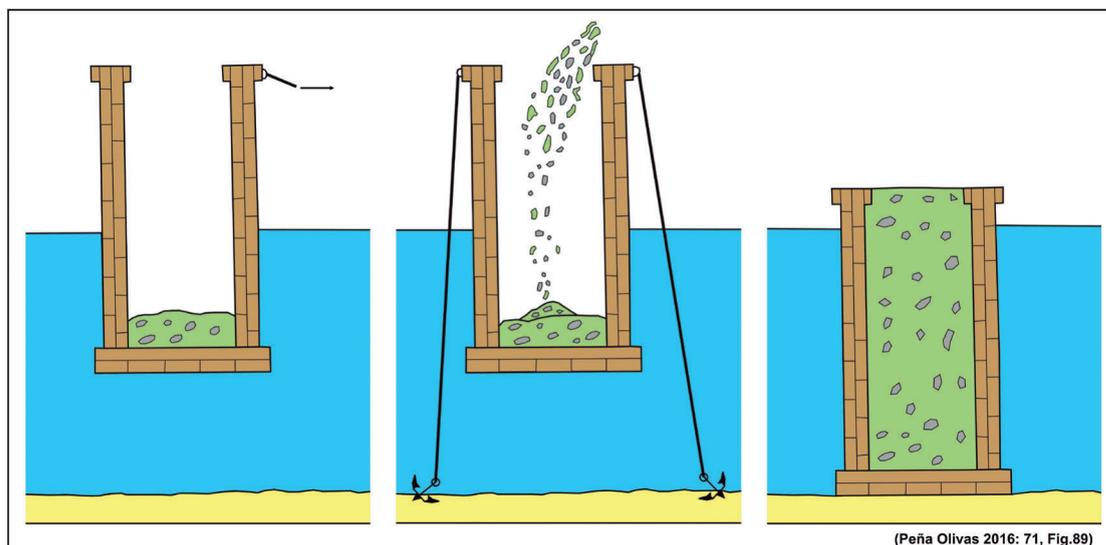


(Brandon 1997:33)

Figura 2. Reconstrucción de un cajón con fondo y compartimiento central procedente del «sector K» de Sebastos (sobre dibujo de Brandon 1997:20).

Figura 3. Imagen del buen estado de la madera del cajón K3 del «sector K» de Sebastos durante las investigaciones arqueológicas submarinas (foto de Shuki Ovadiah, en Brandon 1997:33).

a la posición deseada, permitiendo, a la vez, el fondeo controlado del cofre, para su posterior anclaje, mediante el lastrado con mortero hidráulico, sin agregado grueso (Brandon 2014:212), convirtiendo la descripción vitruviana en algo lógico, dando sentido a una ejecución eminentemente teórica (Figura 1).



(Peña Olivas 2016: 71, Fig.89)

Figura 4. Interpretación gráfica del texto de Julio César (Gc, I, 25) que J. M. de la Peña Olivas dispone; por más que no estemos de acuerdo con el supuesto, la explicación resulta elocuente y práctica: el cajón lastrado para el transporte se fondea y ancla en la posición deseada para, a continuación, proceder a su llenado y hundimiento (sobre dibujo de Peña Olivas 2016:71, fig. 89).

Sin embargo, la lectura detallada del texto vitruviano no ofrece referencia alguna sobre la construcción de cajones con fondo plano, capaces de flotar y navegar como una barcaza. Una vez más, Sebastos, en el «sector K» de las investigaciones, nos vuelve a sorprender por la contundencia de la documentación recuperada. Aquí, tal vez un espacio menos protegido, con condiciones de oleaje más severas, obligó al proyectista a mejorar el modelo y hacerlo más marineramente. Brandon no tiene dudas al respecto y certifica que estos cajones fueron el resultado o la necesidad de trabajar en un medio más hostil que en el «sector G» (Brandon 1997:17), donde los barcos auxiliares pontón tendrían dificultades. Para tal efecto, el tracista ideó cajas flotantes, con fondo plano, como encofrado perdido para cimentar un dique/rompeolas. Aplicando técnicas propias de los carpinteros de ribera, sin atisbos de un calafateo final, se ensamblaron cajones de 14 x 7 x 4 m, con una particularidad: al menos uno de los cajones investigados tenía un compartimiento central de 5 x 2,5 m con múltiples interpretaciones técnicas (Brandon 2014:216) (Figuras 2 y 3). Este ejemplo y la aplicación de esta técnica —21-9 a. C.— podría marcar un *terminus ante quem*, no lejano en el tiempo —27/23 a. C.— de los textos vitruvianos, ¿es esa la causa de la no inclusión de manera expresa en sus descripciones?

No obstante, algunos autores (Peña Olivas 2007:17; 2016:71 y 75) creen ver en un pasaje de Julio César (Gc, I, 25) la utilización de cajones flotantes en el bloqueo del puerto de Brindisi (Figura 4), con una cronología anterior al ejemplo de Sebastos. E. Felici conjetura con que César pudo utilizar piedra para nivelar el fondo y sobre él instalar cajas de madera (Felici 2020:64).

César, después de presumir la táctica de Pompeyo, entiende que el enclave de Brindisi es determinante para el control del Adriático y decide cortar la salida y el tráfico del puerto «(...) *Longius progressus, cum agger altiore aqua contineri non posset, rates duplicas quoquoversus pedum XXX e regione molis collocabat*» (Gc, I, 25). César, según nuestra visión, lo que apunta es que era una necesidad cerrar el puerto en la parte más estrecha de la bocana; para ello, partiendo de ambas orillas, en las zonas menos comprometidas, mandó afrontar un dique de tierra hasta que la profundidad de las aguas impidiese proseguir con la operación; a partir de aquí, desde los dos extremos del dique inconcluso, mandó aparejar y sujetar con anclas balsas/chalanas de unos 9 m de lado, a las que mandó rellenar con tierra para hacerlas operativas según sus intereses, fortificarlas y, probablemente, enrasarlas con la cota de los terraplenes ya construidos.

La clave de la discusión está en la transposición del término *rates*, que, en ningún caso, ni tan siquiera como hiperónimo, debe de traducirse por contenedor, cajón o caja. *Ratis-is* f. se emplea comúnmente, según el contexto, para referirse a balsa, embarcación simple de pesca, embarcación portuaria, embarcación fluvial, chalana o puente de balsas; si bien, en algunas traducciones al castellano, se utiliza como sinónimo de *navis-is* f., nunca como contenedor, cajón o caja. Un mosaico tunecino, procedente de Henchir Medeïna, nos ofrece un ejemplo visual; encontramos la representación de una *ratis* en el mosaico de Althiburus, una suerte de chalana, relativamente plana, que se desplazaba a remos, la más rudimentaria de las embarcaciones allí representadas (Gauckler 1905:127; Duval 1949:138) (Figura 5). El propio Vitruvio, pocos años después de la estrategia de bloqueo apuntada por César, en el capítulo décimo segundo de su Libro V, cuando se refiere a cajones encofradores, utiliza vocablos como *arcae* o *arcas* (*arca-ae* f.) con un claro significado de caja, celda o espacio confinado. En consecuencia, sin tener una seguridad absoluta, entendemos que el ejemplo de Brindisi es una síncopa, resulta una nota débil en el ritmo constructivo aquí expresado, debiendo descartarse o, al menos, someterse a un periodo de observación como evidencia del empleo de cajones flotantes en el armazón de un dique o rompeolas³.

3 Al hilo de la revisión de este texto para su publicación, contrastamos que M. Reddé, en su espléndida obra *Mare Nostrum: les infrastructures, le dispositif et l'histoire de la marine militaire sous l'empire romain* de 1986, en su nota 423, página 127, apunta que el término *rates*, en la literatura militar, siempre designa balsas o pontones, refiriendo también que César, para obstruir el puerto de Brindisi, utilizó esta fórmula que Lucano, a su vez, en el capítulo IV, 420-426, de *La Farsalia*, ya había descrito.

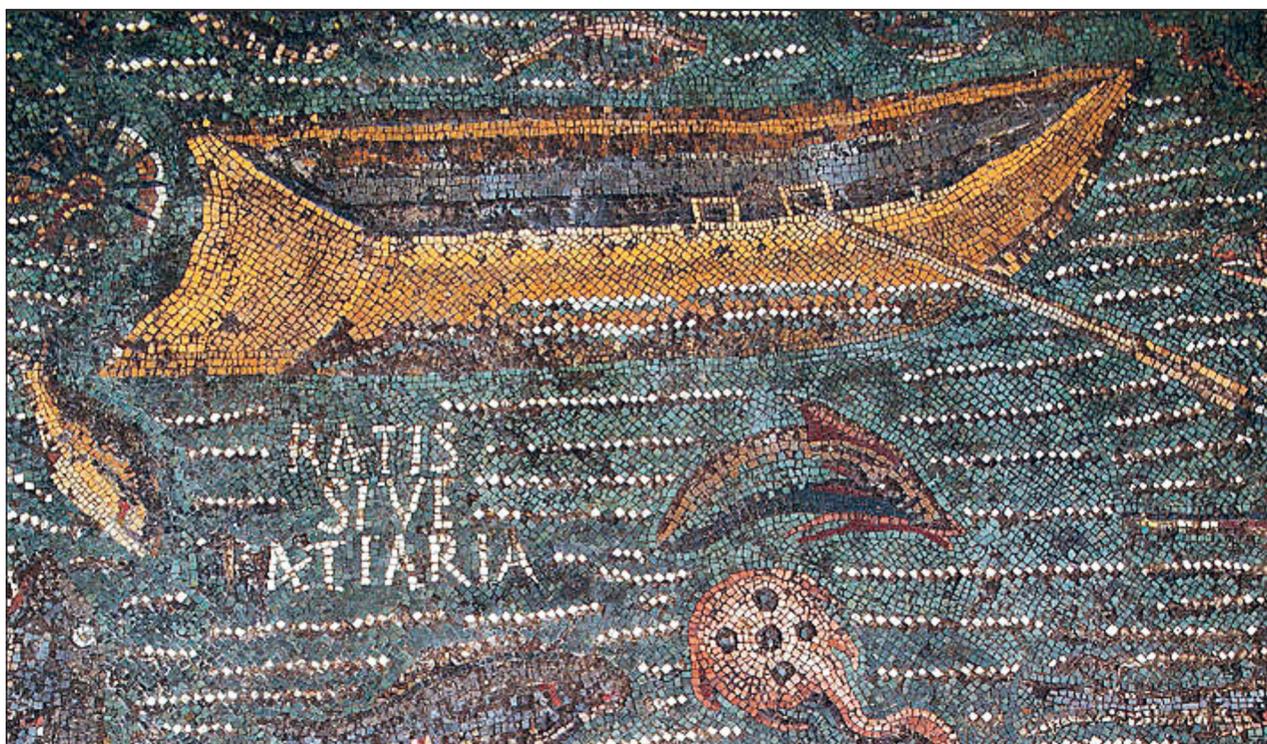


Figura 5. Representación de una *Ratis* en el Mosaico de Althiburos, Museo de El Bardo, Túnez (www.gettyimages.com).

2.2. La norma se va desliendo

Ya en el periodo bizantino, disponemos de un texto de Procopio de Cesarea (545 d. C.) —*Los Edificios*, Libro I—, en época justiniana, que nos remite a cajones flotantes que se utilizaron como contenedores en la construcción de un rompeolas para un puerto en el Bósforo (Periago 2003:47). En este caso en el que el remolque de cajones para construir un rompeolas está fuera de discusión, nos enfrentamos a otro debate. ¿Con el paso del tiempo, se pierde la rígida ordenanza sobre el empleo de hormigones —*argumentum*— y pervive, exclusivamente, la forma? La lectura detenida del texto de Procopio incita a pensar que los cajones eran macizados con rocas, sin aglutinante alguno, como una escollera enclaustrada; no obstante, las investigaciones en el puerto de Lechaion (siglo V d. C.), antigua



Figura 6. Excavación de un cajón en el «área 2» de Lechaion (Foto de V. Tsiairis, LHP, 2015). En: <https://www.ancientpages.com/2015/12/25/underwater-excavations-greek-and-danish-archaeologists-research-ancient-harbor-town-lechaion/> [Consultado: 05.10.2023].



Figura 7. Vista del encofrado con travesaños de madera en el muelle noreste de Yenikapi durante las excavaciones arqueológicas (Ercan 2010:122).

Corinto, Grecia, en el marco del proyecto Lechaion Harbour (LHP, colaboración greco-danesa), que ya había muestreado Brandon en 1999 (Brandon y Jackson 2014:239), inciden en el empleo de morteros puzzolánicos, amalgamados con cerámicas, como aglutinante (Figura 6).

Asimismo, las excavaciones arqueológicas en el muelle noreste del puerto bizantino de Yenikapi (Estambul, Turquía), iniciadas en 2004 con motivo de unas obras del metro de la ciudad (Ercan 2010:103), mostraron la existencia alrededor de la estructura del muelle de travesaños de madera que se corresponderían con los encofrados en los que se colocó el hormigón hidráulico o «pozzolana», que formó la subestructura para la construcción del tramo superior con sillares pétreos (Figura 7). Dichos encofrados de madera parecen tener similitudes con los localizados en Caesarea Maritima (Ercan 2010:122-123). Para A. Ercan, el ejemplo de Yenikapi puede constituir un complemento a la técnica ya explicada por Procopio (Ercan 2010:125).

Esta aparente disparidad de criterios entre las fuentes escritas y las evidencias arqueológicas puede ser nada o, tal vez, encierre un problema cronológico o, simplemente, sea el preludio de una norma que se va desliendo.

A pesar de los múltiples renacimientos, el olvido paulatino de la norma constructiva romana, el «secuestro» de la información escrita, unido a la desaparición de la «enseñanza» de la arquitectura o de la ingeniería (*ex fabrica et ratiocinatione*), conlleva que, de generación en generación, la herencia de la costumbre se diluya.

Una muestra de lo anterior es el caso derivado de la construcción del primer puerto medieval de Barcelona. En los últimos decenios de la Edad Media (1439), se intentó construir un muelle que fortificase la barra existente mediante la utilización de cajones flotantes (Soberón 2014:126). Para ello, los constructores, siguiendo modelos orientales y venecianos, remolcaron cajones flotantes hasta el punto elegido para el fondeo donde fueron macizados con piedra y mortero a base de cal y esquirlas cerámicas que, claramente, como recuerda Soberón, nos remite al *cocciopesto* u *opus signinum* de la antigua Roma. El proyecto resultó efímero, un temporal durante el mismo 1439 removió, agitó y reventó los cofres; si bien, según las fuentes, una inspección ocular al año siguiente determinó que la «*argamasa y las rocas seguían en buenas condiciones*» (Soberón 2014:132-133). Por mucho que queramos calificar este intento como un logro técnico con una base empírica, en el que el núcleo pervive debido al buen manejo de las dosificaciones y al empleo de cales apropiadas, no lo es; de hecho, cuando se retoman las obras en 1445, se recurre a la técnica de la escollera. A nuestro entender, traída o no traída la idea de Venecia, la ejecución resulta un fracaso, ya que todo apunta a unas condiciones de cimentación inadecuadas y al olvido del *pulvis puteolanus* como ingrediente fundamental en las obras marinas, propio de las normas romanas en las construcciones portuarias en contacto con el agua.

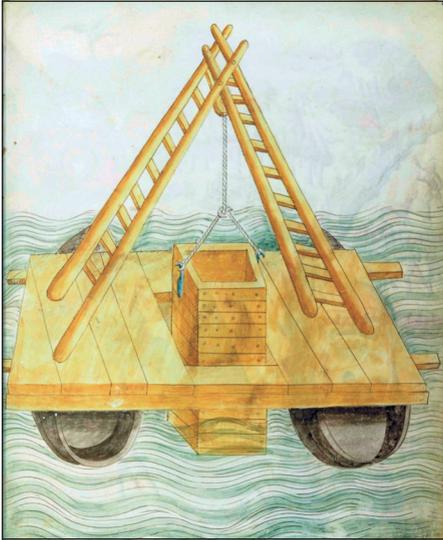


Figura 8. Dibujo del encofrado flotante de Taccola (Taccola ca.1453, Bibliothèque Nationale de France).

2.3. Vuelta a la arquitectura normalizada. Recuperación de la esencia vitruviana

El hallazgo en Montecassino (1414) de una copia del compendio vitruviano, *De Architectura* (Benevolo 1968:164), y la publicación en 1468 del texto en latín por parte de G. Sulpicio da Veroli, supusieron el inicio, lento, de un nuevo interés por la arquitectura normalizada. Desde su publicación en italiano en 1521 por Cesare Cesariano, su difusión y repercusión se puede comprobar en los cascos urbanos y palacios renacentistas diseminados por toda Europa; a la par, los tratadistas de ingeniería portuaria, necesitados de una técnica reglada, también van rescatando el *áromos* vitruviano. En España, será a partir de la traducción impresa de Miguel de Urrea de 1582 (Raposo 2011:1157) cuando la obra vitruviana se haga hueco en la elaboración de proyectos arquitectónicos.

A comienzos del Renacimiento, Mariano di Jacopo, conocido como Taccola (Cuervo), vuelve al concepto olvidado del tratado y en sus dibujos con anotaciones aborda la idea de un encofrado flotante que permitiese cimentar pilares de puentes o secciones de puertos en aguas relativamente profundas (Taccola ca.1453) (Figura 8). El dominio del latín permitió a Taccola acercarse a Vitruvio y, en este caso, combinar los libros quinto y décimo en un alarde de imaginación. Este proyecto de Taccola resulta sencillo, expresivo; aunque parece más un esbozo, sin los pormenores que lo harían operativo, muy en la línea de algunos tratadistas renacentistas que, para proteger su autoría, obviaban algunos detalles esenciales del funcionamiento e incluso los distorsionaban.

Años más tarde —ca.1476-77—, Francesco di Giorgio Martini perfecciona y pule la casi inconcebible imagen de Taccola (Di Giorgio ca.1476-77:8r, 22), haciendo practicable el cajón como fórmula de encofrado en ambientes acuáticos. En concreto, Di Giorgio busca soluciones a la cimentación en fondos irregulares y desiguales, y las encuentra utilizando un cajón sin suelo aparente o rígido. Emplea un arca con laterales sólidos, amparada y resguardada por

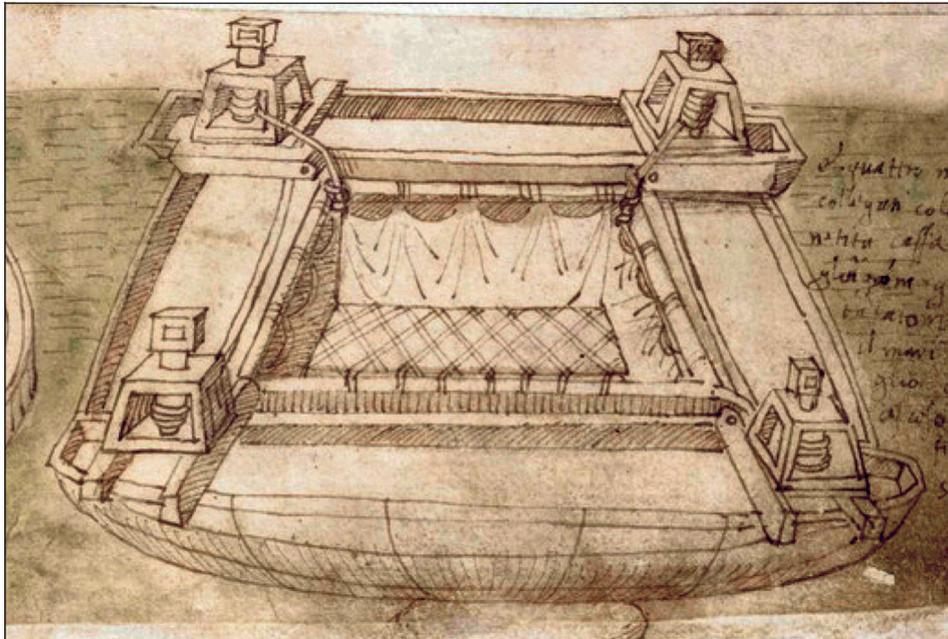


Figura 9. Diseño de Di Giorgio Martini para la cimentación en fondos acuáticos (Di Giorgio ca.1476-77:8r, 22).

cuatro botes que sirven de amarre y de soportes para las maniobras; respecto al fondo, dispone una red tejida con cáñamo, sin atirantar, sobre la que aprestar una lona o tela tenaz y gruesa (Figura 9).

Siglos después, Pérez de la Sala, en el marco de una ingeniería civil normalizada, recupera y enriquece la misma estrategia para evitar que el hormigón fresco se desperdigue sin sentido (Pérez de la Sala 1876:505). La fórmula de los cajones sin fondo, a tenor de lo que expresa el ingeniero asturiano, era la que mejor se prestaba para las construcciones en la mar, aunando sencillez, baratura y rapidez en la ejecución.

De tal manera, los cajones deberán ensamblarse en tierra y, de conformidad con los resultados topográficos de unas sondas previas, arreglarse o recortarse para su acomodo al perfil del suelo en el que se dispondrán. Dado que es imposible una imbricación o solape perfecto, una vez acortados, el ovetense dispone, para impedir que el hormigón se escabulla por los resquicios, una lona exterior, sujeta a los costados, embolsando el ingenio hasta 0,50 m por encima de la línea de flotación.

Utilizando una basada para su botadura, los cajones se llevarán remolcados y flotando a su destino, donde, por medio de lingotes en cajas, dispuestas alrededor de los cajones, se procederá a la sumersión (Figura 10).

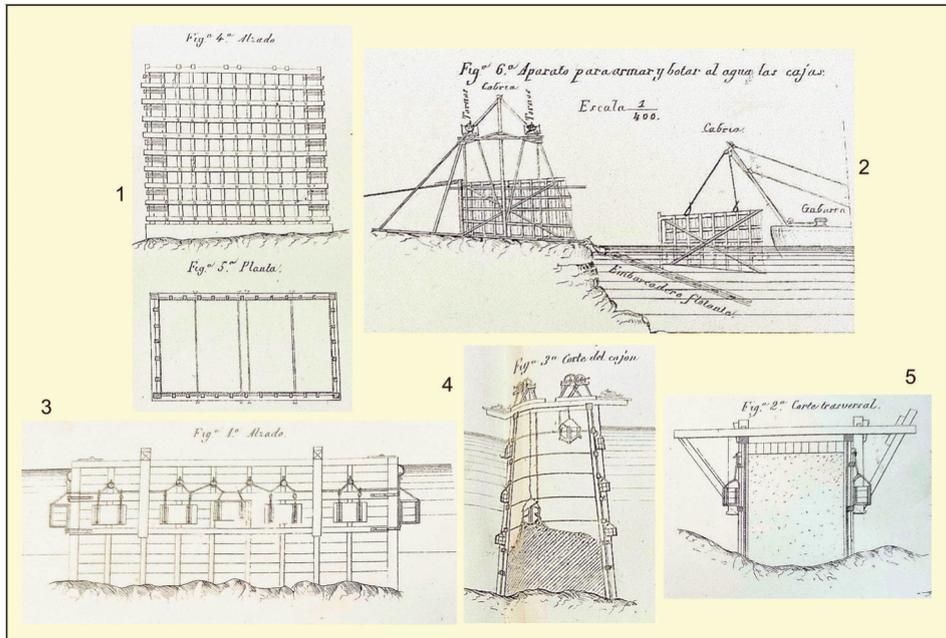


Figura 10. Sistemas concertados de cajones sin fondo según Pérez de la Sala. Montaje, según nuestro criterio, con elementos de la lámina 16 del Atlas del Tratado de las Construcciones en el Mar (Pérez de la Sala 1876).

A la par, propone que los cajones no superen los 4 m de altura, entendiéndose que, si fuera menester mayor altura hasta llegar al nivel de la bajamar, se deberá asentar otro cajón sobre la fábrica enrasada del primero (Pérez de la Sala 1876:504-506).

Una nueva versión del texto vitruviano, con contribuciones figuradas de algunos pasajes, se la debemos, en un primer momento, al religioso Giovanni Giocondo en 1511 (Giocondo, versión de 1521). Este autor, cuando repara en los cajones para el fondeo y hundimiento, diseña un transporte y una estructura utilizando dos barcas aparejadas con un entramado de vigería, más propio del complemento de un *cadafalcum* que del soporte de una polea. La propuesta resulta escasamente práctica, no obstante, la necesidad de estabilizar el cofre después de su hundimiento queda patente en las moharras que, a modo de anclas, son acopladas a la parte inferior del cajón.

Pocos años después, Francesco Lucio Durantino en 1524 (Durantino 1524), publica en italiano igual solución y prácticamente el mismo dibujo (Figura 11).

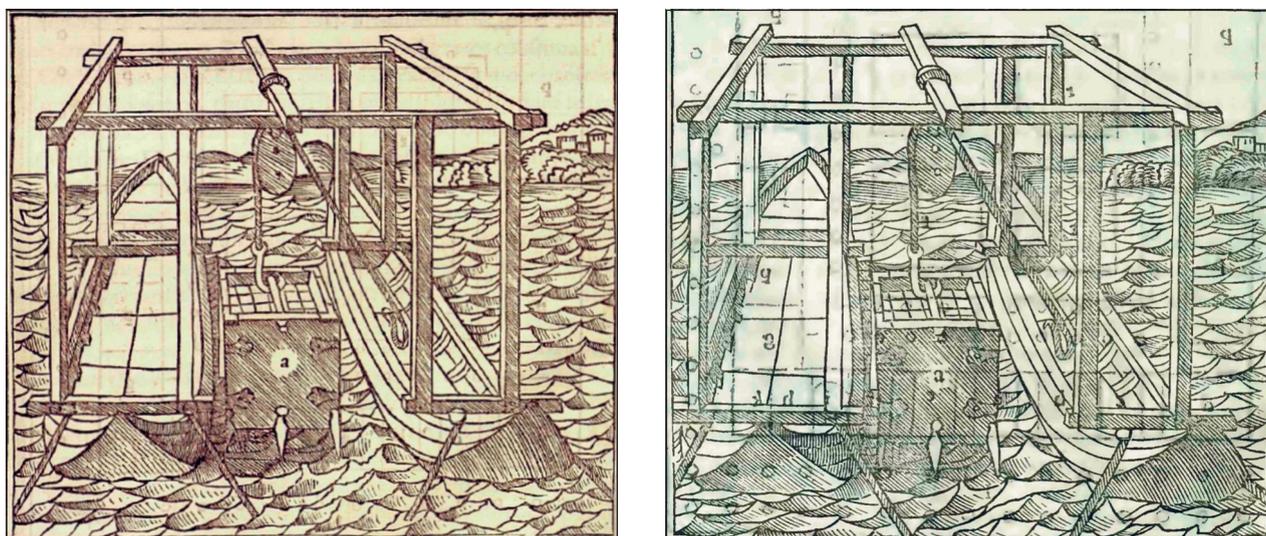


Figura 11. Izquierda, interpretación de Giocondo del pasaje vitruviano relacionado con los cajones flotantes (Giocondo, versión de 1521:Liber Quintus, 55bis). Derecha, Interpretación de Durantino (Durantino 1524:Libro Quinto, 55bis).

No obstante, serán los dibujos de Leonardo los que nos lleven de nuevo a los cajones o cajas como argumento constructivo en la ingeniería portuaria. Si bien los hitos constructivos reconocibles de Leonardo como ingeniero civil se decantan hacia el diseño de puentes sorprendentes, en el *Codice Corazza* encontramos un dibujo con un cajón como «*metodo a cassone per vuotare un porto*» (Buccaro y Rascaglia 2020:104) que se asemeja a uno de los modelos descritos por Vitruvio.

Girolamo Maggi, en el *libro terzo, cap. III* (Maggi y Castriotto 1584:f.77), dedica un espacio a las cimentaciones en agua, siguiendo claramente, ya que se especifica en las notas, el texto de Vitruvio y las circunstancias tangibles que extrae de los casos venecianos; a la par, Castriotto, en el mismo libro, capítulo cuatro, certifica la fórmula de cimentar en agua hundiendo barcos con roda chata, rellenos de piedra, a modo de cajones convenientemente riostrados⁴; además, la ayuda en la fase de inundación la proporciona un gran agujero, sellado con un tronco más alto que la altura del cajón que, en el momento deseado, se retira dando paso al agua.

En el caso español, el trasvase de los conocimientos vitruvianos, por medio de la traducción, recae en Miguel de Urrea, «*architecto, natural de la villa de Fuentes, de*

4 El preludio histórico más renombrado y significativo está en la «nave de Calígula». Este buque, tuvo una segunda oportunidad como elemento de cimentación en la segunda fase del puerto Augusto de Ostia (Peña Olivas 2015:81-82).

la diócesis de Toledo» (Urrea 1582) que ofrece o dedica al Rey su traslación vitruviana. El anhelo era que los constructores de la época, en la línea de lo que ocurría en otros países europeos, claramente mediatizados por el hallazgo de Montecasino, conociesen en su lengua vernácula el tratado de Vitruvio.

Con dudas sobre la autoría de *Los veintiún libros de los ingenios y de las máquinas*, observamos que este tratado de buenas prácticas, muy en la línea de las grafías de los manuscritos leonardinos, en el *Libro 20* se hace referencia a un buen número de posibilidades o combinaciones de cajas y cajones entre sí para dar respuesta a distintas necesidades constructivas portuarias; eso sí, siempre calafateados o empeguntados para evitar la entrada de agua por ninguna parte y controlar su hundimiento antes de tiempo (Lastanosa entre 1601-1700:Tomo V, 429-431). Otro pasaje del *Libro 19*, aunque no hace referencia *stricto sensu* al empleo de cajones flotables, incide en la utilización de barcas, cargadas de piedra, previamente taladradas y encorchadas o taponadas, que se hundan para conseguir un cimiento de piedra muerta; ese cimiento, ya por encima del plano de agua, se regularizaba y aparejaba con piedra y cal, sirviendo como arranque de las paredes (Lastanosa entre 1601-1700:Tomo V, 423).

Chriftoual de Rojas, en 1598, publica *Teoría y práctica de fortificación, conforme a las medidas y defensas destes tiempos*, sumándose a la nómina de ingenieros que anuncian sus conocimientos en la búsqueda de la fortificación perfecta, capaz de minimizar los estragos de la ciencia balística (De Rojas 1598).

En 1599, Diego Gonçalez de Medina Barba publica, en clave de diálogo entre un ingeniero de obras y un príncipe, su *Examen de Fortificación* (Gonçalez de Medina 1599). El autor, asumiendo, a nuestro juicio, el género literario medieval conocido como Instrucción de Príncipes —*speculum principium*—, nos lega un manual de instrucciones y consejos para que el Rey se decida a fortificar sus reinos, y lo haga sin consumir grandes sumas de dineros.

En 1673, Claude Perrault publica *Les dix livres d'architecture de Vitruve, corrigez et traduits nouvellement en François, avec des notes et des figures* (Perrault 1673), y en 1674 saca a la luz un suelto, un documento abreviado —*Abregé des dix livres d'architecture de Vitruve*— con el objetivo, dentro del clasicismo imperante, de recomendar, mediante el conocimiento mediatizado de la obra, el vitruvianismo como argumento. La traducción de esta obra al español por Joseph Castañeda en 1761 resultó fundamental para la difusión del tratado vitruviano en la España de la época (Castañeda 1761).

Fernández de Medrano —1700—, en el *Libro Tercero* de su *Architecto Perfecto en el Arte Militar*, después de certificar que cimentar en ecosistemas acuáticos resulta una tarea complicada y dificultosa, vierte un sinnúmero de recetas y recursos, propios de un ingeniero experimentado. En el apartado específico sobre cajones flotantes, Fernández de Medrano muestra un conocimiento significativo sobre hidráulica y técnicas de fondeo y hundimiento de los cajones (Fernández de Medrano 1735:223-224).

3. Siglo XIX. Abandono de los cajones de madera y empleo de nuevos materiales

A mediados del siglo XIX, el ingeniero español Nicolás Valdés, influenciado por la ingeniería francesa precedente (entre otros, Bernat Forest de Belidor), elabora un manual práctico en el que especifica, para construcciones bajo el agua, que el sistema por cajones es adecuado para fondos permeables, imposibles de desaguar o para obras económicas. Así, previa preparación del suelo mediante dragados y la hincas de pilotes, se coloca en posición un cajón que se hunde a medida que el peso de la construcción lo va determinando. Como aspecto reseñable, el cajón, bien calafateado, es en parte recuperado, ya que los costados de madera son desmontables mediante el destornillado o desjuntado de las barras de hierro usadas para su ensamblaje, permitiendo su reutilización. En este sentido, podemos hacer referencia al cajón propuesto en 1855 por Valdés para la construcción de pilares bajo el agua en Manila (Valdés 1859:Lám. 69) (Figura 12).

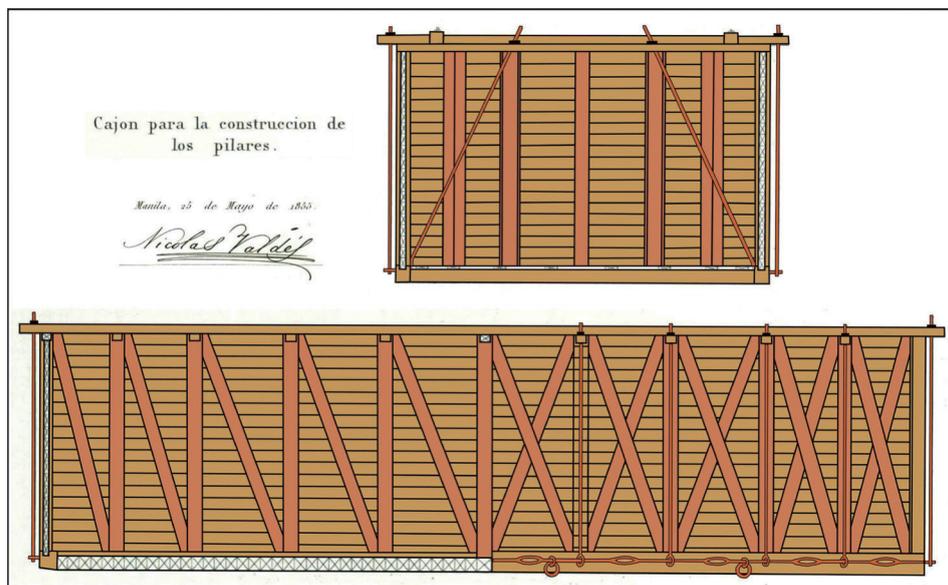


Figura 12. Cajón propuesto por Nicolás Valdés en Manila en 1855. La figura certifica el sistema de acoplamiento de la base del cajón con los laterales; propiciando la ulterior separación mediante el destornillado o desjuntado de las barras de hierro que se aprecian en el dibujo (sobre dibujo de Valdés 1859:Lám. 69).

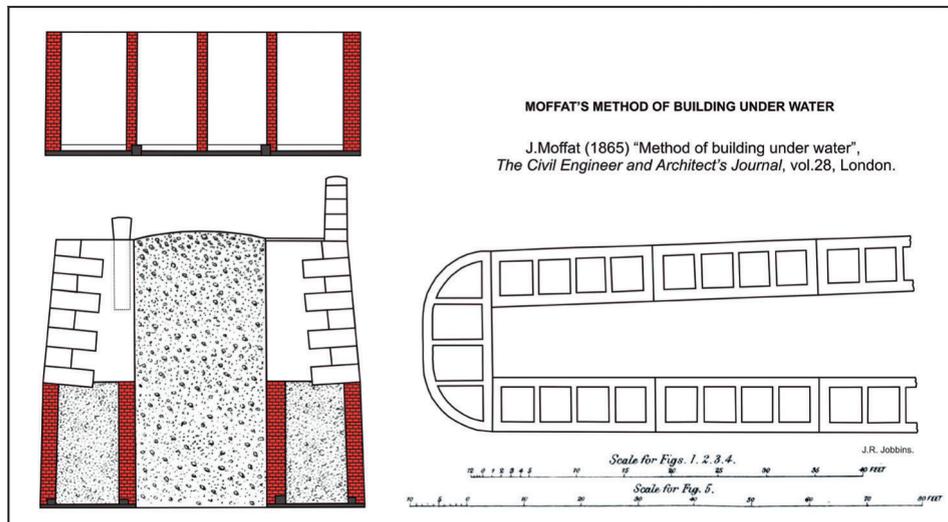


Figura 13. Sistema de Moffat para la construcción de diques con cajones flotables de paredes de ladrillo (sobre dibujo de Jobbins, en Moffat 1865:Pl. 6).

No obstante, el paso intermedio entre los cajones de madera precedentes y los de hormigón posteriores, podemos encontrarlo en la construcción del puerto de Ardrossan, en Escocia, en el que el ingeniero John Moffat rompe con el uso de cajones flotables de madera, ejecutando en un dique seco de carena cajones con paredes de ladrillo que, una vez remolcados y fondeados, se macizaban de hormigón y se ordenaban en su posición mediante un hundimiento controlado (Moffat 1865:75-77) (Figura 13).

Ante esto, el ingeniero Pedro Pérez de la Sala, con largo desempeño como docente y director de la Escuela de Caminos de Madrid, teniendo en cuenta «la información inglesa para la construcción del dique de Dover», en la que se propusieron también cajones huecos contruidos con ladrillos, y los citados trabajos de Moffat en Ardrossan, se muestra favorable al novedoso sistema de «cajones con las paredes mismas del macizo». Esgrime que en Dover se plantearon cajones contruidos con ladrillo o con hormigón, «para llevarlos flotando al punto de empleo, y sumergirlos allí cargándolos con escollera ú otro material más barato: de esta manera el cajón formaba parte de una misma construcción» (Pérez de la Sala 1876:514); apuntando, también, que Moffat adoptó el enunciado con éxito en el puerto de Ardrossan.

A partir de este momento, se eliden los cajones de madera y los trabajos complementarios de ensamble, calafateo y otras impermeabilizaciones; de igual modo, ya no son necesarios, una vez consolidado el macizo, los hábitos de separación y recuperación de los portones de las cajas. En suma, la simplificación repercute en el presupuesto de ejecución: el ahorro se hace notable (Pérez de la Sala 1876:515).

4. Consideraciones históricas sobre el empleo de cajones flotables de hormigón

Es conocido que los anhelos propios del siglo XIX son determinantes para la irrupción del hormigón armado en el ámbito constructivo. Desde el siglo XVIII son varios los personajes que evocan la idea de solidarizar el hierro con el mortero e, incluso, conocemos una patente que, en 1844, Fox y Barret registraron con la intención de utilizar «vigas de fundición espaciadas por 45 centímetros y hundidas en un hormigón de cal» (Simonnet 2009:44); sin embargo, entendemos que Joseph Lambot y su lancha imputrescible pueden ser una buena elección de partida, ya que el sentido y las posibilidades prácticas de su ocurrencia/invento representan una primicia en lo tocante al análisis de la flotabilidad del hormigón armado. Lambot, como algún otro, experimentó con «ferrocemento» el diseño de mobiliario para jardines; en cambio, pasó a la historia por la ocurrencia de construir, con el mismo procedimiento, un bote de unos 4 m de largo, 1,30 m de ancho y un espesor medio de cuatro centímetros. El bote se dio a conocer en la Exposición Universal de París de 1855, donde causó desconcierto y sorpresa; empero sus ideas, en principio sin consecuencias, arraigaron en otros inventores y experimentadores posteriores. Es probable que el iniciador de la experimentación fortificando aglutinantes sea el arquitecto racionalista Henri Labrouste cuando lleva a cabo la ejecución de las cúpulas en escayola de la biblioteca de Sainte Geneviève (1843-1850) en París (Collins 1995:9).

En cuanto a los primeros ejemplos internacionales de la construcción de puertos con cajones de hormigón a comienzos del siglo XX, debemos citar, entre otros, los casos de los puertos de Kobe (Japón), Róterdam (Países Bajos) y Valparaíso (Chile).

En Kobe, iniciado en 1906, se emplearon cajones celulares de hormigón armado construidos en la orilla, de 35,85 m de longitud y 12,65 m de altura, puestos en el agua por un dique flotante especial, y posteriormente remolcados hasta su lugar correcto rellenándolos con hormigón para su asentamiento en el fondo (Delisle 1912:202-203).

En Róterdam, después de numerosos contratiempos y averías en su construcción durante la segunda mitad del siglo XIX, se utilizaron, entre 1907

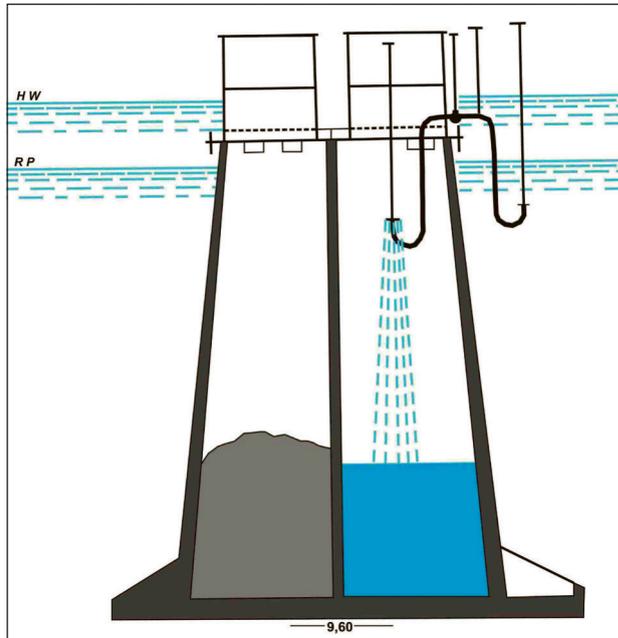
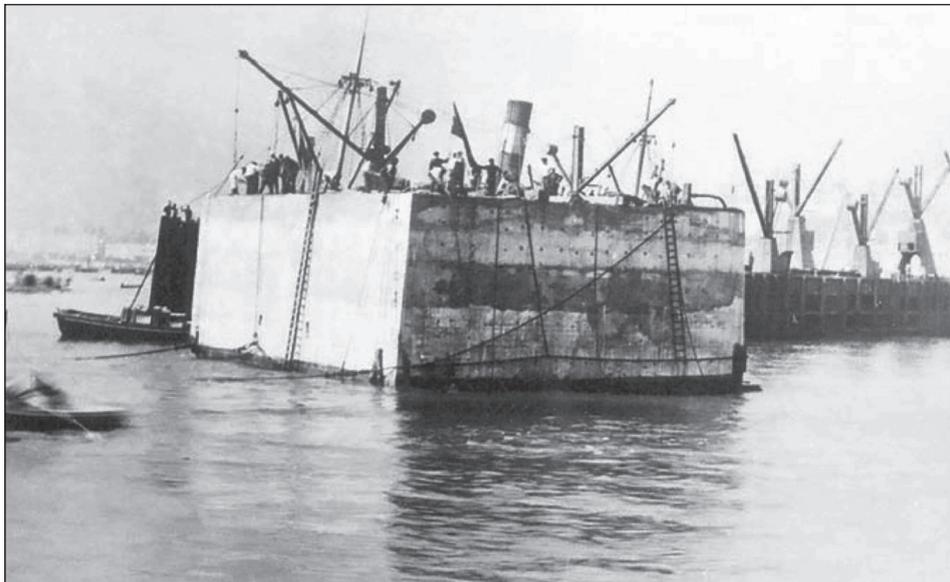


Figura 14. Dibujo con el proceso de llenado de un cajón de hormigón del Puerto de Róterdam, regulando a la vez hormigón y agua para que la presión sobre el tabique intermedio no fuese demasiado fuerte (sobre la fig. 34, en Montenegro 1911:51).

Figura 15. Monolito o cajón de hormigón armado del Puerto de Valparaíso en 1917, durante su traslado a su ubicación definitiva (Memoria Visual del Puerto de Valparaíso, en Cavieres 2011:XIX).



y 1908, cajones celulares de hormigón armado, de 40 m de longitud, 9,60 m de anchura en su base y 10 m de altura final, que, tras ser remolcados hasta su situación idónea, fueron rellenos con hormigón a través de tapaderas de hierro en la parte superior, cada una de las cuales cubría cuatro células o compartimientos anejos (Montenegro 1911:49-54) (Figura 14).

En Valparaíso, cuyas obras se desarrollaron entre 1912 y 1930 (Cavieres 2011:XI), se recurrió al empleo de bloques monolíticos o cajones de hormigón armado, teniendo los del Espigón de La Baja unas dimensiones de 22 m de largo, 12 m de ancho y 12 m de altura, con un peso de 6000 t. Fueron construidos en dique seco y transportados a su ubicación final atando a los lados cajones flotadores de hierro, tras lo cual, una vez fondeados, se rellenaron sus huecos (Fagalde 2011:191-192 y 196) (Figura 15).

4.1. Puertos con cajones de hormigón en España hasta mediados del siglo XX

En España, entre finales del siglo XIX y principios del XX, no existían muchos ejemplos operando en ambientes marinos. Debemos retrotraernos a los cajones que ejecutó Montenegro para entrar en servicio en el Muelle de Levante del puerto de Huelva. La escasa resistencia de los terrenos fangosos del fondo de la ría del Odiel necesitó una precarga inicial para disponer los cajones, concebidos a partir de las experiencias de los puertos de Róterdam y Trieste (Montenegro 1914:371) (Figuras 16 y 17).

En este sentido, las dificultades a las que se enfrentó Montenegro para el empleo y dosificación del hormigón armado en medios marinos sí eran un referente, máxime si tenemos en cuenta que, hasta bien entrado el siglo XX, el uso del hormigón armado en ambientes marinos se consideraba inadecuado o contrario a la lógica constructiva (Suárez Galván 1927:169).

El proyecto de Montenegro, iniciado en 1902, se dilató en el tiempo hasta 1931; durante esos casi treinta años, el conocimiento sobre las propiedades de los cementos y hormigones, al abrigo de las memorias de los planes ejecutados, dio solidez a las intenciones del proyectista.

Todavía en 1927 existía un gran debate sobre la conveniencia de utilizar cemento puzolánico o no en estructuras de hormigón armado para obras marítimas, ya que muchos entendían que la adherencia entre hormigón y hierro no estaba garantizada con el empleo del puzolánico (García Navarro 2009:58-59). Estas vacilaciones pudieron estar motivadas, presumiblemente, por el miedo al fracaso en la figura del colapso, con los ejemplos del fallo de cimentación del depósito de agua de Llanes (Asturias), el hundimiento del tercer depósito de aguas del Canal de Isabel II en Madrid, el desmoronamiento del puerto de Vigo por la degradación del hormigón aunado con cemento Pórtland (Bruna Quintas 2017:138) o los informes de George Nicholson, ingeniero director del puerto de

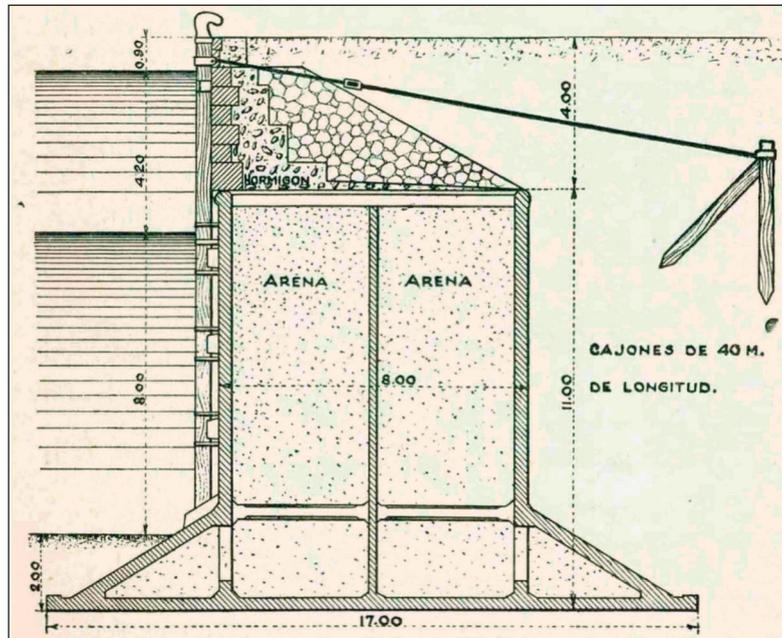


Figura 16. Sección de un cajón de hormigón del Puerto de Huelva con el relleno de arena y el sellado con solera de hormigón (Ribera 1930:242).

Los Ángeles (informes publicados en la revista *Dock and Harbour Authority*, y que difunde Eugenio Suárez Galván, ingeniero director del puerto de Cádiz, en 1927 en el n.º 2475 de la *Revista de Obras Públicas*), haciendo un memorando sobre los deterioros del hormigón armado en contacto con el agua de mar.

La experiencia práctica española en el uso de cajones con fondo no se circunscribe exclusivamente al puerto de Huelva, tal vez el ingeniero Evaristo de Churruca sea el primer proyectista que, en época contemporánea, resuelve los problemas de cimentación de un puerto utilizando cajones, en este caso de hierro. A partir de 1895, en el Rompeolas o Dique Oeste del Puerto de Bilbao, se emplearon cajones de hierro rectangulares, flotables, de seis metros de altura que, una vez botados, se remolcaban hasta su posición final, y una vez hundidos se introducían en ellos bloques de hormigón, manufacturados con cemento Pórtland (Churruca 1899:482).

Asimismo, el ingeniero Fausto Elio empleó cajones metálicos rellenos de hormigón Pórtland en unas reparaciones del Dique Norte del Puerto de Valencia tras los daños sufridos a causa de un temporal en 1901 (Ribera 1930:236-237).

Barcelona también aporta experiencias en la construcción de infraestructuras portuarias a partir de cajones; de tal forma, Carlos de Angulo, en 1907, proyectó



(APH, Fondo José Bravo Suárez, en: A. M. Mojarro, 2017, *Francisco Montenegro y el Puerto de Huelva*: 211)

Figura 17. Hundimiento del primer tramo de cajones de hormigón del Muelle de Levante del Puerto de Huelva (APH, Fondo José Bravo Suárez, en Mojarro 2017:211).

para el rompeolas de Levante unos contenedores de 25 m de largo y con un peso de 2.500 t. En este caso, teniendo como linde moldes de madera, se ejecutaron a base de hormigón en masa, moldeados con un fondo de 1 m de espesor (Ribera 1930:239).

En el repertorio de elementos portuarios españoles, debemos citar también los significativos ejemplos asturianos de los cajones delineados para el rompeolas —Dique Norte— del Puerto de El Musel (Gijón) y los del Puerto de Pravia.

Si bien se venían empleando los prototípicos cajones de hormigón armado en la ejecución del rompeolas/dique de Gijón desde 1911, la tozudez del Cantábrico hacía de las obras una quimera, provocando averías constantes y resultando imposible un proceso normal de fondeo y relleno. Para la solución de estos problemas, en 1925 se puso al frente de la dirección el experimentado ingeniero Manuel Becerra Fernández, quien, después de valorar el efecto y las causas de las averías, modificó substancialmente el concepto de

cajón que se venía empleando en la construcción del dique/rompeolas. De inmediato aumentó las dimensiones de los cajones, quedando divididos en veinticuatro celdas a partir de cinco tabiques longitudinales y tres transversales, a la vez que sumó una tapa superior a la que dotó de seis chimeneas por las que introducir el posterior relleno. Estos cajones con tapa son remolcados hasta su destino (Figura 18), donde se preasientan por inundación, a la espera, utilizando las chimeneas como entrante, de un rápido relleno de hormigón que se sella con un mortero bien dosificado, evitando así cualquier oquedad bajo la tapa (Ribera 1930:247).

Este sistema sirvió de referencia algunos años, aunque su utilización en puertos cantábricos, en los que la *mar bella* es escasa, o en rías con fuertes corrientes de creciente y de vaciante, motivó un sin número de averías que se relacionan con la dificultad de reposo de los cajones, con el tipo de lastre de partida en algunos casos, circunstancia esta que resulta primordial, o, simplemente, con el limitado tiempo para el trabajo entre mareas; sin dejar de lado un detalle importante, los ingenios técnicos de principios del siglo XX no garantizaban un hormigonado rápido y solvente que hiciese innecesarias las chimeneas como cierre temporal de cajón.

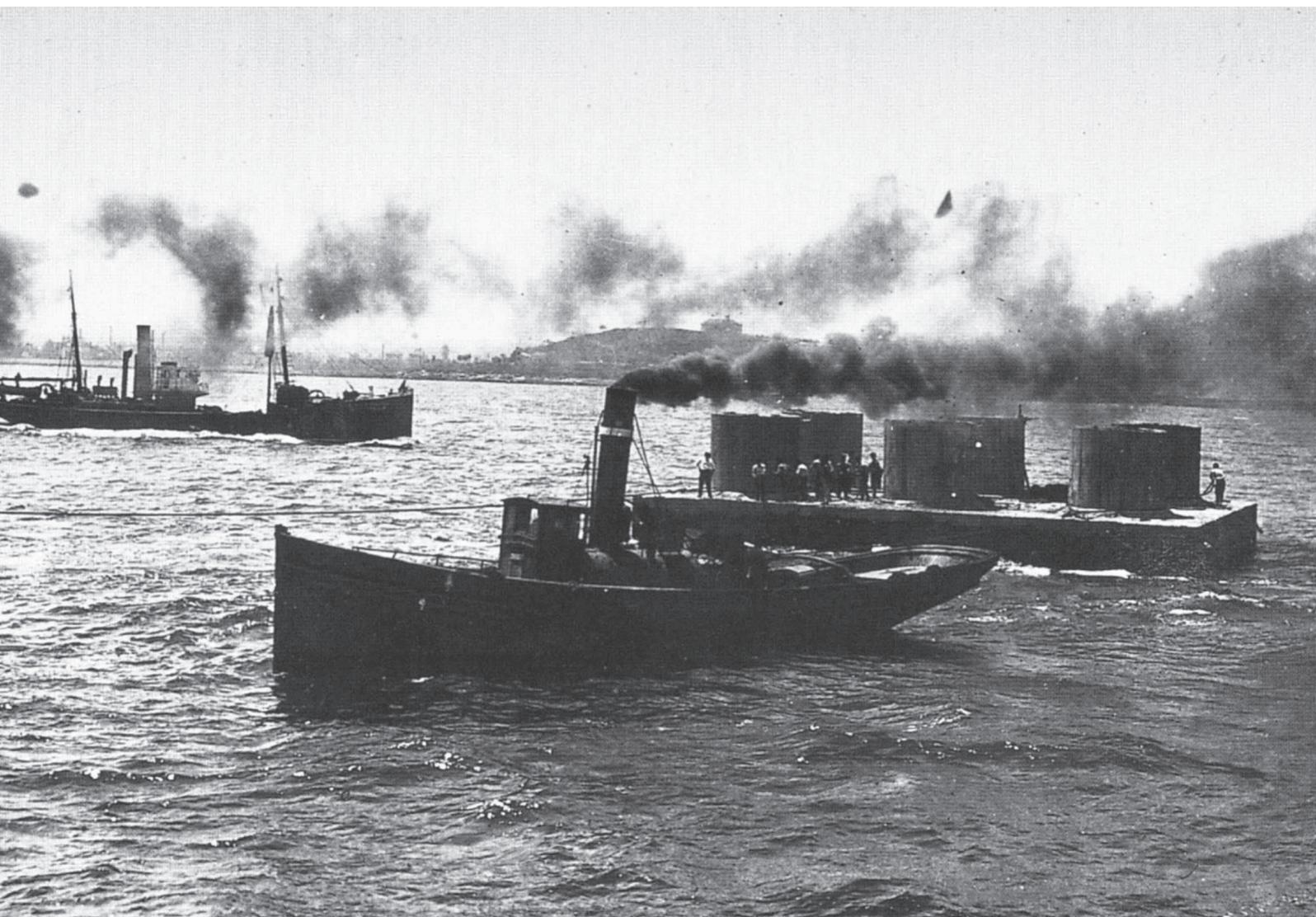
En Pravia, por ejemplo, dan cuenta de algunos errores cometidos y del problema de las chimeneas con gran desarrollo. En su proyecto se contaba con hundir los cajones exclusivamente con agua y añadir, de inmediato, bloques sobre la tapa de los cofres en aras de conseguir, por inmersión, una carga líquida total (Aragonés 1931:483-486). Esta opción resultó inviable, los riesgos añadidos a la operación de fondeo, hundimiento y sustitución del lastre son manifiestos: la tapa no estaba calculada para soportar el peso de los bloques/lastre y las chimeneas, en cualquier movimiento postdeposicional, podían quedar destruidas. A pesar de las soluciones intentadas, el manejo de estos grandes contenedores, con tapa y chimeneas, en zonas sin abrigo o protección, supuso una pléyade de averías de lo más sorprendentes; en muchos incidentes, tapas y chimeneas se vieron afectadas por lo que Aragonés calificó de efecto «rompebarriles», debido a la presión del agua (unos 3.500 kilogramos por metro cuadrado) dentro de los cofres (Aragonés 1931:485). En suma, en algunos casos en los que los cofres se tuvieron que enfrentar a un oleaje determinado, la cubierta con las chimeneas fue arrancada por efecto de una presión de abajo hacia arriba, creada por la altura de la columna de agua que desciende sobre las chimeneas, para la cual no se calcularon los cajones (Aguirre 1932:94).

4.2. Obras portuarias con cajones flotables de hormigón transportados a largas distancias en el tramo central del siglo XX

El primero de los ejemplos referidos al transporte de larga distancia de estas arquitecturas flotables lo encontramos en Normandía, aunque estas fueron concebidas como argumentos de una provisionalidad y, por tanto, casi como arquitecturas efímeras. En principio, estas estructuras portuarias estaban pensadas para ser útiles,

a pleno rendimiento, durante unos 90 días. Durante el transcurso de la II Guerra Mundial, la necesidad y obligación de desembarcar en el continente encaminó a políticos e ingenieros a buscar soluciones artificiales para que un gran cuerpo de ejército pudiera aprovisionarse después de un desembarco anfibio. Los ingenieros ingleses, conocedores de la imposibilidad de tomar una instalación portuaria en las primeras oleadas, desarrollaron distintos métodos y logísticas que, después del fracaso de la incursión en Dieppe (19/08/1942), tuvieron que ajustar y perfeccionar por necesidad. El revés de Dieppe marcó el camino; era un hecho que los puertos franceses estaban bien fortificados y defendidos, de ahí que Churchill estimulara a sus ingenieros para conseguir un prototipo de muelle artificial flotante y remolcable, haciendo así célebres las palabras de Mountbatten: «Ya que no disponemos de puertos, traeremos los nuestros» (Museo de Arromanches). Los ingleses pusieron en marcha el desarrollo de los puertos de contingencia *Mulberries* ante la posibilidad real de no poder tomar la península de Cotentin y, en particular, Cherburgo (el nombre en clave de *Mulberries* —mora o morera (*morus alba*) en español—, como

Figura 18. Remolque de uno de los cajones de hormigón en la ampliación del dique norte del Puerto de Gijón en los años 30. En: <https://vidamaritima.com/2008/05/ferrocemento-concrete-ships-barcos-y-puertos/> [Consultado: 24.09.2023].



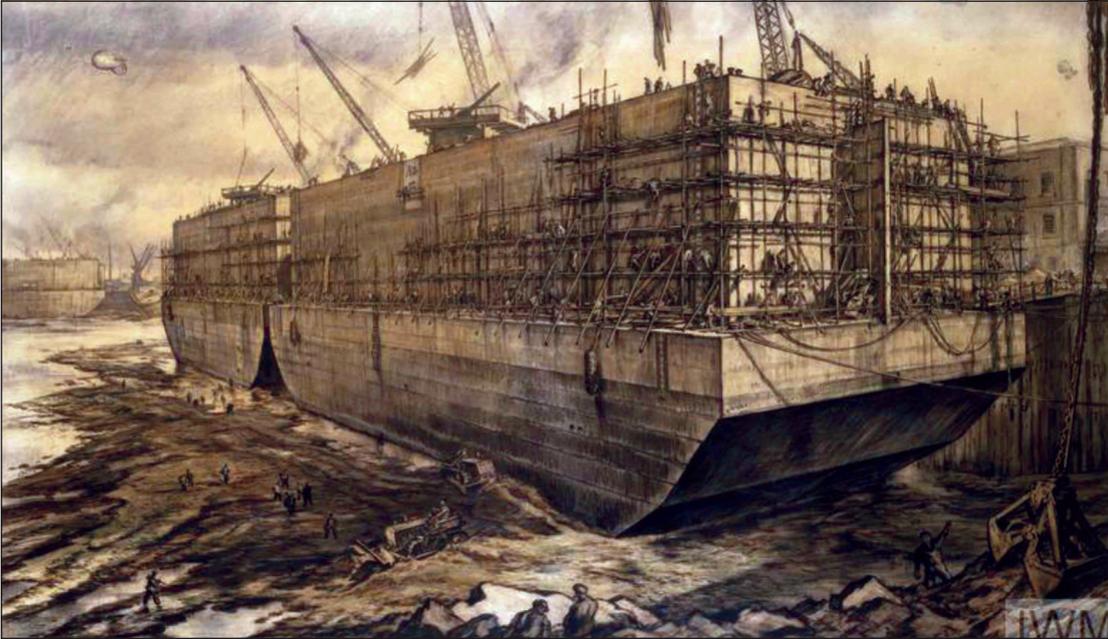


Figura 19. Tiza de 1944 de Sir Muirhead Bone, grabador y acuarelista escocés, perteneciente al War Artists Advisory Committee, en la que se muestran varios cajones en construcción cubiertos de andamios (fondos del *Imperial War Museum*).

anhelo, resulta determinante: la morera es árbol que tiene un crecimiento muy rápido y voluminoso, sin dificultad alguna de cultivo; el augurio/intuición para un acontecimiento futuro ya estaba anunciado desde los prolegómenos). En nuestro discurso, únicamente utilizaremos referencias a los *Phoenix*, construcciones flotables de hormigón parangonables a los cajones portuarios sobre los que venimos argumentando. En este caso, aunque también configuraron pequeños muelles refugio en algunos puntos, ejercieron fundamentalmente de rompeolas.

Los distintos diseños asumieron los preceptos generales de compartimentación en celdas y, dado que no estaban pensados como componentes de una obra permanente con una cimentación a la espera, su traza y, por añadidura, sus perfiles se asemejaban a los de una barcaza de fondo plano, circunstancia que ayudaba en la navegabilidad y en el posterior hundimiento (Figuras 19 y 20). Ya en su destino, remolcados por potentes embarcaciones, los cajones eran aparejados y hundidos con agua y arena, mediante un bombeo intenso con bombas de gran caudal, estimándose una media de veintidós minutos de llenado para sumergir cada cajón (Ferrand 1977:10).



Figura 20. Aspecto de un *Mulberry* en funcionamiento, plasmado por Stephen Bone, hijo de Sir Muirhead Bone, en el que se aprecian las barcazas/Phoenix perfectamente alineadas, configurando un rompeolas (*Royal Museum Greenwich*).

El segundo de los ejemplos es la construcción, entre los años 50 y 60, del Puerto Teleférico de Sidi Ifni (en la costa noroccidental de África) durante el periodo colonial español. Tras varios proyectos previos de construcción de un puerto clásico de diques continuos, pronto se vio que había un problema fundamental que lo desaconsejaba: las corrientes de arenas y los consiguientes aterramientos. Estos problemas de aterramientos estaban motivados por las grandes cantidades de arena que llevaba en suspensión el mar constantemente encabritado, por lo que era comprensible que esta corriente de arenas (provocada por los frecuentes vientos alisios de forma paralela a la costa) produjese un remanso en el que apareciese de inmediato un depósito arenoso si se encontrase en su camino con algún obstáculo, como podría ser un dique continuo (Caffarena 1955:110).

Por ello, las autoridades españolas encargaron al ingeniero Vicente Caffarena que diseñase una instalación portuaria que solventase estos problemas, eligiendo finalmente, en 1947, la solución que contemplaba un puerto, en las inmediaciones de una barra, formado por un dique en forma de L orientado hacia el suroeste, situado un kilómetro mar adentro y unido a la costa por un teleférico, con lo

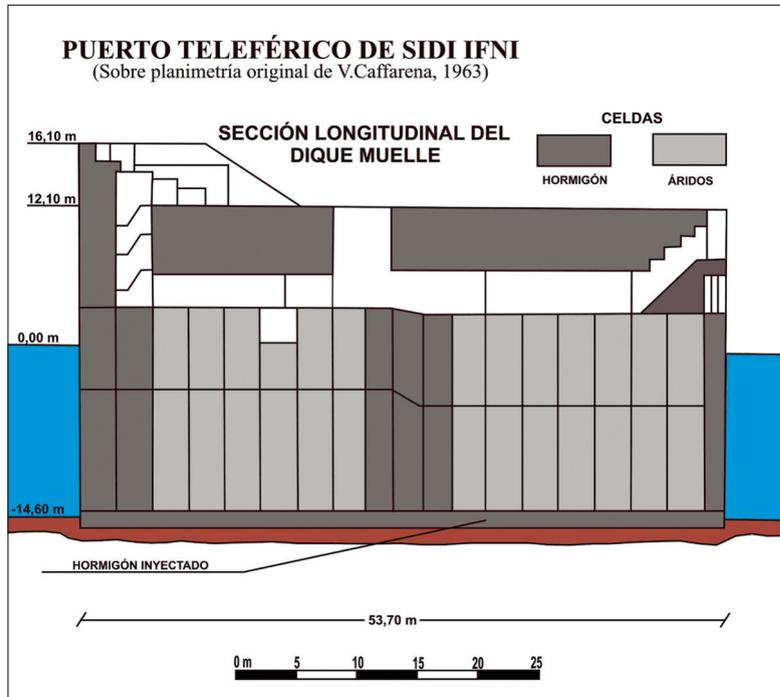


Figura 21. Plano del dique muelle realizado en Sidi Ifni (sobre planimetría original, Caffarena 1963:64).

que se evitaba el riesgo de aterramientos a la vez que se reducían los costes considerablemente comparado con un puerto de diques continuos. Esta solución proponía dos fases constructivas: en la primera se realizaría la construcción de un dique muelle y el teleférico, y en la segunda se ampliaría el dique hasta formar la L, con lo que se dispondría de un dique de abrigo para periodos de fuertes marejadas, así como para poder acoger un mayor tráfico marítimo (Caffarena 1955:111). Sin embargo, solo se autorizó la primera fase, la del dique muelle y el teleférico, dejando la segunda en proyecto hasta que fuese necesaria la ampliación (Caffarena 1966:5-6), cosa que nunca sucedió.

El puerto teleférico de Sidi Ifni estuvo formado por un dique muelle de hormigón armado, en una zona con calado superior a los 10 m, y una estación terminal en tierra; la longitud total entre ambos puntos era de 1350 m. Las dos instalaciones estaban enlazadas por un teleférico que contó con dos torres de hormigón armado de apoyo intermedio, cimentada una en el mar y otra en tierra (Figuras 21 y 22).

La principal característica de esta obra fue la necesidad de construir los cajones de hormigón que soportarían las cimentaciones del dique muelle y la torre del apoyo intermedio del mar en el puerto de Las Palmas de Gran Canaria, debiendo ser



Figura 22. Vista del dique muelle de Sidi Ifni en la actualidad, desde el sureste (M. Derbal).

dichos cajones celulares y flotables para posteriormente ser remolcados por mar abierto hasta Sidi Ifni, a una larga distancia de unos 537 km (o 290 millas náuticas), lo que para aquellas fechas de mediados del siglo XX resultó un ejercicio novedoso e incluso nos atreveríamos a decir que valiente (Blanco y Carrocera 2021:29). 🌿

Bibliografía

- AGUIRRE HIDALGO, José María (1932). «Averías en cajones de hormigón armado empleados en la construcción de diques de abrigo». *Revista de Obras Públicas*, 2591: 93-96.
- ARAGONÉS, Pascual (1931). «Una avería en los cajones de hormigón armado del Puerto de San Esteban de Pravia». *Revista de Obras Públicas*, 2584: 483-486.
- BENEVOLO, Leonardo (1968). *Storia dell'architettura del Rinascimento*. Volume I, Bari, Editori Laterza.
- BLANCO VÁZQUEZ, Luis y CARROCERA FERNÁNDEZ, Elías (2021). *El Puerto Teleférico de Vicente Caffarena en Sidi Ifni. Estudio histórico de una original obra de ingeniería colonial española en el noroeste de África*. Málaga, Autoridad Portuaria de Málaga.
- BRANDON, Christopher (1997). «Techniques d'Architecture Navale dans la Construction des Caissons en Bois du Port du Roi Hérode à Cesarée». *Cahiers d'Archéologie Subaquatique*, XIII: 13-33.

- BRANDON, Christopher (2014). «Roman Formwork Used for Underwater Concrete Construction». En: OLESON, John Peter (Ed.), *Building for Eternity: The History and Technology of Roman Concrete Engineering in the Sea*. Oxford-Philadelphia, Oxbow Books: 189-222.
- BRANDON, Christopher y JACKSON, Marie D. (2014). «Appendix 2. Schedule of Samples Collected for Preliminary Study Prior to the ROMACONS Project». En: OLESON, John Peter (Ed.), *Building for Eternity: The History and Technology of Roman Concrete Engineering in the Sea*. Oxford-Philadelphia: Oxbow Books: 239-241.
- BRUNA QUINTAS, Beatriz (2017). «1915, hundimiento del Muelle Transversal». *Efemérides del Puerto de Vigo*, (octubre 2016-septiembre 2017). Vigo, Autoridad Portuaria de Vigo, Archivo General del Puerto de Vigo: 39-50.
- BUCCARO, Alfredo y RASCAGLIA, Maria (2020). *Leonardo e il Rinascimento nei Codici Napoletani*. Napoli, Edizioni Grandi Opere.
- CAFFARENA ACEÑA, Vicente (1955). «El puerto de Sidi Ifni». *África*, 159: 107-112.
- CAFFARENA ACEÑA, Vicente (1963). «El embarcadero de Sidi-Ifni». *África*, 254: 63-67.
- CAFFARENA ACEÑA, Vicente (1966). *Las obras portuarias en las provincias de Ifni y Sáhara*. Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- CASTAÑEDA, Joseph (1761). *Compendio de los Diez Libros de Arquitectura de Vitruvio* (traducción e introducción). Madrid, Imprenta de D. Gabriel Ramírez, Impresor de la Academia.
- CAVIERES, Eduardo (2011). «Alberto Fagalde y el Puerto de Valparaíso. Entre proyectos técnicos y decisiones políticas». En: FAGALDE, Alberto, *El Puerto de Valparaíso y sus obras de mejoramiento*. Santiago de Chile, Cámara Chilena de Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile y Biblioteca Nacional de Chile: IX-XLI.
- CHURRUCA, Evaristo de (1899). «Puerto de Bilbao: Rompeolas o Dique del Oeste del Puerto Exterior». *Revista de Obras Públicas*, 1264: 481-483.
- COLLINS, Peter (1959). *Splendeur du béton: les prédécesseurs et l'oeuvre d'Auguste Perret*. París, Hazan, 1995 (traducción de Pierre Lebrun).
- DE ROJAS, Chriftoual (1598). *Teorica y practica de fortificacion, conforme las medidas y defensas deftos tiempos, repartida en tres partes* (Dirigida al Principe nuestro Feñor Don Felipe III). Madrid, con Privilegio, por Luis Sánchez.
- DELISLE, Alexandre (1912). «Dock flottant pour l'immersion de caissons-blocs en béton armé du port de Kôbé (Japon)». *Le Génie Civil*, 1544: 201-203.
- DI GIORGIO MARTINI, Francesco (ca.1476-77). *Trattati di Architettura Ingegneria e Arte Militare*. Beinecke Rare Book and Manuscript Library, Yale University. En: <https://collections.library.yale.edu/catalog/2047311> [Consultado: 02.10.2023].
- DURANTINO, Francesco Lucio (1524). *M. L. Vitruvio Pollione de architectura traducto di Latino in vulgare dal vero exemplare con le figure a li soi loci con mirado ordine insignito...* Venice, Giovanni Antonio & Pietro Nicolini da Sabbio.
- DUVAL, Paul Marie (1949). «La forme des navires romains, d'après la mosaïque d'Althiburus». *Mélanges d'Archéologie et d'Histoire*, 61: 119-149.
- ERCAN, Ayse (2010). *Yenikapi, a Late Antique and Bizantine harbor in Constantinople: a historical, archaeological and architectural study of the newly discovered remains*. (Tesis). Istanbul, Koç University. En: <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/169760> [Consultado: 11.09.2023].
- FAGALDE, Alberto (2011). *El Puerto de Valparaíso y sus obras de mejoramiento*. Santiago de Chile, Cámara Chilena de Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile y Biblioteca Nacional de Chile.
- FELICI, Enrico (2020). «Sidonio Apollinare e la pozzolana a Constantinopoli. Temi di ingegneria portuale romana». *Journal of Ancient Topography, Rivista di Topografia Antica*, XXX: 57-80.
- FERNÁNDEZ DE MEDRANO, Sebastián (1735). *El Arquitecto Perfecto en el Arte Militar*. Amberes, Viuda de Henrico Verdussen.
- FERRAND, Alain (1977). *Arromanches, Historia de un Puerto: El Puerto Prefabricado Mulberry*. O.R.E.P. Editions.
- GARCÍA NAVARRO, Pedro (2009). «El cemento del Muelle de Levante en el Puerto de Huelva (1904-1931)». *Revista de Obras Públicas*, 3496: 53-60.

- GAUCKLER, Paul (1905). «Un catalogue figuré de la batellerie gréco-romaine. La mosaïque d'Althiburus». *Monuments et Mémoires de la Fondation Eugène Piot*, 12, fascicule 1: 113-154.
- GIOCONDO, Giovanni (1511, versión de 1521). *M. Vitruvius per locundum solito castigatior factus cum figuris et tabula ut iam legi et intelligi possit*. Milán.
- GONÇALEZ DE MEDINA BARBA, Diego (1599). *Examen de fortificación*. Madrid, con Privilegio, Imprenta del Licenciado Varéz de Castro.
- LASTANOSA, Pedro Juan de (entre 1601-1700). *Los veintiún libros de los ingenios y de las máquinas*. Tomo V, Biblioteca Nacional de España. En: <http://bdh.bne.es/bnearchivo/detalle/bdh0000099602> [Consultado: 08.10.2023].
- MAGGI, Girolamo y CASTRIOTTO, Iacomo (1584). *Fortificatione delle Citta*, Libri III. Venetia, appresso Camilo Borgominiero, al Segno di S. Giorgio.
- MOFFAT, John (1865). «Method of building under water». *The Civil Engineer and Architect's Journal*. London, volume twenty-eighth: 75-77.
- MOJARRO BAYO, Ana María (2017). *Francisco Montenegro y el Puerto de Huelva*. Huelva, Puerto de Huelva.
- MONTENEGRO, Francisco (1911). «Muelles de fábrica sobre terrenos de escasa resistencia». *Revista de Obras Públicas*, 1845: 49-54.
- MONTENEGRO, Francisco (1914). «Puerto de Huelva; Construcción de los muelles de Róterdam y de Imuidon y perfiles de los muelles construidos en España sobre terreno fangoso o arenoso». *Revista de Obras Públicas*, 2026: 370-374.
- OLESON, John Peter (1988). «The technology of Roman harbours». *The International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration*, 17.2: 147-157.
- PEÑA OLIVAS, José Manuel de la (2007). «Avance y desarrollo portuario en la Roma Antigua». *Traianus*: 1-30.
- PEÑA OLIVAS, José Manuel de la (2015). «Apuntes sobre el Puerto de Ostia (el mayor puerto romano)». *Ingeniería Civil*, 178: 73-83.
- PEÑA OLIVAS, José Manuel de la (2016). *Inventario de Puertos Antiguos en Hispania*. Madrid, Ministerio de Fomento / CEDEX.
- PÉREZ DE LA SALA, Pedro (1876). *Tratado de las Construcciones en el Mar*. (Entrega quinta). Madrid: 361-552.
- PERIAGO LORENTE, Miguel (2003). *Procopio de Cesarea: Los Edificios*. (Traducción, Introducción y Notas). Murcia, Estudios Orientales 7.
- PERRAULT, Claude (1673). *Les Dix Livres d'Architecture de Vitruve*. Paris, Chez Jean Baptiste Coignard.
- RAPOSO, Javier (2011). «Terminología arquitectónica del Libro III del *De Architectura* de Vitruvio en la primera edición española de 1582 de Miguel de Urrea». *Actas del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*: 1157-1167.
- REDDÉ, Michel (1986). *Mare Nostrum: les infrastructures, le dispositif et l'histoire de la marine militaire sous l'empire romain*. Rome, École Française de Rome.
- RIBERA, José Eugenio (1930). *Puentes de Fábrica y Hormigón Armado: Cimientos*. Tomo II, segunda edición corregida y aumentada.
- SIMONNET, Cyrille (2009). *Hormigón: Historia de un Material*. Donostia-San Sebastián, Editorial Nerea.
- SOBERÓN, Mikel (2014). «Caixes i pontons. Els aspectes tècnics en la construcció del primer port medieval de Barcelona. 1439-1455». *Barcelona Quaderns d'Història*, 21: 125-138.
- SUÁREZ GALVÁN, Eugenio (1927). «Averías del hormigón armado en los puertos de América del Norte». *Revista de Obras Públicas*, 2475: 168-169.
- TACCOLA, Mariano (ca.1453). *De re militari et machinis bellicis*. Manuscrit composite: Mariano Taccola -Vue de Constantinople (?), - Carte des Balkans, vers 1453, 1401-1500. (Bibliothèque Nationale de France, Département manuscrits. Latin 7239). En: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b100203224/f7.item> [Consultado: 14.10.2023].
- URREA, Miguel (1582). *M Vitruvius Pollion, De Architectura diuidido en diez libros*. Alcalá de Henares, Impreso por Juan Gracián.
- VALDÉS, Nicolás (1859). *Manual del Ingeniero*. París, Librería Militar de J. Dumaine, Editor del Emperador.