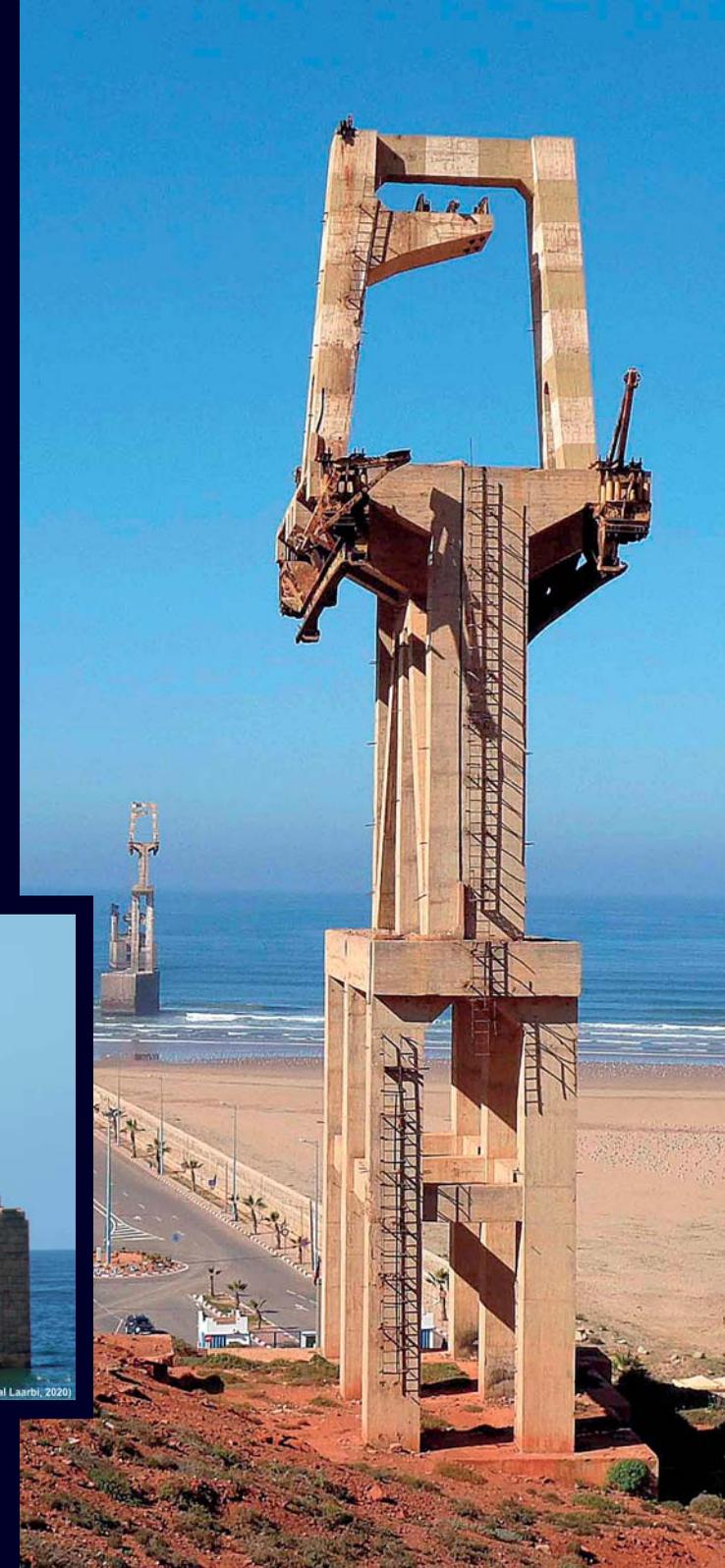


# EL PUERTO TELEFÉRICO DE VICENTE CAFFARENA EN SIDI IFNI

ESTUDIO HISTÓRICO DE UNA ORIGINAL OBRA DE INGENIERÍA COLONIAL ESPAÑOLA EN EL NOROESTE DE ÁFRICA

LUIS BLANCO VÁZQUEZ  
ELÍAS CARROCERA FERNÁNDEZ







© Luis Blanco Vázquez y Elías Carrocera Fernández  
© De los textos de presentación sus autores  
© La cartográfica y documentos de sus respectivos archivos  
© Edita: Autoridad Portuaria de Málaga  
Título: El Puerto Teleférico de Vicente Caffarena en Sidi Ifni  
Autores: Luis Blanco Vázquez y Elías Carrocera Fernández  
Dirige la edición: Zacarías Reina Jiménez  
Diseño y maquetación: Archidona Gráficas, S.L.  
Depósito Legal: MA 908-2021  
ISBN: 978-84-09-32403-3

*Los textos, imágenes y demás elementos incorporados a esta obra están protegidos por las leyes y tratados internacionales sobre propiedad intelectual. Salvo autorización previa, expresa y por escrito del autor quedan estrictamente prohibidas: la copia, reproducción, transmisión, adaptación y en general cualquier modalidad de explotación efectuada por medios electrónicos, mecánicos u otros, actuales o futuros, ya sea de la totalidad o parte del contenido de este libro.*

# **EL PUERTO TELEFÉRICO DE VICENTE CAFFARENA EN SIDI IFNI**

**ESTUDIO HISTÓRICO DE UNA ORIGINAL  
OBRA DE INGENIERÍA COLONIAL ESPAÑOLA  
EN EL NOROESTE DE ÁFRICA**

LUIS BLANCO VÁZQUEZ  
ELÍAS CARROCERA FERNÁNDEZ



# ÍNDICE

PRÓLOGO	7
AGRADECIMIENTOS	9
BREVE CURRÍCULUM	11
1. INTRODUCCIÓN	13
2. CIRCUNSTANCIAS HISTÓRICAS	15
3. NECESIDADES DE ABASTECIMIENTO Y TENTATIVAS PORTUARIAS PREVIAS	19
4. EL PUERTO TELEFÉRICO DE SIDI IFNI	25
5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO	51
ADENDA 1. CONSIDERACIONES SOBRE EL HORMIGÓN EN LA ESPAÑA DE LOS AÑOS CINCUENTA DEL SIGLO XX	55
ADENDA 2. CONSIDERACIONES HISTÓRICAS SOBRE EL EMPLEO DE CAJONES FLOTANTES DE HORMIGÓN ARMADO Y SU REPERCUSIÓN EN LA OBRA DE CAFFARENA	61
ADENDA 3. ANÁLISIS HISTÓRICO DE LOS INICIOS DEL EMPLEO DE CAJONES FLOTANTES EN LA CONSTRUCCIÓN DE PUERTOS	79
ADENDA 4. PRECEDENTES HISTÓRICOS HASTA EL PUERTO TELEFÉRICO DE SIDI IFNI DE REMOLQUES OCEÁNICOS DE LARGA DISTANCIA	115
ADENDA 5. EL PUERTO TELEFÉRICO EN LOS DOCUMENTALES DEL NODO (RTVE)	125
BIBLIOGRAFÍA	127



## PRÓLOGO

Desde que el hombre comenzó a conquistar los mares, como un medio a través del cual se podía producir el intercambio de personas y mercancías, todas las sociedades han realizado grandes esfuerzos para localizar y adecuar los puntos de recalada para las embarcaciones que realizaban esos tráficos.

De ese modo nacieron los puntos que a su vez dieron lugar a las primeras ciudades, siendo Málaga y Cádiz dos buenos ejemplos de ciudades milenarias.

Esas obras de abrigo realizadas a lo largo de los siglos por ingenieros a menudo anónimos, permitieron la acumulación de conocimiento que ha permitido hoy en día la realización de colosales obras de ingeniería hidráulica en todo el mundo.

La obra que hoy presentamos viene a rescatar la figura de uno de esos ingenieros cuya capacidad e ingenio supusieron un escalón más en esa suma de conocimiento a la que antes aludía: Me refiero a D. Vicente Caffarena Aceña, de importante recuerdo en el Puerto de Málaga por cuanto ocupó el puesto de Director de la Junta de Obras entre los años 1972 y 1984.

Es de justicia reconocer el gran trabajo realizado por los autores de esta obra que recoge el resultado de un intenso trabajo de investigación y documentación sobre una actuación concreta que aportaba soluciones técnicas de gran originalidad: D. Luís Blanco Vázquez, arqueólogo, licenciado en Historia por la Universidad de Oviedo y miembro de la Asociación Profesional de Arqueólogos de Asturias, por un lado, y Don Elías Carrocera Fernández, Doctor en



Arqueología por la Universidad de Oviedo y profesor de Arqueología en la misma Universidad, por otro, han realizado un excelente trabajo de investigación que ahora presentamos con esta edición.

Estoy convencido que la misma despertará el interés de todos los estudiosos de la materia, al tiempo que rescata el testimonio de una obra de ingeniería de gran originalidad.

Carlos Rubio Basabe  
Presidente de la Autoridad Portuaria de Málaga



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, y como no podría ser de otro modo, queremos mostrar nuestro agradecimiento a la Autoridad Portuaria de Málaga por la publicación de este libro sobre el Puerto Teleférico de Sidi Ifni. Desde el momento en el que le ofrecimos nuestro estudio, su respuesta fue positiva y rápida, aceptándolo en su totalidad sin plantearnos en ningún momento cambios o modificaciones sustanciales.

Para nosotros, la publicación representa el nexo de unión entre los puertos de Málaga y el español de Sidi Ifni a través de la figura señera de Vicente Caffarena Aceña, autor del proyecto y director de las obras de la instalación ifneña y vinculado durante muchos años al puerto de Málaga.

Asimismo, debemos hacer especial mención a Mohamed Derbal Laarbi, amigo ifneño e inmejorable anfitrión en nuestras visitas a Ifni, orgulloso defensor del pasado español en el territorio, en ocasiones en contextos poco o nada favorables para ello, “contra viento y marea” como se suele decir. Suyas son algunas de las fotografías del estado actual del puerto teleférico, y gracias a su intercesión pudimos conocer algunos datos de su funcionamiento tras la marcha española de 1969, fruto de la experiencia del también ifneño Mohamed Nasar Mohamed, que fue técnico-mecánico del teleférico en la época española y en la marroquí, a quien también mostramos nuestra gratitud.

No podemos dejar de mencionar a Ana María Mojarro Bayo, Jefa de División de Archivo, Documentación y Registro de la Autoridad Portuaria de Huelva, que amablemente atendió nuestra solicitud de información sobre Francisco Montenegro y la construcción del puerto onubense, enviándonos un ejemplar de su obra de 2017 “Francisco Montenegro y el Puerto de Huelva” que nos aportó valiosos datos para nuestro estudio, por lo que aprovechamos estas páginas para agradecerse muy sinceramente.

Por último, queremos hacer extensivo un agradecimiento general al pueblo ifneño, único y auténtico protector de los restos del puerto teleférico y de la huella constructiva de la época española, que consideran parte esencial de su patrimonio histórico.



## BREVE CURRÍCULUM



**Luis Blanco Vázquez** (Ponferrada, León, 1966). Arqueólogo, Licenciado en Historia por la Universidad de Oviedo (1990) y miembro de la Asociación Profesional de Arqueólogos de Asturias APIAA. Desarrolla su actividad profesional compaginando la arqueología de gestión con la de investigación, tanto en épocas prehistóricas, romanas, medievales y modernas como en el reciente pasado colonial español en África (Rif, Ifni y Sáhara Español).



**Elías Carrocera Fernández** (La Felguera, Asturias, 1957). Doctor en Arqueología por la Universidad de Oviedo (1988) y Profesor de Arqueología Clásica en la Universidad de Oviedo, centrandó su investigación en el mundo romano/castreño, la arqueología de la arquitectura, la musealización y puesta en valor del patrimonio y en la arqueología preventiva.



# 1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Sidi Ifni, capital del antiguo territorio colonial español de Ifni (1934-1969), se encuentra situada en la costa atlántica africana al sur de Marruecos, frente a la isla canaria de Lanzarote, de la que le separan unos 320 km (o 200 millas náuticas) (Figura 1). Esta costa, orientada noreste-suroeste, se caracteriza por ser bastante lineal, abrupta y con poca profundidad, con presencia de numerosos acantilados y donde escasean las ensenadas y bahías, además de estar sujeta con frecuencia al régimen de vientos alisios del noreste y recibir con cierta persistencia marejadas y temporales del noroeste.

El espacio superficial en el que se asienta la ciudad perteneció históricamente a la tribu de Mesti o Imstiten, una de las siete que forman la confederación de Ait Ba Amran, y desde 2010 ejerce de capital de la provincia de Sidi Ifni, que incluye, además del antiguo Ifni español, la zona de Mirleft al norte y el territorio de Akhsas al este, englobándose dentro de la región de Guelmim-Oued Noun desde 2015.

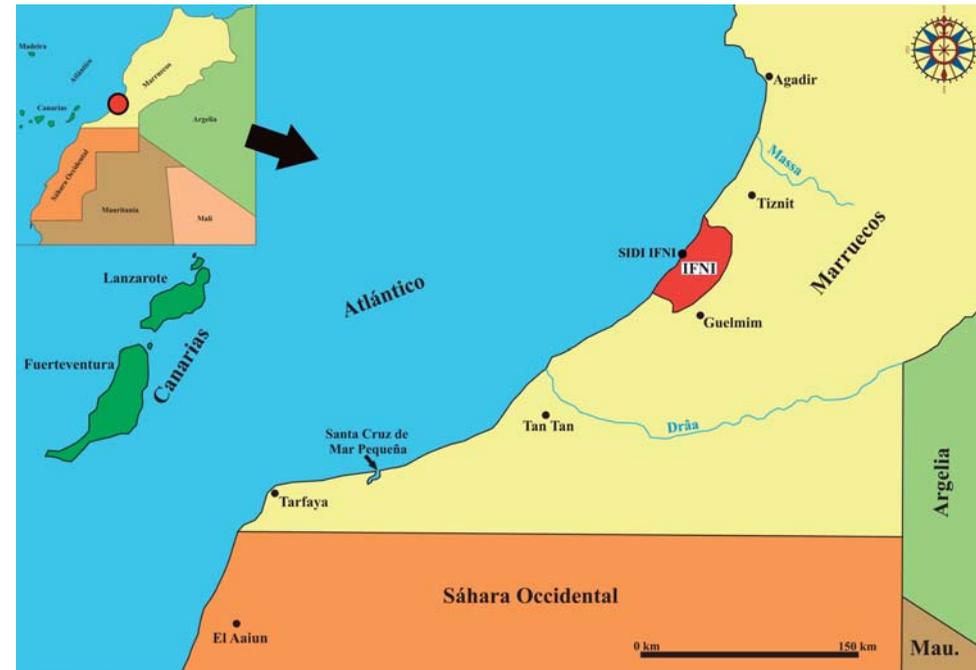


FIGURA 1. Plano de situación de Ifni en el noroeste de África (elaboración propia).



## 2. CIRCUNSTANCIAS HISTÓRICAS

Ifni se convirtió en territorio colonial español como consecuencia de su confusa identificación con la antigua torre de Santa Cruz de Mar Pequeña (siglos XV y XVI), tras el Tratado de Paz de *Wad Ras* entre España y Marruecos después de la Guerra de Tetuán en 1860. En este tratado se establecía, en su artículo 8, que “*S.M. Marroquí se obliga a conceder a perpetuidad a S.M. Católica, en la costa del Océano, junto a Santa Cruz la Pequeña, el territorio suficiente para la formación de un establecimiento de pesquería como el que España tuvo allí antiguamente*” (COLECCIÓN LEGISLATIVA DE ESPAÑA 1860:500). Este hecho hizo que se constituyesen varias comisiones hispano-marroquíes con el fin de clarificar la ubicación exacta de la antigua Santa Cruz de Mar Pequeña, ya que tras su abandono en la primera mitad del siglo XVI se habían perdido sus referencias toponímicas y geográficas exactas. La más importante, por las implicaciones que tuvo a posteriori, fue la encabezada por el marino Cesáreo Fernández Duro quien, a bordo del buque *Blasco de Garay*, recorrió la costa noroccidental africana en 1878, concluyendo que era en la desembocadura del río Ifni en donde pudo haber estado la antigua torre de Mar Pequeña (FERNÁNDEZ DURO 1878:190). Sin embargo, otros autores rebatieron las conclusiones de Fernández Duro, como Pelayo Alcalá Galiano, que apostaba por la desembocadura del río *Chebeika*, al suroeste del río *Draa* (ALCALÁ GALIANO 1879:60), Francisco Coello, que señalaba previamente como lugar idóneo la desembocadura del *Draa* (GÓMEZ DE ARTECHE y COELLO 1859:plano) y posteriormente la del *Asaka* o *Nun* (COELLO 1878:246-247), y sobre todo, el canario Antonio María Manrique, quien tras visitar la bahía de Puerto Cansado (actual *Khinifis*, en la costa atlántica de la zona sahariana de *Tarfaya*) en 1882 reconoció como pertenecientes a la antigua torre de Santa Cruz las ruinas allí existentes (MANRIQUE 1889:43). Asimismo, la localización de Mar Pequeña en Puerto Cansado había sido también

la posición sostenida por las autoridades marroquíes (FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ 1985:141), como el Ministro de Asuntos Exteriores *Si Mohammed Bargach*, que en 1883 negaba la opción de Ifni y se mostraba favorable a la ubicación en *Guider Erredchila* (CENIVAL y LA CHAPELLE 1935:24; PASCON 1963:23), uno de los nombres locales de Puerto Cansado en esas fechas.

Diversos avatares llevaron al gobierno español a elegir finalmente la opción de Fernández Duro, lo que provocó años después la reivindicación y posterior ocupación del territorio de Ifni en 1934, a pesar de que existían razones suficientes para pensar que la opción más acorde con los hechos históricos era la de Manrique.

Si bien la torre de Mar Pequeña nunca estuvo en Ifni, sí lo estuvo la segunda torre hispana que se estableció en estas costas africanas, San Miguel de Asaca, fundada en 1500 y de vida muy efímera. Sus restos fueron descubiertos en 2011 en el lado ifneño de la desembocadura del ued *Asaka*<sup>1</sup> (ONRUBIA *et alii* 2016).

Tras varios intentos fallidos de ocupación del territorio durante el primer tercio del siglo XX, habría que esperar hasta 1934, una vez

---

1.- La torre fue fundada en el año 1500 por un ejército expedicionario hispano-canario bajo el mando del Adelantado de La Palma y Tenerife, Alonso Fernández de Lugo. Esta fundación estuvo motivada por el interés de la Corona de Castilla en controlar el tráfico caravanero hacia el puerto transahariano de *Tagaos*, capital del “reino” de *Bu-Tata*, en el entorno de la actual ciudad de *Guelmim*, razón por la que los Reyes Católicos ordenaron en 1499 la construcción de tres nuevas torres que añadir a la ya existente de Mar Pequeña, de las que únicamente se concretó la de *Asaka* (ONRUBIA *et alii* 2016:21-22).

que Francia hubo sofocado en marzo de ese año los últimos reductos de las tribus del sur de Marruecos que se resistían a someterse a su dominio y al del *Majzen* (poder central marroquí), para que España pudiese hacer efectiva su presencia en Ifni. El encargado de hacerlo fue el coronel Osvaldo Capaz en abril, llegando a acuerdos con las cabilas de Ait Ba Amran y estableciendo la capital del nuevo territorio en el poblado de Amezdog, que al poco tiempo recibiría el nombre de Sidi Ifni, por el morabito de Sidi Ali Ifni que existía y existe frente al mar.





### 3. NECESIDADES DE ABASTECIMIENTO Y TENTATIVAS PORTUARIAS PREVIAS

La situación geográfica colonial de Ifni, enclavado en la zona sur del Protectorado francés de Marruecos (Figura 2), sin conexión terrestre con el resto de espacios españoles situados más al sur (Sáhara español), conllevó la principal dificultad que mediatizó toda la existencia del territorio: su aislamiento. Por ello, ya desde sus inicios, resolver el problema del abastecimiento se convirtió en una cuestión fundamental para las autoridades españolas. Este abastecimiento debía realizarse principalmente por vía marítima (y en mucha menor medida por vía aérea a través del aeródromo situado en el lado sur de la población) desde los puertos canarios, pero las constantes marejadas, presentes especialmente durante los inviernos en el litoral ifneño, dificultaban las operaciones de desembarco, tanto de mercancías como de personas, a través de lanchas o barcas a remo que debían atravesar las rompientes, hecho que provocaba, además de numerosos accidentes, que los barcos debieran regresar a sus puertos de origen sin haber podido realizar las descargas<sup>2</sup>, a veces después de largos periodos de espera en alta mar (CAFFARENA 1966b:4-5).

2.- “En fin, los viajes por mar, en aquellos tiempos en que todavía no se había construido en Sidi Ifni un embarcadero y un funicular (que nosotros nunca llegamos a conocer y que hoy, según dicen, están en ruinas), se hacían en un par de barquitos de carga y pasaje, sobre todo en el llamado Cazón, que solía permanecer en el mar durante semanas, a veces meses, fondeado frente a la costa de Sidi Ifni, esperando a que su majestad el Atlántico se dignara amainar. Cuando los marineros del barco se hartaban, tiraban su carga o parte de ella al agua, para que las olas la llevaran hasta la costa. Los bidones de gasolina o gasóleo no eran problema: flotaban y acababan inevitablemente embarrancando en la playa... aunque a veces unos kilómetros más al sur. Otra cosa eran los caballos (una vez se ahogó uno espléndido, casi un pura-sangre) y los cerdos (una de las imágenes que me persiguió en la infancia, aunque nunca la vi realmente, fue la de unos cerdos -buenos nadadores, pero no lo suficiente- que, al parecer, angustiados, se arañaron el cuello con las pezuñas al sentir que se ahogaban, hasta morir desangrados)” (SÁENZ 2017:23-24).

Esta necesidad de instalaciones portuarias en Ifni se vio claramente durante los acontecimientos de la Guerra Ifni-Sáhara entre finales de 1957 y los primeros meses de 1958, con el consecuente aumento de desembarco de tropas y materiales que, al no existir un puerto, debió realizarse por medio de los botes y carabos disponibles, sirviendo de apoyo el barco mercante “Río Sarela” que hacía las veces de almacén flotante (ÁLVAREZ-MALDONADO 2008:20). Era pues fundamental y necesaria la realización de obras portuarias en Sidi Ifni.



FIGURA 2. Fragmento del mapa administrativo del Marruecos francés a escala 1:1.500.000 de 1940, en el que se aprecia la situación geográfica colonial de Ifni en aquella época (BNF, En: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b531212453>).

### 3.1 Proyectos portuarios previos

Hubo un primer intento de construcción de un puerto en 1935 auspiciado por la Sociedad Anónima Hispano Africana de Reconocimiento del Atlántico (S.A.H.A.R.A.), empresa con sede en Madrid que había establecido una factoría comercial en los terrenos del lado sur de la desembocadura del ued (río) Ifni (AOE 1945:3). El proyecto de este fondeadero está reflejado en un plano de 1935 conservado en la Biblioteca Nacional de España (BNE), en el que aparece el diseño de un puerto en la playa bajo los acantilados de la incipiente ciudad, formado por diques continuos con la entrada en el lado occidental, así como también se indica el lugar, en el entorno exterior sureste, que serviría de cantera para su construcción (Figura 3). Este proyecto nunca llegó a concretarse en la realidad, ya que a las dificultades técnicas y presupuestarias que conllevaba su realización, se unía el hecho de situarse en un periodo cronológico mediatizado por la Guerra Civil española, que supuso un freno para las inversiones económicas tanto en España como en sus espacios coloniales (FERNÁNDEZ-ACEYTUNO 2001:393).

Una vez finalizado el conflicto bélico civil, el gobierno español de la época afrontó la necesidad de realizar las obras portuarias de Sidi Ifni, por lo que promulgó en 1943 una ley concediendo un crédito extraordinario de cuatro millones de pesetas para iniciar los trámites previos a la construcción, con el fin de asegurar y garantizar las comunicaciones marítimas del territorio *“evitando a la vez la lentitud, riesgos y pérdida de vidas con que ahora se efectúan las operaciones de carga y descarga de mercancías en los contados días del año en que tales operaciones son practicables”* (BOE 1943:8589). Esto sirvió para que se elaborasen varios proyectos constructivos a partir de esta fecha, planteándose varias soluciones en forma de diques macizos y sobre pilotes o pilas macizas de grandes dimensiones, lo que conllevaba, además de graves problemas de aterramientos por

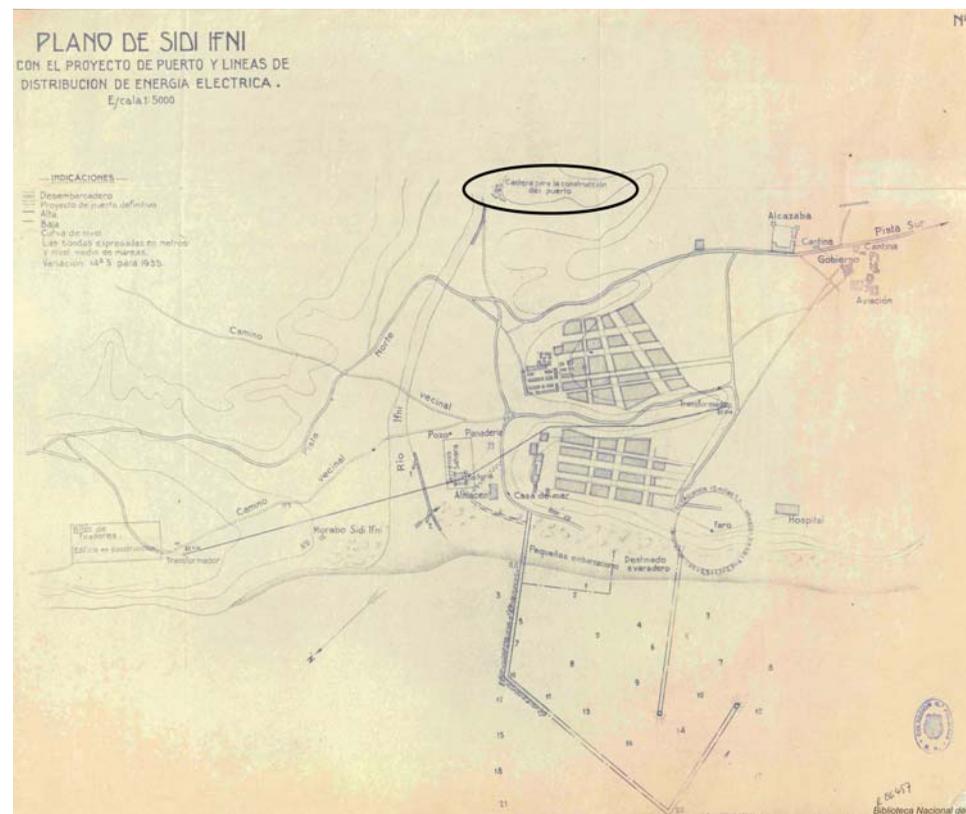


FIGURA 3. “Plano de Sidi Ifni con el proyecto de puerto y líneas de distribución de energía eléctrica” (1935), escala 1:5000, en la Colección García Figueras de la BNE, con signatura AFRMPS/3/22 (en la Biblioteca Digital Hispánica: <http://bdh-rd.bne.es/viewer.vm?id=0000219228>). El óvalo negro señala el lugar elegido como cantera para la construcción del puerto.

las corrientes de arena y la necesidad de dragados periódicos, unos altos costes de construcción (el presupuesto para el puerto de diques macizos se estableció en 1947 en cerca de 500 millones de pesetas, que serían 800 millones con los precios de 1955) (CAFFARENA 1955:111; 1967:353).

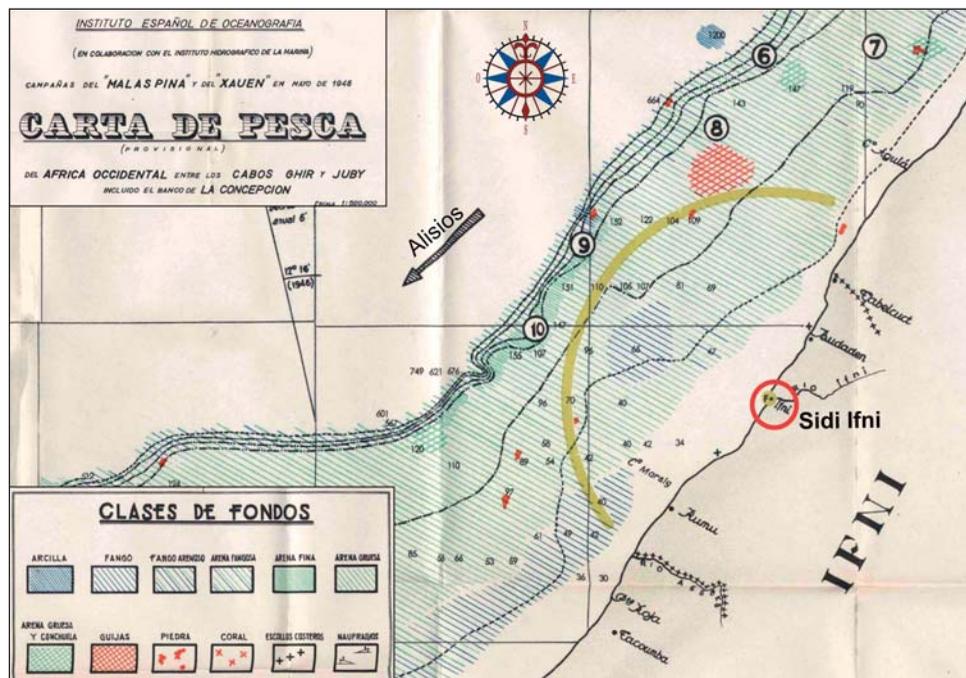


FIGURA 4. Fragmento del portulano o Carta de Pesca del África Occidental con el fondo marino de la costa de Ifni en 1946 (NAVARRO 1947).

Estos problemas de aterramientos estaban motivados por las grandes cantidades de arena que llevaba en suspensión el mar constantemente encabritado, que se depositaban en el fondo en periodos de calma y volvían a la suspensión en los de agitación, por lo que era comprensible que esta corriente de arenas (provocada por los frecuentes vientos alisios del norte-noreste al sur-suroeste 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 macizo (CAFFARENA 1955:110). A este respecto, hay que decir que este riesgo de aterramiento por los sedimentos arenosos de las corrientes marinas fue ya planteado en 1935 por el profesor y geólogo Eduardo Hernández-Pacheco, en el informe de la expedición

científica a Ifni de 1934 publicado en el Boletín de la Sociedad Geográfica Nacional, en el que aconsejaba que las construcciones marinas a realizar en esta costa tuviesen en cuenta este fenómeno, debiendo escoger el lugar más propicio para atenuar este problema (HERNÁNDEZ PACHECO 1935:525).

También resultó fundamental para disponer de un buen conocimiento de los fondos marinos del entorno de Ifni el portulano o Carta de Pesca a escala 1:500.000 que había realizado el buque hidrógrafo "Malaspina" en 1946, durante la exploración oceanográfica del África Occidental junto al buque "Xauen", en el que se puede apreciar el fondo marino frente a Ifni formado mayoritariamente por depósitos arenosos (NAVARRO 1947; CAFFARENA 1955:110) (Figura 4).

Las soluciones citadas fueron estudiadas por el Consejo de Obras Públicas, que alertó sobre el riesgo de aterramiento en las construcciones proyectadas a causa de las corrientes y del flujo marino de arena. En el informe resultante de este organismo, se propuso construir diques en claraboya que permitiesen el paso de las corrientes y así evitar el riesgo de aterramiento, además de ordenar la realización de estudios previos aplicando las teorías del ingeniero Ramón Iribarren<sup>3</sup> sobre el

3.- Ramón Iribarren Cavanilles (Irún 1900-Madrid 1967). Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos de gran influencia internacional por sus estudios sobre corrientes marinas y construcción de puertos. A lo largo de su intensa vida profesional ejerció como, entre otros, ingeniero jefe del Grupo de Puertos de Guipúzcoa, profesor de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid, miembro del Consejo de Obras Públicas (a través del cual elaboró informes sobre las obras portuarias del África española, entre ellas la de Sidi Ifni), conferenciante en las Escuelas de Ingeniería de Nueva York, Berkeley, Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), Cambridge y el Beach Erosion Board. Asimismo, fue el creador en 1948 del Laboratorio de Puertos, que acabaría integrándose en 1957 en el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) (PACHECO 2017:109-111).

movimiento de las corrientes y el transporte de arena (CAFFARENA 1966b:5).

A resultados del informe del Consejo de Obras Públicas, este organismo encargó una investigación para solventar los problemas planteados al ingeniero Vicente Caffarena Aceña<sup>4</sup>, quien presentó los resultados a finales de 1947. En este análisis se valoraron varias soluciones, en especial la que contemplaba un puerto 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 que se evitaba el riesgo de aterramientos a la vez que se reducían los costes considerablemente (presupuesto en 1947 de 140 millones de pesetas, que serían 225 millones con los precios de 1955), ya que sustituir el teleférico por un puente colgante habría resultado excesivamente caro y no hubiese compensado esta elección frente a la anterior de los diques macizos (CAFFARENA 1955:111).

Esta solución proponía dos fases constructivas: en la primera se realizaría la construcción de un islote o dique muelle y el teleférico, y en la segunda se ampliaría el islote hasta formar la L, con lo que se dispondría de un dique de abrigo para resguardo de las embarcaciones

4.- Vicente Caffarena Aceña (Málaga 1915-2013). Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos de brillante y dilatada vida profesional, figura esencial de la ingeniería portuaria en los territorios del África española. Fue durante muchos años Director del Puerto de Málaga y Director de las Obras Portuarias del África española, realizando los proyectos del puerto teleférico de Sidi Ifni, del puerto de El Aaiún, del de fosfatos también de El Aaiún y del de Villa Cisneros en el Sáhara, así como del de Bata en Guinea Ecuatorial. Poco antes de su fallecimiento, el Ayuntamiento de Málaga le puso su nombre a una calle (algunos datos biográficos en CAFFARENA y CAFFARENA 2013:20. Agradecemos al ingeniero Francisco Caffarena y al Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Andalucía, Ceuta y Melilla la amable aportación de estos datos).

en periodos de fuertes marejadas, así como para poder acoger un mayor tráfico marítimo en caso de una futura creación de nuevas industrias en Ifni y de una ampliación de los cultivos como consecuencia de la ejecución del Plan de obras hidráulicas que empezaba a desarrollarse en esas fechas (CAFFARENA 1955:109) (Figura 5).

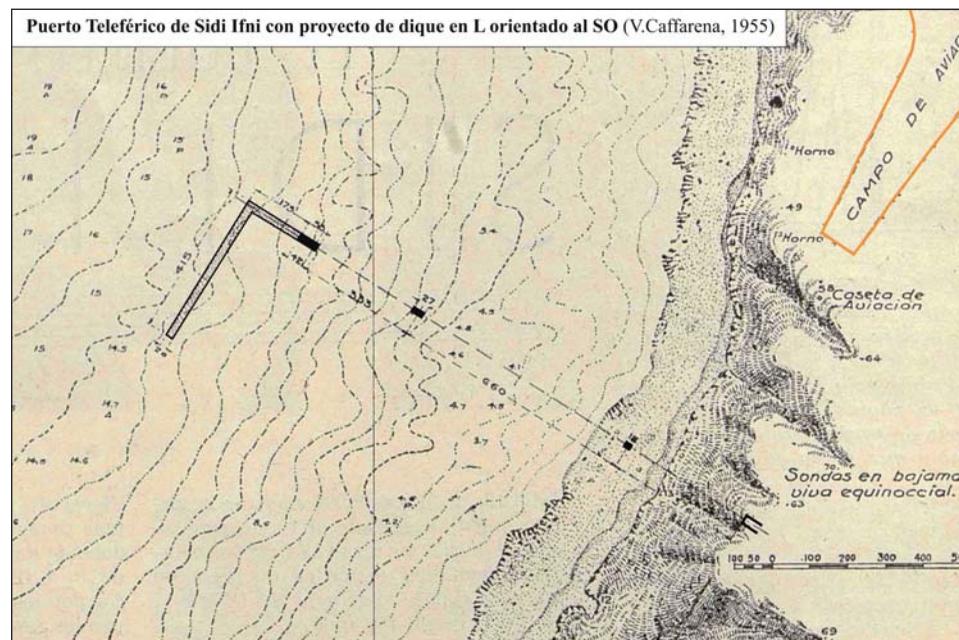


FIGURA 5. Plano del puerto teleférico de Sidi Ifni con el proyectado dique en L orientado al suroeste (CAFFARENA 1955:108).

Finalmente, el Consejo de Obras Públicas aprobó la solución planteada por Caffarena, pero centrada en la primera fase, la del islote muelle y el teleférico, dejando la segunda solamente en proyecto a la espera de la viabilidad de construcción de la primera y de que fuese realmente necesaria la ampliación (CAFFARENA 1966b:5-6), ya que las previsiones del tráfico marítimo en Sidi Ifni, aún en el supuesto

más optimista, no justificaban una fuerte inversión económica (YTURRIAGA 1967:409).

### 3.2 Medios de desembarco hasta la ejecución del puerto teleférico

Desde los inicios de la ocupación del territorio en 1934 hasta la entrada en funcionamiento del puerto teleférico en 1967, las labores de carga y descarga por vía marítima se realizaron básicamente a través de barcas a remo primero, y de vehículos anfibios después (Figura 6), debiendo recurrir asimismo en ocasiones al empleo de lanchas de desembarco (CAFFARENA 1955:108).

Las barcas eran las que utilizaban tradicionalmente los habitantes de Ifni, llamadas “carabos” o “aguerrabos”; de diseño alargado, funcionaban a remo y necesitaban un número cercano a los diez tripulantes para atravesar el oleaje y las rompientes de la playa hasta alcanzar los barcos fondeados mar adentro. Estaban confeccionadas principalmente con la dura madera del argán, el árbol dominante en el paisaje ifneño, empleándose también en menor medida el pino y otras maderas presentes en la zona. Asimismo, solían estar ornamentadas en los laterales con decoraciones geométricas grabadas a fuego y policromadas. Su construcción artesanal se realizaba en el fondo de las playas, en habitáculos formados por muros de piedra y techumbres vegetales (LOZANO REY 1956:236-243).

Ante su escasa capacidad y el lento transporte de mercancías que en numerosas ocasiones no estaba exento de peligrosidad, además de que, como se ha dicho, las marejadas periódicas impedían que la carga y descarga por este medio pudiese realizarse, se hizo indispensable la utilización de otros sistemas que mejorasen la capacidad de los carabos. Fue entonces, a finales de los años 50, cuando se recurrió para

estas labores a vehículos anfibios adquiridos del material dado de baja de la Segunda Guerra Mundial, empleándose en Ifni y también en la playa de El Aaiún, y que debido a su mayor cabida de carga y a su desplazamiento mecánico a motor, mejoró las condiciones de avituallamiento del territorio (CAFFARENA 1966b:5), aunque seguía adoleciendo de la capacidad de trasladar cargas más grandes y de mayor peso. Estos anfibios habían sido construidos a partir de 1942 por la empresa norteamericana GMC con la denominación de “DUKW”, partiendo de la versión del camión GMC 6x6 añadiéndole un casco de bote para permitirle la flotabilidad. Disponían de unas dimensiones de 9,75 m de longitud y 2,51 m de anchura, y contaban con seis ruedas motrices. El motor era un GMC modelo 270 de 91,5 caballos de potencia, y para el desplazamiento marino tenían una hélice situada en la parte trasera, lo que les permitía alcanzar unas velocidades máximas de 80 km/h en tierra y 9,7 km/h en el mar. Estos vehículos fueron utilizados ampliamente durante el conflicto bélico mundial, tanto en labores de desembarco de material como de tropas (AMPHIBIOUS VEHICLES OF WORLD WAR II 1992:2247-2248).



FIGURA 6. Fotogramas de la Revista Imágenes del NODO (nº 1190 de 1967 y nº 921 de 1962) con los carabos (izq.) y los anfibios (dcha.) utilizados en Ifni (www.rtve.es).



## 4. EL PUERTO TELEFÉRICO DE SIDI IFNI

El proyecto modificado realizado por Caffarena fue autorizado por el gobierno español en 1954 (BOE 1954:5214), adjudicándose el primer grupo de obras de dicho proyecto a finales del mismo año, por casi treinta y seis millones de pesetas, a la empresa de construcción española “Cubiertas y Tejados, S.A.”<sup>5</sup> (BOE 1955:39) (Figura 7), dando comienzo a partir de esa fecha los estudios previos sobre el terreno y a finales de 1955 las obras necesarias para su construcción (CAFFARENA 1966b:10)<sup>6</sup>.

Este proyecto, publicado en 1955 (CAFFARENA 1955), contemplaba en un principio la construcción de un dique muelle en el que se instalaría sobre su superficie una grúa sobre raíles (proponiendo, según se desprende de los planos que se detallan en dicha publicación, un modelo similar a las “American” o las “Ruston Bucyrus” adaptado para el uso sobre raíles y no sobre orugas como solía ser lo normal en este tipo de grúas), y un pórtico terminal con estructura circular

5.- “Cubiertas y Tejados, S.A.” fue fundada en 1918 por Luis Ferrer-Vidal y Víctor Messa, existiendo como tal durante sesenta años hasta que se fusionó en 1978 con la compañía “MZOV” (acrónimo de Ferrocarriles de Medina del Campo a Zamora y de Orense a Vigo, fundada en 1862 en Galicia), dando lugar a la empresa “Cubiertas y MZOV”. Finalmente, en 1997 se fusionó por absorción con la empresa “Entrecanales y Távora”, pasando a denominarse la nueva compañía como “Acciona”. Datos extraídos de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Acciona> (Consultado: 25-03-2020).

6.- Para una mayor profundización en la descripción técnica de esta obra, y en el relato de los múltiples avatares y circunstancias que rodearon su construcción, se hace indispensable consultar las diversas publicaciones que Vicente Caffarena realizó a este respecto en las revistas *África* (CAFFARENA 1955, 1963a, 1964, 1966a y 1967), *Obras Públicas* (CAFFARENA 1963b) y en el *CSIC* (CAFFARENA 1966b).

Presupuesto de 1955 del primer grupo de obras a ejecutar (Según V.Caffarena, 1955)		
Obras adjudicadas en concurso público	Pesetas	Pesetas
•Ejecución en Canarias de dos cajones flotables, a 6.078.610,48 pesetas cada uno.....	12.157.220,96	
•Fondeo de los cajones, relleno y asiento.....	12.310.428,90	
•Superestructura (muelles y espaldones).....	6.187.678,93	
•Bolardos, argollas de agarre y obras accesorias.....	1.235.212,96	
•Imprevistos y gastos de contrata.....	<u>5.421.392,09</u>	
•Total obras por concurso.....	37.311.933,84	37.311.933,84
<b>Obras a ejecutar por administración</b>		
•Transporte de los cajones, colocación de boyas de amarre, balizas, etc.....	550.281,94	
•Imprevistos.....	<u>16.508,46</u>	
•Total obras por administración.....	566.790,40	<u>566.790,40</u>
<b>Total del primer grupo de obras.....</b>		<b>37.878.724,24</b>

FIGURA 7. Desglose del presupuesto de 1955 del primer grupo de obras del puerto teleférico (CAFFARENA 1955:112).

giratoria para los cables tractores de los vehículos de un teleférico convencional, que enlazaría con la terminal de tierra ubicada sobre los acantilados a través de dos torres metálicas de apoyo intermedio sobre cimentaciones de hormigón, en aguas profundas la más próxima al dique muelle, y en la playa, cubierta por la pleamar, la más próxima a tierra. Asimismo, se proyectaba construir, aunque nunca llegó a realizarse, una pasarela colgante para peatones bajo los cables entre la terminal de tierra y el dique muelle (GONZÁLEZ SOSA 1958:2).

Por otra parte, este proyecto no contemplaba el amarre directo de los barcos al muelle, al no contar con norayes, ya que las paredes no estaban preparadas para golpes de ariete, realizándose la conexión entre barcos y dique a través de pequeñas embarcaciones o lanchas (CAFFARENA 1955:109-112; 1967:354), que serían bajadas o elevadas de nuevo mecánicamente sobre el dique al terminar su trabajo (TABERNERO 1958:8) (Figuras 8 y 9).

No obstante, este proyecto fue sufriendo diversas modificaciones conforme avanzaba el proceso constructivo, por lo que Caffarena, ágilmente, tuvo que adoptar las soluciones técnicas que se necesitaban ante cada circunstancia.

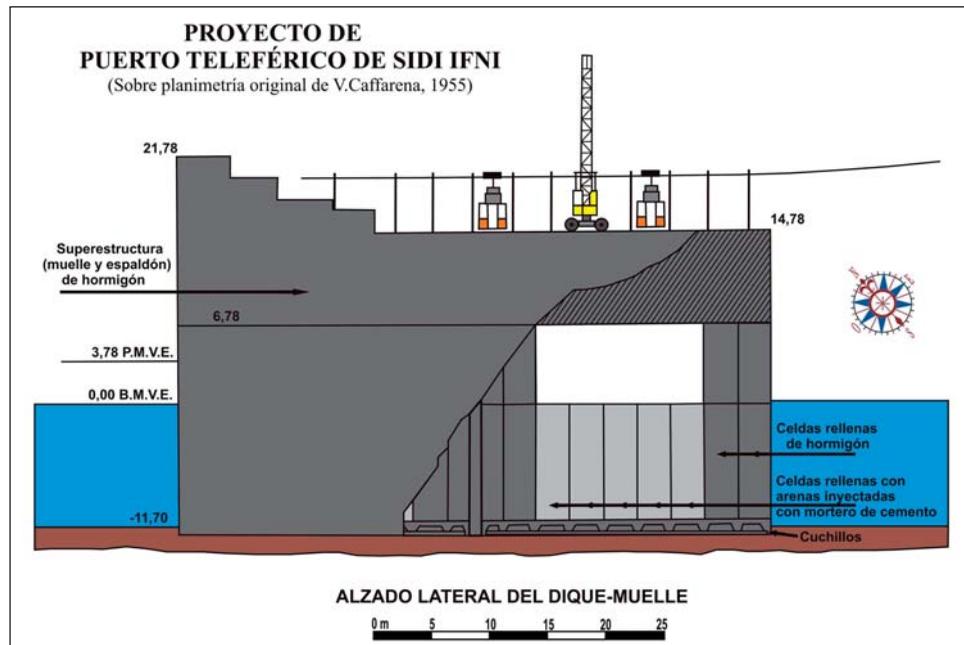


FIGURA 8. Plano del alzado lateral del dique muelle proyectado con la composición interna, la grúa sobre raíles y el teleférico convencional (sobre planimetría original, CAFFARENA 1955:110).

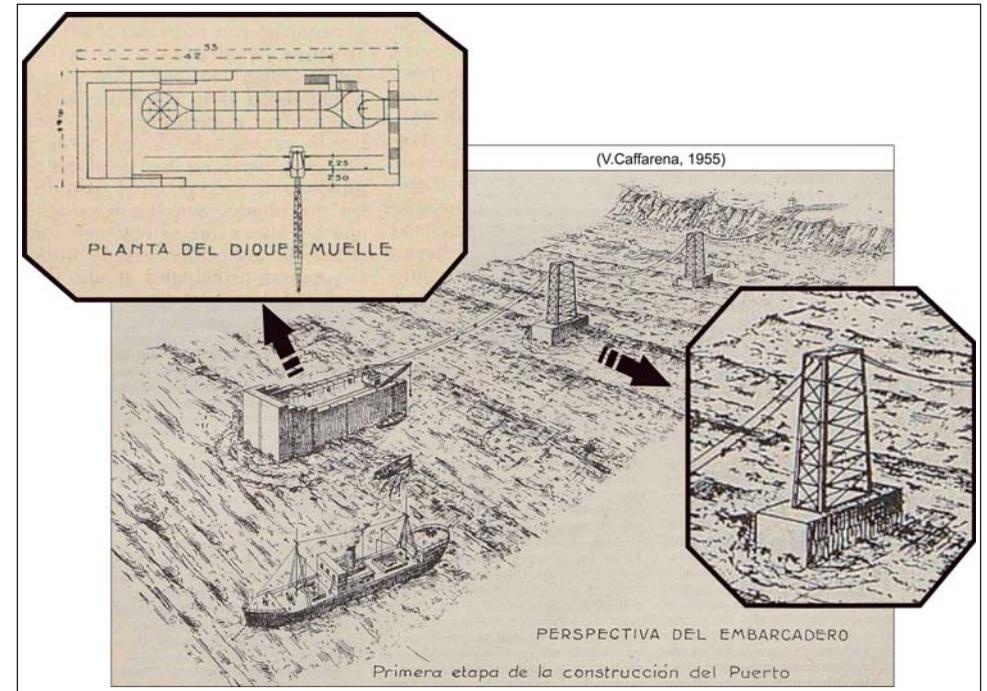


FIGURA 9. Plano del proyecto con el empleo de torres metálicas en los apoyos intermedios del teleférico convencional, y planta del dique muelle con la grúa sobre raíles (CAFFARENA 1955:109-110).

Entre estas modificaciones respecto al proyecto inicial podemos citar un segundo proyecto modificado, publicado en 1963 (CAFFARENA 1963a y 1963b), que contemplaba la instalación en el dique muelle de dos grúas móviles sobre los extremos de los pórticos de hormigón de la terminal del teleférico, aunque finalmente se instalaron las dos grúas sobre torres fijas de hormigón; la apertura en el lado suroeste de cuatro norayes para el amarre directo de los barcos; la construcción en hormigón de las dos torres de apoyo intermedia, con la ubicación sobre el terreno rocoso de los acantilados de la más próxima a tierra; la localización de la estación terminal de tierra en una vaguada bajo la

cota de la pista del aeropuerto; y el empleo en el teleférico de vehículos automotores sobre cables fijos e independientes (CAFFARENA 1963a:64; 1963b:653). Este último hecho estuvo provocado por la oferta que la empresa francesa “NEYRPIC”<sup>7</sup> de Grenoble presentó al concurso del teleférico, anunciado en marzo de 1961 durante el periodo del recrecido del dique muelle (BOE 1961a:4218; CAFFARENA 1966b:16; 1967:354), en la que proponía utilizar un teleférico convencional con cables tractores, contando como elemento auxiliar con un pequeño vehículo automotor que acababa de emplear con éxito en Francia durante la construcción del puente de Tancarville (Le Havre, Normandía). Esto agradó a las autoridades españolas, proponiéndoles que ampliaran su oferta con la premisa de utilizar un teleférico sobre cables fijos e independientes por los que circularan exclusivamente vehículos automotores capaces para el transporte de cargas de hasta 20 toneladas, dejando el tipo convencional para los cables auxiliares (CAFFARENA 1966b:17; 1967:354). Finalmente, y sobre esta base, se adjudicó el concurso a NEYRPIC en septiembre de 1961 por dos millones doscientos cincuenta mil francos nuevos (BOE 1961b:13823), unos veintisiete millones cuatrocientas cincuenta mil pesetas<sup>8</sup>.

7.- Esta empresa se creó en 1917 en la ciudad de Grenoble con la unión de la sociedad francesa local “Neyret-Beylier et Cie” con la suiza de Ginebra “Ateliers Piccard Pictet”, dando lugar al grupo “Neyret-Beylier et Piccard Pictet”. En 1948, por contracción de los cuatro nombres, pasará a denominarse NEYRPIC, aunque cada sociedad seguirá manteniendo su nombre original hasta 1962, con la adopción definitiva del acrónimo para facilitar la imagen internacional de la empresa. Poco tiempo después, en 1967, se integrará dentro del grupo francés “Alsthom”. La filial se conocerá a partir de 1993 como “GEC Alsthom Neyrpic”, y más tarde únicamente como “Alstom”. Datos extraídos de: <https://www.remontees-mecaniques.net/bdd/liste-6-87-neyrpic-neyret-beylier.html> (Consultado: 18-02-2020).

8.- 1 franco = 12,2 pesetas en septiembre de 1961. Dato extraído de: <https://tematicas.org/indicadores-economicos/sector-monetario-financiero-y-bursatil/tipos-de-cambio.1/tipo-de-cambio-peseta-franco-frances/> (Consultado: 14-05-2020).

#### 4.1 Estudios previos y elección del lugar

El lugar elegido para la ubicación del puerto teleférico o embarcadero de Sidi Ifni se situó inmediatamente al sur de la pista del aeropuerto, a unos 2 km de la ciudad en dicha dirección (Figura 10). En un principio también se había pensado en la zona costera de Leguesira, a poco más de 8 km al norte de la población, en donde la utilización del crestón rocoso existente, que se adentra en el mar unos 500 m desde la costa, habría supuesto un considerable ahorro económico para la construcción del puerto, aunque el excesivo coste de los futuros transportes y la necesidad de construcción de un nuevo poblado hizo que se desestimase finalmente esta opción (CAFFARENA 1955:112) (Figura 11).



FIGURA 10. Vista de satélite con la localización del puerto teleférico en el entorno sur de la ciudad de Sidi Ifni (Google Earth 2016).

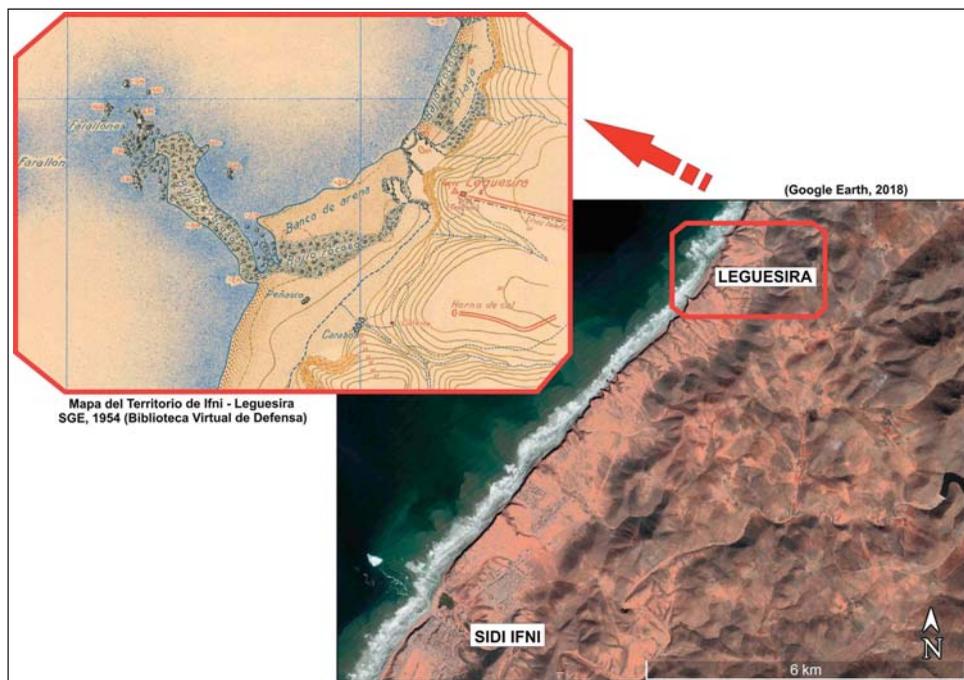


FIGURA 11. Vista de satélite y plano de detalle con la ubicación del crestón rocoso de Leguesira al norte de Sidi Ifni (Google Earth 2018 y Biblioteca Virtual de Defensa).

La zona de Leguesira (“Exira”), junto con la playa de Sidi Ifni y la ensenada de Arksis al sur, había sido una de las tres propuestas para la construcción de un posible puerto que había apuntado ya en 1935 Eduardo Hernández-Pacheco, en el informe de la expedición científica a Ifni de 1934 citado con anterioridad (HERNÁNDEZ PACHECO 1935:526-527).

La localización final se explica por ser el entorno costero en el que el fondo marino estaba completamente plano, y por tanto, en donde mejor se podrían asentar los cajones de hormigón que formarían el dique muelle y el apoyo intermedio del lado de mar del teleférico. Asimismo,

la elección de esta ubicación no constituía ningún obstáculo para la pista del aeropuerto, tanto en las operaciones de despegue como de aterrizaje, ya que se aprovechaba una vaguada para la construcción de las instalaciones de la estación terminal de tierra, de forma que todas ellas quedaban bajo la cota de la pista del aeropuerto (CAFFARENA 1963a:63; 1963b:652). La decisión para la ubicación definitiva estuvo avalada previamente por los diversos reconocimientos submarinos empleando buzos de la Marina procedentes de Cartagena, y por los estudios de los planos de oleaje siguiendo el método del ingeniero Ramón Iribarren (CAFFARENA 1966b:10). Iribarren y Casto Nogales también colaboraron con Caffarena en los estudios previos de los proyectos portuarios africanos de Sidi Ifni, El Aaiún, Villa Cisneros y Bata (ROMERO 2000:109) (Figura 12).



FIGURA 12. Caffarena, segundo por la derecha, Iribarren, tercero, y Nogales, cuarto, “en el avión que les llevó al Sáhara español” (Col. Vicente Caffarena, en VV.AA. 2000, Iribarren. Ingeniería y mar, p.226).

## 4.2 Descripción del proyecto realizado

Inicialmente, los problemas a los que se enfrentó Caffarena, antes del transporte, fondeo y cimentación, fueron la elección de un diseño apropiado, la opción de los materiales, la dosificación de los mismos o la impermeabilización.

El diseño elegido tuvo en cuenta la mínima navegabilidad requerida y, además, la exposición al oleaje durante las operaciones de fondeo y cimentación; para ello, en palabras de Caffarena, se ejecutaron cajones celulares (63 o 62 celdas por cajón), los mayores construidos hasta el momento, agotando prácticamente sus posibilidades de transporte. Por encima de cualquier preferencia, las paredes exteriores se calcularon “*para que pudiesen resistir las reflexiones de las olas unas vez fondeados los cajones y antes de que las celdas inmediatas estuvieran rellenas de hormigón*” (CAFFARENA 1963a:65; 1963b:652. Para las 62 celdas, CAFFARENA 1966b:12).

El conjunto del puerto teleférico de Sidi Ifni estuvo formado finalmente 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 con orientación sureste-noroeste. 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, con una distancia de vanos de 814 m entre la torre de tierra y la de mar, y 407 m entre ésta y el dique muelle<sup>9</sup> (Figura 13).

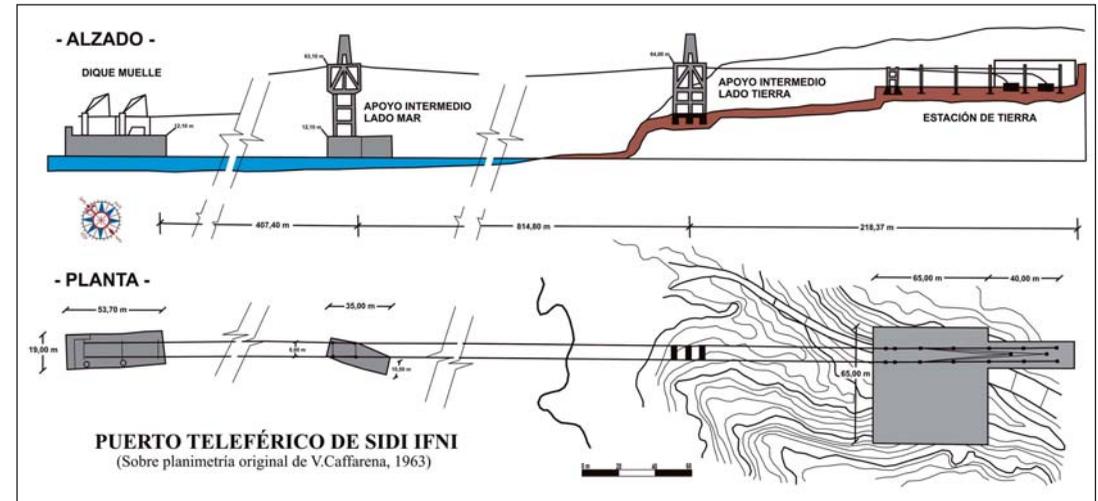


FIGURA 13. Planta y alzado del puerto teleférico realizado (sobre planimetría original, CAFFARENA 1963a:64).

La principal característica de esta obra, que supuso una gran dificultad añadida desde el principio, 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 dichos cajones celulares y flotables para posteriormente ser remolcados por mar hasta Sidi Ifni, a una larga distancia de unos 537 km (o 290 millas náuticas)<sup>10</sup> (ver antecedentes históricos del empleo de cajones flotantes de hormigón armado en *Adenda 2*; de cajones flotables en la construcción de puertos en *Adenda 3*; y de remolques oceánicos de larga distancia en *Adenda 4*).

9.- El puerto teleférico ya terminado aparece en el documental n° 1190 de la Revista Imágenes del NODO “*Sidi Ifni, ayer y hoy*”, de 1967, disponible en: <http://www.rtve.es/alacarta/videos/revista-imagenes/sidi-ifni-ayer-hoy/2856035> (Consultado: 26-02-2020).

10.- La construcción o definición de estos cajones en hormigón armado durante la segunda mitad de los años cincuenta del siglo pasado, unido a las expectativas de transporte previstas, resulta un ejercicio todavía novedoso e incluso nos atreveríamos a decir que valiente.



FIGURA 14. Ola rompiendo sobre el apoyo de mar del teleférico y el dique muelle (Col. Vicente Caffarena, en VV.AA. 2000, Iribarren. Ingeniería y mar, p.229).

#### *4.2.1 Descripción de los diferentes elementos que conformaron el puerto teleférico*

##### *4.2.1.1 Obras de fábrica*

Estas obras consistieron en la construcción del dique muelle, los dos apoyos intermedios del teleférico, y los pórticos y la nave de la estación terminal de tierra (las coordenadas siguientes se expresan según el Datum WGS84).

*Dique muelle* (lat.: 29° 21' 54''; long.: 10° 11' 57''): Es un macizo de planta rectangular con orientación noroeste-sureste, en la dirección en

la que llegan las olas de máximo temporal (CAFFARENA 1963a:63; 1963b:652), y unas dimensiones de 53,70 m los lados mayores y 19 m los menores. Dicho macizo se formó con dos cajones flotantes de hormigón armado construidos en Las Palmas<sup>11</sup>. La superficie quedaba a 12,10 m por encima del nivel medio del mar, contando con un espaldón de 4 m de altura para su protección ante los rociones producidos por el choque de las olas en los temporales del noroeste (Figura 14).

En el interior se disponían alojamientos subterráneos y un almacén, mientras que en la superficie se ubicaban los pórticos del teleférico, el macizo de anclaje para resistir la tracción de unas 700 toneladas de los dos cables vía de 88 mm de diámetro y los dos auxiliares de 42 mm de diámetro (CAFFARENA 1964:242), así como las dos grúas con que contaba, que se situaban en el lado suroeste sobre sendas torres fijas de hormigón de planta cilíndrica.

Las grúas, de giro completo, funcionaban con energía eléctrica y contaban con una capacidad de carga de entre 5 y 10 toneladas cada una. Éstas disponían del suministro eléctrico desde la estación terminal, al igual que del telefónico, a través del cableado colgado de los cables auxiliares del teleférico, aunque también se contaba con un grupo electrógeno de reserva en el interior del dique muelle para casos de averías (CAFFARENA 1967:355). Estas grúas fueron realizadas por la empresa francesa encargada también de la construcción del teleférico, “NEYRPIC” (CAFFARENA 1966b:17).

11.- Los áridos utilizados durante su construcción se extrajeron en la isla de Fuerteventura, en concreto de las playas de Puerto Lajas y El Matorral, al norte y sur respectivamente de la capital Puerto del Rosario (CERDEÑA ARMAS 2019; VERA 2019).

En el lado exterior suroeste, con mayor protección del oleaje y de las constantes corrientes del noreste, se situaban cuatro norayes a los que se amarraban, sin aproximarse a la pared del dique muelle, los barcos en las operaciones de carga y descarga (Figuras 15 y 16).

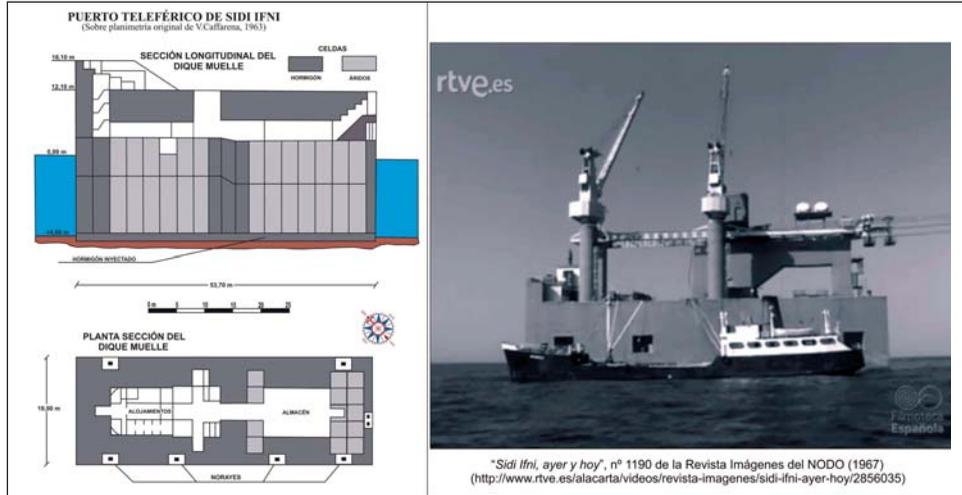


FIGURA 15. Plano del dique muelle realizado (sobre planimetría original, CAFFARENA 1963a:64) y fotograma de la Revista Imágenes del NODO (nº 1190 de 1967) con la imagen del dique muelle terminado y en uso (www.rtve.es).



FIGURA 16. Vistas del dique muelle en la actualidad, desde el suroeste (izq.) y desde el sureste (dcha.) (M. Derbal Laarbi, 2020), donde se aprecia claramente la disposición de los cuatro norayes.

*Apoyo intermedio de mar* (lat.: 29° 21' 49"; long.: 10° 11' 42"): La cimentación está compuesta por un macizo de planta sensiblemente rectangular orientado noroeste-sureste que estuvo configurado, al igual que el dique muelle, por dos cajones flotables de hormigón armado construidos en Las Palmas.

Este macizo presenta unas dimensiones de 35 m los lados mayores y 10,50 m los menores. Se situaba en calados de 7 m en bajamar viva, y estaba enrasado a 12,10 m por encima del nivel medio del mar. Sobre la superficie de la mitad noroeste se levanta la torre de hormigón armado para el apoyo de los cables del teleférico, formada por cuatro pilares de 2,25 m x 2,25 m de sección, adecuadamente arriostrados, alcanzando una altura de 63,10 m sobre el nivel medio del mar (CAFFARENA 1963a:65; 1963b:652) (Figura 17).



FIGURA 17. Vistas de la torre del apoyo de mar del teleférico en la actualidad, desde el noreste (izq.) y desde el puerto actual, desde el suroeste, con la ciudad de Sidi Ifni al fondo (dcha.) (archivo de los autores, 2019, y M. Derbal Laarbi, 2020).

*Apoyo intermedio de tierra* (lat.: 29° 21' 40"; long.: 10° 11' 13"): La torre para el apoyo de los cables del teleférico está cimentada directamente sobre el terreno rocoso del acantilado, estando configurada por seis pilares de hormigón armado de 1,50 m x 1,50 m de sección con estructura arriostrada, llegando a los 64 m de altura sobre el nivel medio del mar (CAFFARENA 1963a:65; 1963b:652) (Figura 18).



FIGURA 18. Vistas actuales de la torre del apoyo de tierra del teleférico, desde la estación terminal de tierra (sureste). Se observa la proximidad con el puerto actual (izq.) (archivo de los autores, 2019).

*Estación terminal de tierra* (lat.: 29° 21' 38"; long.: 10° 11' 08"): Plataforma de planta cuadrada de 65 m de lado construida en la vaguada localizada inmediatamente al sur de la pista del aeropuerto, en la que se ubican los cuatro pórticos de hormigón armado de apoyo de las vías del teleférico y en donde se realizaban las labores de carga y descarga, contando asimismo para ésta y otras necesidades con dos grúas automóbiles (CAFFARENA 1967:355).

El pórtico situado más al noroeste, el único sustentado sobre cuatro pilares al contrario del resto que lo hacen sobre dos, era desde el que se realizaba el acceso a los vehículos automotores por medio de las escaleras en cuatro tramos de elevación con que contaba. Como prolongación de la plataforma hacia el sureste, para lo que se hizo necesario excavar una trinchera en la ladera de la vaguada, se dispuso de una nave rectangular de hormigón de unos 50 m de longitud y 15 m de anchura con otros dos pórticos, que servía para alojar los vehículos automotores o cabinas y los contrapesos de los cables del teleférico (CAFFARENA 1966b:18) (Figura 19).

#### 4.2.1.2 Teleférico

La instalación constaba de dos cables vía paralelos fabricados por la empresa francesa “Tréfilerie-Câblerie de Bourg”<sup>12</sup> (CAFFARENA 1964:243; BILLOUZ et GILBERT 1996:9), completamente fijos e independientes, separados por 8 m. Cada una de las dos bobinas de los cables pesaba 70 toneladas, y cada cable medía 1500 m de longitud y 88 mm de diámetro, con la superficie exterior estriada para mejorar el agarre. La tensión necesaria para cada uno era de unas 300 toneladas, que se conseguían con los contrapesos instalados en la nave de la estación terminal. Asimismo, el teleférico disponía de dos cables de 42 mm para servicios auxiliares (CAFFARENA 1963a:66; 1963b:656; 1964:243; 1966a:345; 1966b:18).

12.- Esta empresa fue fundada en 1906 por Ernest Chaudouet en la ciudad de Bourg-en-Bresse. A partir de 1965, en que pasó a formar parte de Hauts-Fourneaux de la Chiers, y desde 1987 de Usinor-Sacilor, tuvo diferentes denominaciones hasta alcanzar la más conocida de “Tréfileurope”, que como tal fue adquirida en 1999 por Mittal Steel, convirtiéndose desde ese momento en parte del grupo Arcelor-Mittal (GUIGON 2006; “Une histoire cousue de fils d’acier”, en: <https://france3-regions.francetvinfo.fr>).

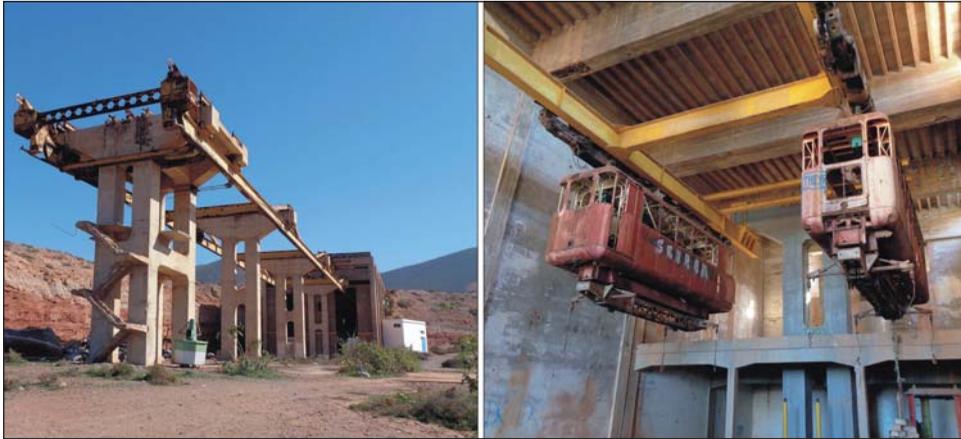


FIGURA 19. Vista general de la estación terminal de tierra, desde el oeste (izq.), en la que se aprecia la escalera de acceso a los vehículos; y vista del interior de la nave de hormigón con los restos de los dos vehículos automotores que se conservan, desde el oeste (dcha.) (archivo de los autores, 2019).

Para circular por estos cables se emplearon novedosos vehículos automotores de la empresa francesa NEYRPIC que, como se ha dicho, realizó también las grúas eléctricas del dique muelle. Estos vehículos, de los que se adquirieron tres (CAFFARENA 1966a:345; 1967:355), quedando uno de ellos en reserva ante posibles averías, estaban conformados por cabinas metálicas rectangulares, pintadas de color rojo, de 8,25 m de largo, 2,90 m de alto, 2,20 m de ancho y 12 toneladas de peso (16 con los carretones de las poleas), llevando en su interior un motor de gasoil de 260 caballos de potencia y cambio de marchas automático, de la marca francesa Berliet (CAFFARENA 1966a:345; 1967:353; LIFT 1974a:47; 1974b:75).

El motor accionaba las 16 poleas motrices superiores con gargantas de caucho endurecido, que se adherían con gran fuerza a los cables por los que rodaban a través de otras 8 poleas similares bajo los mismos que le otorgaban la presión necesaria. Este hecho les permitía

transportar cargas de hasta 10 toneladas, circulando a una velocidad de 4 m por segundo, por lo que cada trayecto entre origen y destino se realizaba en unos 6 minutos (CAFFARENA 1967:355), con un rendimiento medio de 300 pasajeros o 60 toneladas de carga por hora en cada sentido. A velocidades más reducidas, podían desplazar hasta las 20 toneladas de carga.

Los vehículos, que estaban conectados con el dique muelle y la estación de tierra a través de un enlace por radioteléfono de transistores (CAFFARENA 1963a:66; 1963b:656), llevaban acoplados al motor dos cabrestantes que accionaban una viga en la parte inferior a la que se podían enganchar las plataformas para las cargas, las eslingas para vehículos y las cabinas para pasajeros (Figuras 20 y 21).

#### **Características del vehículo automotor de NEYRPIC**

- **Estructura:** rectangular de 8,25 m de largo, 2,90 m de alto y 2,20 m de ancho, pintada de color rojo
- **Motor:** Berliet de gasoil de 260 CV y cambio de marchas automático
- **Poleas:** motrices con gargantas de caucho endurecido (16) sobre el cable fijo, y poleas análogas en la parte inferior (8) para reforzar la adherencia
- **Carga:** hasta 20 Tm a velocidad reducida, y hasta 10 Tm a velocidad media de 4 m por segundo
- **Rendimiento:** 300 pasajeros o 60 Tm de carga por hora en cada sentido
- **Complementos colgantes:** plataformas con las cargas; eslingas con los vehículos o cargas extraordinarias; y cabinas con pasajeros

FIGURA 20. Resumen de las características del vehículo automotor de NEYRPIC (elaboración propia).



FIGURA 21. Varias imágenes del teleférico de Sidi Ifni en funcionamiento (en: <http://fotosdeifni.blogspot.com>; [www.rtve.es](http://www.rtve.es); FUENTES MACHO 2008:284; [www.todocoleccion.net](http://www.todocoleccion.net); [www.diariodefuerterventura.com](http://www.diariodefuerterventura.com); [www.sidi-ifni.com](http://www.sidi-ifni.com)).

El modelo de vehículo automotor de Sidi Ifni fue diseñado por el ingeniero francés Pierre Goirand<sup>13</sup>, jefe del departamento de teleféricos de NEYRPIC, basándose en el pequeño prototipo de vehículo automotor del mismo ingeniero que dicha empresa ensayó con éxito entre 1958 y 1959 durante las obras de construcción del puente francés de Tancarville (Le Havre, Normandía)<sup>14</sup> (CAFFARENA 1967:354) (Figuras 22 y 23).

El modelo de vehículo que se instaló en Ifni en 1965 fue ensayado y utilizado por NEYRPIC por primera

13.- Modelo patentado el 4 de abril de 1966 en el Ministerio de Industria de Francia, con el título "Véhicule automoteur de téléphérique" con numeración FR1438290A, y el 4 de octubre de 1966 en la Oficina de Patentes de EE.UU., con el título "Self-Propelled Vehicles For Telfer Railways" y numeración US3276394A. Texto y planos disponibles en: <https://patents.google.com/patent/FR1438290A> y <https://patents.google.com/patent/US3276394A> (Consultado: 04-03-2020). Pierre Goirand visitó el puerto teleférico de Sidi Ifni en 1973 con motivo de un viaje a Marruecos (LIFT 1974b:74).

14.- Sistema patentado el 23 de julio de 1962 en el Ministerio de Industria de Francia, con el título "Chariot automoteur destiné à se déplacer sur un câble ou rail porteur aérien" y numeración FR1302355A, en: <https://patents.google.com/patent/FR1302355A> (Consultado: 07-06-2020).

Se pueden ver imágenes de este prototipo funcionando en el documental "Construction du pont de Tancarville", realizado en 1959 por la productora cinematográfica Pathé. Disponible en: [http://www.gaumontpathearchives.com/index.php?urlaction=doc&id\\_doc=74349&rang=20](http://www.gaumontpathearchives.com/index.php?urlaction=doc&id_doc=74349&rang=20), y también en: <https://www.youtube.com/watch?v=dGx58vrj1sw> (Consultado: 03-03-2020).

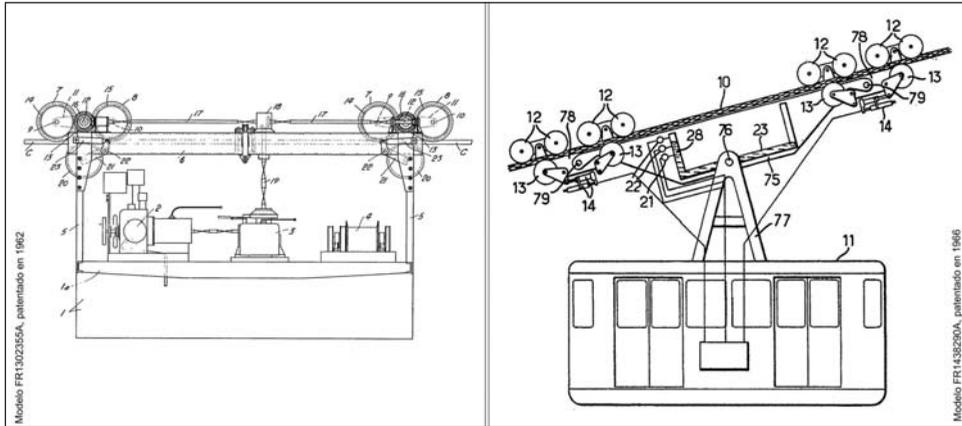


FIGURA 22. Planos de las patentes en los que se basaron los vehículos empleados en el puente de Tancarville (FR1302355A) (izq.) y en Sidi Ifni (FR1438290A) (dcha.).



FIGURA 23. Fotogramas con el prototipo automotor de NEYRPIC durante la construcción del puente de Tancarville en 1959 (www.gaumontpathearchives.com).

vez de forma experimental en la construcción de los diques del Plan Delta de Países Bajos al suroeste de Rotterdam, concretamente en el teleférico del dique de Grevelingen, aplicando el modelo automotor que se estaba proyectando para Sidi Ifni (STAMHUIS 1997:17-18).

Fue concebido inicialmente en enero de 1962 y puesto en práctica a lo largo de 1964, en este caso sobre torres de apoyo con estructura metálica montadas por la empresa “Kloos Kinderdijk”, en el que se emplearon doce de estos vehículos, pintados de rojo y numerados (PAPPAULT 1965:2-7), hecho que se volvió a repetir posteriormente entre 1970 y 1971 en el del dique de Haringvliet<sup>15</sup> (BERKERS 1998:86) (Figura 24).



FIGURA 24. Imágenes de los teleféricos de NEYRPIC en la construcción de los diques de Países Bajos en Grevelingen en 1964 (izq.) y Haringvliet en 1970 (dcha.) (Rijkswaterstaat, https://beeldbank.rws.nl).

Una imagen del teleférico de Grevelingen fue utilizada en 1964 por la compañía postal española “Correos” para ilustrar un sello conmemorativo de los “XXV años de Paz”, aunque identificándolo

15.- También se emplearon vehículos automotores en el teleférico del dique de Brouwers entre 1971 y 1972, si bien, con un modelo diferente y pintados de amarillo; en este caso sobre torres de apoyo de hormigón. Ver imagen en: <https://beeldbank.rws.nl/MediaObject/Details/471283> (Consultado: 19-02-2020).

erróneamente con el teleférico del embarcadero de Sidi Ifni, que en esa fecha aún estaba en construcción (Figura 25).



FIGURA 25. Sello de Correos de 1964 con la imagen del teleférico de Grevelingen aunque, como se aprecia, al pié figura “Teleférico del Embarcadero de Sidi Ifni” (J.J. de Faba, [www.fronterad.com](http://www.fronterad.com)).

El teleférico ifneño, cuyo proyecto había sido propuesto, estudiado y adjudicado en 1961 (BOE 1961b:13823; CAFFARENA 1967:354), fue por tanto el segundo en el que se instaló este tipo de modelo automotor, pero el primero permanente y no experimental en el que estos vehículos circularon por cables sobre torres de apoyo de hormigón armado y con la finalidad de carga y descarga portuaria de mercancías y pasajeros.

A este respecto, conviene recordar que el primer transbordador aéreo utilizado para el transporte de personas fue el de barquilla del Monte

Ulía en San Sebastián, construido en 1907 por el ingeniero español Leonardo Torres Quevedo (FERNÁNDEZ TROYANO 2014:27), siendo los primeros funiculares teleféricos con cabina para pasajeros el del Colle (o Kohlerer) en Bolzano, Italia, inaugurado en junio de 1908 a iniciativa de Josef Staffler (Figura 26), y un mes después el del Wetterhorn, en Suiza, proyectado por Wilhelm Feldmann (FUNIVIA DEL COLLE, 100 ANNI 2008:27-28; ASCENSOR FUNICULAR AÉREO 1905:775-776). Con posterioridad, en la primera mitad de los años 50 funcionó el teleférico “Skiway” del Monte Hood, en Oregón, EE.UU., en el que se empleó un modelo de autobús modificado como vehículo automotor, cuya tracción mecánica hacía girar un sistema de poleas y cables que a su vez permitía el desplazamiento del vehículo sobre los cables vía (BENJAMIN 2020) (Figura 27).

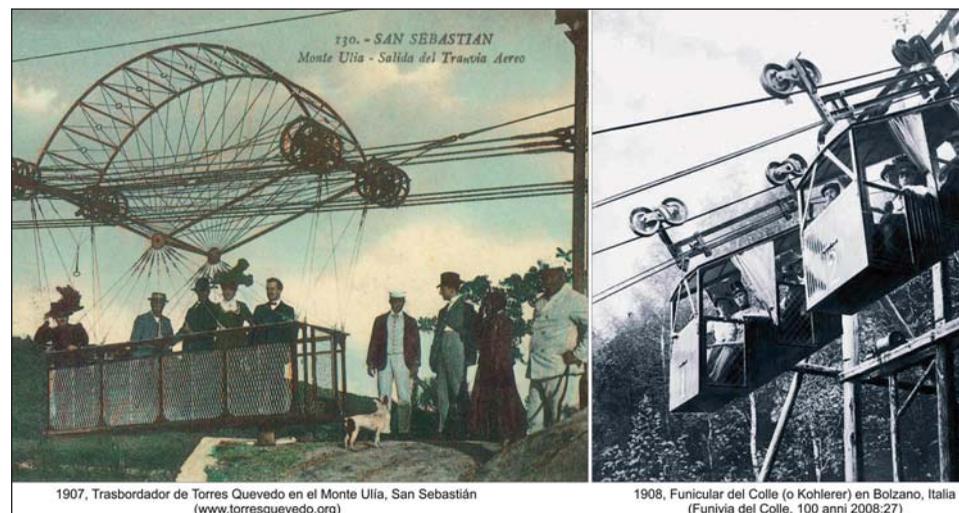


FIGURA 26. El Transbordador de Torres Quevedo en el Monte Ulía, San Sebastián, 1907 (izq.) ([www.torresquevedo.org](http://www.torresquevedo.org)), y el funicular del Colle (o Kohlerer) en Bolzano, Italia, 1908 (dcha.) (FUNIVIA DEL COLLE, 100 ANNI 2008:27).



FIGURA 27. Imagen del teleférico “Skiway” del Monte Hood, Oregón, EE.UU., en los años 50, con el autobús modificado como vehículo automotor (BENJAMIN 2020).

A partir de ese momento de finales de los 60, hasta mediados de los 70, se tiene constancia de otros proyectos de teleféricos con vehículos automotores diseñados en diversos lugares, como en Japón, EE.UU. e Italia, aunque en estos casos pensados exclusivamente para el transporte de personas. Se pueden citar los ejemplos del teleférico monorraíl y monocable japonés de Godai-san, Shikoku, construido entre 1967 y 1969 (NAKAGAWA 1972:13), el vehículo automotor patentado en 1967 por el norteamericano Frank Pettit<sup>16</sup>, el

---

16.- Ver patente en: <https://patents.google.com/patent/US3353503A> (Consultado: 08-06-2020).

vehículo aéreo monocable patentado en 1968 por el japonés Osamu Tsuchimochi<sup>17</sup>, el llamado “Sky-Tram” diseñado en 1974 por la empresa norteamericana “Bud Brown” de Arizona (LIFT 1974c:110), y el italiano “Funebus”, cuyo modelo experimental fue dado a conocer en Trento en 1975 (CZALOUN 1975:153).

La fabricación de vehículos automotores de NEYRPIC tuvo un corto periodo de existencia debido al accidente de octubre de 1972 en el teleférico de Jandri, en la estación invernal francesa de Deux Alpes, en el que se vieron involucrados dos nuevos prototipos, conocidos por la denominación de “*le tramway des neiges*”, que la empresa estaba probando para el transporte de pasajeros en la estación. El choque entre los dos vehículos que, por error, circulaban en sentido inverso, ascendente y descendente, por el mismo cable, provocó la muerte de los nueve trabajadores que viajaban en ellos. El juicio que derivó de este accidente finalizó en 1975 con la condena a multas económicas para los tres responsables de NEYRPIC del proyecto y ejecución del teleférico de Jandri, Jacques Chenais, Gérard Villard y Roger Ricard, y penas de prisión para dos de ellos (ELIE 1975), hecho que motivó el cierre definitivo del departamento de teleféricos de la empresa (TPH DU JANDRI 2 2015).

### **4.3 Desarrollo constructivo**

Como se ha dicho, en un primer momento se aprobaron únicamente, de acuerdo con el informe del Consejo de Obras Públicas, las obras relativas a la construcción e instalación del dique muelle, para a continuación, comprobada la viabilidad de dichas obras, proceder con el resto del proyecto.

---

17.- Ver patente en: <https://patents.google.com/patent/US3369501A> (Consultado: 07-06-2020).

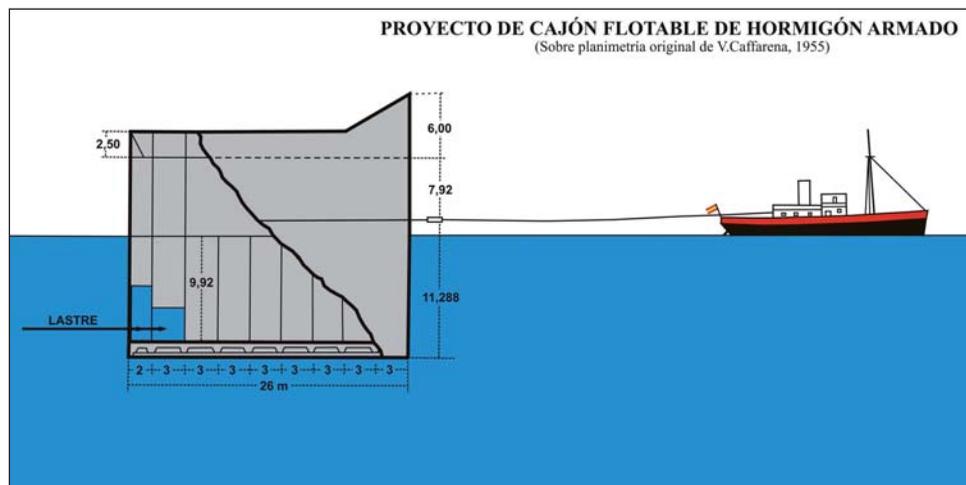


FIGURA 28. Plano del proyecto con el cajón flotable de hormigón armado dispuesto originalmente en punta para su remolcado (sobre planimetría original, CAFFARENA 1955:111).

Para estas obras iniciales del dique muelle, ante la imposibilidad de realizarlas en el entorno ifneño por la falta de instalaciones adecuadas, fue necesario construir en el puerto de Las Palmas de Gran Canaria, a partir de diciembre de 1955, dos cajones de cimentación flotables de hormigón armado, de gran tamaño, que una vez terminados debieron ser remolcados, no en punta sino de costado<sup>18</sup> (GONZÁLEZ SOSA 1958:2), por vía marítima hasta la costa ifneña (unos 537 km o 290 millas) por los remolcadores de altura de la Marina RA-1 y RA-2, de

18.- A este respecto, son esclarecedoras las declaraciones del propio Caffarena en la entrevista que P. González Sosa publicó en octubre de 1958 en el periódico “Falange” de Las Palmas (GONZÁLEZ SOSA 1958:2): “-¿Cómo se hace el transporte de los bloques hasta Ifni? / -Arrastrados por potentes remolcadores. / -Bueno, lo sabemos. Pero queremos la forma de ese arrastre. / -El cajón, no va en punta, como se suponen, sino de costado. / -¿Tan difícil? / -Y tanto. Ha sido uno de los remolques marinos más curiosos del mundo.”.

3200 B.H.P., actuando como apoyo en las operaciones de fondeo y colocación el de rada RR-29<sup>19</sup> (CAFFARENA 1963a:67; 1963b:658; 1964:242; 1966b:12) (Figura 28) (ver antecedentes en *Adendas 2 y 4*).

Estos cajones, bautizados como “Virgen de la Esperanza” y “Virgen del Pino”, eran celulares, cada uno con 63 celdas (CAFFARENA 1963a:65; 1963b:652) o 62 celdas (CAFFARENA 1966b:12), estando cruzados por una serie de mamparos separados entre sí tres metros, con algunos de los contiguos a los bordes separados 2 m, dimensionados con 26 m de longitud, 19 m de anchura, una altura de 18,50 y 18 m y un peso de 6700 toneladas el primero y 6500 toneladas el segundo, con un calado en el mar de entre 14,50 m y 14 m respectivamente.

Asimismo, llevaban en todo el perímetro del fondo un murete de hormigón, o cuchillo, de 1 m de altura, pobre en cemento, para facilitar la unión de los cajones con el terreno en el proceso de hundimiento, y en cuyo interior se inyectaría hormigón (CAFFARENA 1966b:12).

Estos cajones, para la correcta flotabilidad durante su transporte, disponían de bombas de achique en las celdas centrales, que estaban reforzadas, lo que permitía mantener todas las celdas contiguas llenas de lastre y en seco las centrales (CAFFARENA 1966b:14).

El primero de ellos fue remolcado hasta Ifni en septiembre de 1958 por el remolcador RA-2, después de una travesía de ocho días a una

19.- El RA-1 fue construido en Cartagena por la Empresa Nacional “Bazán”, dado de alta en 1955 y de baja en 1996. El RA-2 se construyó en el mismo lugar, dado de alta en 1955 y de baja en 1982. El RR-29 se comenzó a construir en la Carraca y se terminó en la Bazán, dado de alta en 1949 y de baja en 1983. Datos extraídos de: <https://foro.todoavante.es> (Consultado: 25-03-2020).

velocidad media de dos nudos, y el segundo, que llevaba también las piezas de la grúa torre que se emplearía en las obras de recrecimiento, en octubre del mismo año por el RA-1 tras diez días de travesía (Figura 29).



FIGURA 29. Fotogramas del Noticiero del NODO (nº 825 A de 1958) con el cajón “Virgen del Pino” en el puerto de Las Palmas de Gran Canaria (www.rtve.es).

Una vez fondeados en su situación final, siendo necesario el reconocimiento submarino por medio de buceadores de la Marina para determinar un fondo perfectamente plano (CAFFARENA 1964:242), se procedió al relleno de las celdas centrales con áridos procedentes, como se ha citado con anterioridad, de Fuerteventura, y el resto con hormigón. Estas labores, así como la unión de los dos cajones (que a causa del aguaje entre ambos se habían hundido con una separación de entre 1,40 y 2,10 m) y el recrecido de los mismos con bloques de hormigón, se realizaron a lo largo de 1959, y tras comprobar la viabilidad de este proceso constructivo se continuó con el resto de las obras de fábrica previstas, realizadas también por la empresa “Cubiertas y Tejados, S.A.” (CAFFARENA 1966b:10-14; 1967:353-354) (Figura 30).

### Proceso constructivo del dique muelle

- 1. Diseño, construcción/fabricación de los cajones flotantes de hormigón armado
- 2. Botadura
- 3. Remolque por mar
- 4. Dentro del área apropiada, elección, mediante observación submarina, de un plano rocoso conveniente y nivelado
- 5. Fondeo mediante inundación
- 6. Sustitución del agua por áridos en las celdas centrales y por hormigón en las exteriores para fortificar el perímetro, al mismo tiempo en que se asocian los cajones
- 7. Empleo de hormigón inyectado en las cámaras de los cuchillos para solidarizar la losa del fondo de los cajones con la roca del fondo marino
- 8. Recreido y construcción del espaldón vertical

FIGURA 30. Resumen del proceso constructivo del dique muelle (elaboración propia).

Poco, o casi nada, sabemos sobre las características físicas de los materiales empleados en la ejecución de los cajones, ni del encofrado, ni de la disposición de la ferralla, ni de la técnica de vertido del hormigón para conseguir un cajón aligerado, de gran volumen y de poco peso con relación a éste; no obstante, sí conocemos que: “*La persistencia de las marejadas (en Ifni) impiden preparar en las zonas próximas a las rompientes banquetas de escolleras convenientemente enrasadas para el asiento de los cajones*” (CAFFARENA 1963a:67; 1963b:652). Esta circunstancia determinó un diseño específico del fondo de los cajones: “*Bajo el fondo, y en todo su borde, llevaban unos muretes de 1 metro de altura, que formaban bajo el mismo unas*

*cámaras...*” (CAFFARENA 1964:241), con unas especificaciones claras: “*los últimos 15 centímetros de los cuchillos, como se suelen denominar a los muretes del borde inferior de los cajones, se construyeron con hormigón pobre en cemento y, por tanto poco resistentes, al objeto de que al deshacerse parcialmente por el gran peso que habían de soportar, quedara cerrada la cámara de debajo de la losa de los cajones y no se saliera el hormigón que posteriormente, al fondeo, habría de inyectarse*” (CAFFARENA 1964:242).

Estas prescripciones, sin cuchillas evidentes que posibiliten una hinca, apuntan a una cimentación por retracción y aplastamiento del fondo del cajón para su acomodo al sustrato.

Como ya se señaló, disponemos de una referencia para la localización de la cantera de áridos, pero desconocemos las características del aglutinante y su dosificación; la clave para evitar las fisuraciones está en el equilibrio entre áridos, cemento y agua, para así conseguir fluidez y compactación en aras de una impermeabilización efectiva. Para ello son indispensables arenas<sup>20</sup> y clastos apropiados, sin añadir componentes puzzolánicos que posibiliten coqueas, más un cemento adecuado, convenientemente dosificado.

Hoy día se conoce o se maneja que un contenido de cemento en torno a 300 kg/m<sup>3</sup> es suficiente para conseguir una impermeabilidad efectiva; no obstante, no sabemos los porcentajes empleados en la construcción de estos cajones, como también ignoramos si se emplearon aditivos (ver *Adenda I*).

---

20.- Para cumplir las condiciones requeridas (impermeabilidad, densidad y resistencia mecánica), el control granulométrico de los áridos es una necesidad, así el número de huecos será mínimo y la compactación máxima.

En la actualidad, los aditivos son componentes regulados indispensables; pero, en el ámbito de los años cincuenta<sup>21</sup> del siglo pasado, poco sabemos de manera fehaciente sobre el empleo de estos, ya que no será hasta 1968 cuando se apruebe la *Instrucción para Estructuras de Hormigón Armado*, conocida como EH-68, momento en el que se empezó a considerar y regular el uso de aditivos en el hormigón (NISTAL *et alii* 2012:11); bastantes años más tarde, la norma española UNE 83-200-84 (diciembre de 1984) los clasificó y definió adecuadamente.

Para la cimentación del apoyo intermedio de mar del teleférico se construyeron a lo largo de 1959, también en el puerto de Las Palmas, dos cajones flotables celulares de hormigón armado, de menor tamaño que los del dique muelle, nombrándolos como “Virgen de la Paloma”

---

21.- Aunque sin regulación alguna en Europa, en esta época se venían utilizando hormigones tratados con productos químicos de adición; en concreto, se utilizaba algún “plastificador” o plastificante con tolerancia al ion calcio: “*Es sabido que, al fraguar el cemento Portland, siempre pone en libertad una proporción mayor o menor de cal, y de no existir la tolerancia al ion calcio, podrían producirse reacciones internas que no solamente anularan los efectos del plastificador sino que motivarían otros perjuicios al hormigón fabricado (...) Por la misma razón, no conviene que el producto elegido sea de naturaleza de catión, pues podría reaccionar con los iones alcalinos liberados que, en general, se encuentran en el agua del amasado, con parecidos efectos perjudiciales a los indicados anteriormente*” (MARTÍNEZ RAYÓN y GEYMAYR 1955b:239).

Sin embargo, en esta época, los “aireadores” o “aireantes” eran de uso común en las obras “especiales”; se utilizaban resinas o aceites sulfonados que, al ser removidos o amasados junto a los otros componentes del hormigón, generan pequeñas burbujas de tamaño microscópico, homogéneamente distribuidas en el interior de la masa (MARTÍNEZ RAYÓN y GEYMAYR 1955b:240), obturando la red capilar, ya que funcionaban como compuertas clásticas, y mejorando algunas propiedades del hormigón fresco; en definitiva, funcionaban como un lubricante flexible, aumentando la docilidad de la masa y reduciendo el agua requerida (MARTÍNEZ RAYÓN y GEYMAYR 1955a:14).

y “Virgen del Carmen”. Dispusieron de unas dimensiones de 14 m de longitud, 10,50 m de anchura y un peso de 1200 toneladas, con un calado en el mar de 10 m y 8,50 m respectivamente (Figura 31).

Características de los dos cajones flotables de hormigón del dique muelle	Características de los dos cajones flotables de hormigón del apoyo de mar
<i>(Virgen de la Esperanza y Virgen del Pino)</i>	<i>(Virgen de la Paloma y Virgen del Carmen)</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 25 m de eslora, 19 m de manga y 18,50 y 18 m de puntal</li> <li>• 1 m de altura del murete del fondo o cuchillo</li> <li>• 14,50 y 14 m de calado</li> <li>• 6700 y 6500 Tm de desplazamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 14,50 m de eslora, 10,50 m de manga y 13,70 m de puntal</li> <li>• 1 m de altura del murete del fondo o cuchillo</li> <li>• 10 y 8,50 m de calado</li> <li>• 1200 Tm de desplazamiento</li> </ul>

FIGURA 31. Resumen de las características de los cajones flotables del dique muelle y del apoyo de mar (elaboración propia).

Después de una primera travesía fallida a causa de una fuerte borrasca entre finales de octubre y principios de noviembre de 1959, cuando se encontraban a la altura de la isla de Lanzarote, y tras regresar de nuevo a Las Palmas, fueron finalmente remolcados ambos cajones hasta Ifni en mayo de 1960, de la misma manera y por los mismos remolcadores que se utilizaron para el dique muelle, con una singladura de cinco días (CAFFARENA 1966b:14-15).

Al ser estos cajones de dimensiones más reducidas, era imposible cargar y almacenar en el paralelepípedo resultante las piezas necesarias para la construcción de la torre de hormigón de apoyo del teleférico; es por ello por lo que se instaló en el primer cajón, transportada de esta manera durante la travesía, una torre metálica de 27 m de altura para un blondín auxiliar con el objeto de unirlo durante las obras al

dique muelle, con espacio suficiente para la descarga de materiales y en donde se ubicaban los alojamientos para el personal de los trabajos; permitiendo así el transporte de personas y materiales entre las dos instalaciones durante la ejecución de las obras (CAFFARENA 1964:242).

Las operaciones de fondeo y hundimiento de estos cajones no estuvieron exentas de dificultades, ya que, debido a los fuertes oleajes durante el proceso, el primer cajón se debió fondear y hundir a unos 70 m más cerca de la costa de lo previsto, mientras que el segundo sufrió varios desperfectos en su parte inferior por golpes durante los tres fondeos y hundimientos, y los dos reflotes, que se necesitaron para su ubicación definitiva, situándose finalmente a una distancia de unos 6 m del primero, desplazado 3,50 m hacia el sur.

Tras la unión de ambos cajones, colocando bloques para taponar las juntas de separación y añadiendo una losa sobre ellos, se tomó la decisión de instalar la torre del apoyo en el primer cajón, quedando el segundo, por sus desperfectos y por la inseguridad de su asiento en el fondo, como ayuda de resistencia a la acción del oleaje (CAFFARENA 1966b:15-16).

Esta nueva e inesperada ubicación del apoyo de mar, más próxima a la costa, provocó que la construcción del de tierra se realizase finalmente en el terreno rocoso de los acantilados, modificando la idea inicial proyectada, por innecesaria, que lo situaba al borde de la marea; a este fin, se había construido previamente un pequeño espigón en la playa, que originalmente habría servido para la construcción de este segundo apoyo desde tierra (GONZÁLEZ SOSA 1958:2) (Figura 32); pasando definitivamente a tener una separación entre ambos apoyos de 814 m en vez de los 660 m inicialmente previstos (CAFFARENA 1966b:14-16; 1967:354).



FIGURA 32. Fotograma del Noticiero del NODO (nº 840 B de 1959) con el espigón realizado en la playa (www.rtve.es). Desaparecido tras la construcción del puerto marroquí en los años 80.

Finalizadas las obras de fábrica (Figura 33), para lo que fue preciso transportar por mar todos los materiales desde Canarias, labor en la que participó la compañía naviera “Armas” con varios de sus buques como el Concepción Aparisi y el Medina Tanya (DÍAZ LORENZO 2018), se procedió a la construcción de los pórticos de la estación terminal, a la instalación del teleférico entre 1964 y 1965 y a la colocación de las grúas eléctricas del dique muelle.

Los cables principales, cuyas bobinas junto a otros materiales pesados del teleférico se transportaron a Sidi Ifni por medio de lanchas o

barcazas de desembarco de la Marina de Guerra (CAFFARENA 1966b:18; 1967:355), se terminaron de tender en marzo de 1965; para ello, se utilizaron los dos cables auxiliares, que se habían instalado previamente, con el objeto de asegurar el tendido y que los principales

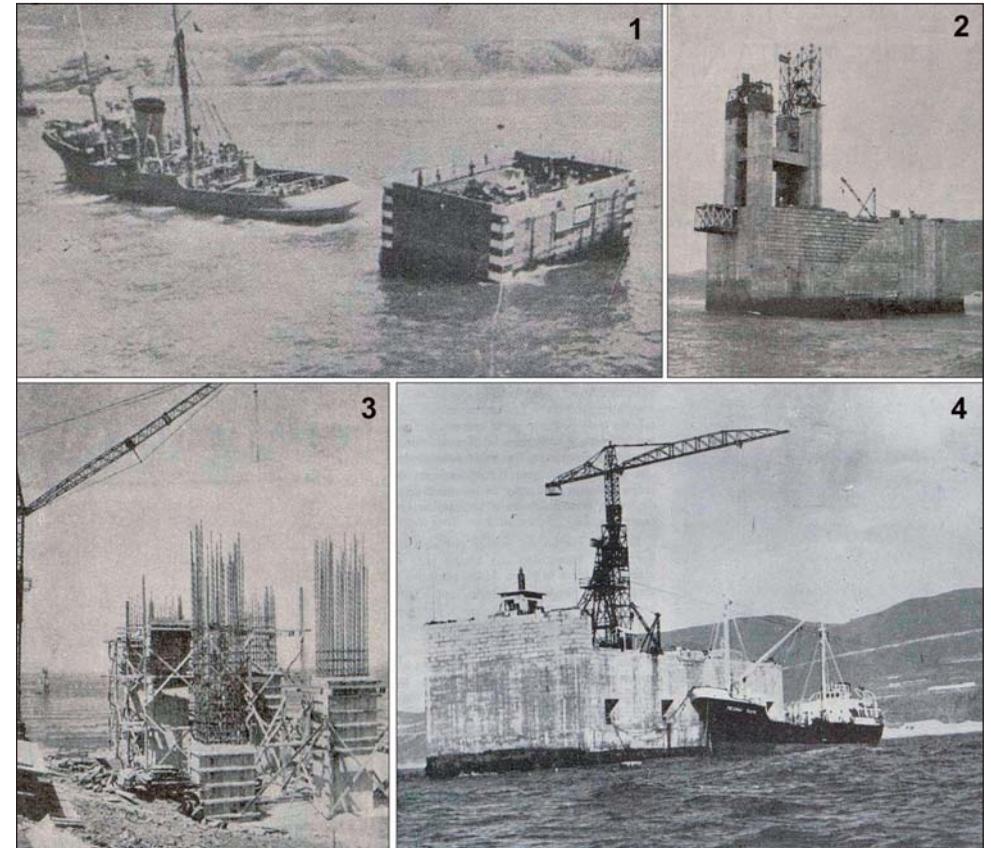


FIGURA 33. Imágenes del proceso de transporte y construcción del puerto teleférico: 1- Transporte por mar del cajón “Virgen del Carmen” (CAFFARENA 1963a:66); 2- Construcción de la torre de hormigón del apoyo de mar (CAFFARENA 1963a:67); 3- Construcción de la torre de hormigón del apoyo de tierra (CAFFARENA 1963a:67); 4- Construcción del dique muelle con el buque “Medina Tanya” amarrado a su costado (CAFFARENA 1964:240).

no llegasen a rozar la superficie del mar (CAFFARENA 1964:243; 1966a:345), colocándose sobre los capitales los vehículos automotores con el objetivo de realizar las pruebas pertinentes; por último, se construyó la nave de hormigón de la estación terminal.

Las dificultades descritas que se presentaron durante la construcción provocaron un retraso en la puesta en marcha de la instalación portuaria, lo que conllevó un aumento de los costes previstos inicialmente (CAFFARENA 1966a:346), hecho que se fue solventando por parte del Estado con la concesión de sucesivos créditos. Así, en julio de 1960 se concedió un crédito extraordinario de casi veintinueve millones quinientas mil pesetas para el pago de obras del embarcadero de Sidi Ifni, y se fijó una anualidad para 1961 de casi diez millones seiscientos mil pesetas para dichas obras (BOE 1960a:10211); en diciembre de 1960 se concedió un crédito extraordinario de treinta y un millones de pesetas para satisfacer el segundo grupo de obras del embarcadero de Sidi Ifni (BOE 1960b:17597); en diciembre de 1963 se concedió un crédito extraordinario de veintinueve millones seiscientos cincuenta mil pesetas a favor de la contrata *para satisfacer revisión de precios del proyecto reformado del modificado del embarcadero de Sidi Ifni* (BOE 1963:18242); en julio de 1964 se concedió un crédito extraordinario de algo más de sesenta y cinco millones seiscientos mil pesetas para la continuación de las obras del embarcadero de Sidi Ifni (BOE 1964:8973); y en diciembre de 1966 se concedió un suplemento de crédito de treinta y siete millones de pesetas para completar las obras de fábrica, ya terminadas, con los medios auxiliares necesarios y el montaje de las instalaciones fijas y móviles del teleférico (BOE 1966:16381). Por tanto, el coste oficial final de la instalación portuaria, según las adjudicaciones y créditos recogidos en el Boletín Oficial del Estado (BOE 1955; 1960a y b; 1961b; 1963; 1964; 1966), ascendió a doscientos sesenta y seis millones setecientos treinta y un mil trescientas tres pesetas (266.731.303 ptas.) (Figura 34).

<b>Coste oficial final del Puerto Teleférico de Sidi Ifni</b> (Según las adjudicaciones y créditos recogidos en el BOE)	
-BOE nº 3 (1955) Adjudicación 1º grupo de obras.....	35.920.198,71 ptas
-BOE nº 175 (1960) Crédito pago de obras.....	29.499.032,58 ptas
Anualidad para 1961.....	10.599.829,37 ptas
-BOE nº 307 (1960) Crédito 2º grupo de obras.....	31.000.000 ptas
-BOE nº 228 (1961) Adquisición funicular.....	27.450.000 ptas
(2.250.000 francos / 1 franco = 12,2 ptas)	
-BOE nº 313 (1963) Crédito revisión de precios.....	29.650.398 ptas
-BOE nº 167 (1964) Crédito continuación de obras.....	65.611.845 ptas
-BOE nº 311 (1966) Suplemento crédito completar obras.....	37.000.000 ptas
TOTAL.....	266.731.303,66 ptas

FIGURA 34. Coste oficial final de las obras del puerto teleférico según las adjudicaciones y créditos recogidos en el BOE (elaboración propia).

#### 4.4 Inauguración

La inauguración del puerto teleférico de Sidi Ifni, al igual que los puertos de El Aaiún y Villa Cisneros, tuvo lugar en junio de 1967, contando con la presencia del Director General de Plazas y Provincias Africanas, José Díaz de Villegas, y del Director General de Puertos, Fernando María Iturriaga (ABC 1967:89; YTURRIAGA 1967:410), culminando pues un proceso constructivo que duró casi doce años de arduos trabajos, no teniendo este modelo continuidad en otros puntos costeros del África española, aunque Caffarena llegó a proyectar una obra portuaria con teleférico, de menores dimensiones, en la población

de La Güera, en el sur del Sáhara Occidental, que finalmente nunca llegó a realizarse (CAFFARENA 1971:188-189).

La instalación portuaria de Sidi Ifni, así como las del Sáhara español, despertó en 1966 el interés de las autoridades de EE.UU., en concreto del U.S. Department of Commerce, con la publicación en el nº 450 de su revista *Translations on Africa* de la traducción al inglés del artículo de Caffarena “Estado actual de los puertos de las provincias de Ifni y Sáhara” aparecido previamente en 1966 en el nº 294 de la revista *África* (CAFFARENA 1966c:56-62).

#### **4.5 Línea de tiempo: fases proyectadas y construidas**

A partir de los dibujos y los textos publicados, tanto del propio Caffarena como del BOE y otros, podemos intuir las siguientes fases que conformaron el proyecto y su desarrollo constructivo:

- 1- (1947): Proyecto inicial con puerto isla en forma de L y dos torres de apoyo intermedio en el mar para un teleférico de tipo convencional.
- 2- (1955): Publicación del proyecto modificado con un dique muelle sin norayes y sin el tramo en L, con una grúa sobre raíles; dos torres metálicas de apoyo intermedio en el mar del teleférico convencional; y la ubicación de la estación terminal de tierra sobre los acantilados.
- 3- (1955-1958): Construcción en Las Palmas de Gran Canaria de los cajones celulares de hormigón armado del dique muelle y su traslado por mar hasta Ifni.
- 4- (1959-1962): Construcción en Las Palmas de Gran Canaria de los dos cajones celulares de hormigón armado del apoyo intermedio de mar del teleférico y su traslado por mar hasta Ifni; ubicación definitiva de este apoyo más próxima a tierra de lo proyectado, por efecto de las fuertes corrientes durante

su fondeo y hundimiento; concurso para la contratación del teleférico; y recrecido del dique muelle y del apoyo intermedio de mar.

- 5-(1963-1964): Publicación del proyecto modificado en el que aparece el dique muelle con norayes; dos grúas móviles sobre los pórticos de un teleférico con vehículos automotores; definición de las torres de los apoyos intermedios en hormigón armado, con el de tierra en el terreno rocoso de los acantilados; ubicación de la estación terminal de tierra en una vaguada bajo la cota de la pista del aeropuerto; y construcción de las torres de hormigón armado de los apoyos del teleférico y de los pórticos de la estación terminal.
- 6- (1964-1965): Instalación en el dique muelle de dos grúas eléctricas sobre torres cilíndricas de hormigón; tendido de los cables del teleférico y colocación de los vehículos automotores.
- 7- (1965-1967): Construcción de la nave de hormigón de la estación terminal de tierra y periodo de pruebas del teleférico.
- 8- (1967): Inauguración oficial.

#### **4.6 Funcionamiento temporal**

El tiempo que permaneció a pleno rendimiento el puerto teleférico de Sidi Ifni fue de tan sólo dos años, pero este hecho no se debió a cuestiones técnicas ni a posibles defectos constructivos; estuvo ligado a causas de índole política el que su vida útil fuese tan efímera, ya que dos años después de su inauguración el gobierno español decidió entregar a Marruecos el territorio de Ifni en junio de 1969, que hasta aquellos momentos, desde enero de 1958, tenía la categoría administrativa de provincia española (BOE 1958:87).

Este nuevo contexto situó a Ifni bajo la administración de las autoridades marroquíes, de igual forma que su entorno geográfico general, provocando con ello la desaparición del aislamiento

geopolítico de la época colonial. Con la marcha de España ya no era necesario abastecer a Ifni por vía marítima al pasar a realizarse por vía terrestre, por lo que el puerto teleférico perdió la funcionalidad de carga y descarga de suministros y pasajeros que había motivado su construcción.

A partir de entonces, a pesar de los desperfectos que presentaba el cable vía del lado norte, debido al tráfico de cargas pesadas que había soportado durante las operaciones de evacuación previas a la entrega del territorio en 1969, el puerto teleférico fue utilizado durante unos años para uso de los pescadores locales que accedían desde tierra hasta el dique muelle, en donde se aprovechaban las grúas para bajar las pequeñas embarcaciones al agua por la mañana y subirlas por la tarde después de la jornada de pesca (LIFT 1974b:74-75). De esta forma, podían pescar directamente en aguas profundas sin tener que atravesar las complicadas rompientes de la playa. Este uso finalizó con la rotura de uno de los cables auxiliares en los años 80<sup>22</sup>, lo que unido al mal estado en el que se encontraba el cable vía del lado norte (Figura 35) provocó que fuese definitivamente abandonado y, con el paso del tiempo, olvidado.

Por otra parte, las autoridades marroquíes decidieron acometer desde la primera mitad de esos años 80 la construcción y posterior puesta en explotación de un nuevo puerto, con finalidad principalmente pesquera, junto al lado sur de las instalaciones portuarias españolas, aunque siguiendo el modelo clásico de diques continuos o macizos; provocando con el tiempo la aparición de los serios problemas de aterramientos que, como se ha visto, ya habían advertido los geólogos e ingenieros españoles con varias décadas de antelación.

---

22.- Información facilitada por el ifneño Mohamed Nasar Mohamed, que fue técnico-mecánico del teleférico en la época española y en la marroquí.

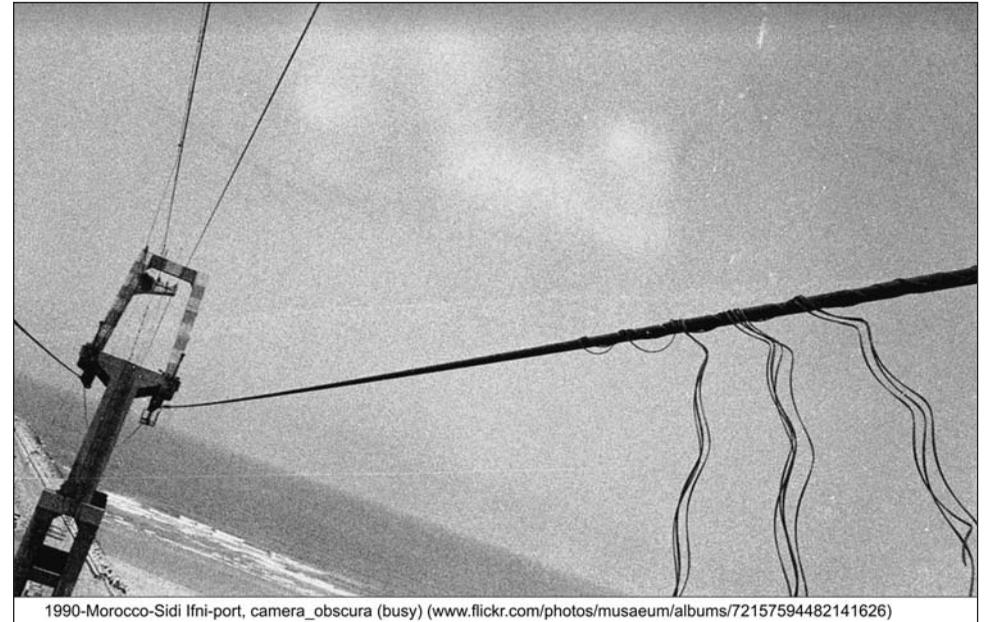


FIGURA 35. Vista del estado de los cables del teleférico en 1990, con los desperfectos del cable vía del lado norte (dcha.) y con uno de los auxiliares desprendido (izq.) (camera\_obscura (busy), en [www.flickr.com](http://www.flickr.com)).

#### **4.7 Estado actual**

El estado de conservación actual de las ruinas existentes es de total abandono y dejadez por parte de las autoridades gubernamentales marroquíes que ostentan la titularidad de la antigua infraestructura: los elementos de fábrica, prácticamente intactos en cuanto a su morfología externa, caminan hacia un deterioro irreversible.

No obstante, los elementos metálicos son los que han sufrido el mayor deterioro y desmantelamiento, promovido principalmente por las autoridades; así, sólo se conservan, en el interior de la nave de hormigón de la estación terminal de tierra, las carcasas de dos de

los tres vehículos automotores de NEYRPIC colgadas de las vías metálicas del pórtico interior, unido a los restos de una pequeña cabina de pasajeros sobre el suelo de la nave; mientras que el tercer vehículo, abandonado y con idéntico estado ruinoso pero presente hasta hace pocos años, está hoy desaparecido (Figura 36).



FIGURA 36. Detalle del estado ruinoso del tercer vehículo del teleférico en la estación terminal de tierra en 2010, que en la actualidad se encuentra desaparecido (archivo de los autores).

De igual forma, se han volatizado los cables del teleférico, tanto los principales como los auxiliares, la mayor parte de los cuales aún

permanecían tendidos a principios de la década de los años 90, así como las dos grúas eléctricas del dique muelle (FUENTES MACHO 2008:284-285).

En este sentido, podemos hacer referencia a las denuncias de las asociaciones ifneñas “*Hay Al-Fateh*” e “*Ifni, Memoria y Derechos*” en 2012, a propósito del desmantelamiento llevado a cabo por las autoridades de varios elementos del teleférico como pueden ser, entre otros, los restos del tercer vehículo citado. Dichas denuncias se realizaron a través de varias cartas dirigidas al Ministerio de Equipamiento y Transporte, al Ministerio de Cultura, a la Delegación en Sidi Ifni de la Dirección de Propiedades del Estado y al Gobernador de la Provincia de Sidi Ifni, obteniendo como respuesta la confirmación de que el Ministerio de Equipamiento y Transporte, como propietario de la antigua instalación portuaria española, había puesto en marcha el procedimiento de venta de los elementos del teleférico<sup>23</sup>.

Por otra parte, el entorno geográfico del puerto teleférico ha sufrido una gran transformación a partir de la construcción, a poca distancia por el lado sur, del puerto marroquí en los años 80. Como se ha dicho, este puerto fue levantado siguiendo el modelo clásico de diques continuos o macizos que, como hemos visto, era un sistema nada aconsejable para estas costas con constantes corrientes marinas portadoras de gran cantidad de sedimentos arenosos, por lo que con el paso de los años se fueron produciendo los problemas de aterramientos que ya habían previsto los geólogos e ingenieros españoles; provocando el aumento artificial de la playa al exterior

23.- Estas cartas se conservan en el archivo de la asociación “*Ifni, Memoria y Derechos*” de Sidi Ifni, a cuyos miembros agradecemos el habernos facilitado su consulta. A raíz de estas cartas, esta asociación sufrió trabas de todo tipo por parte de las autoridades.

del dique norte, la constante necesidad de dragados en el interior del puerto y de costosas operaciones para tratar de atenuar el problema, como la construcción entre 2016 y 2018 de un nuevo espigón macizo de 350 m de longitud, orientado al noroeste, próximo al dique muelle español (PORT DE SIDI IFNI 2016:111-112). Las obras supusieron un gasto estimado cercano a los 270 millones de dirhams (unos 27 millones de euros aproximadamente) (L'ECONOMISTE 2014; QUID 2019).

Con todo, los aterramientos no se han detenido y el calado en el interior del puerto sigue siendo escaso, apto únicamente para embarcaciones pesqueras, lo que representa un freno para un posible enlace marítimo de pasajeros. Los aterramientos en el exterior del lado norte están afectando, directa y profundamente, a las peculiaridades del dique muelle y su entorno, con la consiguiente disminución del calado que en su día tuvo, así como al apoyo intermedio de mar del teleférico, que con las bajamares queda ya a poca distancia de la playa (Figuras 37 y 38).



FIGURA 37. Vista general del puerto teleférico (izq.) junto al puerto actual, desde el noreste; y vista de la torre del apoyo de mar del teleférico y el dique muelle (dcha.), desde el este, desde la playa (archivo de los autores, 2019, y M. Derbal Laarbi, 2020).



FIGURA 38. Imágenes de satélite del puerto teleférico y el puerto actual, en las que se aprecian las arenas en suspensión que llevan las corrientes marinas, en este caso durante los oleajes del noroeste (con flechas). Google Earth 2003 (izq.) y Google Earth 2018 con el nuevo espigón (dcha.).

En este sentido, las circunstancias de Ifni son comparables a las de la población sahariana de Tarfaya, en donde Marruecos construyó por las mismas fechas un puerto también de diques continuos, lo que espoleó los consabidos problemas de aterramientos, tanto al interior como al exterior, con la necesidad de constantes dragados y la construcción de nuevos diques.

Durante varios meses, entre 2007 y 2008, funcionó un enlace marítimo con la isla canaria de Fuerteventura, que finalizó con el accidente en el puerto del ferry Assalama de la naviera “Armas”, empresa que ya había advertido que la concentración de gran cantidad de arena en el entorno de las escolleras impedía la fluidez de la navegación (MUJICA 2008). Asimismo, este puerto conllevó al exterior idéntico aumento artificial de la playa, causando la unión de ésta en bajamar con la histórica

edificación de finales del siglo XIX de origen británico conocida como Factoría Mackenzie o Casamar, que hasta ese momento siempre se mantenía rodeada de mar (Figura 39).



FIGURA 39. Vista del ferry Assalama varado frente a la costa a 4 km al suroeste de Tarfaya, desde el este (izq.), y vista de la Factoría Mackenzie o Casamar durante la marea baja, desde el sureste (dcha.) (archivo de los autores, 2017 y 2019).





## 5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

El puerto teleférico de Sidi Ifni fue una obra original e irrepetible de la ingeniería española y también mundial, que requirió de años de proyectos previos y otros tantos de construcción. En todo ese proceso, Vicente Caffarena Aceña, autor del proyecto y director de las obras, puso en juego sus conocimientos y su prestigio con la adopción de las soluciones técnicas que se necesitaban ante cada circunstancia, debiendo hacer frente a los numerosos avatares e incidentes que se fueron presentando, motivados por un complicado entorno marino sujeto con frecuencia a los vientos alisios del noreste y a las marejadas y temporales del noroeste.

En los proyectos previos contó con la colaboración de los estudios y experiencia de los prestigiosos ingenieros Ramón Iribarren y Casto Nogales, principalmente en la elección del lugar idóneo para la instalación del puerto teleférico. Sin duda, Caffarena, en los descartes y elecciones, tuvo en cuenta los consejos y experiencia acumulada por Iribarren y Casto Nogales que, con el tiempo, la plasmarían en un libro de referencia: *Obras marítimas. Oleajes y diques* (1954). En concreto, Iribarren en otro texto sobre *Obras de abrigo en los puertos* (1941) consolida la ingeniería portuaria moderna española; aquí expone el renombrado *Método de los Planos de Oleaje* que culminará con la igualmente conocida *Teoría Ondulatoriocentrífuga*, explicitada en la *Revista de Obras Públicas* en siete artículos de 1941 a 1944. A la par, durante mayo y junio de 1947, en la misma revista, presenta su estudio sobre *Corrientes y transportes de arenas originados por el oleaje*.

Claramente, estamos hablando de que la elección y los descartes realizados por Caffarena se apartan del método intuitivo para asumir el método científico, amparado por el cálculo, en el que las curvas

batimétricas, la propagación del oleaje o la orientación costera son esenciales, unido a las prácticas de laboratorio.

El proceso constructivo, con el empleo de cajones de hormigón flotantes y su fondeo y hundimiento en un mar constantemente agitado, no estuvo, como es fácil deducir, exento de inconvenientes y dificultades, que Caffarena tuvo que solventar con decisión y rapidez.

En definitiva, debido a las características de la costa ifneña, el proyecto trató de minimizar los trabajos por debajo del nivel del mar, buscando soluciones para una ejecución rápida de los sí necesarios. El hecho de plantar cajones flotantes o diques verticales próximos a la “Ifni barra”, sin un fondo preparado y con la incertidumbre de un hundimiento descontrolado, resulta una ejercicio de dominio de la profesión y de confianza en las soluciones aportadas.

La necesidad de aislarse de los entresijos de la “Ifni barra” imposibilitó la utilización de diques en talud, por tanto el dique vertical reflejante se presentó como la única opción: esa elección estuvo condicionada a su implantación fuera del oleaje en rotura, donde los diques verticales sí son reflejantes.

También, teniendo en cuenta las circunstancias anteriormente esgrimidas, los trabajos de cimentación tuvieron que ser rápidos y todo lo precisos que la mar permitió; para ello, en lugar de utilizar una banqueta protegida, enrasada, en la que poder alinear un bloque guarda protector, se fió todo a la capacidad portante del lecho rocoso, sin posibilidad de producirse asientos diferenciales, y a un diseño esperanzador.

Sacrificando la navegabilidad de los cajones, circunstancia que no se observa, por ejemplo, en los *Phoenixes (Mulberries)* empleados por los aliados en la IIª Guerra Mundial, que tienen un diseño en su parte inferior en forma de barcaza, Caffarena esbozó una cámara de cimentación, perfilada en hormigón pobre en cemento, que durante el proceso de fondeo y acomodo, mediante el aumento de lastre líquido, se solidarizó con el nivel rocoso del fondo, evitando el “aquaplaning”, permitiendo, a su vez, un inyectado de hormigón posterior, que definitivamente fortificó la cimentación.

A la par, la definición del grosor de las paredes exteriores de los cajones tuvieron que ajustarse a la referida navegabilidad y, en un primer momento, a la resistencia de las reflexiones de las olas después del fondeo, antes de rellenar de hormigón las celdas exteriores (CAFFARENA 1963a:65; 1963b:652).

En cuanto a la utilización del teleférico como enlace entre el dique muelle y la tierra firme, con el empleo en aquella época de novedosos vehículos automotores con grandes capacidades de carga y descarga de mercancías y pasajeros, diseñados y fabricados por la empresa francesa NEYRPIC, significó la puesta en práctica de la fructífera colaboración y compenetración entre ingenieros y empresas de España y Francia (CAFFARENA 1966b:19), dando como resultado una obra original y único caso en el mundo con estas características (VV.AA. 2000:227).

El puerto teleférico ifneño representó un hito a nivel internacional, llegando a acordar la UNESCO en aquella época que era una solución apropiada para entornos costeros poco aptos para la construcción de instalaciones portuarias, como era el caso de las costas africanas (CAFFARENA 1967:351).

Sin embargo, la importancia que esta obra de ingeniería tuvo en su día, y que aún hoy representa, no se ve reflejada en su actual estado de

conservación, en el que predomina el total abandono; presentándose, si las autoridades marroquíes no lo remedian, un futuro descorazonador.

En el caso de que las citadas autoridades tuviesen interés en la adecuación de este ingenio, se podrían plantear diversos proyectos de puesta en valor: las propuestas irían desde la restauración de los dos vehículos automotores que aún se conservan, junto a la conversión de la nave de hormigón de la antigua estación terminal de tierra en un aula didáctica o espacio museístico, en donde se mostrase al visitante la historia y significado del puerto teleférico, hasta la puesta en servicio de un nuevo teleférico de pasajeros con fines turísticos, lo que, a nuestro entender, ayudaría al desarrollo económico de Sidi Ifni y su territorio.

Al menos, consideramos esencial su conservación como símbolo del pasado reciente de Ifni, evitando así una posible destrucción de sus instalaciones, como ya ha sucedido con otras construcciones señeras de la época española en el propio Ifni y en el vecino territorio del Sáhara Occidental, pudiendo citar, entre otros, los ejemplos de 2004 del antiguo Fuerte Factoría y de 2018 del Instituto de Enseñanza Media, ambos de Dajla-Villa Cisneros.

No obstante, pese al escaso o nulo interés de las autoridades, el puerto teleférico representa en la actualidad un emblema para los habitantes de Ifni, únicos y auténticos protectores de sus restos, ya que lo consideran parte esencial de su patrimonio histórico, y que al igual que el resto de la huella constructiva de la época española, les individualiza frente al territorio que les rodea; a diferencia del olvido y la desidia con que los españoles miran hacia su pasado colonial en África.





# ADENDA 1

## CONSIDERACIONES SOBRE EL HORMIGÓN EN LA ESPAÑA DE LOS AÑOS CINCUENTA DEL SIGLO XX

En 1955, si bien se encontraban sentadas las bases del empleo o uso científico del hormigón (Orden de 3 de febrero de 1939 aprobando la Instrucción de Proyectos y Obras de Hormigón<sup>24</sup>) todavía estaba en aras de una regulación a base de instrucciones específicas (HA-61:1961; HA-68:1968 o EH-73:973).

Como señala Alfonso Peña Boeuf en la presentación de la Instrucción de 1939, en España, a pesar de ser uno de los países en que se han conseguido grandes éxitos en las obras públicas y privadas con el empleo del hormigón en masa y armado, los Poderes

públicos apenas se hicieron eco de los distintos requerimientos formulados en distintas ocasiones (en MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS 1939:1), circunstancia que “*explica que hasta ahora no existiera documentación oficial que instruyera este interesante procedimiento constructivo*” (en MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS 1939:1).

No obstante, la experiencia acumulada, fundamentalmente por la existencia de patentes<sup>25</sup>, unida a los estudios reglados sobre hormigón armado desde 1910, propiciaron un conocimiento físico<sup>26</sup> paulatino de

---

24.- Como bien recoge Antonio Burgos Núñez en su tesis de 2009, los primeros intentos por reglamentar el uso del hormigón armado y las calidades de los cementos están en consonancia con las necesidades de los ingenieros militares; así, “*en los pliegos de condiciones facultativas aprobados por Real Orden de 3 de diciembre de 1910 se incluían por primera vez prescripciones relativas a la recepción de cementos en las obras militares*” (BURGOS 2009:608). Dos años más tarde, el Laboratorio del Material de Ingenieros publicó las *Instrucciones reglamentarias para el empleo del cemento armado* de clara inspiración prusiana y francesa (BURGOS 2009:608). En concreto, la *Circular Ministerial francesa de 20 de octubre de 1906 sobre el empleo del hormigón de cemento armado* ya venía siendo usada como referencia o normativa encubierta por algunos ingenieros y arquitectos (BURGOS 2009:608). El empleo desigual del hormigón, unido a algún suceso desdichado, hacía necesaria una regulación, de tal manera que las Autoridades, mediante Real Decreto y Real Orden (02/06/1917) a propuesta del Ministerio de Fomento, allegaron una Comisión encargada de “*la redacción de las bases de instrucción para los proyectos de obras de hormigón armado aplicables a toda clase de obras públicas*” (ROP 1917:277); no obstante la primera norma oficial será la referida de 1939.

---

25.- En este momento las patentes son de raigambre empírica, tienen la categoría de “*invento*”, y a partir de la prerrogativa de la exclusividad buscan, fundamentalmente, el rendimiento económico.

26.- En España, en los momentos previos a 1939, el uso y manejo del hormigón se venía regulando mediante “*pliegos de condiciones*” asociados a proyectos de obra concretos (aunque sin ser perfecto, resulta interesante hojear, por su sencillez, el asociado a la estructura del Hospital Clínico de la Ciudad Universitaria de Madrid, referido por Torroja (TORROJA 1932:293-295), en el que se emplearon más de 25.000 m<sup>3</sup> de hormigón).

El desconcierto en la época previa a la Instrucción de 1939 era generalizado; Torroja lo resume de la siguiente manera: “*Basta leer unos pocos pliegos de distintas manos para apreciar cuántas lagunas y heterodoxias hay en el campo*” (TORROJA 1932:295). La unificación de criterios y el anhelo de una nomenclatura común hacían necesaria esa Instrucción del 39; Torroja esbozaba esas necesidades apuntando que “*es necesario también que empecemos por ponernos de acuerdo en la nomenclatura, porque corremos el peligro de no entendernos al hablar de consistencia, plasticidad, fluidez, manejabilidad, trabazón, etcétera, etc*” (TORROJA 1932:295); sin dejar de lado los problemas asociados al transporte y manejo, como son la disgregación y la formación de coqueas.

los materiales y de la naturaleza íntima de su yuxtaposición (PEÑA 1966:89).

Juan Miguel Zafra y Esteban es el docente que en el curso de 1910-11 se hace cargo, en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid, de la asignatura de *Puertos y Hormigón Armado*; materia de quinto curso, con una carga teórica de cinco horas semanales, la mayor de toda la carrera (FRAILE MORA 2003:9).

Sin embargo, será en la década de los años veinte cuando definitivamente se impartirá, de la mano del citado Alfonso Peña, una asignatura en cuarto curso con preferencia sobre el hormigón armado: *Elasticidad y Hormigón Armado* (FRAILE MORA 2003:10).

Zafra introduce destreza pero también criterio y cálculo, ingeniería y ciencia, se aleja de las recetas de las patentes y se muestra como el azote de las fórmulas Hennebique<sup>27</sup>, sentando las bases del discurso científico para el manejo de esta materia: *“Que las construcciones no caigan, necesario es, pero no suficiente. Precisa que haya un margen de seguridad, lo bastante amplio para prevenir largamente las contingencias posibles, las imperfecciones del cálculo, las de ejecución. Ese coeficiente de seguridad debe acomodarse á las circunstancias que en cada obra concurran, pero en cada una ser homogéneo, uno mismo para todos los elementos”* (ZAFRA 1912:213); para ello, establece en la introducción de su programa universitario los siguientes preceptos: *“usar de los principios generales de Mecánica*

---

27.- En 1912 escribía al respecto sobre las fórmulas Hennebique: *“Algo tiene el agua cuando la bendicen. Por algo en Francia, de donde ha irradiado al mundo entero su admirable propaganda comercial M. Hannebique, dichas fórmulas no pasan”* (ZAFRA 1912:213).

*y de los resultados experimentales, como bases, y del análisis, como medio de concordar y sacar partido de ellas, manteniendo entre esos tres elementos una justa ponderación para llegar á la finalidad del Ingeniero: estudiar, proyectar y construir obras de hormigón armado en las mismas condiciones de facilidad y seguridad que las de otro material cualquiera”* (ZAFRA 1911:8).

A partir de este momento, la reflexión teórica, acompañada del peso de las prácticas de laboratorio<sup>28</sup>, evolucionaron el conocimiento del hormigón en masa y armado en España, acorde y en sintonía con la cognición aventajada internacional.

En la década de los veinte del siglo pasado la Escuela de Caminos de Madrid graduó una pléyade de ingenieros que son conocidos, también, como la Generación del 27<sup>29</sup>, en este caso de la técnica; su

---

28.- El conocimiento científico, a partir de ensayos sobre comportamientos de los materiales, propicia cambios conceptuales y anima, más o menos sobre 1916, a establecer, mediante muestreos estadísticos de base matemática, un Control de Calidad sobre los materiales de construcción (NISTAL *et alii* 2012:10); no obstante, mediante Real Decreto, ya se había dotado un laboratorio para la Escuela, comenzando a funcionar en abril de 1899, al que hay que asociar toda la historia del hormigón armado en España (TORROJA 1953:20).

29.- Parece ser, según refiere Fernando Sáez Ridruejo (SÁEZ RIDRUEJO 2004:142), con una cita fechada equivocadamente, que el primero que asentó este término fue José Ortega Spottorno en una necrológica publicada como nota de Sociedad en El País (14/03/1987), en recuerdo de Francisco Bustelo: *“Francisco Bustelo... fue uno de los mejores ejemplos de que la generación del 27 no se situó sólo en la órbita de la poesía”*. *“¡Qué gran hornada la de aquellas promociones sucesivas de la Escuela de Caminos, en la década de los veinte, de las que salieron ingenieros como Reparaz, Botín, Grasset, Balbás, Entrecanales, Rodríguez Bachiller, Urgoiti (Ricardo) y Bustelo!. Junto a la excepcional generación poética del 27..., muy bien puede hablarse de una generación del 27 de estos notables ingenieros”* (ORTEGA SPOTTORNO 1987).

formación en estudios elásticos del hormigón, su conocimiento sobre las adherencias y anclajes de las armaduras, su dominio y asimilación de las complicadas cargas tangenciales, así como de los fenómenos de torsión y pandeo (PEÑA 1966:92), les coloca en la élite de la ingeniería mundial<sup>30</sup>.

Es el momento de Sánchez del Río, Entrecanales, Torroja o Fernández Casado, por ejemplo.

Terminada la Guerra Civil, Peña y Torroja asumieron cargos políticos, uno como Ministro de Obras Públicas y el otro como Delegado de Cemento; buscando o justificando su opción como una manera de instituir en España racionalidad y eficiencia en el ámbito de las obras públicas (PEÑA 1954:229).

Esta etapa de la historia del hormigón armado en España (1936-1960) es el momento en el que Caffarena crece profesionalmente, empapándose con los proyectos de la Generación del 27, y ejecuta parte de su obra.

Este es un periodo “excitante”, permítasenos el término, para los ingenieros y arquitectos; la “Reconstrucción Nacional” les ofrece infinidad de expectativas y la posibilidad de acumular experiencia en el empleo y manejo de los hormigones en masa y armados. Ahí están el Plan de Obras Públicas, con proyectos en carreteras, embalses y

---

30.- También es notorio que España vive en esa época, de la mano del Ministro de Fomento, Rafael Benjumea Burín, conde de Guadalhorce, un boom constructivo sin parangón en el campo de las infraestructuras; circunstancia que suma a la calidad innata de la Generación.

puertos o el Plan de Reconstrucción Nacional<sup>31</sup> en el que el hormigón jugó un papel significativo.

No obstante, al igual que en otros periodos de crisis o de reconstrucción, este es un lapso en el que los materiales, especialmente el cemento y el acero, están sometidos a un sistema de precios y suministros intervenidos, controlados; circunstancia que posibilita e impulsa un significativo mercado negro y, por lo tanto, son años en los que resultó inútil cualquier pretensión de controlar la calidad de las obras, pues ya era un problema en sí el conseguir los materiales para ejecutarlas (NISTAL *et alii* 2012:10).

---

31.- Un discurso o mensaje leído por Franco en la Nochevieja del 39, además de plasmar distintas consideraciones sobre el trabajo y los trabajadores, nos da idea del volumen de obras públicas previstas o necesarias y, por ende, de las posibilidades de trabajo que estas generaciones de ingenieros de postguerra tuvieron: “*La cuestión de la vivienda constituye otra de las grandes lacras nacionales y está inmensamente ligada a la sanitaria. Más del 30 por 100 de las viviendas españolas son insalubres, según la estadística formulada por nuestra Fiscalía de la Vivienda, su substitución por otras en excelentes condiciones no presenta dificultades, por cuanto su construcción significa la creación de una riqueza movilizable que compensa con creces los pequeños sacrificios estatales. (...) y el Instituto de la Vivienda multiplica sus actividades para realizar su programa de ejecutar en diez años más de 200.000 casas allí donde las necesidades son mayores. (...) Las obras públicas, creando riqueza o revalorizando la existente, son para una nación un excelente regulador que a la par impulsa y estimula su prosperidad. (...) Las obras públicas, completando la iniciativa particular, vienen a resolver este problema, y a la vez que multiplican la riqueza, crean con ella, nuevas canteras de trabajo, aumenta la capacidad de consumo de los españoles a quienes afecta, con la consiguiente demanda de productos, que es también mayor trabajo para los que producen. (...) Una masa trabajadora crea siempre riqueza; es un capital rindiendo; un obrero parado es un capital inactivo que vive a costa de la producción que otros realizan. Ha de ser, pues, objetivo a perseguir por nuestro Estado el evitar la acción ruinosa de las masas de parados*”.

La carencia de estándares o especificaciones claramente establecidos o, si se quiere, la ausencia de un “control de calidad”, se intentaron paliar, al final de este periodo, mediante una fórmula conocida como Punto Azul<sup>32</sup> (CAMPRUBRÍ 2009:104-105).

Pues bien, al término de este ciclo, y con el panorama descrito, Caffarena se embarca en la construcción de un embarcadero en las inmediaciones de una barra (Ifni barra), definido por cajones de hormigón que hay que construir en Canarias y transportar<sup>33</sup>, remolcándolos, hasta Ifni.

---

32.- Aunque fracasó a los pocos años, Punto Azul es un “Certificado de Calidad” para elementos constructivos fabricados en serie.

33.- Si bien son conocidos con fechas anteriores transportes mediante remolque, la aventura de halar con cajones flotantes durante 290 millas náuticas (unos 537 km) por el Atlántico merece ser encomiada; ni tan siquiera el transporte de los “cajones Phoenix”, asociados a los Mulberries que se fondearon cerca de las playas normandas, resultó tan complejo ya que su diseño, en forma de barcaza de hormigón, los hacía más navegables.

Años después de este hito, el alargamiento del Muelle de Poniente de Palma precisó siete cajones que se construyeron en Cartagena y se remolcaron hasta Mallorca; también, a comienzos de este siglo, la ampliación del puerto deportivo de La Condamine, en Mónaco, utilizó un cajón de 354 m, levantado en Algeciras y remolcado hasta el Principado Monegasco durante 12 días a razón de tres nudos por hora.





## ADENDA 2

# CONSIDERACIONES HISTÓRICAS SOBRE EL EMPLEO DE CAJONES FLOTANTES DE HORMIGÓN ARMADO Y SU REPERCUSIÓN EN LA OBRA DE CAFFARENA

Es comúnmente manejado que los anhelos propios del siglo XIX son determinantes para la irrupción del hormigón armado en el ámbito constructivo; “de hecho, se inventará numerosas veces y en distintos lugares, sin que se perciba siempre la originalidad de su eficacia mecánica” (SIMONNET<sup>34</sup> 2009:43).

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<sup>35</sup>); sin embargo, atendiendo a la sustancia de nuestra discusión, 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 mobiliaje para jardines; en cambio, pasó a la

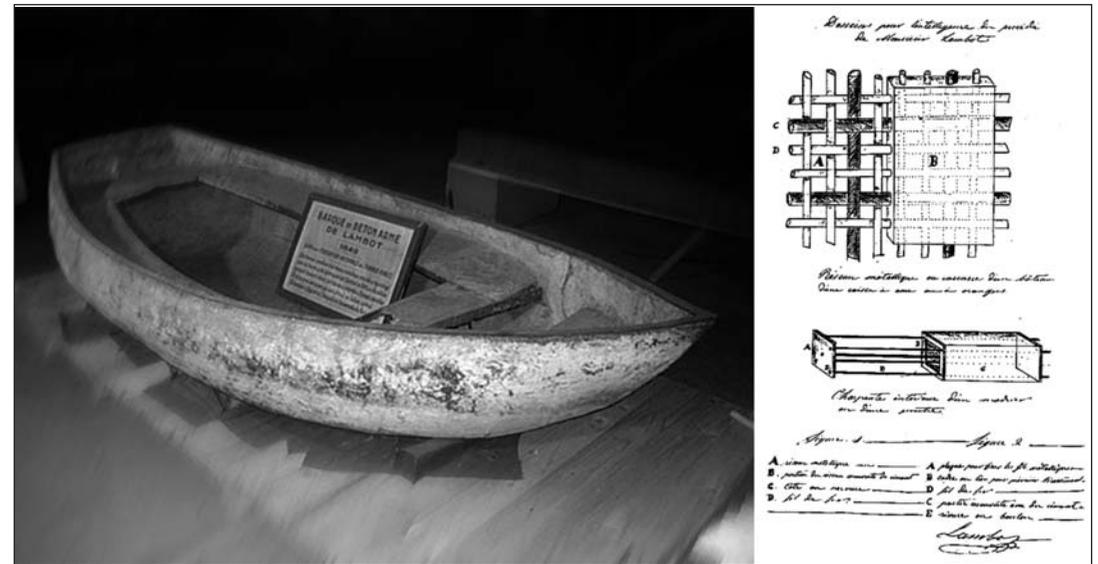


FIGURA 40. Prototipo original de la barca de Lambot exhibido en el Museo de Brignoles. El experimento se testó en un lago próximo al Chateau Miraval, donde terminó por hundirse, conservándose entre lodo anaeróbico hasta su reflotación cien años después. A la derecha se puede observar un detalle de los planos que acompañaron la solicitud de patente en 1855 (argumentos y fotogramas extraídos de la página Maison Lambot <https://www.maisonlambot.com/fr/joseph-louis-lambot-3/>).

historia por la ocurrencia de construir, con el mismo procedimiento, un bote de unos 4 metros de largo, 1,30 metros de ancho y un espesor medio de cuatro centímetros (Figura 40).

El bote, previa solicitud de patente (enero de 1855), se dio a conocer en la Exposición Universal de Paris de 1855, donde causó desconcierto y

34.- Publicado originariamente por la editorial Parenthèses, en 2005, con el título: *Le béton. Histoire d'un matériau.*

35.- Cita tomada de Simonnet, que a su vez lo cita como procedente de P. Collins, pág. 40.

sorpresa; empero sus ideas, en principio sin consecuencias, arraigaron en otros inventores y experimentadores posteriores<sup>36</sup>.

Indudablemente, Caffarena conocía de sobra la teoría constructiva que iba a emplear, aunque, para su contraste y seguimiento, no existían muchos ejemplos operando en España en ambientes marinos.

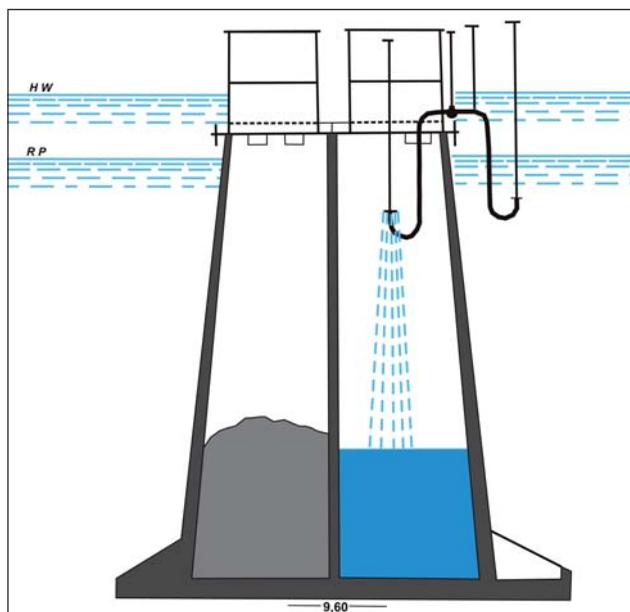


FIGURA 41. Dibujo con el proceso de rellenado de un cajón de hormigón del Puerto de Róterdam, regulando a la vez hormigón y agua para que la presión sobre el tabique intermedio no fuese demasiado fuerte (sobre la fig.34, en MONTENEGRO 1911:51).

36.- Si bien Lambot o Monier pasan como precursores en esta carrera, con la barca y el mobiliario para jardín, 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).

Nos imaginamos que tuvo en cuenta los cajones<sup>37</sup> que ejecutó Montenegro para entrar en servicio en el Muelle de Levante del Puerto de Huelva; si bien los problemas de diseño y fondeo pudieran ser parecidos, la capacidad portante del substrato no lo era. 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 41y 42).



FIGURA 42. 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).

37.- No son los primeros cajones que se construyen en España, pero, tal vez, son los primeros ejecutados en un dique flotante; técnica que, aunque depurada, sigue empleándose (GARCÍA NAVARRO 2009:53).

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, al socaire de conclusiones como las plasmadas en las actas del XI Congreso Internacional de Navegación (San Petersburgo 1908), que apostillaban lo siguiente: *“Si, por una parte, se puede considerar el empleo del hormigón armado como racional y conveniente en los trabajos marítimos que no están expuestos a la acción directa del agua de mar, no puede admitirse que sea así para las partes de tales trabajos que tienen una importancia esencial en cuanto a la conservación y resistencia de la obra y que se hallan expuestas a la acción directa del agua de mar, siendo un hecho que esta ejerce una acción perjudicial sobre el cemento. Este es el motivo por el cual el empleo de hormigón armado en la construcción debe únicamente ser considerado como un medio de ejecución de esas obras, y por el cual debe despreciarse completamente la consideración del hormigón armado cuando se proyectan los detalles de construcción y se establecen los cálculos para darse cuenta de la resistencia y duración de tales obras de hormigón armado”* (extraído en SUÁREZ GALVÁN 1927:169).

El proyecto de Montenegro, iniciado en 1902, por distintas razones, la mayor parte de ellas coyunturales, 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, como bien extracta Pedro García Navarro, 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. Más aún, la Dirección General de Obras Públicas, uno de los entes principales en la controversia suscitada, evacua consulta con la Comisión constituida para el estudio de morteros y hormigones en obras marítimas<sup>38</sup>, emitiendo ésta un informe vinculante, un tanto desbaratado, en el que se disponía que los cajones de hormigón armado se ejecutaran con cemento Pórtland, aumentando sus proporciones en la dosificación, a la par que se protegieran exteriormente los citados cajones con un revestimiento de cemento puzolánico<sup>39</sup>, en un grueso de 6 a 7 cm (GARCÍA NAVARRO 2009:58-59).

Esta solución extraña, taimada y, tal vez, un tanto salomónica, resultó inaplicable, forzando a Francisco Montenegro a un nuevo rogatorio; en él proponía la sustitución del envoltorio puzolánico por una mayor dosificación de cemento Pórtland en la masa de hormigón -450 kilogramos de cemento por metro cúbico de hormigón-, en aras de aumentar la impermeabilidad y durabilidad de la construcción en un ambiente marino.

La Resolución final consideró que los cajones se ejecutasen con cemento Pórtland, sin el amparo puzolánico, y con una dosificación,

---

38.- La Comisión estaba compuesta por nombres de reconocido prestigio en el estudio y empleo de hormigones; así, el órgano constituido lo conformaban: Eugenio Ribera -Presidente-, Manuel Becerra, Eugenio Suárez, Eduardo de Castro y Alfonso Peña -Secretario-.

39.- Aunque esta decisión parezca estrambótica, entendemos que no lo es; intentaban solucionar los problemas de infiltración, tan dañinos para la entereza del armazón. En ese momento se experimentaban soluciones como la que apunta George Nicholson para el Puerto de Los Ángeles, consistentes en utilizar un hormigón rico en cemento e inyectado, bajo presión y a baja temperatura, de asfalto; propiciando un escudo bituminoso de unos cuatro centímetros en el interior del hormigón (SUÁREZ GALVÁN 1927:169).

por miedo a las fisuraciones, de 400 kilogramos por metro cúbico (GARCÍA NAVARRO 2009:59).

Presumiblemente, en los entresijos de estas vacilaciones y decisiones está, todavía, el miedo al fracaso en la figura del colapso; en el fuero interno de todos los intervinientes seguro que bulle el 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 Los Ángeles, publicados en la revista *Dock and Harbour Authority*<sup>40</sup>, haciendo un memorando sobre los deterioros del hormigón armado en contacto con el agua de mar.

El debate, la discusión y la herencia dejada están claros; todavía están latentes los acuerdos sobre el uso del hormigón armado en ambientes marinos, explicitados en el XI Congreso de navegación de 1908 que, el propio Eugenio Suárez Galván en 1927, califica de “*sabiamente tomados*” (SUÁREZ GALVÁN 1927:169); las experiencias contrastadas en Norte América apuntan a que la armadura del hormigón es atacada por el agua de mar; en el mismo orden de hechos, el cemento con añadidos puzolánicos, necesario para “*exterminar toda la cal libre*”, disminuye la resistencia a la flexión del hormigón armado (SUÁREZ GALVÁN 1927:169) y, además, ayuda en la infiltración con el consiguiente aherrumbrado de la armadura.

Como dato significativo, Montenegro, tal vez tomando cierta distancia con los problemas suscitados, asienta con arena los cajones, rellenando

40.- Esta información llega de la mano de Eugenio Suárez Galván, ingeniero director del Puerto de Cádiz, que la difunde en el nº 2475 de la *Revista de Obras Públicas*.

las celdas con el árido y sellando el cofre con una solera de hormigón (Figura 43).

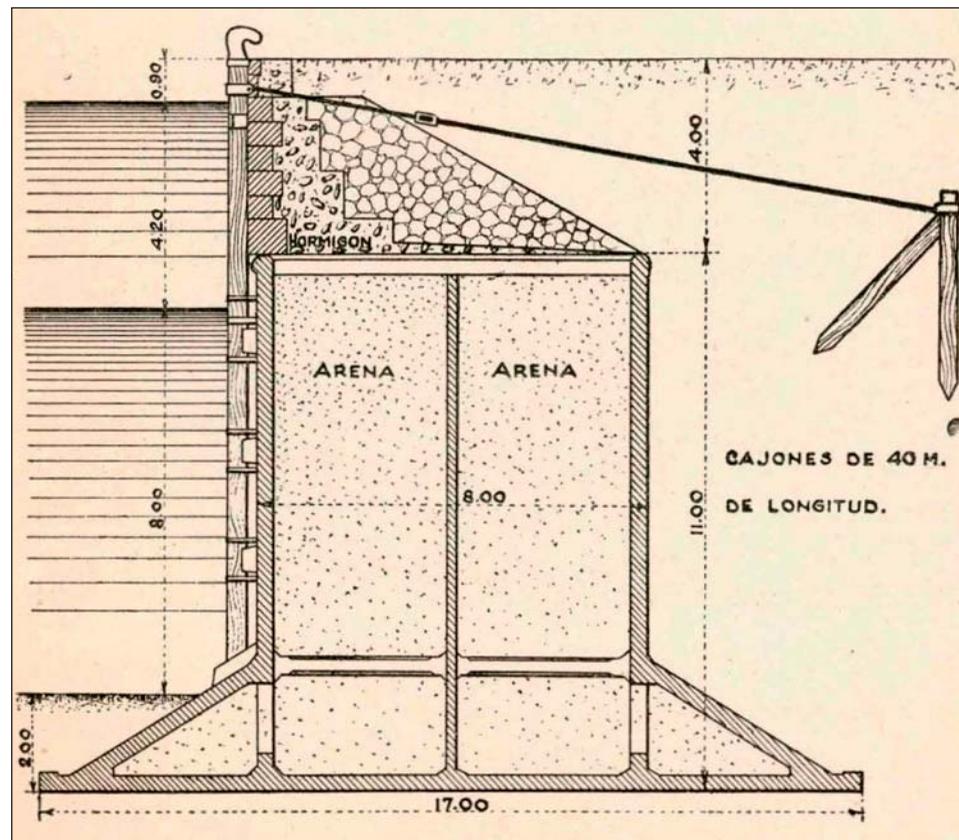


FIGURA 43. Sección de un cajón de hormigón del Puerto de Huelva con el relleno de arena y el sellado con solera de hormigón (RIBERA 1930:242).

Es en este punto en el que tenemos que contextualizar las soluciones quiméricas de la Comisión, constituida para el estudio de morteros y hormigones en obras marítimas, que anteriormente mentábamos; dando valor, también, al empeño y tesón de Francisco Montenegro

por llevar a cabo el Proyecto, en un momento en el que el hormigón armado estaba casi proscrito en las obras marítimas.

La experiencia práctica<sup>41</sup> española en el uso de cajones con fondo<sup>42</sup> 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<sup>43</sup> utilizando cajones, en este caso de hierro<sup>44</sup>.

A partir de 1895, en el rompeolas o Dique Oeste del Puerto de Bilbao, se emplearon cajones de hierro (13 x 7 x 7 m), 192 rectangulares,

---

41.- Citamos expresamente “experiencia práctica”, ya que para la discusión teórica, como veremos, Pérez de la Sala ya disponía de un discurso muy enriquecido.

42.- Se especifica de esta manera para diferenciarlos de los “cajones indios” que no llevan fondo y se caracterizan por disponer de unas cuchillas importantes, necesarias para la hinca y facilitar la penetración.

43.- Ribera, en 1902, claramente se apartaba de la utilización de cajones de hierro y se decantaba por los trabajados en hormigón, especialmente para las fundaciones (puentes) por aire comprimido, y anunciaba un futuro prometedor para los cajones flotables, también, de hormigón (RIBERA 1902:70-71).

44.- Parece ser, según refiere la *Revista de Obras Públicas*, en su número 1124 de 1897, en una nota firmada por J.N., haciéndose eco de una publicación aparecida en el vol. CXXV del *Minutes of the Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, que, con antelación a este dispositivo, se emplearon cajones metálicos, en forma de tronco de cono -12,81 m. de diámetro en la base, 12,64 m. en la coronación y 16,17 m. de altura- en la reparación del puerto de Madrás (N 1897:357).

También relata Pérez de la Sala que Jonhson propuso, en 1843, a la Comisión Inglesa sobre Naufragios un sistema con un parecido razonable: “*El dique se componía de una serie de pilares aislados, formados por cajones cuyo fondo era de madera, y de chapas de fundición, cosidas entre sí (y lo mismo pudieran ser de chapa de hierro). Se conducían flotando al sitio que debían ocupar, y se llenaban con hormigón. A fin de que no se moviesen, y de terminar fácilmente la operación, se ajustaban al macizo lateralmente tubos, por los cuales se pasaban pilotes que servían de guías, á medida que el cajón bajaba con la carga*” (PÉREZ DE LA SALA 1876:516).

más uno circular para el morro, reforzados interiormente, en toda su altura, con una celosía longitudinal y dos transversales (seis compartimentos), como argumento para la superestructura. Si bien las obras del puerto ya habían comenzado a finales de 1888, una serie encadenada de averías hicieron necesario reformas substanciales en el Proyecto inicial, siendo aprobadas por Real Orden en junio de 1895.

A pesar del empleo cabal de los materiales y técnicas constructivas al uso, se observó, conforme se construía la superestructura, que “*los golpes de mar que en los temporales chocaban en el paramento y se elevaban á enorme altura, removían, en su descenso, los bloques de la banquetta o berma exterior, lo que fué causa de averías en dos inviernos consecutivos, que nos obligaron á estudiar y proponer, para la superestructura, otro sistema de construcción que, aunque fuera más costoso, estuviera, en lo posible, al abrigo de aquellas contingencias y de los grandes gastos de conservación consiguientes*” (CHURRUCA 1899:481).

Para minimizar este problema, Evaristo de Churruca, calculando la bajamar equinoccial como referencia de cota para los trabajos, diseña unos cajones de hierro flotantes de siete metros de altura que, una vez botados, se lastraban en sus primeros 1,5 m con una tongada de hormigón, equivalente a 136,50 metros cúbicos, amasada con cemento Pórtland de Boulogne en una proporción de 250 kilogramos de aglutinante por metro cúbico de concreto (CHURRUCA 1899:482).

El cajón, con ese lastre y un calado de 3,4 m, era remolcado a su posición durante el último tercio de la marea descendente, con el objeto de ganar tiempo para las subsiguientes operaciones de asiento y relleno. Una vez aparejado, incluso utilizando la potencia de un remolcador, se fondeaba, llenándolo de agua por medio de la abertura de una pequeña compuerta, ayudando, también, el caudal de una

bomba centrífuga, acoplada al extremo de la grúa Titán<sup>45</sup> que presidía todas las operaciones; siendo el objetivo final asentar el cajón sobre la base de la escollera, que previamente se enrasaba utilizando para ello una campana de buzo o campana neumática (CHURRUCA 1899:482). (Figura 44).

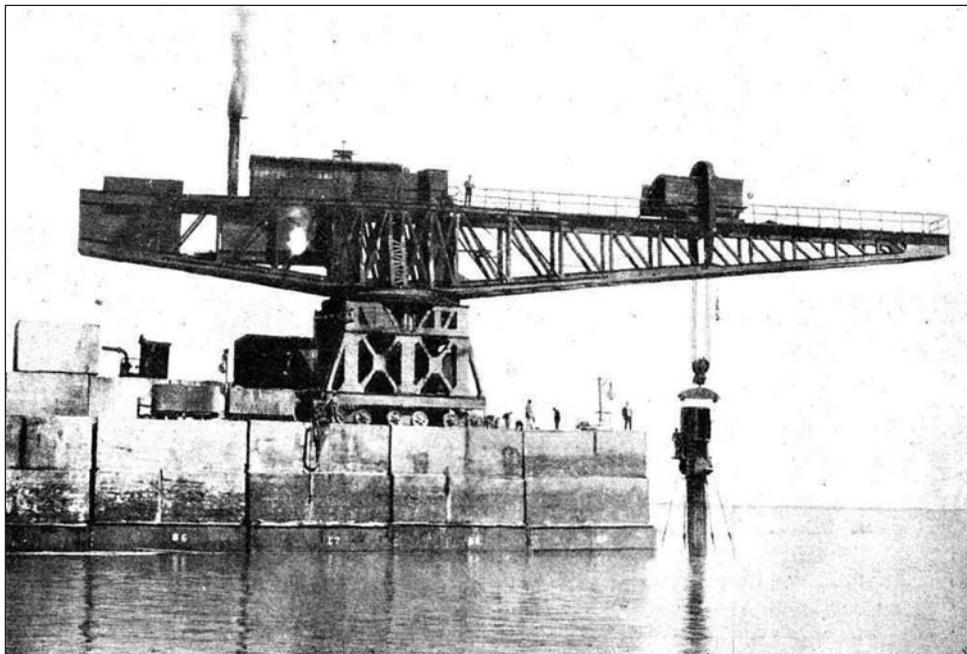


FIGURA 44. Construcción de rompeolas, con los cajones ya recrecidos y sometidos a las 270 toneladas de peso de la grúa Titán (Foto tomada del Mundo Naval Ilustrado n° 4, 20 de febrero de 1900, pág. 51).

45.- La grúa Titán, capaz de manejar bloques de 60 toneladas a una distancia de entre 15 y 30 m del eje de rotación, funcionaba eléctricamente, mediante un suministro obtenido por una máquina de vapor de alta y baja presión (sistema William) de 75 caballos, que accionaba una dinamo generador (VV.AA. 1900:54).

Una vez hundido, se descolgaban e introducían en él 12 bloques de hormigón, manufacturados con cemento Pórtland, de 30 metros cúbicos cada uno (4 x 3 x 2,5 m), asentados en dos hiladas. Por tanto, si sumamos 1,5 m de la tongada inicial más los 5 m de potencia de los bloques de hormigón, tenemos 6,5 m, faltando 0,5 m para completar los 7 m de la altura del cajón metálico; esta diferencia, junto a los huecos entre los bloques, se colmaba de hormigón, elaborado con cemento de Zumaya, solidarizando todo el relleno con la estructura metálica del contenedor. Así se conseguía un bloque monolítico, en posición de equilibrio, de 13 x 7 x 7 m / 637 metros cúbicos (CHURRUCA 1899:482), base del entramado subsiguiente (Figura 45).

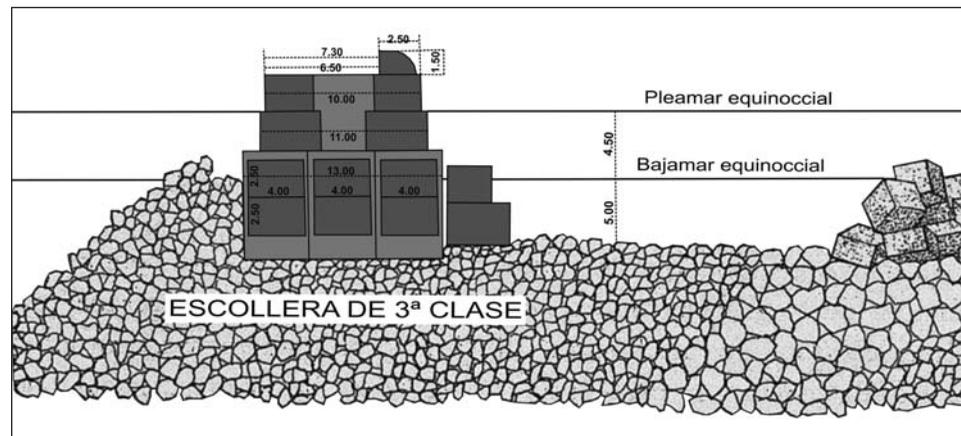


FIGURA 45. Dibujo del rompeolas o Dique Oeste del Puerto de Bilbao, con los cajones de hierro rellenos con bloques de hormigón (sobre dibujo de RIBERA 1930:235).

Parecer ser, según refiere E. Ribera cuando se hace eco de los procedimientos de cimentación, que el ingeniero Fausto Elio, en unas reparaciones del Dique Norte del Puerto de Valencia, perfeccionó el procedimiento, suprimiendo la pérdida de la parte metálica (RIBERA 1930:236).



Para terminar con este repertorio de elementos en los que Caffarena tuvo que reparar, por estar publicados en el momento en que él proyectó los cajones de Ifni, podríamos incluir algún ejemplo repetido, como el de la Avenida Marítima de Santa Cruz de Tenerife, e, incluso, algún dique de carena, de entre los construidos en la primera mitad del siglo XX; no obstante, por significativos, analizaremos los cajones delineados para el rompeolas -Dique Norte- del Puerto de El Musel (Gijón).

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, resultando imposible un proceso normal de fondeo y relleno.

Las averías constantes y una Real Orden<sup>48</sup> pusieron al frente de la dirección al 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 24 celdas a partir de cinco tabiques longitudinales y tres transversales, además, los lastró con una tongada de hormigón de 0,64 m, a la vez que sumó una tapa superior a la que, haciendo coincidir con las intersecciones de los tabiques, dotó de 6 chimeneas por las que introducir el posterior relleno (RIBERA 1930:247) (Figura 47).

Esta suerte de cajón con tapa es remolcado a su lugar de destino, donde se preasienta 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).

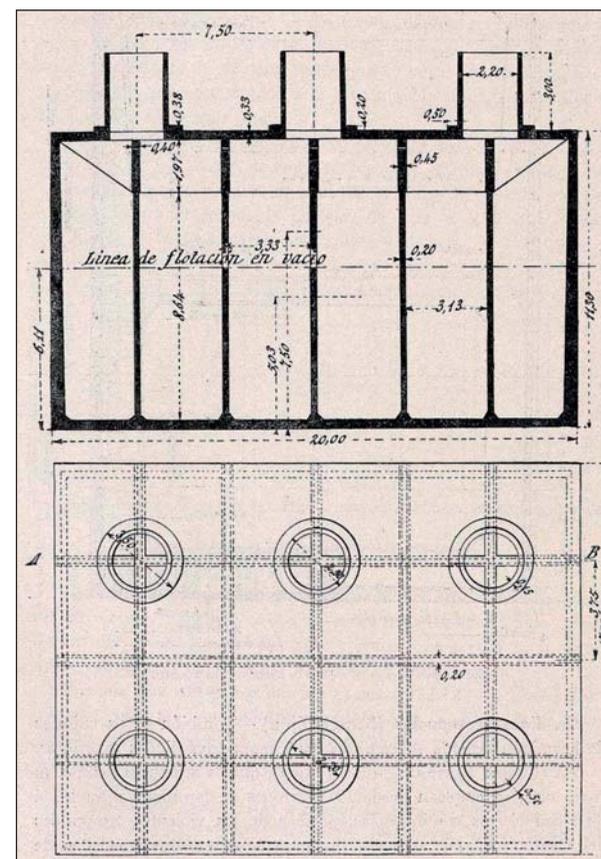


FIGURA 47. Plano de sección y planta de un cajón de hormigón del Dique Norte del Puerto de El Musel, Gijón (RIBERA 1930:238). Se aprecian las 24 celdas y las 6 chimeneas.

Años más tarde, Eduardo de Castro, haciendo alarde del dominio de su disciplina, mejora la formula de llenado de los cajones, evitando la operación de preasiento con agua y posterior hormigonado sobre

48.- Real Orden publicada el 6 de mayo de 1925 en la Gaceta de Madrid, nº 126, página 706.

la misma. De tal suerte, dispone, sí, hundir con agua y rellenar de inmediato los tres o cuatro metros inferiores del cajón con piedra no concertada, achicar el agua cuando se pueda y terminar el relleno con hormigón. Aproximadamente después del mes necesario para el fraguado del hormigón, se perfora y se inyecta mortero con el objeto de conglutinar la piedra no concertada del inferior (RIBERA 1930:248).

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 ésta 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 (ARAGONÉS 1931:483-486) y Llanes (AGUIRRE 1932:93-96), por ejemplo, dan cuenta de algunos errores cometidos y del problema de las chimeneas con gran desarrollo (Figura 48).

El proyecto optimista de Pravia 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 1931:484). 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; al mismo tiempo, el hecho de colocar los bloques sobre la estructura implicaba el riesgo de subir de un modo importante el centro de gravedad del conjunto y el de aplicación del empuje para una ola determinada (AGUIRRE 1932:94).

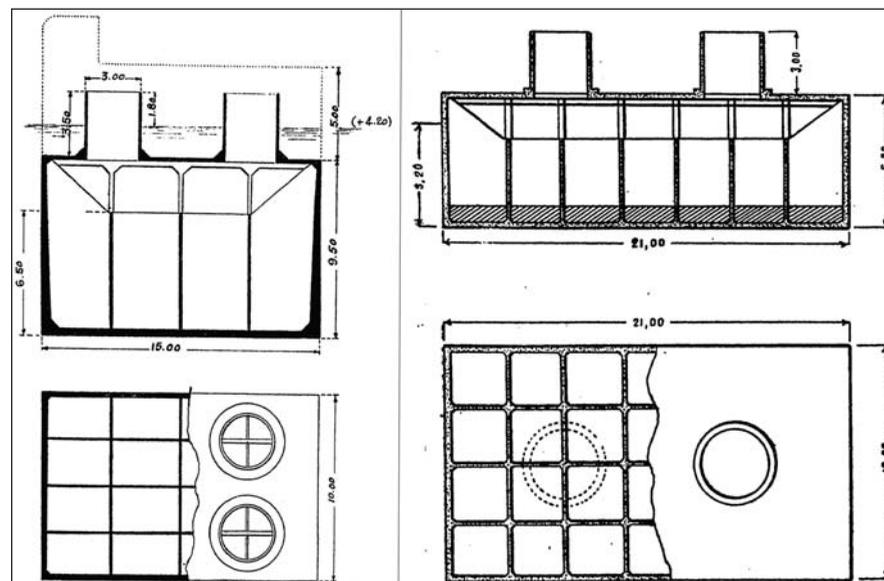


FIGURA 48. Secciones y plantas de cajones de hormigón de los Puertos de Pravia (izq.) (ARAGONÉS 1931:483) y Llanes (dcha.) (AGUIRRE 1932:93).

Por tanto, a una escala distinta, la opción subsiguiente nos remite a los cajones de El Musel. Los cofres, en sucesivas fases, se rellenaron de grava, hasta una altura de cinco metros, siendo completado el espacio con agua; inmediatamente se macizó con hormigón todo el ámbito libre hasta el techo, para, después del tiempo necesario de fraguado, inyectar cemento que coaligase la grava suelta (ARAGONÉS 1931:484).

Debido a la inseguridad técnica que representaban las inyecciones de cemento<sup>49</sup>, a medida que se ejecutaba el proyecto, se optó por rellenar de grava tan solo las cuatro celdas centrales; así, unido a la

49.- Fundamentalmente por la inseguridad con respecto a la compactación total de la grava y a futuros asientos diferenciales en el interior del cofre.

fábrica, sería suficiente para soportar una marea de coeficiente uno y, en el ínterin, macizar con hormigón las doce celdas perimetrales (ARAGONÉS 1931:484).

Aún así, 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) (Figura 49).

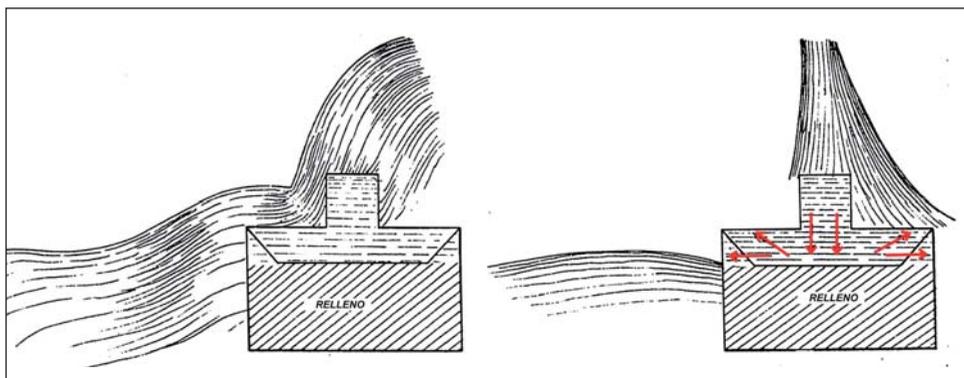


FIGURA 49. Siguiendo las consideraciones de Aguirre Hidalgo, cuando arremete la mar sobre los cajones se escenifica un importante desbordamiento de la masa de agua sobre la cubierta que, al entroncar con la chimenea, provoca un cambio de rumbo en altura; subsiguientemente, el agua cae violentamente sobre las chimeneas, ocasionando una gran presión interior, generadora de importantes averías (AGUIRRE 1932:95).

Ahora bien, los ejemplos más próximos en el tiempo, especialmente en lo referido al transporte de larga distancia de estas arquitecturas flotables, los encontramos en Normandía, aunque éstos fueron concebidos como argumentos de una provisionalidad<sup>50</sup> y, por tanto, casi como arquitecturas efímeras.

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<sup>51</sup>.

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*”<sup>52</sup>.

Los ingleses, ya antes de la conferencia de Québec<sup>53</sup>, donde tomó cuerpo la iniciativa OVERLORD, tenían en marcha el desarrollo de los puertos

50.- En principio, los puertos estaban pensados para ser útiles, a pleno rendimiento, durante unos 90 días.

51.- En los primeros momentos de la invasión, probablemente, se necesitarían entre 8.000 y 12.000 toneladas diarias de aprovisionamiento y vituallas.

52.- Comentario tomado en el Museo de Arromanches.

53.- Previo a la conferencia de Québec, con la presencia de Churchill y Roosevelt, ingleses y americanos, durante la conferencia de Rattle -Largs, fiordo de Clyde, Escocia-, en julio del 43, ya habían tratado conjuntamente, por primera vez, la construcción de los puertos artificiales (FERRAND 1997:5).

de contingencia *Mulberries*<sup>54</sup> ante la posibilidad real de no poder tomar la península de Cotentin y, en particular, Cherburgo (Figura 50).

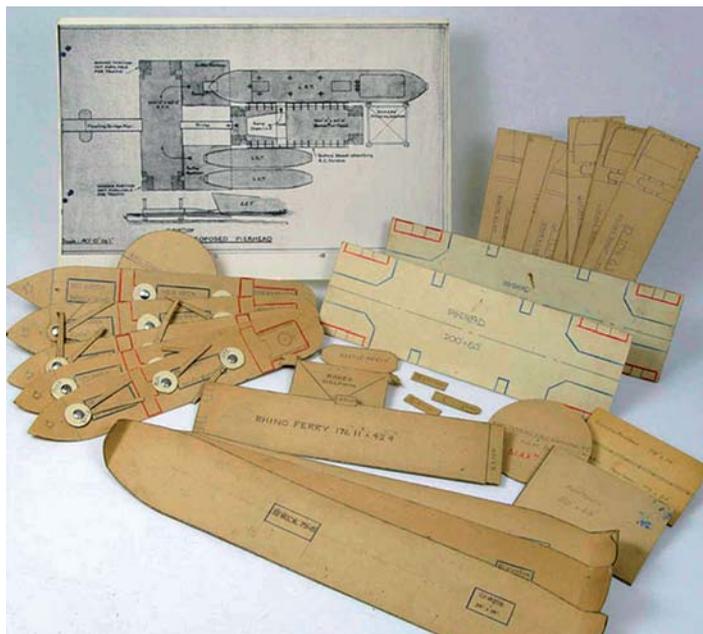


FIGURA 50. Planos y maquetas -documentos clasificados- de los puertos flotables, pertenecientes a la Colección Mulberry Harbors, Universidad McMaster (<https://dailynews.mcmaster.ca/articles/d-day-secret-mulberry-harbours-project-revealed-in-mcmaster-archives/>). La imagen recoge una serie de desplegables en cartón, utilizados por el coronel Steer-Webster<sup>55</sup> para informar sobre la construcción del Mulberry al presidente Roosevelt.

54.- Este nombre en clave -mora o morera (*morus alba*) en español-, como 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.

55.- El coronel Vassal Charles Steer-Webster (1897-1970), condecorado con la Orden del Imperio Británico -OBE-, la Legión de Honor y la Legión al Mérito de los Estados Unidos, aportó la materia gris necesaria para la definición, transporte y emplazamiento de los puertos Mulberry.

Winston Churchill, en mayo del 42, había ordenado a Mountbatten que se perfeccionasen los prototipos, haciendo hincapié en la flotabilidad con las mareas de los andenes de desembarco y en los anclajes del conjunto (Figura 51).

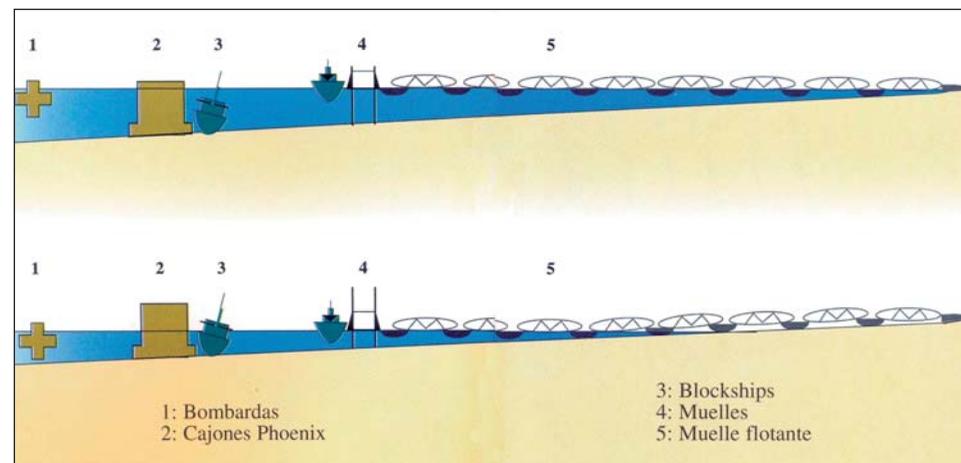


FIGURA 51. Esquema o sección de un Mulberry en el que grafía el efecto mareal y la flotabilidad necesaria de la infraestructura para su correcto funcionamiento; también se puede observar el posicionamiento y utilidad como rompeolas de los Cajones Phoenix (imagen perteneciente al atelier Philippe Pique, extraída de FERRAND 1997:12-13).

En nuestro discurso, únicamente utilizaremos referencias a los *Phoenix*<sup>56</sup>, construcciones flotables parangonables a los cajones portuarios sobre los que venimos argumentando. En este caso, aunque

56.- Existen un sinnúmero de equívocos en las descripciones de los puertos artificiales o prefabricados que posibilitaron el desembarco de suministros y personas en Normandía; siendo el más común el de asociar los cajones al puerto, *sensu stricto*, como andenes de desembarco.

Con alguna excepción, los *Phoenix* se emplearon como rompeolas, como defensas de las infraestructuras propias para el desembarco.

también configuraron pequeños muelles refugio en algunos puntos, ejercieron fundamentalmente de rompeolas, combinados con los consiguientes *Bombardoons* (rompeolas flotantes) (Figura 52).

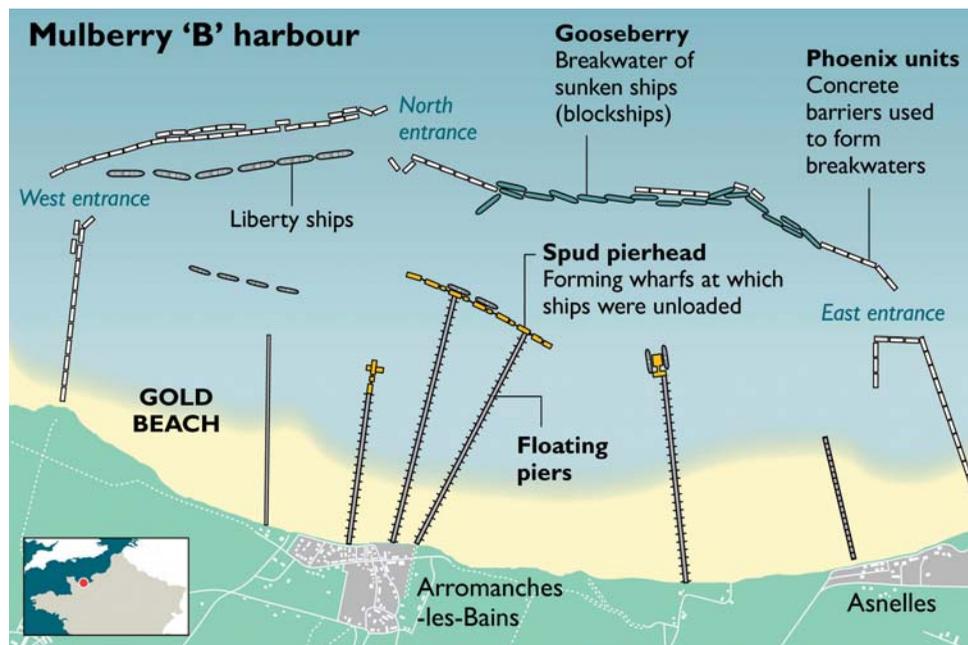


FIGURA 52. Planimetría del Mulberry dispuesto en Arromanches; en ella se puede observar la disposición de los cajones Phoenix (rectángulos blancos en el oeste, norte y este) como elementos protectores -rompeolas- y delimitadores del espacio portuario (imagen tomada de [www.thetimes.co.uk](http://www.thetimes.co.uk)).

Son muchos los nombres que aparecen, de una u otra forma, roblonados a la construcción de los *Mulberries*; no obstante pensamos que, con independencia de la aportación técnica que cada uno tenga, John Hughes-Hallett, con el tiempo comodoro, fue el visionario que, después del fracaso de Dieppe, expuso que la única solución para tener un puerto operativo después del desembarco anfibio era llevar uno a través del Canal.

Tomada la decisión, las distintas partes de los *Mulberries* se construyeron de manera taimada y disimulada en diferentes lugares de la costa sur británica, sin ofrecer una imagen de conjunto que pudiera alertar a los agentes y observadores alemanes; en muchos casos los cajones *Phoenix*, una vez construidos, eran hundidos, para protegerlos y camuflarlos, a la espera de la “gran travesía” (FERRAND 1977: 16) (Figuras 53 y 54).

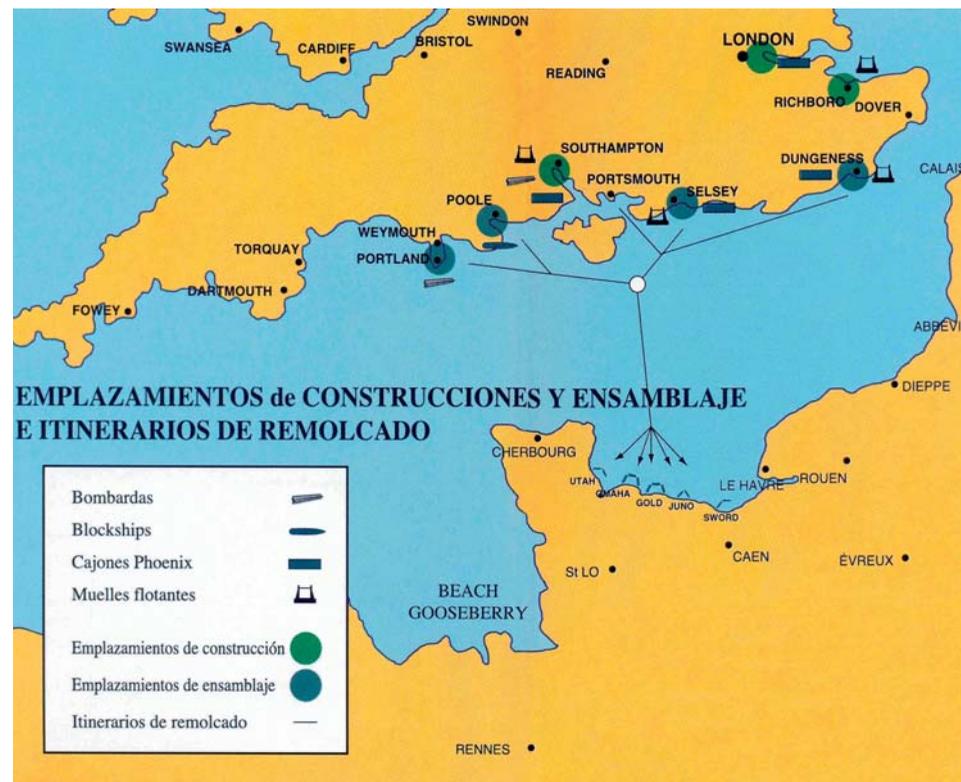


FIGURA 53. Planimetría en la que se localizan los emplazamientos de construcción, ensamblaje y reunión de los elementos transportados y remolcados para la construcción de los puertos artificiales en Normandía (imagen perteneciente al atelier Philippe Pique, extraída de FERRAND 1997:16-17).

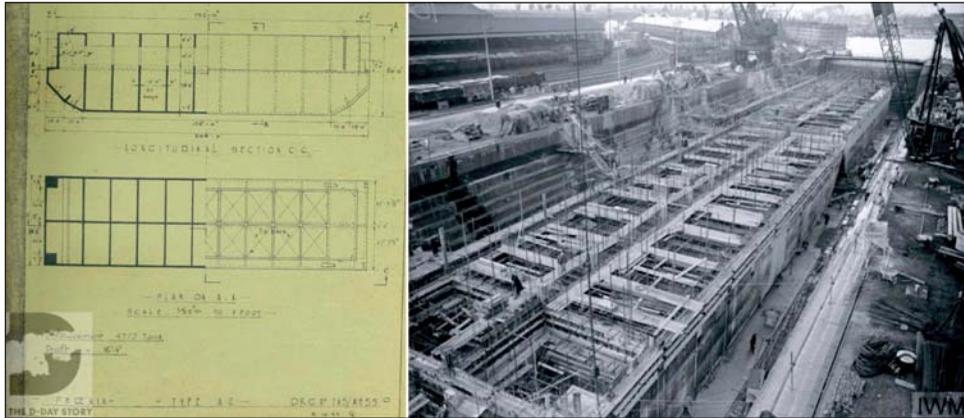


FIGURA 54. Izquierda: Planos originales del Type A2 de Phoenix, fechados a finales del 43, procedentes de los fondos del Museum The D-Day Store en Portsmouth. Derecha: Proceso de construcción de los cajones en dique seco. Fotograma perteneciente a los fondos del Imperial War Museum.

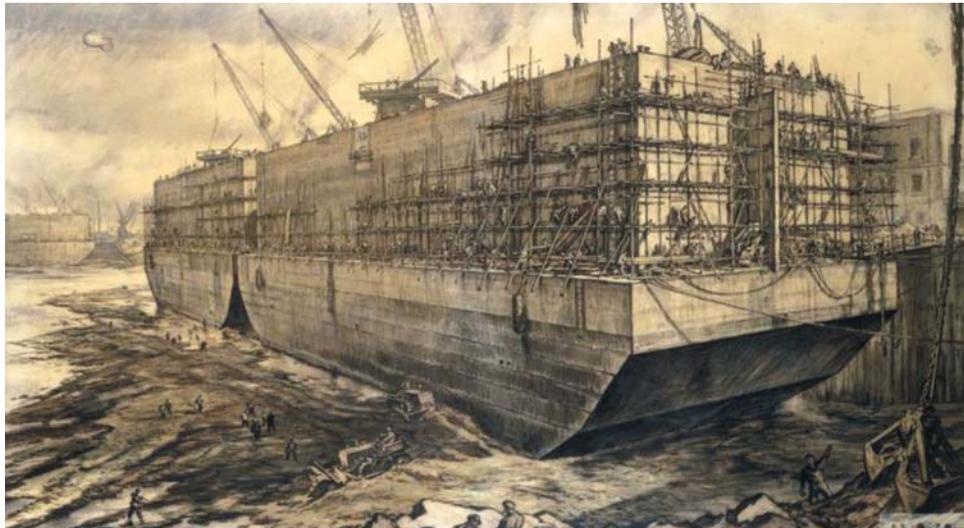


FIGURA 55. Sir Muirhead Bone, grabador y acuarelista escocés, perteneciente al War Artists Advisory Committee, asalariado por el Ministerio de Información, nos dejó estos cajones en construcción cubiertos de andamios, obra de 1944, como recuerdo de un relato constructivo titánico. Tiza perteneciente a los fondos del Imperial War Museum.

Por de pronto, aunque se ejecutaron 212 cajones, las necesidades proyectuales estimaron la utilización de 146 de ellos. El diseño de los *Mulberries* exigía seis tamaños diferentes de cajones, siendo los más grandes de unas proporciones considerables (60 x 17 x 18 m) y un peso de 6.044 toneladas; para el conjunto se emplearon 275.000 metros cúbicos de hormigón (unas 600.000 toneladas) y 31.000 toneladas de acero (FERRAND 1977:10) (Figura 55).

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, su perfiles se asemejaban a los de una barcaza de fondo plano o a la base de la pata de un gato mecánico, circunstancia que ayudaba en la navegabilidad y en el posterior hundimiento.

Desde los distintos emplazamientos de construcción, los cajones se fueron concentrando, a la par que eran revestidos y adecuados para una travesía con incertidumbres y temores a un ataque de la Luftwaffe.

Muchos de los cajones incorporaron una plataforma y el anclaje necesario para ubicar un antiaéreo Bofors<sup>57</sup>, cañón sueco de 40 mm utilizado por los dos bandos, un refugio para los servidores y un pañol con capacidad para 20 toneladas de municiones (FERRAND 1977:10). 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 22

57.- El Cañón antiaéreo medio Bofors de 40 mm, debido a su robustez y fiabilidad, fue el más demandado, tanto por los Aliados como por el Eje, durante la II Guerra Mundial; de hecho, en el Muro Atlántico, los alemanes entremezclaban los cañones Flak, en combinaciones simples, dobles (zwilling) o cuádruples (vierling) con los Bofors de calibre 40 suecos.

minutos de llenado para sumergir cada cajón (FERRAND 1977: 10) (Figuras 56 y 57).

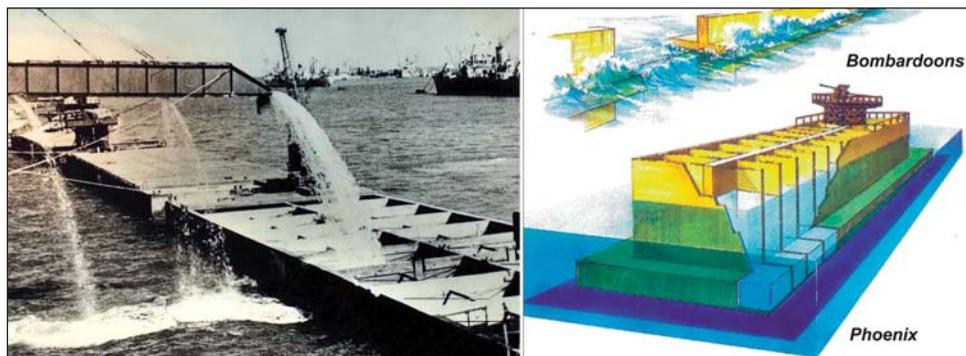


FIGURA 56. Izquierda: Aspecto característico del proceso de llenado y fondeo de los cajones (Colección del Museo de Arromanches). Derecha: Ilustración de la combinación de los dos tipos de rompeolas, cajones Phoenix y Bombardoons; unido a una sección de un cofre, ya lastrado y con el cañón Bofors en posición (imagen perteneciente al atelier Philippe Pique, extraída de FERRAND 1997:16-17).



FIGURA 57. 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).

Una vez en posición como rompeolas, muchos de ellos fueron caracterizados, convirtiéndose en hogar permanente de la dotación necesaria e imprescindible para hacer funcionar los antiaéreos; utilizando para ello el más de millón y medio de metros cuadrados de chapa ondulada que se transportaron desde Gran Bretaña al Continente (Figura 58).



FIGURA 58. Detalle de un pasaje de la vida cotidiana de los servidores de un antiaéreo sobre un cajón Phoenix. Debajo de la plataforma, en la que estaba anclado el cañón, se arbitraron divértículos empleando la chapa ondulada disponible (Colección del Museo de Arromanches).

Con independencia de los resultados desiguales de esta operación logística y de las conclusiones que podamos extraer sobre el dominio

de la ingeniería, los cajones, en una gran mayoría, quedaron varados en su lugar de destino, siendo utilizados, hoy día, como recurso tangible de una escenografía del *Mulberry* “B”, Port Winston, que se expone en el Musée du Débarquement en Arromanches (Figura 59), inaugurado en 1954 por J.G. René Coty, último Presidente de la Cuarta República Francesa.



FIGURA 59. Panorámica de algunos de los cajones Phoenix varados en las inmediaciones de Arromanches; sirviendo de recurso didáctico y expositivo al Musée du Débarquement (Fotograma tomado de [www.DDAY.center](http://www.DDAY.center), Copyright 2020-Shellburst).

También, algunos, tuvieron una segunda oportunidad como refuerzo o soldadura del dique de Westkapelle, en Walcheren (provincia de Zelanda, Países Bajos), que los propios Aliados (RAF) destruyeron en su intento de controlar el cercano puerto de aguas profundas de Amberes.

Igualmente, como precedentes españoles a los diseños de Caffarena, entre otros, están los cajones flotables de hormigón armado diseñados como cimentaciones para puentes; mereciendo especial atención los casos del puente sobre el Urumea (San Sebastián) y del puente de San Telmo (Sevilla) sobre el Guadalquivir, con un nivel de agua en estiaje de entre 6 y 7 m.

En España, una de las primeras aplicaciones efectivas del hormigón armado a la construcción de cajones sumergibles la encontramos en la cimentación de las dos pilas de un puente sobre el río Urumea en el barrio de Loyola (GALLEGO 1911:365-367).



FIGURA 60. Fotograma del puente sobre el Urumea a su paso por Loyola; las dos pilas centrales estaban cimentadas sobre cajones sumergibles de hormigón armado (Foto de Juanjo Olaizola, tomada en <http://historiastren.blogspot.com/2013/06/el-puente-de-loiola.html>).

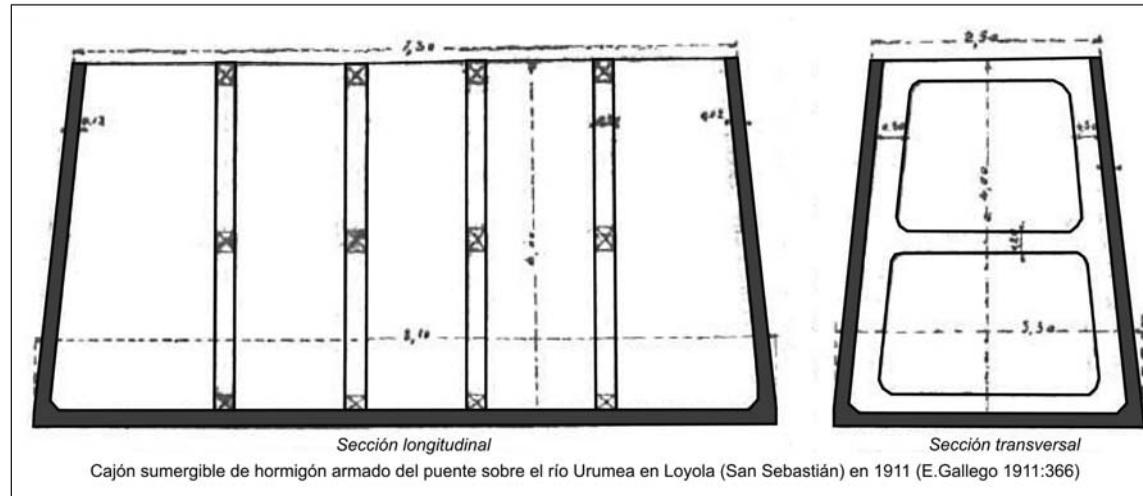


FIGURA 61. Sección longitudinal y transversal de un codal de los cajones empleados en la cimentación del puente sobre el río Urumea. Los cajones tenían 4 m de altura; con una base rectangular de 4,80 m x 2,50 m, terminada en dos semicírculos de 1,25 m de radio. Por otra parte, las paredes presentaban una ligera inclinación hacia el interior con el objeto de aumentar la superficie de asiento, circunstancia que propiciaba la disminución de la presión unitaria sobre el fondo (GALLEGO 1911:366). También, las paredes y el fondo del cajón se diseñaron a partir del supuesto de que tuvieran que asumir la presión del agua correspondiente a una altura de dos metros; para ello, el entramado férrico, con un espesor de 0,12 m, se articuló mediante un forjado de vigas con nervios distantes entre ejes a 1,50 m (GALLEGO 1911:366).

Manuel Alonso Zabala diseñó en 1911 un sistema mixto de cimentación para el puente por el que transitó<sup>58</sup> el ferrocarril de San Sebastián a Hendaya, decantándose por un pilotaje para uno de los estribos -el otro va sobre roca- y la fórmula de cajones de hormigón armado<sup>59</sup> con fondo para los dos pilares (Figura 60).

58.- Esta infraestructura, desgraciadamente, fue demolida en mayo de 2013.

59.- En palabras de E. Gallego, “*La aplicación (...) aunque modesta en sí, es de gran importancia porque ha permitido apreciar la rapidez y economía alcanzada con dicho sistema de cajones sumergibles de hormigón armado, empleado para cimentar las dos pilas de un puente sobre el río Urumea que en Loyola acaba de construir la compañía concesionaria del tranvía eléctrico en ejecución de San Sebastián a la frontera francesa, de cuya entidad es director técnico el reputado ingeniero Sr. Alonso Zabala*” (GALLEGO 1911:366).

Los sondeos y muestreos realizados en el lecho del río señalaron la presencia de una estratigrafía a base de gravas (1,5 m) y toba arcillosa (+/- 1 m), suponiéndose demasiado duro y, por tanto, costoso para hincar pilotes de madera u hormigón y escasamente resistente para soportar una cimentación directa. Así, Alonso Zabala acudió al diseño<sup>60</sup> de dos cajones sumergibles en hormigón armado, uno para cada pila, que se hundieron sobre un enrasado en la toba arcillosa<sup>61</sup> (GALLEGO 1911:367) (Figura 61).

60.- La obra fue ejecutada mediante contrata por la casa Hennebique -Norte de España-.

61.- La grava se sacó mediante una pequeña draga y la nivelación y preparación del nivel sobre el que descansarían los cajones la realizaron buzos.

En cifras generales, para cada cajón se emplearon 19,50 m<sup>3</sup> de hormigón, con un armado de 1,212 kg de hierro; estimándose el peso total del cofre en 50.000 kg, con una capacidad para 100 m<sup>3</sup> de hormigón ordinario (GALLEGO 1911:367).

En la construcción de las dos pilas se emplearon dos meses y la ejecución costó 15.500 pesetas<sup>62</sup>, entrañando la ejecución/experimento un hito en el empleo de cajones sumergibles de hormigón armado<sup>63</sup> (GALLEGO 1911:367).

En el lance de San Telmo, estamos pues ante la cimentación de un puente mediante cajones neumáticos, que serán desplazados o transportados por flotación desde el momento crítico de su botadura hasta el del asiento definitivo; minimizando así, con la técnica, los trabajos de hormigonado en el centro del río.

En fin, la experiencia acumulada en Valencia de Don Juan y en el puente Victoria (Madrid), productos de la simplificación de la fórmula empleada por M. Sejourné en el puente de Marmande (RIBERA 1930:189), tamizada en el puente de Amposta, se plasma

en el diseño de los cajones flotables para el puente de San Telmo<sup>64</sup> (Figura 62).

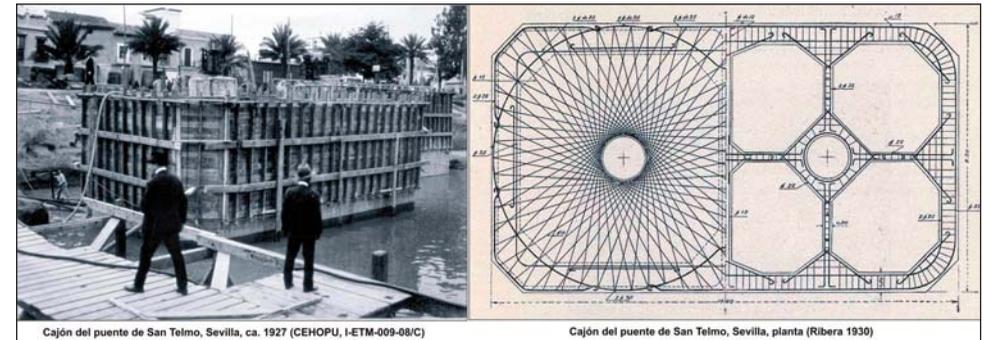


FIGURA 62. Izquierda, cajón de hormigón del puente de San Telmo flotando sobre el río, hacia 1927 (Archivo E.Torroja, CEHOPU, I-ETM-009-08/C, en: [www.cehopu.cedex/etm/I-ETM-009-08.htm](http://www.cehopu.cedex/etm/I-ETM-009-08.htm)). Derecha, planta de cajón de hormigón del puente de San Telmo (RIBERA 1930:195).

62.- Se estima que esta cantidad supuso la tercera o cuarta parte de la que se habría invertido con el empleo de cualquier otro sistema de cimentación, en los que, en ese momento, las infraestructuras para la hinca resultaban complicadas y engorrosas.

63.- “El empleo de cajones sumergibles para fundar obras hidráulicas viene a ser nuevo recurso para el constructor, del que podrá echar mano con gran provecho en múltiples casos, ya que la sustitución de los cajones metálicos por los de hormigón armado mejora notablemente las condiciones de procedimiento, al propio tiempo que lo abarata” (GALLEGO 1911:365); además, “el éxito de esta aplicación en España de los cajones sumergibles para la fundación de obras hidráulicas debe servir de norma a los constructores, ya que las circunstancias que en ella recomendaron la elección de tan ventajoso procedimiento, han de repetirse con mucha frecuencia” (GALLEGO 1911:367).

64.- El proyecto fue redactado por Ribera en 1920 y revisado, como director de obra, por Torroja; siendo ejecutado en 1931.

Ribera hace un pequeño resumen del Proyecto en *Le Genie Civil*, junto a otras referencias como las del puente de Valencia de Don Juan (León) de 1904 sobre el río Esla, el puente de la Reina Victoria (Madrid) de 1908, los diseños en La Carraca (Cádiz) de 1909, el puente de Mora del Ebro (Tarragona) de 1910 o el puente de Amposta (Tarragona) de 1913. Años más tarde, Ribera ampliará estas referencias en las sucesivas ediciones de sus *Puentes de Fábrica y Hormigón Armado*.



## ADENDA 3

### ANÁLISIS HISTÓRICO DE LOS INICIOS DEL EMPLEO DE CAJONES FLOTANTES EN LA CONSTRUCCIÓN DE PUERTOS

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 del 27 / 23 a.C.<sup>65</sup>.

Otrosí, dependiendo de la traducción que se maneje, se pueden incluir apartados muy específicos sobre la técnica de los cajones flotantes que

---

65.- 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 nexa con el germen de la ciencia helénica. Ciertamente tendríamos que reparar en los principios de Ctesibio, Arquímedes o en del propio Herón; sin embargo, elegimos a Vitruvio, con independencia de la originalidad de sus propuestas, por su ulterior trascendencia.

nos ocupa. En este caso, nos decantamos por la magnífica traducción<sup>66</sup> del presbítero Joseph Ortíz y Sanz que, como libro de Monarcas, ofreció en 1787 a Carlos III. En el Capítulo XII del Libro V, *De los puertos de mar, y otros edificios en el agua*, el traductor expone: (55) “No debemos pasar en silencio la comodidad que ofrecen los puertos de mar, y el modo de dar abrigo á las naves que se retiran en las tempestades. Los puertos, quando son formados por la misma naturaleza, con sus puntas ó promontorios avanzados, que forman naturalmente su curvatura y seno hacia la tierra, parece que son sin comparación los mejores; pues basta construir atarazanas y pórticos todo alrededor, y desde estos los tránsitos al mercado (...) (56) Pero no habiendo lugar apto por naturaleza para el abrigo de las naves en los temporales, ni embarazandolo algun rio, sino quel un cabo sea firme, se le hará un muelle al otro cabo, avanzandole lo necesario, construido de estructura o terraplen, con lo qual quede formada la curvatura para cerrar el puerto. (57) La estructura en el agua parece deberá ser esta: traeráse del polvo que se halla desde Cumas hasta el promontorio de Minerva, y de este se mezclarán dos partes con una de cal, del modo mismo que el mortero común. Luego en el sitio

---

66.- Como dato a tener en cuenta, a diferencia de traducciones y textos posteriores que incluyen un capítulo IX, dentro del Libro V, *Sobre la elección de lugares armónicos para los teatros*, Ortíz y Sanz entiende que no ha lugar a esa compartimentación, incluyéndolo en uno general, el IX, que atiende a *De los pórticos y paseos detras de la scena*. En consecuencia, citaremos según la nomenclatura de Ortíz y Sanz y, por tanto, las referencias a los capítulos no coincidirán con las establecidas a partir de traducciones modernas.

*destinado se meterán caxones travados con quartones de roble, y con cadenas por todos los lados, y se asegurarán firmemente. Todo el espacio encaxonado se igualará y limpiará en el fondo desde algunos maderos que se atravesarán para ejecutarlo. Iráse luego metiendo material cementicio y el referido mortero hasta que se llene todo el espacio que ocupan los caxones. (58) Donde por la violencia de las olas y refluxos de una playa libre y desamparada no pudieran asegurarse los caxones, entonces fuera del agua ó á su lengua se construirá un lecho firmísimo, elevandole horizontalmente hasta casi la mitad de su longitud (...) Sobre este llano de arena se fabricará un machon de la mayor magnitud que se pueda; y concluido, se dexará secar por espacio no menos de dos meses. Después de seco se quitará la margen que sostiene la arena, y corroida esta por las olas, hará caer en el agua el machon referido. Continuando de esta forma, se podrá avanzar dentro del mar quanto se necesite. (60) Pero donde se careciere del referido polvo se procederá de esta manera. Metanse dobles caxones bien trabados con tablas, y asegurados con cadenas en el sitio determinado, y luego en el vacío entre uno y otro caxon se irán metiendo esportones de enea llenos de greda, bien apisonados. En estando bien calcado y bien denso dicho material, se sacará el agua del caxon interno, agotandola en cocleas, ruedas ó tímpanos; y despues se abrirán las zanjás en aquel espacio. Si el suelo fuere de tierra, se profundizarán hasta lo firme, y siempre más anchas de lo que ha de ser la fabrica fuera de la tierra. Luego vaciadas de la tierra y agua, se llenarán de estructura compuesta de piedra menuda y mortero de cal y arena. Pero no hallado suelo firme, se hará empalizada de estacas chamuscadas de chopo, olivo ó roble; llenando de carbón los intervalos, como enseñamos en los cimientos de teatros y muros. Sobre este suelo se levantará en rededor una pared de piedras esquadras, lo mas largas que se pueda, para que haya menos juntas, y traven mejor á las piedras de encima. El vacío que queda en el medio se llenará de cascote, ó bien de estructura: y en esta forma se podrá levantar aunque sea una torre encima”.*

Este texto es ilustrativo y síntesis de los conocimientos sobre hidráulica de la época y de la técnica y materiales utilizados en la domesticación de determinados enclaves, para convertirlos en refugio de la navegación y recurso económico de las localidades cercanas.

Desconocemos si Vitruvio tuvo alguna experiencia constructiva de este tipo, es más, ignoramos si ejecutó o proyectó obras a excepción de la consabida Basílica de Fanum; lo que sí suponemos es que concretó en su obra recopiladora los conocimientos y las técnicas constructivas que en el último cuarto del siglo I d.C. se habían convertido en comunes para la construcción.

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

Una fórmula, después de ubicado el cofre en posición, consistía en desplazar o acelerar la salida del agua vertiendo, a granel, una mixtura de piedras y *opus caementicium* a base del depósito volcánico que conocemos como puzolana; otra implicaba, después de fondear e impermeabilizar el cofre, la necesidad de bombear el agua para, así, levantar el dique/espigón/rompeolas de manera apropiada, en un ambiente que, aunque húmedo y viscoso, permitía la construcción por tongadas.

Existen bastantes evidencias arqueológicas que certifican la aplicación del compendio vitruviano<sup>67</sup>, pero, por su nombradía, los restos de

---

67.- Brandon en el capítulo 8 (“Roman Formwork Used for Underwater Concrete Construction”) de *Building for Eternity* establece una relación/tabla de todos los ejemplos conocidos en los que las evidencias no dejan dudas al respecto (BRANDON 2014:211).

Sebastos<sup>68</sup> (Caesarea Maritima), en la costa actual de Israel, son los que mejor pueden ilustrar estos comentarios (Figura 63).

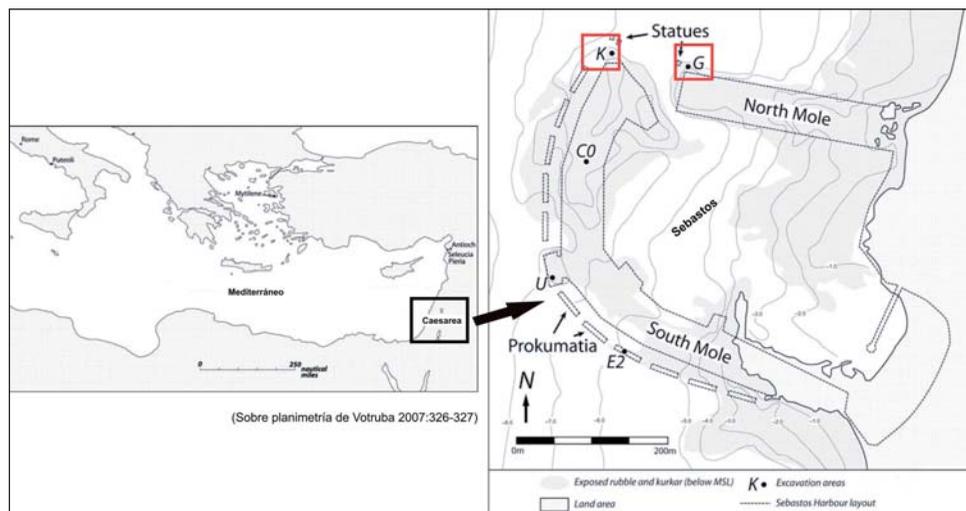


FIGURA 63. Situación general de Caesarea Maritima y detalle de su puerto, Sebastos, con las áreas de investigaciones arqueológicas “G” y “K” resaltadas (sobre planimetría de VOTRUBA 2007:326-327).

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

68.- Herodes mandó construir este puerto entre el 21 y el 9 a.C., dedicándoselo 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 Sebasto, su doble utilización fue una constante. Este cognomen, que en principio fue un adjetivo acrecentador, pasó a formar una parte consustancial y ordinaria de los nombres de los emperadores, ocurriendo lo mismo con la designación honorífica de Sebastos en el oriente helenístico.

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 a la posición deseada, permitiendo, a la vez, el fondeo controlado del cofre, para su posterior anclaje, mediante el lastrado del divertículo con mortero hidráulico, sin agregado grueso (BRANDON 2014:212), convirtiendo la descripción vitruviana en algo lógico, dando sentido a una ejecución eminentemente teórica (Figuras 64-66).

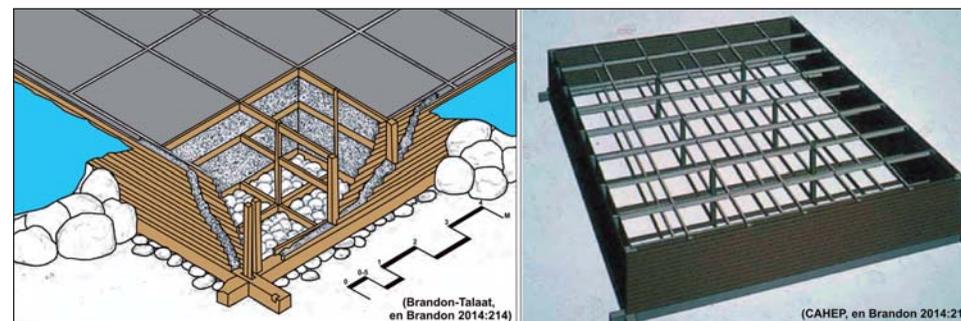
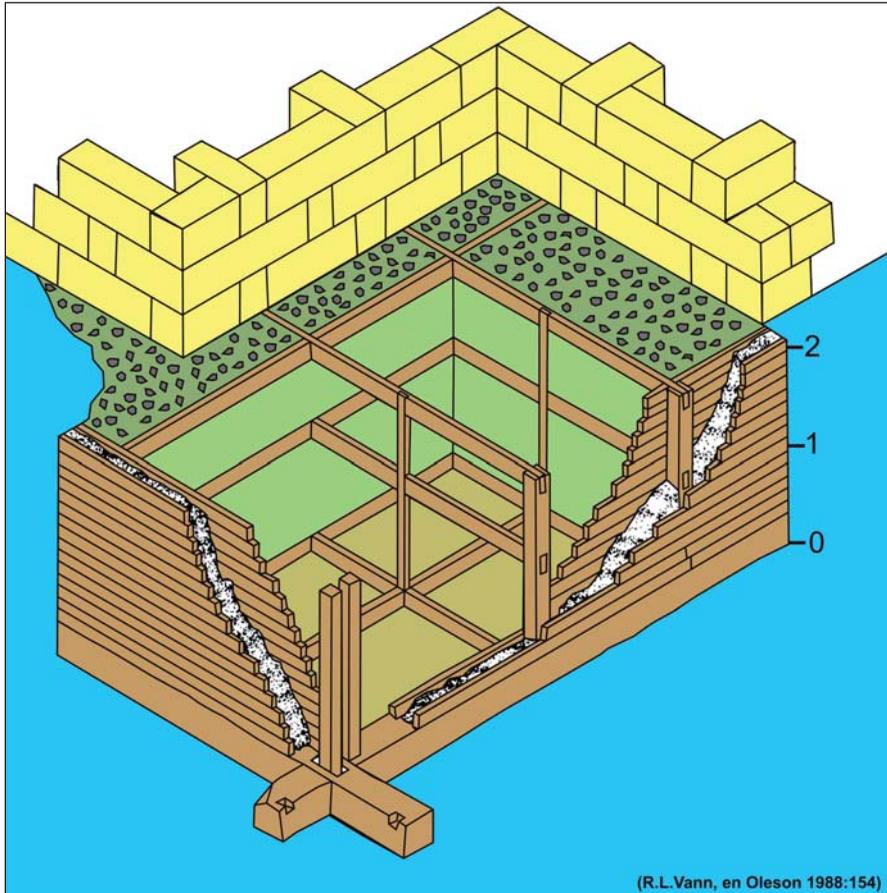


FIGURA 64. Imágenes complementarias de los tipos de cajón sin fondo localizados en el “área G” del puerto de Caesarea. En la reconstrucción de la izquierda se puede apreciar una sección del maderamen utilizado y las características del relleno, resultando muy gráfica la disposición del doble mamparo perimetral (double-walled) que permitía la flotabilidad durante el traslado al lugar de fondeo. Reconstrucciones extraídas del capítulo 8, “Roman Formwork Used for Underwater Concrete Construction”, en BRANDON 2014:214-215. Izquierda, C.J. Brandon after S. Talaat, y derecha, a su vez, por courtesy of CAHEP.

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.



(R.L.Vann, en Oleson 1988:154)

FIGURA 65. Reconstrucción de un cajón de madera sin fondo con doble mamparo perimetral del “área G” de Sebastos (sobre dibujo de R.L. Vann, en OLESON 1988:154).

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 marino. C. Brandon no tiene dudas al respecto y certifica

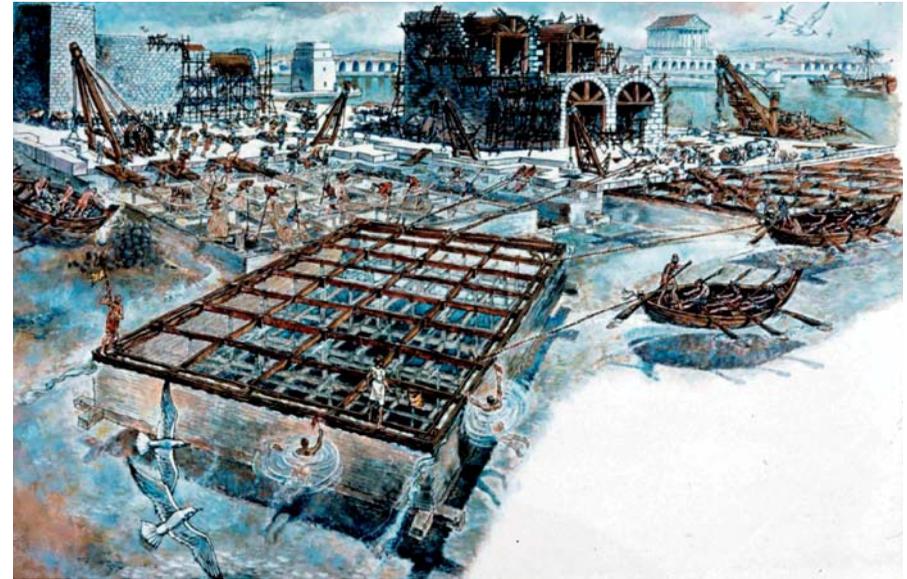


FIGURA 66. Reconstrucción de un entramado flotante de doble pared, en un intento de colocarlo en posición para su anclaje. Imagen recreada en múltiples publicaciones que acompaña, originariamente, al artículo “Cesarea Maritima, Herod the Great’s City on the Sea” de R.L. Hohlfelder, publicado en 1987 por National Geographic Magazine 171.2.

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<sup>69</sup>, como encofrado perdido para cimentar un dique/rompeolas.

69.- El antiguo puerto de Alejandría, en concreto los indicios recuperados en el entorno de la isla de Antirrhodos, hoy sumergida, son también muy buenos ejemplos del empleo de este procedimiento de encofrado (se puede leer un resumen en BRANDON 2014:218-219).

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 67-73).



(Brandon 2014:214)

FIGURA 67. Fotograma, a modo de ejemplo, que ilustra una forma de ensamblaje del fondo de un cajón con las paredes perimetrales. El modelo pertenece a la recreación realizada del cajón utilizado en el modelado de un tajamar de un puente en Chalon-sur-Saône. Imagen extraída del capítulo 8, “Roman Formwork Used for Underwater Concrete Construction”, en BRANDON 2014:214.

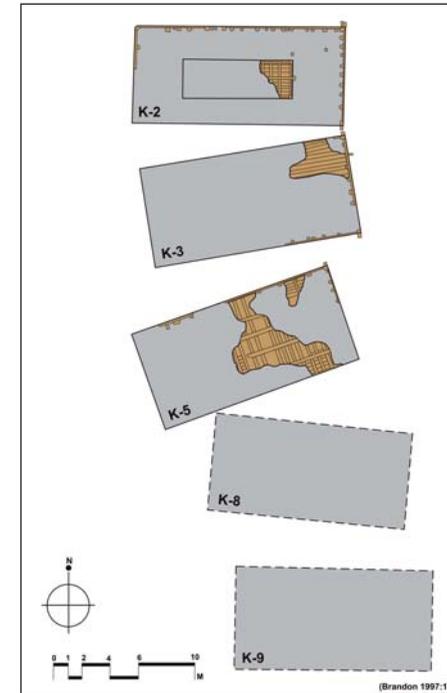


FIGURA 68. Planta y disposición actual de los restos del “área K” del puerto de Sebastos. Nótese la configuración del K-2 con una disposición de “cajas infinitas” (sobre dibujo de BRANDON 1997:17).

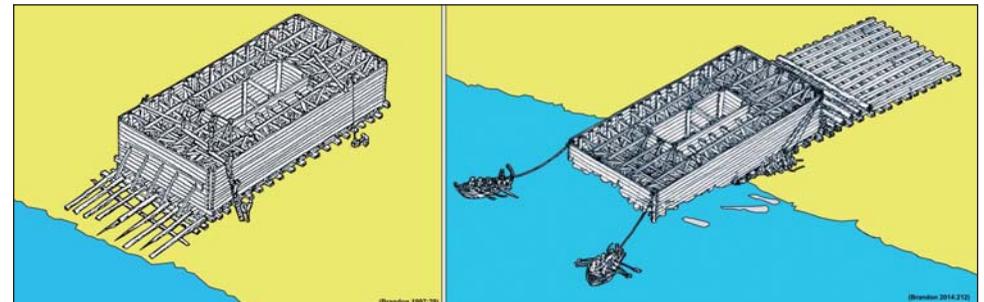
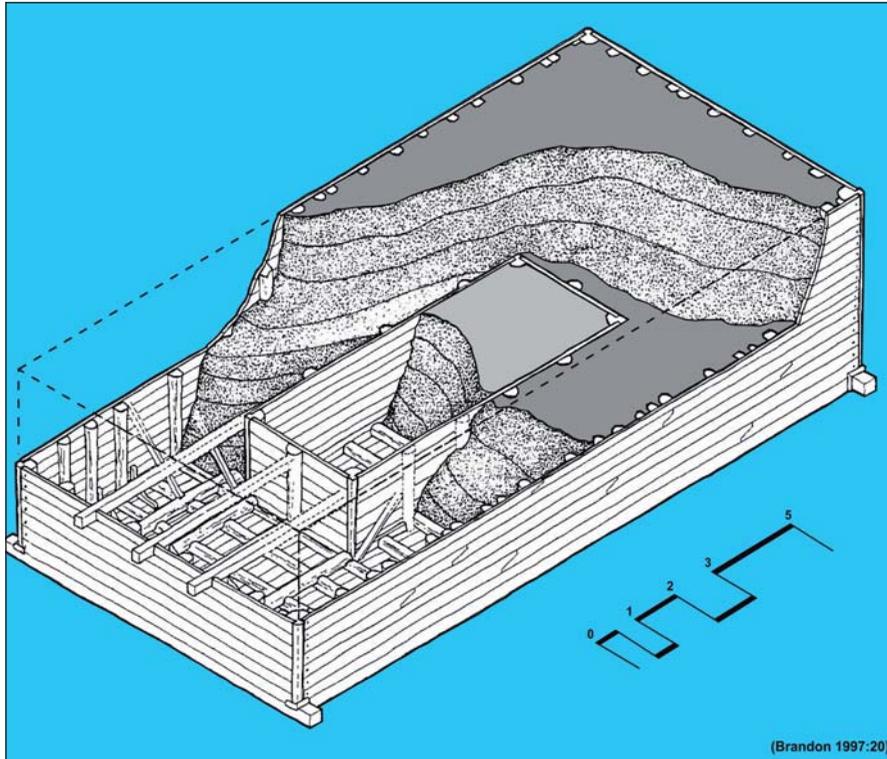
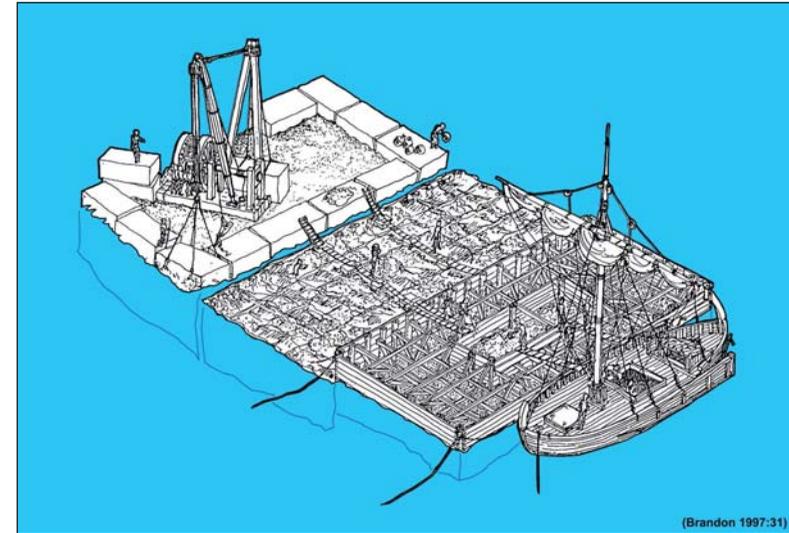


FIGURA 69. Izquierda, recreación de la construcción en la playa de un cajón de madera con compartimiento central del “área K” de Sebastos. Derecha, recreación de su botadura (sobre dibujos de BRANDON 1997:29 y BRANDON 2014:212).



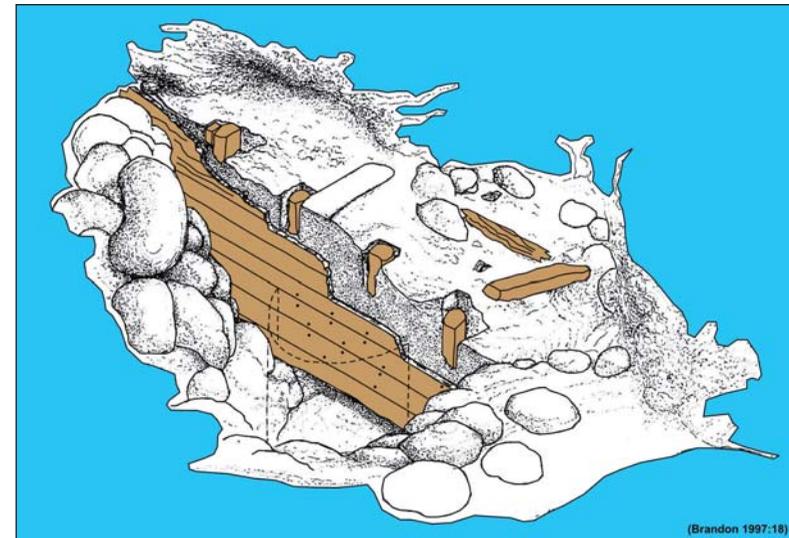
(Brandon 1997:20)

FIGURA 70. Reconstrucción de un cajón con un compartimiento central procedente del “área K” de Sebastos. Esta compartimentación posibilita varias interpretaciones que pueden estar en relación con una mejor fortificación del encofrado perimetral con puntales cortos a partir de caja central; también se puede relacionar con una estrategia del reparto de las cargas o, simplemente, con la utilización de distintas clases de opus en un intento estratégico de ahorro económico; la importación de pulvis puteolanus de Campania, depósito volcánico necesario para obtener un aglutinante con garantías de fraguado bajo el agua, resultaba onerosa, de ahí que, estratégicamente, al igual que ocurre en numismática con las monedas forradas, es posible que el núcleo, necesario y no expuesto a la acción marina, se trabajase a base de aglutinantes con distintos componentes arenosos sin las propiedades químicas de la puzolana; una última posibilidad se puede aliar con el menester de un lastre durante las maniobras de traslado y fondeo, el departamento central propiciaría la navegación en lastre, consiguiendo estabilidad y equilibrio, y evitaría el corrimiento del mismo (sobre dibujo de BRANDON 1997:20).



(Brandon 1997:31)

FIGURA 71. Recreación de la construcción del puerto de Sebastos en el “área K” con cajones con compartimiento central (sobre dibujo de BRANDON 1997:31).



(Brandon 1997:18)

FIGURA 72. Recreación del estado del cajón K3 durante las investigaciones arqueológicas submarinas en el “área K” de Sebastos (sobre dibujo de BRANDON 1997:18).

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, ¿siendo esa la causa de la no inclusión de manera expresa en sus descripciones?<sup>70</sup>

No obstante, algunos autores (PEÑA OLIVAS 2007:17; 2016:71, 75<sup>71</sup>) creen ver en un pasaje de Julio César (*Gc*, I, 25) la utilización de cajones flotantes en el bloqueo del puerto de Brindisi, con una cronología anterior al ejemplo de Sebastos.

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 “(...) *quorum operum*

---

70.- Sobre este particular, resulta cautivador, premonitorio y con gran sentido el excursus o digresión que, al hilo de la descripción de diques construidos con cajones con fondo en el siglo XIX, Pérez de la Sala aventura: “No falta quien pretenda que el sistema fué conocido de los romanos, y la opinión parece fundada, por más que Vitruvio guarde silencio sobre él (...). Se apoya esta opinión sobre el examen de algunos diques compuestos de pilares o trozos interrumpidos. El de Puzzolo, por ejemplo, conserva algunos en bastante buen estado, no sólo para distinguir sus fábricas, sino también sus detalles. Los pilares se componen todos de una envolvente exterior de mampostería, asentados los sillares y trabados con puzzolana, y de un relleno de hormigón independiente de ella, que maciza y compone el resto del pilar. ¿Cómo se ha asentado la fábrica, si no se ha construido en tierra? Pensar en ataguías, es aún más inverosímil que suponer conociesen el sistema de componer una fábrica, que flotase sola ó con ayuda de flotadores. Suponiendo el fondo de fábrica, necesitarían los pilares, dado su peso y volumen, un suplemento de flotación de 100 á 300 toneladas; lo que es fácil dárselo con dos barcos de 80 á 180 toneladas de porte. Si para el fondo del cajón hicieron uso de un piso de madera (...), entonces el cajón de fábrica tiene, por sí solo, un exceso de 61 toneladas. Sería de desear un reconocimiento del fondo, para convertir en certeza lo que es hoy una mera probabilidad” (PÉREZ DE LA SALA 1876:513).

71.- La fecha de 2016 es la de la publicación, el manuscrito original, según reza en la fecha final, se remonta al segmento abril-septiembre de 2011.

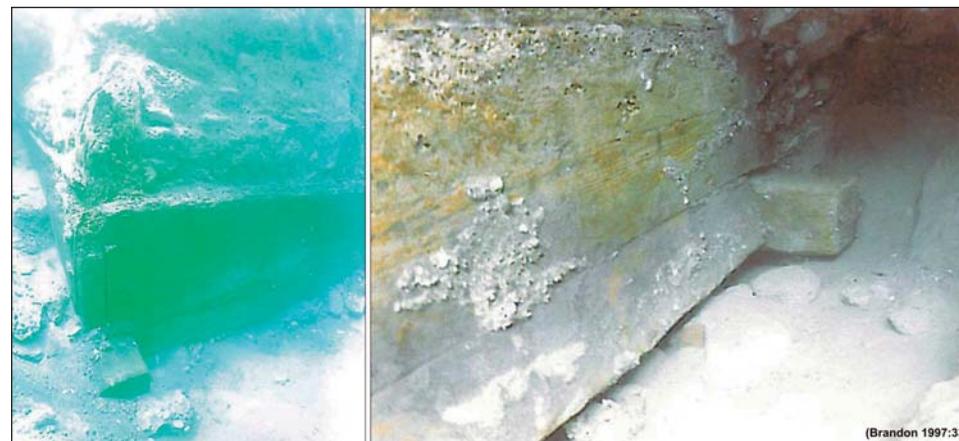


FIGURA 73. Imágenes del estado de los cajones del “área K” de Sebastos durante las investigaciones arqueológicas submarinas. Izquierda, ángulo noreste del K5. Derecha, ángulo sureste del K3 (fotografías 3 y 4 de Shuki Ovadia, en BRANDON 1997:33). Es de resaltar la subsistencia de la madera bajo el agua a pesar de los dos milenios transcurridos.

*haec erat ratio. Qua fauces erant agustissimae portus, moles atque aggerem ab utraque parte litoris iaciebat, quod his locis erat vadosum mare. Longius progressus, cum agger altiore aqua contineri non posset, rates duplicas quoquo versus pedum XXX e regione molis collocabat. Has quaternis ancoris ex IIII angulis destinabat, ne fluctibus moverentur. His perfectis collocatisque alias deinceps pari magnitudine rates iungebat. Has terra atque aggere integebat, ne aditus atque incursus ad defendendum impediretur. A fronte atque ad utroquelatere cratibus ac pluteis protegebat; in quarta quaque earum turres binorum tabulatorum excitabat, quo commodius ab impetus navium incendiisque defenderet”* (*Gc*, I, 25) (Figuras 74 y 75).

Por tanto, César 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



FIGURA 74. Tras el paso del Rubicón (11/01/49 a.C.), dando comienzo de facto una de las guerras civiles romanas, Pompeyo consideró que no era factible enfrentarse con ventaja a César en la península itálica y, por tanto, decidió retirarse a Grecia. Camino del Hélade, acompañado de su ejército y de los senadores afines, recaló en Brundisium (Brindisi) desde donde tenía previsto cruzar el Adriático vía Dirraquium -Dirraquium- (hoy Durrës, Albania). Con la operación de trasbordo en marcha y con Pompeyo todavía en la ciudad, César, haciendo gala de sus “movimientos relámpago” llega y sitia la ciudad.

Analizado el emplazamiento, César considera que el cerco terrestre resulta insuficiente y ordena la construcción de una barrera marina que impida los movimientos desesperados de la flota pompeyana.

El intento de cierre resultó infructuoso ya que la flota consiguió sortear el bloqueo y pasar por el angosto paso que todavía presentaba una obra inconclusa. (Esquema tomado de <https://esaacademic.com/dic.nsf/eswiki/548999>).

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

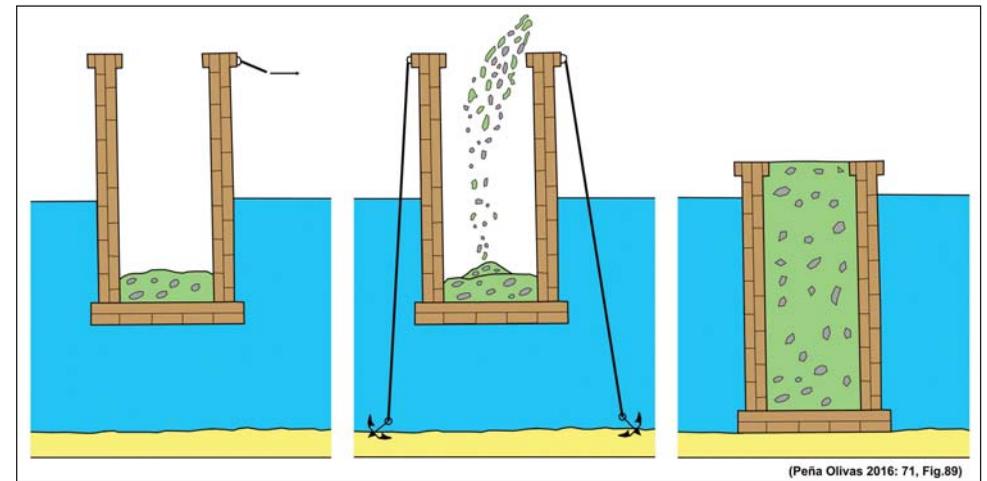


FIGURA 75. Interpretación gráfica del texto de Julio César (Gc, I, 25) que J.M. de la Peña Olivas dispone; por más que no estemos de acuerdo con el supuesto, la explicación resulta elocuente y práctica: el cajón lastrado para el transporte se fondea y ancla en la posición deseada para, a continuación, proceder a su llenado y hundimiento (sobre dibujo de PEÑA OLIVAS 2016:71, fig.89).

de unos 9 metros de lado. Una vez terminada esta operación, sin pérdida de tiempo, mandó rellenar las balsas/chalanas con tierra para hacerlas operativas según sus intereses, fortificarlas y, probablemente, enrasarlas con la cota de los terraplenes ya construidos.

En definitiva, César está construyendo un puente de barcas (*ratis*) o una plataforma defensiva de nueve metros de ancho con barcas como soporte o firme.

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<sup>72</sup>.

Es más, César, en *La guerra de las Galias (Bellum Gallicum)*, cuando utiliza la voz *ratis-is*, siempre la esgrime como definidora de balsas, complemento de distintos tipos de barcas en los transportes o cruces de los ríos. Así, en el Libro I, capítulo 8, los *Helvetii* se sirven de barcas y muchas balsas en su intento de vadear el Ródano (*Helvetii ea spe deiecti navibus iunctis ratibusque cum pluribus factis, alii vadis Rhodani...*); también, en el Libro I, capítulo 12, emparejado *ratis* con el dativo plural de *linter-tris*, los propios *Helvetii* combinan las *ratis* y las *linteres* para cruzar el río Arar, afluente del Ródano (*Id Helvetii ratibus ac linteribus iunctis transibant*); igualmente, en el Libro VI, capítulo 35, los *Sugambri*, protectores de los *Tencteros* y *Vsipetes*, sortean el campamento de César cruzando el río en barcas y balsas (*Cogunt equitum duo milia Sugambri, qui sunt proximi Rheno, a quibus receptos ex fuga Tencteros atque Vsipetes supra docuimus. Transeunt Rhenum navibus ratibusque triginta milibus passuum infra eum locum...*).

Dos ejemplos de distinta raigambre pueden ayudar en la caracterización del tipo, si así se puede denominar; cuando Ulises, al fin, consigue el permiso para abandonar Ogigia, donde habitaba la hermosa Calipso, construye, talando los árboles necesarios, un *schedia*, sinónimo del latino *ratis*, cuya traducción perfectamente se ajusta a la de “barco improvisado”. Un mosaico tunecino, procedente de Henchir Medeina,

---

72.- El texto latino no deja de ser un proyecto de intenciones, ya que el cierre total nunca se produjo; las *naves onerariae* para el transporte de tropas pompeyanas consiguieron traspasar el pretendido cierre y dar un segundo y definitivo viaje; por tanto, a pesar de la discusión aquí sostenida, es probable que, a pesar del texto cesariano, el tramo de cierre con barcas lastradas nunca se ejecutase.

nos ofrece el segundo ejemplo; 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 aquí representadas (GAUCKLER 1905:127; SAGLIO & POTTIER 1877/1919:814-815; DUVAL 1949:138, 146 y CASSON 2014:161, 162 y 217) (Figura 76).

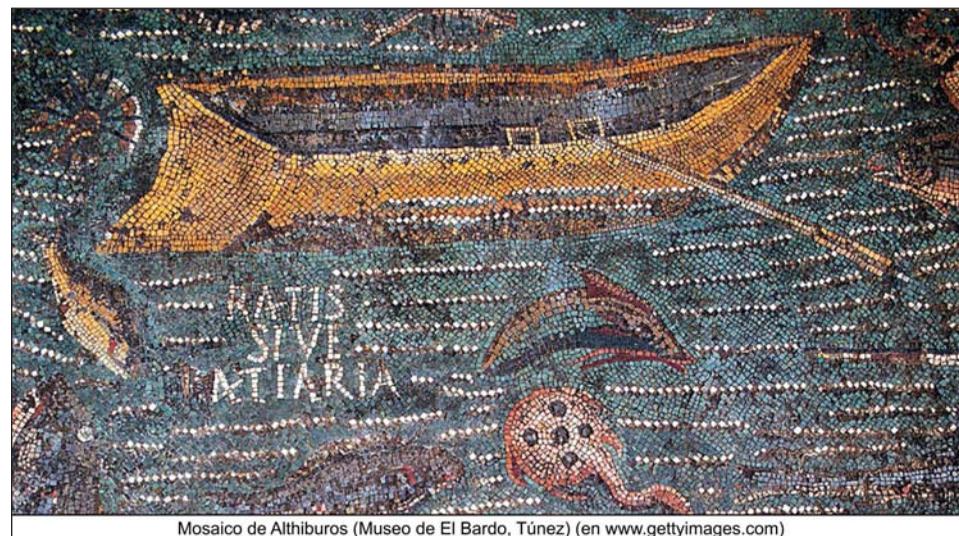


FIGURA 76. Representación de una Ratis en el Mosaico de Althiburos, Museo de El Bardo, Túnez (en [www.gettyimages.com](http://www.gettyimages.com)).

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 flotantes 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 rompeolas.

A caballo del siglo I a.C. y el I d.C., la tecnología y la técnica de encofrados flotantes para la construcción de puertos abrigados artificialmente y para pilas de puentes es un recurso nada desacostumbrado, pudiendo rastrearse los claramente documentados en la tabla 8.3 de Brandon (BRANDON 2014:211).

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: *“Allí también se construyó primorosamente un abrigado puerto que antes no existía. Porque encontró la costa, a uno y otro lado, expuesta a los vientos y a la agitación del oleaje, y determinó que fuera un refugio para los navegantes de la siguiente manera. Se procuró, de las llamadas arcas, una gran cantidad de ellas y de gran tamaño, y las arrojó a una gran distancia de la costa, en línea oblicua, a uno y otro lado del puerto y, fijando sucesivamente un estrato de otras arcas en línea, por encima de esas anteriores, levantó dos muros que se hallaban en ángulo frente a cada uno de los lados del puerto, desde los cimientos del fondo hasta la superficie del agua que surca las naves. Además, echó en aquellos muros rocas cortadas a pico que, golpeadas por el oleaje, rechazan la acometida de las olas y, cuando en la estación invernal sobreviene un duro vendaval, todo el espacio que se encuentra entre los muros se mantiene tranquilo, quedando en medio un solo acceso al puerto para los barcos”* (PERIAGO (trad.) 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 Corinto, Grecia, en el marco del proyecto Lechaion Harbour<sup>73</sup>, 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 77).



FIGURA 77. Excavación de un cajón en el “área 2” de Lechaion (Foto de V. Tsiiris, LHP 2015).

73.- El Lechaion Harbour Project (LHP) es una colaboración entre el Ephorate of Underwater Antiquities griego, la Universidad de Copenhague y el Instituto Danés de Atenas, bajo la dirección de Bjorn Loven y Dimitris Kourkoumelis.

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 deslizando.

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), una pequeña comisión de prohombres, dependiente del *Consell de Cent*<sup>74</sup>, institución propia del autogobierno de la ciudad, gestionó el intento de construir un muelle, que fortificase la barra existente, mediante la utilización de cajones flotantes (SOBERÓN 2014:126) (Figura 78).



FIGURA 78. Detalle hipotético del rumbo de la barra de arena, insuficiente protección para gestionar las estancias durante los temporales, sobre la que se deberían sobreponer los cajones proyectados a partir de 1439 (tomado de SOBERÓN 2014:132).

74.- La construcción se inicia gracias a un privilegio especial que había concedido a la ciudad el rey Alfonso el Magnánimo el 8 de diciembre de 1438 (ALEMANY LLOVERA 1991:48).

Para ello, los constructores, siguiendo modelos orientales y venecianos, remolcaron cajones flotantes, previa celebración de la Santa Misa en el interior del primero, hasta el punto elegido para el fondeo (SOBERÓN 2014:132), donde fueron macizados con piedra y mortero a base de cal y esquilas 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 2014:133).

Por mucho que queramos calificar este intento como un logro técnico con una base empírica, en el que el núcleo pervive debido a 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<sup>75</sup>.

Tal es la sensación que, salvo en algunos puntos concretos de la geografía europea, tendremos que esperar al redescubrimiento de

75.- Aunque con una cronología bastante posterior y un conocimiento técnico más elaborado, también podemos citar o incluir como malogro el intento de construir un muelle poligonal en Valencia. En 1686 se proyectó una infraestructura portuaria a base de estacas de madera y cajones de argamasa que, debido a un temporal, quedó arruinada a la mitad de su andadura, abandonándose el proyecto y no reemprendiéndose las obras de construcción del puerto hasta mediados del XIX (ALEMANY LLOVERA 1991:49-50).

Vitruvio para volver a encontrarnos, incluyendo burdas y beocias interpretaciones, con la esencia de la ingeniería portuaria aplicada a la construcción de puertos.

El hallazgo<sup>76</sup> en Montecasino (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; así, los grandes tratadistas/arquitectos renacentistas, Alberti, Filarete o De Morandi, nunca ocultaron su fuente de inspiración y, en una suerte de *revival*, recuperaron la esencia vitruviana (*firmitas, utilitas, venustas*<sup>77</sup>).

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 *áromatos* 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; no obstante, desde 1564, aproximadamente, tenemos constancia de manuscritos con traducciones como las de Hernán Ruiz o Lázaro de Velasco que empiezan a competir con las *Medidas de lo Romano*, inspirada también en Vitruvio, del erasmista Diego Sagredo (RAPOSO 2011:1158);

---

76.- La recuperación, hallazgo u otra componenda se asocia a Gian Francesco Poggio Bracciolini, protegido de Bonifacio IX y de los Médici. Este amante del latín se propuso, y en parte lo consiguió, recuperar los escritos clásicos que anidaban, fundamentalmente, en las bibliotecas monásticas. Su tarea sirvió para iluminar y referenciar gran parte de textos y tratados renacentistas.

77.- Construcciones sólidas, útiles y hermosas.

precisando aún más, la llegada a nuestro país en 1593 de las *Regole delli cinque ordine d'architettura* de Giacomo Barozzi da Vignola, con dibujos/ilustraciones ejemplificadores, supondrá el asiento definitivo de la substancia vitruviana, irrumpiendo como texto en las Academias y Escuelas de Arquitectura (JIMÉNEZ 1975:256).

Retomando la naturaleza de las indagaciones que nos ocupan, Mariano di Jacopo<sup>78</sup>, conocido como Taccola (Cuervo), vuelve al concepto olvidado del tratado<sup>79</sup>, 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 (Figura 79).

A comienzos del Renacimiento, Taccola<sup>80</sup> proyecta un pontón capaz de cobijar un cajón, suspendido durante los traslados, y llevarlo a su posición de fondeo. En el lugar apropiado, el pontón serviría de amarre a los gánguiles que aportarían el material de relleno y compactación.

---

78.- Taccola (1382-1453), en cuanto a la ingeniería se refiere, resultó el nexo de unión entre Arquímedes, Vitruvio y Leonardo; incluso, en algunos ambientes, era conocido como el Arquímedes de Siena. Su aportación al conocimiento y desarrollo de la ingeniería queda patente en sus *De Ingeineis* y *De Machinis* y en los múltiples relatos sobre consejos otorgados a referentes como Brunelleschi, quien parece ser se inspiró en Mariano di Jacopo para construir la cúpula de Santa María del Fiore, mediante una superposición de bóvedas esquivadas.

79.- No se trata de un caso único y aislado: entre muchos, Taccola se centra en las máquinas; Cennino Cennini, discípulo de Agnolo Gaddi, en un tratado técnico sobre la pintura; Pomponio Guarico, años más tarde, en la escultura o Vannoccio Biringuccio en la fundición.

En resumidas cuentas, estamos asistiendo con denuedo al intento de recuperar el razonamiento/conocimiento, armándolo en tratados, para así transmitirlo: el conocimiento científico por encima del dogma; el tratado, sintético o extenso, pero ordenado, por encima de la Escolástica.

80.- Taccola, desde 1430, poco a poco, manuscrito a manuscrito, fue armando su *De Machinis decem libri* hasta 1449, fecha de publicación.

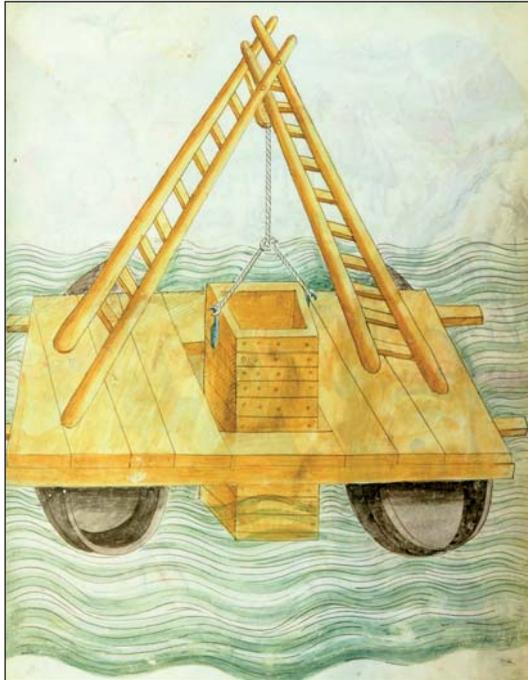


FIGURA 79. El dominio del latín permitió a Taccola acercarse a Vitruvio y, en este caso, combinar los libros quinto y décimo en un alarde de imaginación. Este proyecto de Taccola resulta sencillo, expresivo; aunque parece más un esbozo, sin los pormenores que lo harían operativo, muy en la línea de algunos tratadistas renacentistas que, para proteger su autoría, obviaban algunos detalles esenciales del funcionamiento e incluso los distorsionaban (TACCOLA ca.1453, en: gallica.bnf.fr/Bibliothèque Nationale de France).

Resulta más expresivo el texto<sup>81</sup> del *Codex Palatino* 766, donde se describe la forma de sellar herméticamente el cajón, con sebo y pez, para mantener secos a materiales y trabajadores; una vez en el agua, el cajón se situaría entre cuatro barcos de apoyo para así comenzar los

81.- Se trata de una referencia no directa, ya que está tomada de la tesis doctoral de Alfredo Vera Botí.

trabajos de relleno y posterior hundimiento mediante la apertura de un agujero en el fondo (VERA BOTÍ 2001:103).

Años más tarde -ca.1476-77-, Francesco di Giorgio en su *Trattato di architettura civile e militare*, conocido también como *Trattato di architettura, ingegneria e arte militare*, retoma y mejora la obra de Taccola, añadiendo infinidad de detalles a sus dibujos que hacen de su tratado, con la excepción de las novedades en mecanismos complejos, un conjunto homogéneo con el de Taccola.

El dibujo nada operativo del cajón flotante de Taccola es sustituido por otro que resulta un prodigio del pormenor (Figura 80).

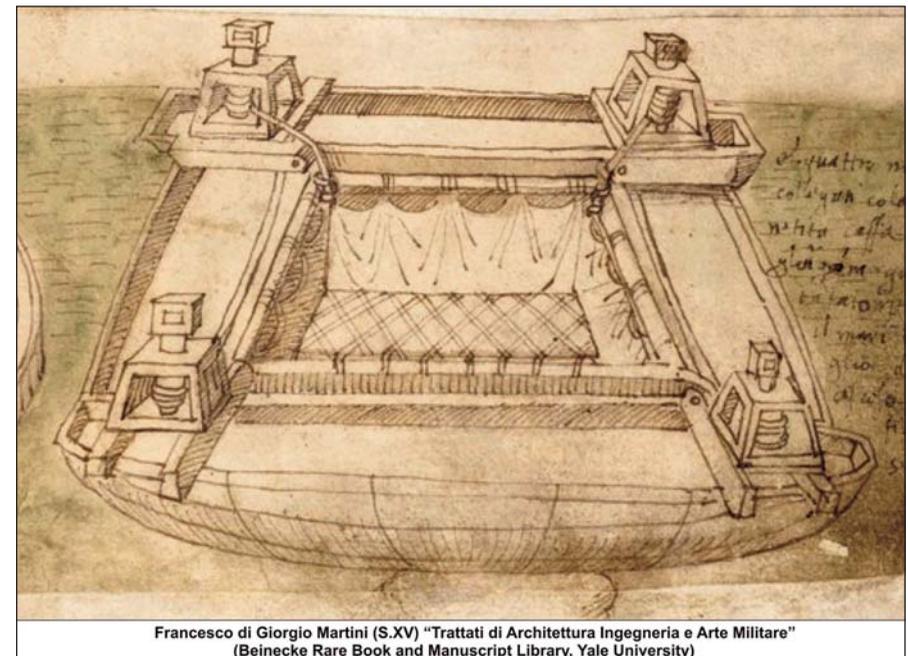


FIGURA 80. Diseño de Di Giorgio Martini para la cimentación en fondos acuáticos (DI GIORGIO ca.1476-77:8r, 22).

Di Giorgio, en un alarde de soluciones técnicas, perfecciona y pule la casi inconcebible imagen de Taccola (DI GIORGIO ca.1476-77:8r, 22 -según catalogación de Yale University Library-), haciendo practicable el cajón como fórmula de encofrado en ambientes acuáticos.

A primera vista, con independencia de la profusión de minucias referidas, resulta una imagen chocante, más propia de un *cetarium* móvil que de un cajón flotante dispuesto para ser rellenado y compactado; juntamente, el texto renacentista que acompaña a la imagen nos dejaba, por falta de recursos, infinidad de dudas para una interpretación efectiva de la representación; sin embargo, el manejo del *Trattato di Architettura Civile e Militare*, adecuado y adaptado por el Cavaliere Cesare Saluzzo en 1841, iluminó la novedosa disposición del cajón.

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 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*<sup>82</sup>.

En suma, el tratadista utiliza una lona, fortalecida con una red de cáñamo, para que los elementos finos y el aglutinante no se disgreguen antes del fraguado. Una vez fondeado el cajón, con la ayuda de cabrestantes localizados en las puntas de los botes, la masa retenida, debido a la flexibilidad de la lona y el cáñamo, se adaptará a “*todas las concavidades del fondo del mar*” (SALUZZO 1841:320-321).

Una nueva traducción del texto virtuviano, con contribuciones

82.- Siglos más tarde, Pérez de la Sala recupera la misma estrategia para evitar que el hormigón fresco se desperdigue sin sentido (PÉREZ DE LA SALA 1876:505).

figuradas de algunos pasajes, se la debemos a Francesco Lucio Durantino en 1524 (DURANTINO 1524).

El orbènio, cuando repara en los cajones para el fondeo y hundimiento, diseña un transporte y una estructura utilizando dos barcas aparejadas

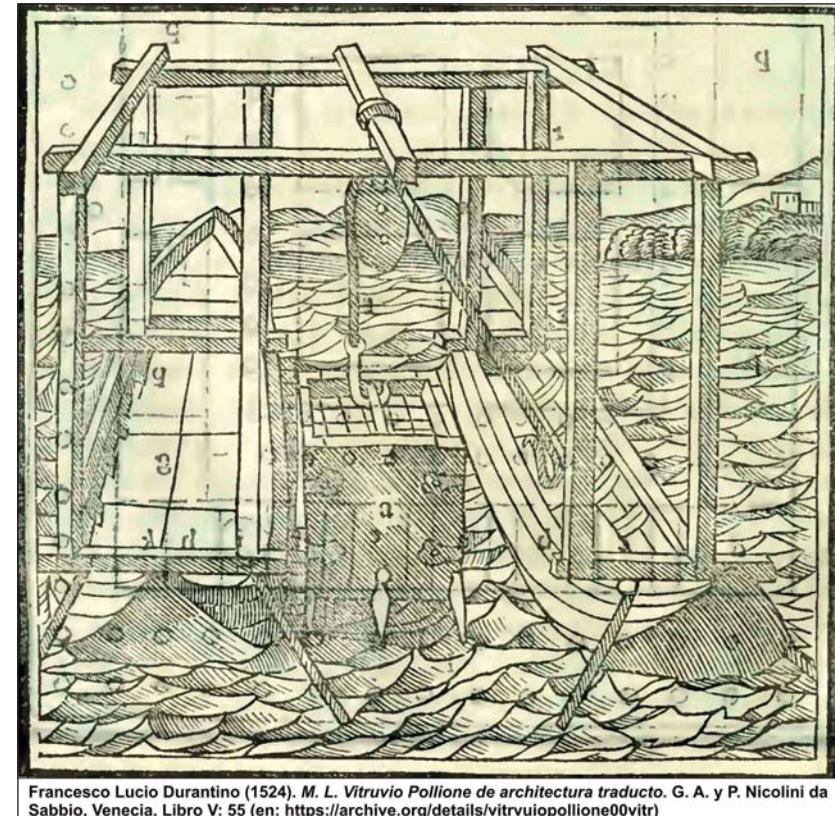


FIGURA 81. Interpretación de Durantino del pasaje vitruviano relacionado con los cajones flotantes. La propuesta resulta escasamente práctica, no obstante, la necesidad de estabilizar el cofre después de su hundimiento queda patente en las moharras que, a modo de anclas, son acopladas a la parte inferior del cajón (DURANTINO 1524:Libro Quinto, p.55bis).

con un entramado de vigería, más propio del complemento de un *cadafalcum* que del soporte de una polea.

Independientemente de que por razones físicas el ingenio funcionase o no, Durantito emplea, a nuestro juicio, dos elementos novedosos: por una parte, la unión entre las cuatro caras de cajón la refuerza con bisagras, muy propias de la forja renacentista, y, por otra parte, se asegura, hipotéticamente, de que el cajón, una vez hundido, no sufra desplazamientos; para ello, acopla a la parte inferior de la caja un abanico de pseudo-moharras que, una vez depositado el cajón en el fondo marino, ejercerían de hinca, estabilizando la construcción (Figura 81).

Con el paréntesis de Francesco di Giorgio o de Bonaccorso Ghiberti, 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*” (BUCARO e RASCAGLIA 2020:104) que se asemeja a uno de los modelos descritos por Vitruvio, con la salvedad del machihembrado mediante doble espiga y colas de milano para responder a una relativa estanqueidad y garantizar el ensamble en esquina, ya que esta última técnica se manifiesta como la unión más fuerte reconocida (Figura 82).

Girolamo Maggi, en el *libro terzo, cap. III* (MAGGI e 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



FIGURA 82. Codice Corazza (ca.1640), “metodo a cassone per vuotare un porto”, Napoli, Biblioteca Nazionale, Ms. XII.D.79 (tomado de BUCARO e RASCAGLIA 2020:104).

pedra, a modo de cajones convenientemente riostrados (MAGGI e CASTRIOTTO 1584:f.77); 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 (Figuras 83 y 84).

Es en este transvase de conocimientos, por medio de la traducción, cuando, como dijimos con antelación, Miguel de Urrea, “*architecto*,

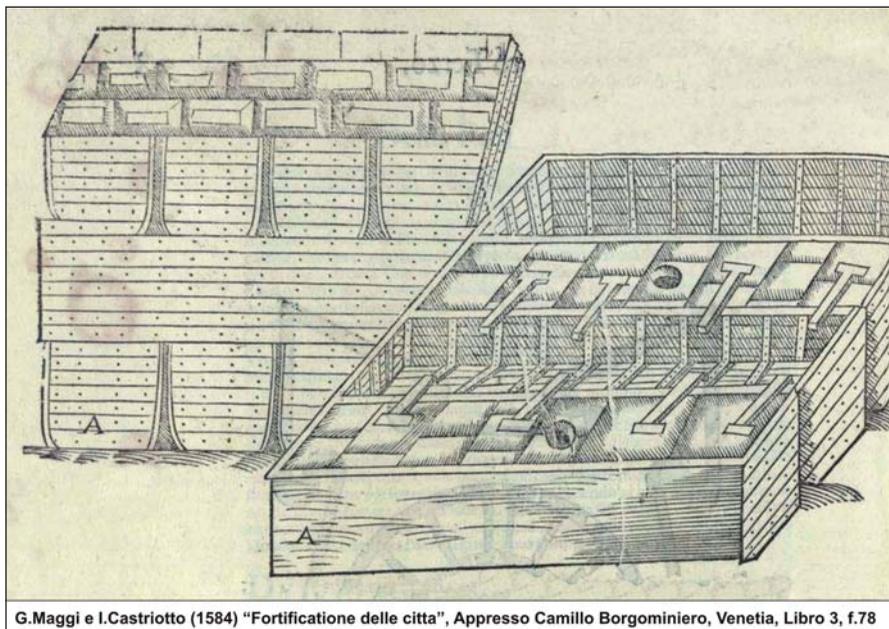


FIGURA 83. Detalle de los cajones de madera que, calafateados para evitar la entrada de agua y convenientemente unidos o solidarizados, se llevarían al lugar previsto para su hundimiento, “facendola calare a piombo” (en MAGGI e CASTRIOTTO 1584:Libro 3, f.78bis).

*natural de la villa de Fuentes, de la diocesis de Toledo”* (URREA 1582<sup>83</sup>) 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

83.- Agustín Bustamante establece con buen criterio, a partir de un análisis detallado de la publicación *post mortem* del autor, que la traducción vitruviana de 1582 “corresponde como mínimo a 1568, catorce años anterior a cuando salió en letra impresa” (BUSTAMANTE 1989:276).

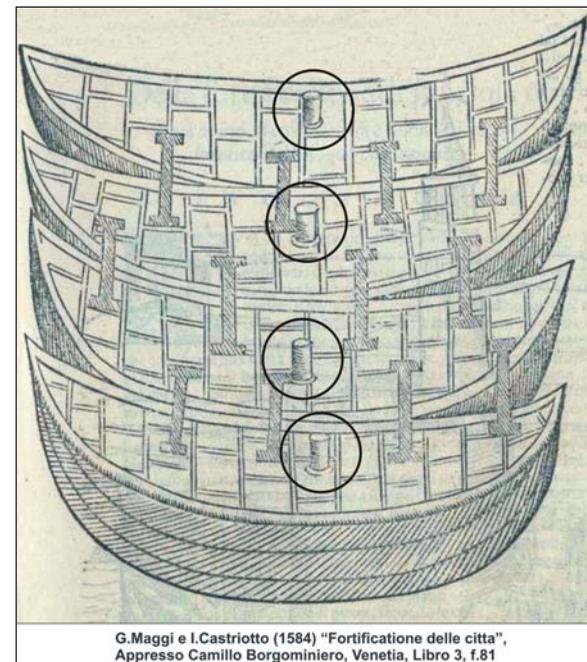


FIGURA 84. Esquema de barcas solidarias que, una vez hundidas, retirando el tronco/tapón (con círculos), servirán de cimentación a construcciones proyectadas en ambientes acuosos (en MAGGI e CASTRIOTTO 1584:Libro 3, f.81).

el hallazgo de Montecasino, conociesen en su lengua vernácula la “*excellencia y verdad con que (Vitruvio) trata esta materia, la importancia d’ella y la utilidad que se seguirá de que tengan tal maestro los buenos artífices que comiençan a florecer en España*” (URREA 1582:6).

Esta versión, sin embargo, llegará notablemente tarde (RAPOSO 2011:1167) y, como consecuencia, hasta finales del siglo XVI, el común de los interesados no podrán manejar el texto vitruviano en lengua española.

Desde otra perspectiva, no siempre comentada, la traducción, incluso después de las múltiples correcciones del editor Juan Gracián, intuitas ya en su momento por Ceán Bermudez y por Eugenio Llaguno y Amirola (RAPOSO 2011:1158), no resulta comprensible en algunos pasajes, apartándose de la esencia vitruviana<sup>84</sup>. Es más, la escenificación de las ideas resulta una reproducción exacta de los dibujos de Durantino que, a pesar de pequeños detalles, no llega a versión modificada.

En el caso del cajón flotante, cambia el fondo, la plasmación del oleaje, la orientación de la sujeción del cabo de la polea y la disposición de los palos de la sujeción de la garrucha, grafiando una ensambladura débil e inútil para las operaciones requeridas (Figura 85).

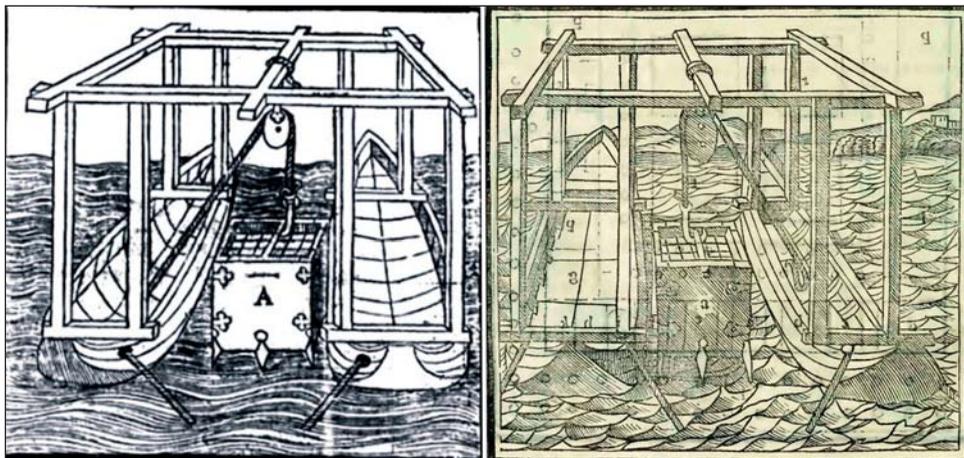


FIGURA 85. Izquierda, dibujo de Urrea (URREA 1582:75). Derecha, dibujo de Durantino (DURANTINO 1524:Libro Quinto, p.55bis). El parecido es apreciable.

84.- Sin embargo, hay que aceptar que en la adaptación de Urrea nos encontramos con un esfuerzo ímprobo por asociar la terminología greco-latina a su equivalente castellano.

Con dudas sobre la autoría<sup>85</sup> 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<sup>86</sup>, en

85.- Entendemos que el texto de Nicolás García Tapia aclara, de manera incontrovertible, que la condición de poseedor de *Los veintiún libros de los ingenios y de las máquinas* le corresponde a Pedro Juan de Lastanosa, aunque, según nuestra opinión, añadiendo incluso las similitudes entre algunos dibujos de *Los veintiún libros...* y *Los dos libros de Geometría Practica* de Fineo que tradujo Lastanosa, no es suficiente para declararlo como autor. El manuscrito fue falsamente atribuido a Juanelo Turriano y, en la actualidad, debido a las dudas, se le cita como Pseudo-Juanelo. Un análisis y discusión del asunto se puede ver en el texto de Nicolás García Tapia (GARCÍA TAPIA 1987:51-74).

No obstante, María Isabel Ostolaza Elizondo, en su pulcra disección arqueológica de la obra, no concluye sobre la autoría, ya que le faltan elementos “que permitan llegar al cierre de la cadena”, como el prototípico autógrafo del autor, planteándose, además, ya que la obra presenta distintas caligrafías y estilos de redacción, que sea fruto de “una recopilación de distintos tratados conocidos en un círculo restringido de maquinistas, arquitectos e ingenieros al servicio de las grandes potencias europeas, entre las que España ocupaba un lugar preferencial” (OSTOLAZA 1992/3:226).

Con ese bagaje, la autora citada, remata con una cronología doble o yuxtapuesta: “no parece aventurado afirmar que la copia y primera ordenación de *Los veintiún libros de los ingenios y de las máquinas* pudo ocurrir en el último tercio del s. XVI y primeros años del s. XVII. Mientras que la segunda ordenación de la obra se produjo en la primera mitad del s. XVII, momento en el que se introducen las portadillas que son de la misma mano que retoca la numeración de los libros, y a la que se debe la ordenación actual que rompe con la primitiva línea de elaboración y produce ese efecto de salto de manos de escritura, tan desconcertante” (OSTOLAZA 1992/3:258).

86.- No resultaría extraño que una de las fuentes de inspiración de *Los veintiún libros de los ingenios y las máquinas* fueran los textos y anotaciones que el avisgado Leoni trajo a España; sin embargo, el trabajo de García Tapia deja clara su similitud y asociación con el Códice Hammer -Codex Leicester- (GARCÍA TAPIA 1996:23) que el pintor Giusseppe Ghezzi vendió, a comienzos del siglo XVIII, a Thomas Coke, conde de Leicester, circunstancia que no invalida la posibilidad de que Pompeo Leoni fuera la correa de transmisión, con sueltos de la misma raigambre que los agrupados en el Codex Leicester.

Con independencia de la autoría y de las similitudes, lo significativo es que los textos están en castellano y dan fe de la tecnología y conocimientos técnicos españoles en el marco cronológico de los siglos XVI-XVII.

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 (Figura 86).

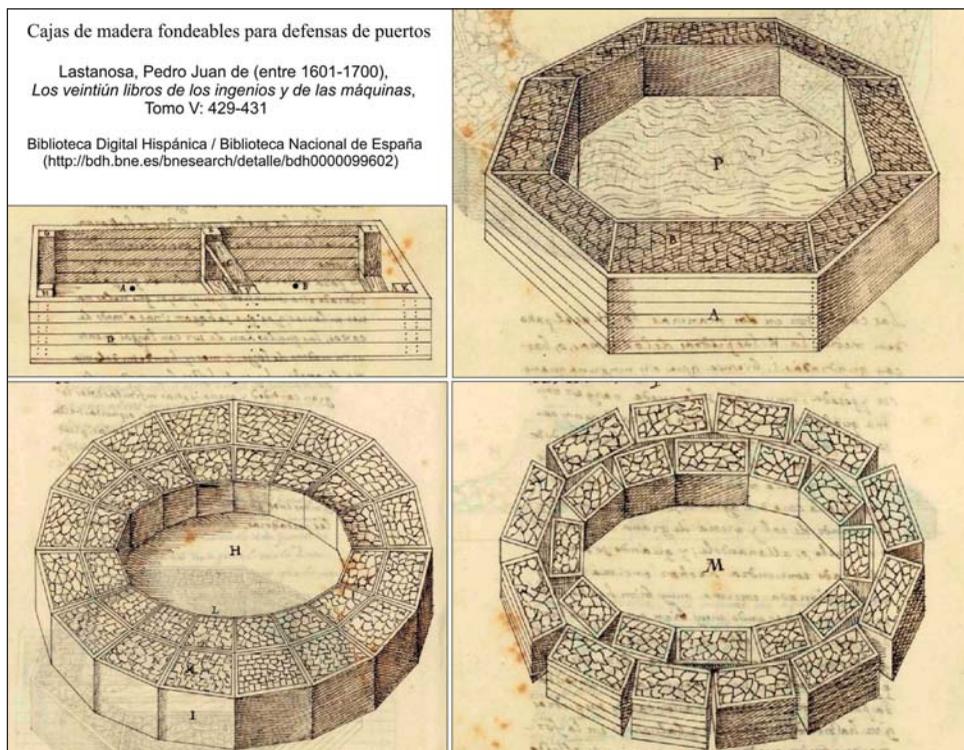


FIGURA 86. Esta composición, combinando cajones flotantes de distintos tamaños y geometrías, da una idea de la variedad de necesidades constructivas y de la versatilidad alcanzada en el manejo de las cajas de encofrado (tomado de LASTANOSA entre 1601-1700:Tomo V, 429-431).

Como dato significativo, imaginamos que en previsión de la descomposición estructural del cofre o armadura, el tratado, en aras

de una mayor estabilidad y compactación, sugiere, hasta controlar el momento crítico del hundimiento, el empleo de piedra pequeña aglutinada con cal y arena de grava; después, una vez establecido un buen cimiento, las paredes se levantarán de la manera que mejor cuadre.

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 hunden 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 (Figura 87).



FIGURA 87. Detalle de los contenedores/barcas cargados con la piedra necesaria para configurar una escollera/cimiento. Por otra parte, el dibujo incluye el gran taladro necesario en la preparación del hundimiento controlado de las barcas (tomado de LASTANOSA entre 1601-1700:Tomo V, 423).

Chriftoual de Rojas, en 1598, publica *Teoría y práctica de fortificación, conforme a las medidas y defensas destos 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.

En lo referente a las diferentes expresiones de cimentación en el agua, el beaciense describe, a modo de receta, *el fundamento de vna puente fobre arena en vn rio caudaloso de agua*, utilizando el término *caxa* para expresar, a nuestro juicio, un molde encofrador clavado<sup>87</sup>, un tablestacado, para fundar los pilares que, ante las pérdidas que pudiera sufrir una presa de derivación que recomienda construir, también ejercería de ataguía: “*Hazerfeha lo primero vna caxa rodeada de eftacas efpeffas de vn pie de una aotra, algo mas ancha y larga, que el tamaño del pilar, y por dedetro deftas eftacas, eftado ya bien hincadas fuertemente, fe aforraran de tablas bien calafeteadas: y fi el agua eftorbare para hazer efto, fe atajara con una preffa por la parte de arriba, echando el agua del dicho rio por otra parte...*” (DE ROJAS 1598:f.94). Es más, después de limpiar el fondo, en el caso de no encontrar un substrato adecuado para cimentar, recomienda insertar otra caja de menores dimensiones, provista de topes metálicos<sup>88</sup>, capaces de recibir la potencia de una máquina de hinca (DE ROJAS 1598:f.94).

El baezano es claro en sus apreciaciones, en ningún pasaje, excepto para la fundación de puentes, refiere la utilización de cajas; empero, no terminando de garantizar o confiar en el sistema, concluye apuntando

---

87.- En definitiva, estamos hablando de un encofrado estanco, armado o levantado *in situ*, para agotamiento de agua y ejecución en seco.

88.- Se trata de un encofrado telescópico que busca transmitir la carga de la estructura a niveles o estratos con una mayor capacidad portante.

que: “*Y no pudiendofe llegar al firme, por eftar muy profundo, y por fer el rio muy grande, en tal cafo quaxetodo el fuelo del pilar con buenas estacas efpeffas, conforme fe de claro en el capitulo paffado fobre el fundamento de los valuartes fobre agua, ò pantano* (DE ROJAS 1598:f.95).

Enunciado lo anterior, a pesar de la utilización del término *caxa*, entendemos que no está definiendo *stricto sensu* alguna de las variantes aquí buscadas, y menos se puede utilizar como referencia para definir “*el sistema de cajones flotantes, conocido en el ámbito castellano*” como lo hacen Galindo y Fontás (GALINDO y FONTÁS 2019:460).

En 1599<sup>89</sup>, Diego Gonçalez de Medina Barba publica, en clave de diálogo<sup>90</sup> entre un ingeniero<sup>91</sup> de obras y un príncipe, su *Examen de Fortificación*. El burgalés, 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 los pasajes tocantes a las cimentaciones en ambientes acuosos, el ingeniero nos deja el siguiente diálogo:

---

89.- Es conocido que el tratado ya estaba confeccionado en la primavera de 1598, momento en el que Felipe II testimoniaba distintos episodios de enfermedades que anunciaban su final; sin embargo, tal vez debido a lo que hoy llamaríamos una estrategia editorial, no se publicó hasta 1599, con un nuevo monarca: Felipe III.

90.- Género literario clásico, recuperado y revitalizado durante el Renacimiento, siendo un recurso muy utilizado por los erasmistas. En España, tal vez, Vives y Mexía pudieron ser referentes de esta pauta para sus contemporáneos.

91.- En la milicia es el que sirve en la disposición, traza y manejo de las máquinas de guerra y en las obras de fortificación (*Machinarum bellicarum militaris opifex, director*).

-Príncipe- “Maestro, muchas dificultades fe me ofrecen que os y re preguntando, pero la que aora mas en particular querria fabe, es, como fortificariades dentro y na laguna honda, o metido en la mar, adonde huuiette de veynte a treynta pies de agua. Y como echariades los fundamentos, hafta facarlos a encima del agua, porque fe me haze dificultoso?”.

-Maestro- “Señor, mucha razon teneys, que echar los fundamentos de vn fuerte debaxo del agua difcil es, pero bien fe haze, y aun de diferentes maneras: porque vnos lo han hecho con vigas de mas de pie de diametro, hechas eftacas dellas, puntiagudas, para hincarlas en el fuelo, con un gran maço de hierro, dando fobre vn infrumento de metal, que fe le ha de ponera la cabeça dela estaca, encima, porque no fe hienda, y entre entera, como mostrara B. de feys pies de largo, hueco, y clavadas vnas con otras, entre ellas, inchirlo de carbon y tierra, y hazete el fundamento bien fuerte. En Benecia fe hazen dos paliçadas, y con ellas ciñen el fitio, y entre medias lo terraplena de lodo, que no le paffa el agua. Pero ha fe de mirar mucho de que madera fe firuen para ello: porque fi es agua dulce, fera buena de roble, encina, y castaño, porque efto no puede feruir en agua falada, que (fegun dize Plinio) fe carcomen y podrezan. Para en agua falada, fon buenos de pino, alamo negro, olibo y nogal. Los vunos y los otros, para ponerfe, fe han de toftar, porque fe endurezen, fuftentan, y no corrompen el agua. Otros quieren, que fe hagan con barcas, que tomen todo el circuito, pegadas, y que cargadas de piedras, dadas barrenos en medio, y tapados co fus tarugos, a vna fe defatapan, y fe vayan en fondo por igual, que vnas ayudaran a otras. Y efto hecho, fe haga otra orde dellas de la mefma manera, que vayan a frentarfe fobre las otras, hafta falir con ellas fuera del agua. Pero de la manera que yo antes me valdria, y me pareceria, que era con mas seguridad, no fiendo mas el hondo de lo que fe ha dicho, feria, haziendo una caxa algo mas ancha que lo que la muralla huuiere de

fer, y mas alta que el agua, y larga lo que fe quifiere, como fe pueda manejar, abierta por abajo y por arriba, y calafeteada muy bien, que no pueda entrar agua, haziendola caer a plomo, en dode huuiere de fer los fundamentos, y golpearla de manera que fe hincue bien en el lodo, o arena, y fe facara el agua que dentro de la caxa eftuuiere, y fe fabricara la muralla con las mayores piedras que pudieren, juftas, labradas en quadro, porque fi la calcina no ligaffe tambien, como fe pretende, por la humedad, ellas folas baften a fuftentarse, aduirtirndofe de dexar efpacio a los lados, para poder facar la caxa, que no fe facara hafta paffados qinze dias, ò veynte, que pueda ayer hecho prefa la calcina, que ha de fer la que mas prefto trabe de todas, y que no fea la arena de rio, fino de oya. Hecha efta muralla, fe haran las otras, pegadas vna a otra, hafta tener cercado el diftrito que fe quiere fortificar. Y primero que del todo fe cierre, fe trayra con barcas tierra y piedra, de manera que lo venga a hinchir todo hafta el nivel del agua. Y porque efta muralla eftara algo deftrabada, por lo que ocupa el gueffo de la caxa que entra entre medias de los pedazos de la muralla, fe juntaran por encima del agua, con vna piedra que tome bien entrambos lados, que pues queda terraplenado en medio, no le es de daño para ninguna cofa, quedar defuñida” (GONÇALEZ DE MEDINA BARBA 1599:fols.140-143).

Gonçalez de Medina Barba prescinde del acompañamiento gráfico, ya que entiende que la calidad de la descripción hace inútiles las representaciones; sin embargo, en su exposición no queda claro el sistema de hundimiento de los cajones, ni la manera de recuperarlos una vez hayan cumplido su función, que en este caso es más bien de ataguía temporal que de armazón encofrador.

Por ello, resulta evidente su desconfianza sobre el poder conglomerante, bajo condiciones acuosas, de las cales del momento; asimismo,

recomienda la utilización de arenas de oya<sup>92</sup> en detrimento de las de río<sup>93</sup>.

En lo referente a su fuente de inspiración, González de Medina Barba utiliza sus amplios conocimientos teóricos, combinándolos con una nada desdeñable experiencia en el campo de la fortificación, aunque la esencia de Cristóbal de Rojas está presente y el conocimiento, directo o indirecto, de los textos plinianos y vitruvianos es palpable; también, a nuestro juicio, se deja ver en el pasaje de la fundación con barcas cargadas de piedras una cognición del texto de los *Los veintiún libros de los ingenios y de las máquinas*.

En 1673<sup>94</sup>, Claude Perrault publica *Les dix livres d'architecture de Vitruve, corrigez et traduits nouvellement en François, avec des notes et des figures*, 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; aunque, en el fondo, Perrault intenta crear un modelo alternativo al romano: el clasicista (AMORÓS HERNÁNDEZ 1996:709).

---

92.- La arena de oya u hoyo, también conocida como de fosa, mina o cava, es la arena que se saca de algún hoyo hecho en la tierra o cantera.

93.- Desconocemos el origen de esta precaución y los motivos que llevaron a distintos tratadistas a plasmar esta recomendación; tal vez nos encontremos ante una confusión de propiedades con la arena de mar y, por extensión, todas las arenas no extraídas resultan nocivas en la construcción.

Las arenas de río no suponen un factor de riesgo en la calidad de los morteros; es más, estas arenas, ya lavadas, sin impurezas, y ciertamente redondeadas por el transporte, favorecen el proceso de compactación.

94.- Introducimos a Perrault en este contexto y con esta cronología, la de su publicación primigenia, aunque desconocemos la trascendencia que, hasta su traducción al castellano por Castañeda en 1761, tuvo en el desarrollo de la ingeniería hispana, por ejemplo.

Fernández de Medrano<sup>95</sup> -1700-, en el Libro Tercero de su *Architecto Perfecto en el Arte Militar*<sup>96</sup>, después de certificar que cimentar en ecosistemas acuáticos resulta una tarea complicada y dificultosa: “*Esta materia de fabricar en las aguas ò contra ellas es la mas ardua que puede emprender el mas experto Ingeniero de Campaña, el qual podrá bien defignar las defensas y reparos fegun el Orden de la Architectura Militar, pero el manejo y practica de la fabrica requiere perfona que lo haya ejercitado, y en particular en puertos de mar...*” (FERNÁNDEZ DE MEDRANO 1735:221-222), vierte un sinnúmero de recetas y recursos, propios de un ingeniero experimentado.

---

95.- En realidad, su apellido original era Fernández de Mora; asumiendo el de Medrano, tal vez, después de una adopción al quedar huérfano tempranamente.

96.- El General de Batalla Don Sebastián Fernández de Medrano, Director de la Academia Real y Militar del Ejército de los Países Bajos, publicó en Bruselas una gran variedad de libros de texto destinados a los alumnos de la Institución. En Flandes, el recurso endémico de utilizar ingenieros foráneos -flamencos e italianos esencialmente- en labores de fortificación, obligó a las autoridades a potenciar una Institución capaz de formar ingenieros militares españoles; siendo en este marco en el que Fernández de Medrano sentó cátedra por medio de sus clases y textos.

Desde la publicación de los *Rudimentos geométricos y militares que propone al estudio y la aplicación de los Profesores de la Milicia (...)* en 1677, pasando por *El Ingeniero Práctico* en 1696, hasta la primera edición de *El Arquitecto Perfecto* en 1700, el toletense fue perfeccionando el discurso e incorporándolo paulatinamente a las distintas ediciones que fueron publicadas de sus textos académicos. En este caso, nosotros manejamos una edición de 1735, *que faca à luz debaxo de la proteccion del Exmo. Señor Duque de Medina Celi*, curiosamente, editada en Amberes por la Viuda de Henrico Verdussen.

Fernández de Medrano, como dato a tener en cuenta en las descripciones que hagamos posteriormente, consiguió que su prestigio fuera *in crescendo*, siendo ese aumento progresivo determinante en el acrecentamiento de la reputación de la “escuela española” y, por ende, en la necesidad de crear un Cuerpo de Ingenieros específico dentro del ejército español (Real Decreto de Felipe V en 1711), tarea que recayó en uno de sus alumnos aventajados: Jorge Próspero de Verboom.

“Si à la Orilla del Mar dentro del agua fe quifiere fabricar”, el toledano recomienda una cimentación mixta en función de las profundidades y de la capacidad portante del substrato.

En primer lugar, en un ámbito de aguas poco profundas, confía en “unos caxones abiertos por arriba y por abaxo, de fuertes tablas unidas, y embreadas por fus junturas, tan altos que fobrefalzan fobre el agua, y tan ancho como ha de fer el cimientto, y mas la capacidad para trabajar gente. Su largueza ferà de la grandeza que fe quifiere ocupar, y metido en el agua fe procurará afirmararlo bien en tierra, cargandolo por arriba; y facando defpues el agua con palas, y à fechas, fe haze el fundamento de pilotage o de piedra, fegun fuere el terreno, tambien fe puede aplicar para fabricar un dique o una cabeça” (FERNÁNDEZ DE MEDRANO 1735:223). Aquí combina la fórmula de ataguía y cajón/molde para encofrar; además si la capacidad portante del suelo no fuera la adecuada, el cajón estanco sirve para trabajar con una hinca y pilotar el suelo.

En segundo lugar, en el ámbito de aguas profundas, “fe huviere de fervir de los Cajones dichos arriba, fe çerraran por abaxo, y fe haràn por todos fus quatro lados agujeros en la parte alta y baxa, y ancorados por todo el defignio, fe travará un Cajon con otro con unas piedras redondas que los unas juftamente por fus agujeros; quedando parte de piedra en uno, y otro Cajon (o bien con barras de hierro) y luego fe irá fabricando de argamasa dentro de los Cajones y con el pefo vendrán al cabo à yrfe à fondo. Y fobre el dicho defignio, fe pondrà otro, que fabricado tambien fe hunda juftamente fobre el primero: con tal, que cada Cajon del primer defignio venga à caer en medio de las junturas de los primeros, y affi hafta ganar el agua, fobre que fe continuará la fabrica” (FERNÁNDEZ DE MEDRANO 1735:223-224). En este apartado, específico sobre cajones flotantes, Fernández de Medrano muestra un conocimiento significativo sobre hidráulica y técnicas de fondeo y hundimiento de los cajones,

solidariza los módulos con pasantes, que quedarán integrados en la masa monolítica de la obra, y ensambla el crecimiento vertical del espigón, rompeolas o cimientto de una fortificación, mediante una disposición o combinación superpuesta de cajones montados a sogá.

Asimismo, en *la fabrica de los Diques contra el agua*, cuando sean imposibles los trabajos de cimentación al uso, sugiere el empleo de *barcas de piedra, grandes, bien ancoradas por todo el designio* (FERNÁNDEZ DE MEDRANO 1735:227). Con esta técnica, variante de los cajones flotantes, juega con los empujes de la carga, sujetando las barcas con *cables*<sup>97</sup>, para, en un momento determinado, controlando las fuerzas laterales debidas a la presión hidrostática, soltar y corregir el *cuerpo muerto*.

También, al margen del concepto de cajón flotante<sup>98</sup>, Fernández de Medrano en su variante descriptiva, juega con el término *caxón* como una unidad estructural que, combinadas varias, definen *coffres*; siendo estos cofres “unos reparos que en las playas fe hazen contra el mar”; en suma, nos está definiendo una escollera protectora.

Empero, la exposición prosigue fijando las características de los referidos cajones: “fon unos Caxones hechos de pilotes que tienen los dichos Caxones de ocho à dies pies de ancho, de largo, y de alto, fiendo cada pilote por fu Caveza de un pie de grueffo y diftante uno de otro lo mifmo, y largos, à proporçion de la calidad del terreno (...)” (FERNÁNDEZ DE MEDRANO 1735:228). Aventurándonos con el

---

97.- En este caso y en esta época, debe de entenderse cable como maroma muy gruesa.

98.- Engastamos en el texto estos ejemplos, no por su relación estricta con la cuestión que estamos tratando, sino por el diseño de una suerte de cajones que Fernández de Medrano explica como argumento constructivo en obras de igual raigambre.

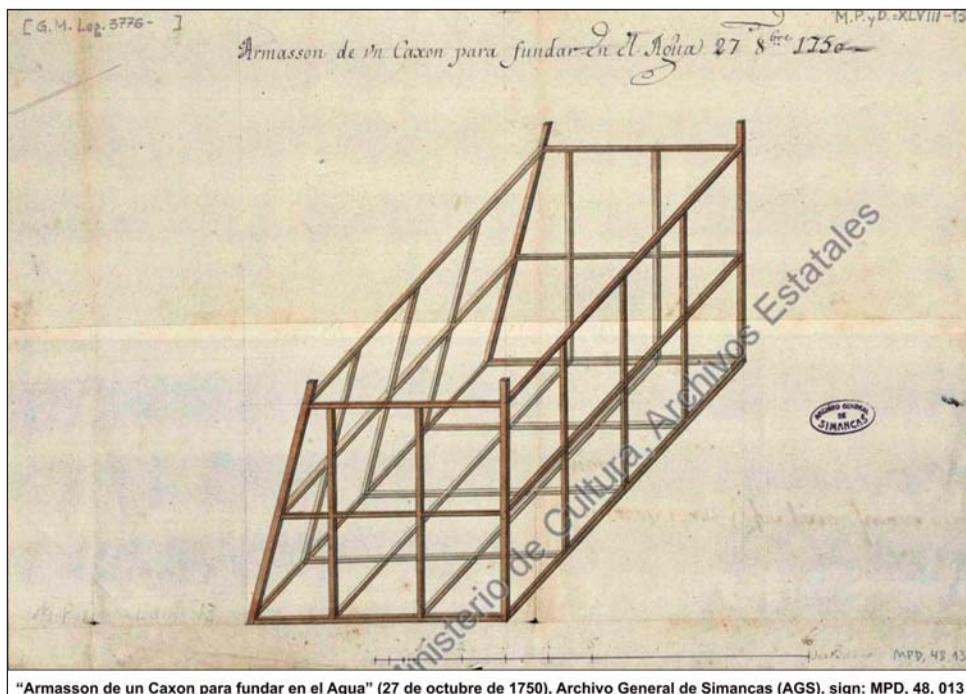


FIGURA 88. Este armazón, del que desconocemos su autoría, permite cimentar en agua y, a la vez, como unidad de obra, anuncia la versatilidad de los gaviones; años más tarde, entre 1879-1893, esta técnica, traspasada a los diseños con ferralla, se universalizará a partir del encauzamiento del río Reno en Casalecchio di Reno (Italia) (Archivo General de Simancas -AGS-, sign: MPD, 48, 013).

pie de Burgos, percibimos un cajón en esqueleto, trabajado con vigas o palos de entre 2,25 m y 2,80 m de largo, con grosores de 28 cm, aproximadamente. Esta unidad de obra o de construcción, combinada de distintas maneras, acortada, agrandada o achatada para obtener el *declivio* necesario, se incardinaria en unos pilotes, previamente clavados, que evitarían movimientos indeseados. En un principio, ante la desconfianza de las propiedades aglutinantes de la cal en contacto directo con el agua, Fernández de Medrano aboga por la utilización

de un *opus quadratum*, a hueso, hasta que la *argamasa en la piedra* permitiese una obra más dura; recomendado, a su vez, la unión lateral de las cajas mediante *llantas*<sup>99</sup> de hierro y plomo (FERNÁNDEZ DE MEDRANO 1735:229).

Aun cuando nos falta la expresión gráfica de estas descripciones, ya que el autor no las creyó necesarias, disponemos de la imagen del *Armazon de un Caxon para fundar en el Agua*, fechada en 1750, presente en el *corpus* de la exposición *Puertos y fortificaciones en América y Filipinas* (1985), que, con independencia de su utilización, concuerda con la unidad de obra, acotada mediante un esqueleto, que Fernández de Medrano describe (Figura 88).

Insoslayablemente, estas descripciones suponen una adaptación, creemos que mejorada, del guión establecido por Samuel Marolois<sup>100</sup> en 1615 (MAROLOIS 1651:libro segundo:19, plancha 26), presente también en el compendio o atlas de soluciones del jesuita Georges Fournier<sup>101</sup> en 1648 (FOURNIER 1654:figura 95), donde no existen cajones, ni portantes ni como unidad de obra, sino un entramado/guía de madera, convenientemente arriostrado con tirantes, en el que se incrustan gaviones<sup>102</sup> trenzados como receptáculos del relleno (Figura 89).

99.- Debemos entender llanta como abrazadera pesada.  
 100.- Nosotros manejamos una edición de 1651, corregida y aumentada por Albert Girad.  
 101.- Fournier o Furnerius, como también se le conoce, publicó la primera edición de este texto en 1648, de la mano de Jean Hénault; aquí utilizamos un edición de 1654.  
 102.- Los gaviones pueden adaptarse a los requerimientos específicos de cada obra y su carga no necesita una mano de obra especializada, al contrario de lo que ocurre si se opera con técnicas derivadas de la monea.

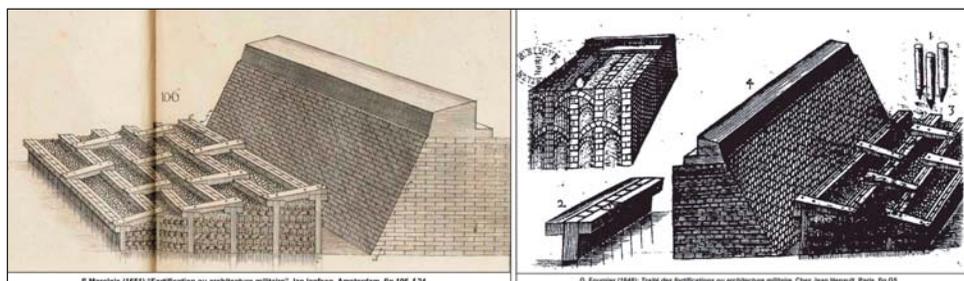


FIGURA 89. Grafías de Marolois y Fournier que sirvieron de argumento a varios tratados e innumerables soluciones constructivas a lo largo de los siglos XVII y XVIII (MAROLOIS 1651:fig.106, f.24 y FOURNIER 1648:fig.G5).

Al mismo tiempo, intuimos que, en este caso, Fernández de Medrano aún los conceptos esgrimidos de Marolois con muchas soluciones menores, y algunos recursos técnicos, propios de la *Architectura Militaris*... de Adam Fritach<sup>103</sup>, publicada en 1631 (FRITACH 1640), o, de lo contrario, beben de las mismas fuentes.

Con independencia de las razones que esgrimamos en contra, la historia siempre resulta tozuda; a lo largo del XVIII, los ingenieros fortificadores, en los espacios con más fuerza expresiva, nos siguen remitiendo en sentido restringido a Marolois; tal es el caso de Cartagena de Indias -1721- (GALINDO 2004:8-29; GALINDO y FONTÁS 2019:459-468) o el de la controvertida muralla del Vendaval de Cádiz -1793- (MUÑOZ PÉREZ y TEJEDOR 2007:689- 698; MUÑOZ PÉREZ *et alii* 2009:41-52; SÁNCHEZ CARRIÓN 2015:303-309), expuesta al Levante, por significativas (Figuras 90 y 91).

103.- Fritach o Freitag fue un ingeniero militar polaco que en 1631, después de imbuirse de conocimientos en los Países Bajos, publicó un tratado que, con el paso del tiempo, se convirtió en un clásico. Aquí, nosotros manejamos una edición de 1640.

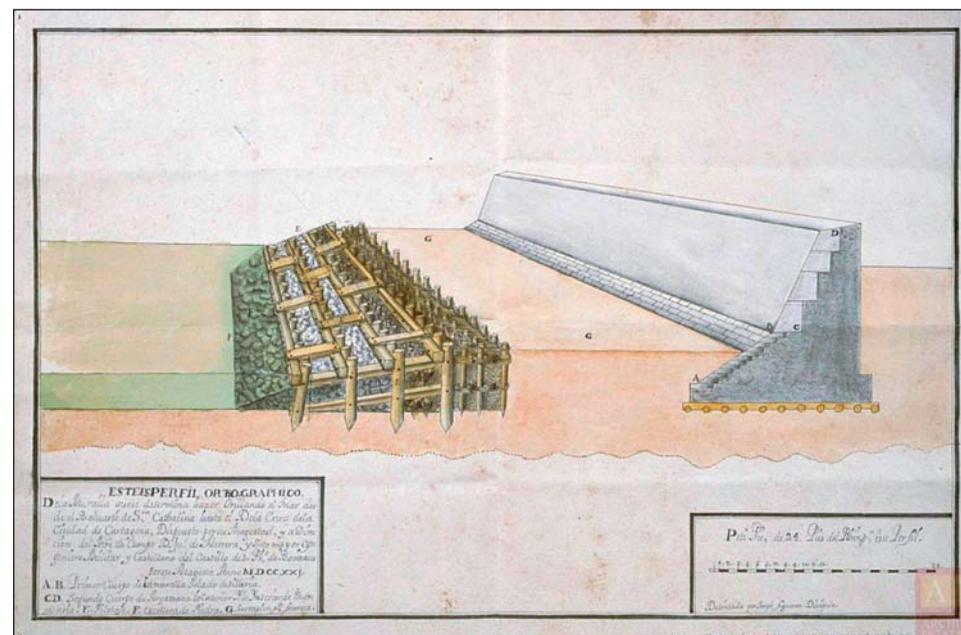


FIGURA 90. Cartagena de Indias, Perfil de la muralla que se quiere hacer orillando el mar entre los baluartes de Santa Catalina y Santa Cruz, proyectado por el maestro de campo Juan de Herrera y Sotomayor, castellano de San Felipe de Barajas. Delineado por Joseph Figueroa en 1721 (AGI, en BELL: 2017:110).

Años después de la creación del Cuerpo de Ingenieros, Próspero de Verboom, bajo la dirección de Mateo Calabro, logra inaugurar la Academia Militar de Matemáticas de Barcelona (1720), centro en el que se formarán, a partir de entonces, una gran parte de los mejores ingenieros militares españoles.

En este marco, propio también de las potencias europeas del XVIII, las estrategias y los libros de texto, de una u otra Academia<sup>104</sup>, eran

104.- Junto a la de Barcelona podemos citar, por ejemplo, las de Wollwich y Mézières.

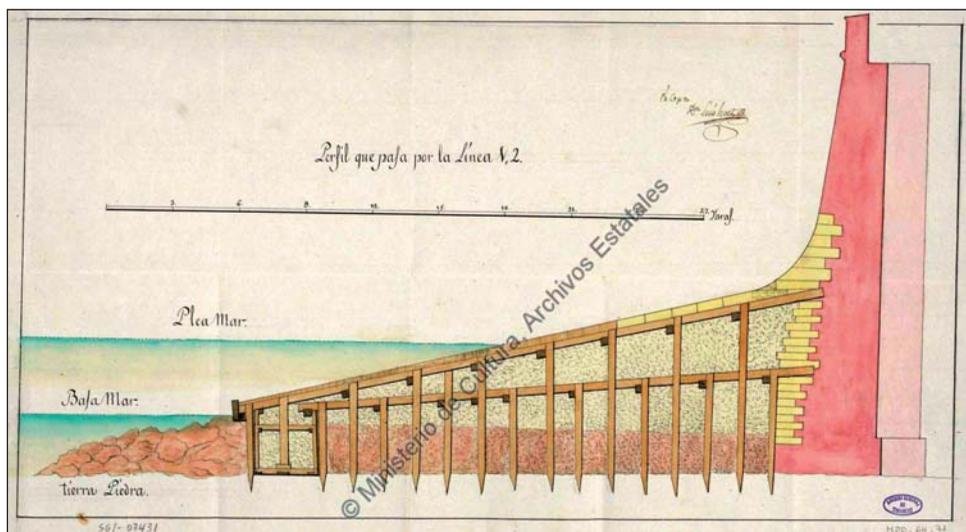


FIGURA 91. Plano del 22 de agosto de 1788 del perfil de la muralla proyectada al sur de Cádiz (Archivo General de Simancas -AGS-, sign: MPD, 64, 071).

estudiadas y traducidos por todos; siendo las obras de Sébastien Le Preste (Marqués de Vauban) y Bernat Forest de Belidor las más difundidas<sup>105</sup>, y en menor medida las de John Muller. Asimismo, todos estos tratados matemáticos o de fortificación, convertidos en manuales para el estudio, coadyuvaron, como normas o recetarios, en el ejercicio profesional de los ingenieros de academia.

Belidor, probablemente, fue el autor no sabemos si con más prestigio pero sí el más traducido de la nómina de los profesores, ensayistas y recopiladores del siglo XVIII; su obra *La Science des Ingénieurs* se

105.- La traducción de *La Science des Ingénieurs*, incluidas algunas planchas de cobre con láminas, efectuada por el ingeniero militar Juan Vergel, parece que se perdió a la muerte de éste (CAPEL 2005:249).

convirtió en un texto consolidado, con una vigencia de más de cien años -la primera edición es de 1729 y la última de las cinco siguientes está fechada en 1830-.

El autor franco-catalán debería ser recordado por la aplicación de conceptos higienistas, antes del higienismo *stricto sensu* de Johann Peter Frank con su *De popolorum miseria: morborum genetrice*<sup>106</sup>, en la concepción de ciudades habitables; sin embargo, en el marco de las cimentaciones en lugares donde es imposible establecer fundamentos en seco, recurre al capítulo 12 del libro quinto de Vitruvio y certifica la utilización de cajones flotantes estancos, con una altura equiparable a la profundidad del agua, que se hundan por el peso de la carga; es más, cuando las profundidades sean considerables, para evitar la entrada de agua, propone ir suplementando cuerpos o secciones de cajones, hasta que el hundimiento sea efectivo (BELIDOR 1729:Livre III, 62-64) (Figura 92).

Retomando a Perrault, Joseph Castañeda, Teniente Director de Arquitectura de la Real Academia de San Fernando, traduce<sup>107</sup> y publica, en 1761, el *Compendio de los Diez Libros de Arquitectura de Vitruvio*<sup>108</sup>, escrito en francés por Claudio Perrault, de la Real Academia de las Ciencias de París (CASTAÑEDA 1761).

106.- La miseria del pueblo: madre de las enfermedades.

107.- Aunque se especifica que se trata de una traducción del francés, el propio Castañeda reconoce que la versión italiana de esta misma obra, impresa en Venecia en 1747, es determinante en la elaboración del documento, ya que, como señala el propio autor, “me hubiera visto muy embarazado en mi traducción sin el auxilio de la italiana”.

108.- Esta versión abreviada resultó fundamental para la difusión del tratado vitruviano, influyendo, a través de las academias, en las teorías arquitectónicas de los años posteriores; sin ir más allá, en España, este texto sirvió de manual para los alumnos de arquitectura de la Real Academia de San Fernando de Madrid.

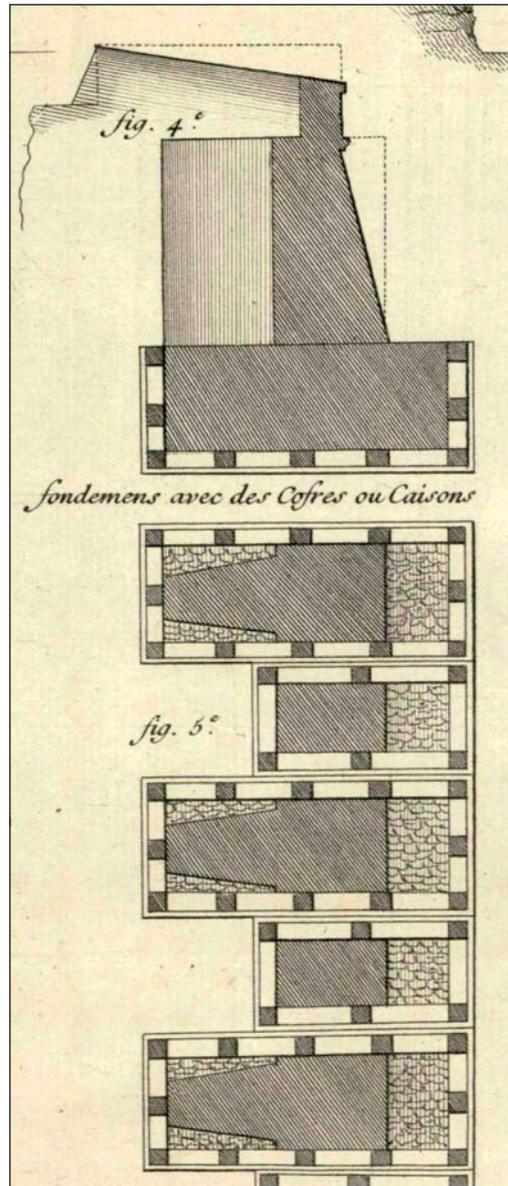


FIGURA 92. Dibujo de Belidor con el fundamento de construcciones en medio acuático utilizando cajones flotantes (BELIDOR 1729: Livre III, 64, pl.8, figs.4 y 5).

Sin tomar en cuenta los intereses de Castañeda en la versión del texto de Perrault, claramente marcados por revertir la preeminencia del barroco hispano del momento (AMORÓS HERNÁNDEZ 1996:711-714), el original y, por añadidura, la traducción, teniendo en cuenta el método y la claridad de Perrault, ordenan el texto vitruviano, aunque Castañeda no incorpora en el capítulo de los puertos los dibujos del original de Perrault<sup>109</sup>, ya que la traducción tiene un marcado interés y objetivo arquitectónico.

En el apartado de puertos artificiales se especifican tres formas de construir (Figura 93): “El uno formando Cajones de madera, y sin facarles el agua llenarlos de Piedra y Mezcla hecha con Puzolana, todo rebuelto; lo qual hacía salir el agua contenida en los cajones; y tenían la seguridad de que la Mezcla se endurecía dentro del agua.

El otro modo era haciendo Cajones de tierra grasa<sup>110</sup>, y después de haber vaciado el agua con bombas, fabricar en el fondo.

Y el tercero consistía en construir un Muelle á la orilla del Mar, y echarle en el despues de bastante seco, que regularmente ya lo estaba al fin de dos meses. Para poderle echar al agua le construían mitad en la orilla, y mitad en un monton de arena con paredones; y derribandolos despues de haberse secado el Muelle, el mar arrastraba á sí la arena y le dexaba caer” (CASTAÑEDA 1761:111).

109.- Como otros, Perrault no se muestra nada original ya que bebe o se inspira en Durantino.

110.- Independientemente de otras precisiones, propias de la filosofía, en el siglo XVIII todas las referencias al sintagma “tierra grasa” nos remiten a la arcilla, a terrenos arcillosos; por tanto, en este caso, debe de entenderse: un cajón paloteado de arcilla en su interior con el fin de hacerlo estanco para, una vez bombeada el agua después de hundirlo, poder trabajar en su interior.

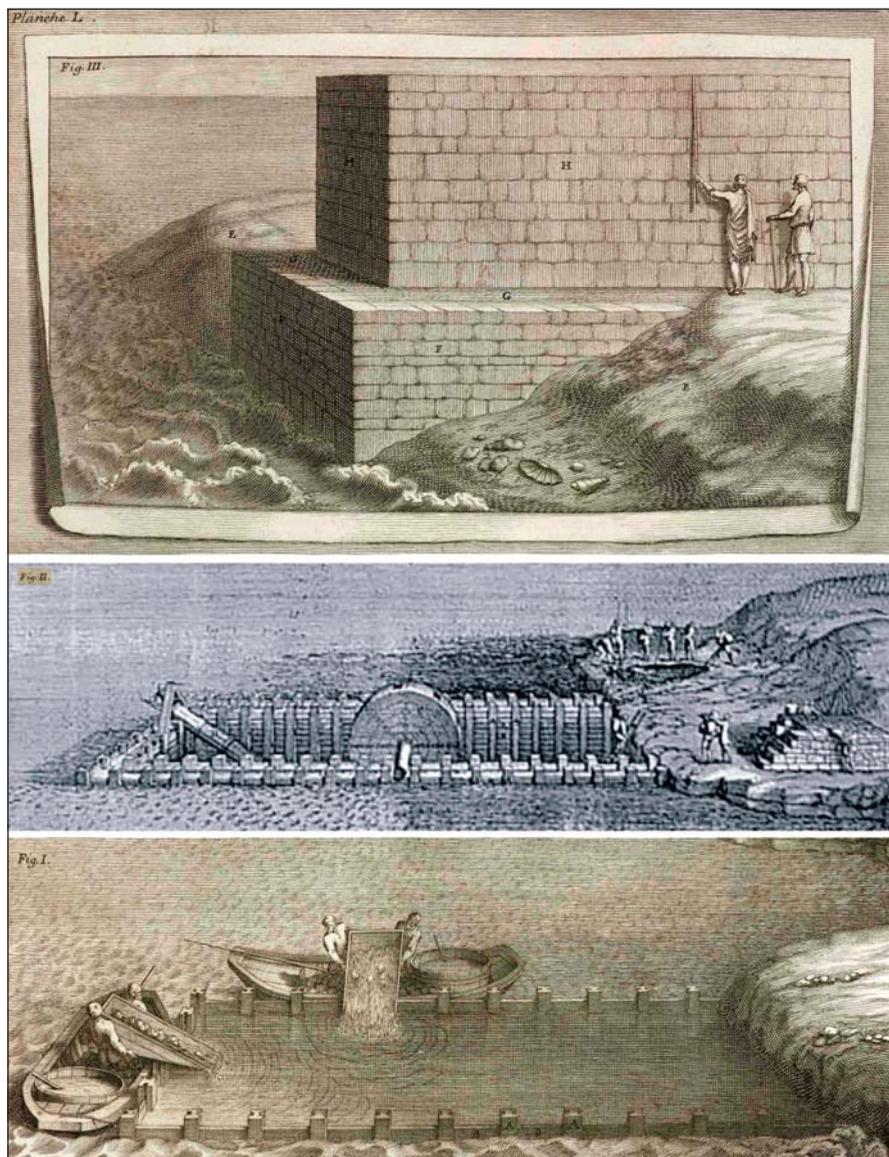


FIGURA 93. Interpretación de Perrault de las tres formas vitruvianas de construir puentes (PERRAULT 1673: Livre V, planche L, 187. Imagen tomada de [www.gettyimages.es](http://www.gettyimages.es)).

John Muller, profesor de artillería y fortificación en Woolwich, publica en 1755 *Elements of Mathematics. For the use of the Royal Academy of Artillery at Wollwich*, donde analiza y pone al día los criterios de otros autores<sup>111</sup>, que será traducido en 1769 por el capitán de infantería D. Miguel Sánchez Taramas, profesor de *Real Academia Militar de Mathematicas, establecida en Barcelona*, con el título *Tratado de Fortificación ó Arte de conftruir los Edificios Militares, y Civiles*, pasando a formar parte de la bibliografía utilizada en la formación de los ingenieros españoles<sup>112</sup>.

Muller/Taramas, cuando definen el método para fundar en el agua con cajones, justifican su utilización en aguas con profundidades superiores a los “ocho ú mas pies” (2,224 m) debido a la inseguridad y al riesgo que generaba la fórmula de las ataguías tradicionales.

Utilizando como recurso las soluciones empleadas por Labeley en la cimentación del puente de *Westminster*, explica el empleo de los cajones de la siguiente manera: Una vez diseñado el cajón con la línea exterior deseada, abierto por arriba y enrejado por abajo, se traslada hasta su lugar de hundimiento. Ya en posición, convenientemente amarrado en unos puntales que se colocaban ex profeso, se procede a acomodar las primeras hiladas del cimiento, para acto seguido abrir una pequeña compuerta que permite entrar el agua en el cajón y sumergirlo en el lugar deseado; bombeada el agua, el cajón se convierte en un compartimiento estanco desde el que se puede continuar la cimentación (MULLER 1764:256-257 y SÁNCHEZ TARAMAS 1769:t. II, 40-41, 48).

111.- Nosotros manejamos una edición de 1764, como un tratado de fortificación en cuatro partes.

112.- Sánchez Taramas clarificó el texto con notas y ejemplos ilustradores tomados del ámbito geográfico catalán.

A la par que se incluyen nuevas propuestas, Belidor siempre está presente como contrapunto: “*Mr. Belidor, propone un metodo para conftruír los Muros en los cafos de que hablamos, y afegura que le han practicado algunos Ingenieros Francefes, con mucha utilidad en diverfas Obras: Confifte en disponer un Caxon de madera, fin fondo, (...): Efte Caxon le colocan á plomo en el parage donde fe ha de empezar la Obra, y le llenan de una efdecie de Hormigon, compuefto de buen mortero, mezclado con cascajo, y piedras menudas que no excedan de la magnitud de una nuez poco mas, ó menos: Depues fe dexa repofar hafta que la Obra tome cuerpo, y confiftencia; y luego defarman el caxon para que firva en otra parte. (...) la fuperficie fuperior de efta argamafa, debe quedar llana y de nivel, para que la continuacion de la Obra haga fu afiento por igual, y que quando efté bien enxuta fe unirá á la Roca con mas firmeza, que cualquier otro genero de labor; por que con el tiempo adquiere la propia tenacidad, y dureza que la mifma Piedra; como fe manifiesta, y lo acreditan varios Edificios, y Murallas antiguas de los Romanos*” (SÁNCHEZ TARAMAS 1769:t. I, 271-272).

Resulta también interesante la cita tomada de Belidor que certifica que en época moderna fue Mr. Melet de Montville<sup>113</sup> quien primero experimentó con un cajón flotable hundido con hormigón<sup>114</sup>: “(...) *introduxo en la Mar un Caxon, que contenia 27 pies cubicos de mampostería formada con efte betun, ó argamafa; y que habiendola facado del agua al cabo de dos mefes, la encontró tan confolidada y endurecida como la mifma Piedra. (...) no fe puede dudar que en todos los parages donde fe pueda hacer la mezcla de betun, el metodo de conftruir con ella es mas ventajofa que qualquiera otro de los*

---

113.- Belidor se refiere a él como “*Ingénieur de grande réputation en chef à Toulon*” (BELIDOR 1753:161).

114.- Ver (BELIDOR 1753:188).

*hafta ahora fe han difcurrido (...) para edificar los Muelles, y otros generos de Obras, que fe deben fundar dentro del agua*” (SÁNCHEZ TARAMAS 1769:t. II, 52).

El *betun* que refiere Sánchez Taramas o el *beton* del original de Muller (MULLER 1764:269) es un galicismo que nada tiene que ver con los hidrocarburos aromáticos policíclicos, resulta un parónimo para el acomodo del término *béton*, con el significado de hormigón o concreto; sin embargo, en otro pasaje se aporta una información relevante sobre la preparación de ese *betun*, compuesto por “*doce partes de Puzolana, ó de Terrafa de Holanda*<sup>115</sup>, *feis de buena Arena, nueve de Cal viva de la mejor calidad, trece de Cascajo menudo, ó Piedras tofcas que no excedan de la magnitud de un huevo, y tres de polvo de Texa, ó de Ceniza de los Hornos de Cal donde fe quema Carbon de Piedra, ó bien Efcoria de Fragua*<sup>116</sup>” (SÁNCHEZ TARAMAS 1769:t. II, 50-51).

De inmediato, se encadena el texto con la técnica a emplear amalgamando las arenas, las cenizas y los aglutinantes aludidos: “*Todos estos ingredientes bien incorporados, y ligados con proporcionada cantidad de agua, los dexan reposar, hafta que fe*

---

115.- Desconocemos a qué se refiere con la denominación de *Terrafa de Holanda* (*Dutch terrafs* en el original de Muller); no obstante, al precisarse que puede sustituir a la puzolana tradicional, intuimos que hace referencia a una ceniza o toba volcánica, más o menos térrea, conocida en su momento como *trass*. Guarda una gran similitud con la puzolana itálica y se utiliza con fines similares; empleándose la variedad compacta como material liviano para la construcción e, incluso, como elemento refractario en hornos.

116.- Resulta interesante la adición de escorias, entendemos que molidas, a la cal y a la puzolana, circunstancia que ralentiza el proceso de fraguado; con el tiempo, tanto las escorias de los altos hornos como las que provienen de los hornos de cok se utilizarán en la obtención de cementos especiales de fraguado lento, propios para trabajos en ambientes acuosos.

*endurezca el compuefto, de modo que fea neceferio la Azada ò el pico para defunirlo; lo que fucedde al cabo de 24 horas...*” (SÁNCHEZ TARAMAS 1769:t. II, 51).

Unido, sin solución de continuidad, como una sementera de la técnica, aunque podamos encontrar algunos pasajes infecundos, se nos pormenoriza el empleo de la forma siguiente: *“Igualado el fondo de la excavacion<sup>117</sup>, y puefto proxîmamente de nivel, le cubren con una tonga de Piedra tofca, no muy gruesa, y ordenada à mano. Depues, firviendofe de un Torno, eftablecido fobre las Eftacas que forman la cerca, introducen un Caxon, ò Cubeta de tres pies de lado, llena de argamafa dura y hecha pedazos: el fondo de la Cubeta eftá difpuefto de tal fuerte que es facil abrirlo à la profundidad que conviene; y por efte medio logran vaciarla fobre las mifmas Piedras, donde fe ablanda la argamasa, y llena los interfticios, fin perder cofa alguna de fu efpiritu ni fubftancia. Afi continuan echando argamafa por toda la extenfion del encaxonado, hafta la altura de doce pulgadas; y aplicando otra tonga de Piedra, como la primera, la cubren con otra argamafa, igual à la antecedente”* (SÁNCHEZ TARAMAS 1769:t. II, 51-52).

Resulta sugestivo reparar en la pauta que se establece para la erección de los cimientos; después de nivelar el suelo de fundación, se disponen los elementos pétreos necesarios, ordenados por gravedad, sin más, a la espera de un ambiente, aún más confinado, que se genera con la colocación de un cofre/cajón.

A continuación, no confiando en el poder aglutinante de un vertido pastoso y directo, se prefiere un procedimiento inverso; la argamasa,

---

117.- Esta técnica, propia para pilares de puentes, y también para muelles, necesita de un tablestacado previo que permita un centro confinado, más o menos estanco, para poder desarrollar los trabajos ulteriores.

después de pasar por el estadio sólido, recupera una ductilidad que permite sellar los intersticios y aglutinar los mampuestos, evitando la transmigración de los finos y partes líquidas.

En el ámbito de las traducciones de los textos clásicos, propias del XVIII, aunque, en este caso debido a una iniciativa personal, Joseph Ortíz y Sanz se empeñó en revisar, estudiar y traducir los libros de arquitectura de Vitruvio<sup>118</sup>. En un principio, el trabajo y el viaje consiguiente a los santuarios arqueológicos del momento (Roma, Pozzuoli, Pompeya, Herculano e, incluso, Paestum) corrió a cargo de su propias rentas; no obstante, el conde de Floridablanca terminó siendo su mecenas, aportando el numo suficiente para concluir la empresa e introduciéndolo en los entresijos de corte real o noble. Al final, en 1787, poco antes de morir Carlos III, el texto fue publicado a cargo de la Imprenta Real.

El aieloner, conocedor de los textos de Perrault y Galiani, los utiliza como referencia en múltiples contraargumentaciones; así, después de precisar la dosificación (2/1) a emplear con el polvo de Cumas y la cal, especifica que *“en el sitio destinado se meterán caxones travados con quartones de roble, y con cadenas por todos lados, y se asegurarán firmemente. Todo el espacio encaxonado se igualará y limpiará en el fondo desde algunos maderos que se atravesarán para ejecutarlo. Iráse luego metiendo el material cementicio y el referido mortero hasta que se llene todo el espacio que ocupan los caxones”* (ORTÍZ Y SANZ 1787:133). Por tanto, Ortíz, al contrario de Perrault y Galiani, apunta que esta primera solución también es un cajón transportable,

---

118.- Referimos la traducción de Ortíz y Sanz y no la de Berardo Galiani por un mero detalle de operatividad y ser la del español más ajustada a los giros o expresiones hispanas. Las dos están dedicadas a Carlos III (una siendo Rey de las dos Sicilias); mientras que en la del español, los dibujantes y grabadores se inspiraron e incluso copiaron algunas imágenes de libro de Galiani.

construido en seco, incluyendo travesaños para alojar y sustentar a los obreros que regularizarán el fondo antes de verter el mortero; no especificando impermeabilización ni calafateado alguno, fiando, así, todo el proceso a los silicatos de calcio hidratados y al fraguado del mortero puzolánico en ecosistemas acuáticos, “*pues esta (argamasa con puzolana) se endurece dentro del agua mas presto que el ayre, como consta de Vitruvio, Séneca, Plinio, y la experiencia*” (ORTÍZ Y SANZ 1787:133, nota 4).

Saltándonos el pasaje de la construcción de machones en tierra y avance por volcado sucesivo, Ortíz, en el siguiente apartado de la construcción de muelles artificiales, establece como premisa de partida la ausencia o no disposición del *pulvis puteolanus* como ingrediente del amasado; así: “... *donde se careciere del referido polvo se procederá de esta manera. Métanse dobles caxones bien travados con tablas, y asegurados con cadenas en el sitio determinado; y luego en el vacío entre uno y otro caxon se irán metiendo esportones de enea<sup>119</sup> llenos de greda<sup>120</sup>, bien apisonados*” (ORTÍZ Y SANZ 1787:134); una vez que se consigue compactar el espacio intercajas, entendiendo que se genera una estanqueidad, “*se sacará el agua del caxon interno, agotándola con cocleas, ruedas ó tímpanos*” (ORTÍZ Y SANZ 1787:134); para, a continuación, “*vaciadas de tierra y agua, se llenarán de estructura compuesta de piedra menuda y mortero de cal y arena*” (ORTÍZ Y SANZ 1787:134).

En conclusión, esta traducción del presbítero Joseph Ortíz y Sanz, aunque no fue un encargo específico, por su calidad forma parte de

---

119.- La enea o anea, también citada en algunos casos como espadaña o, incluso, junco, es una herbácea perenne que se cría en ambientes pantanosos y se utiliza para confeccionar asientos de sillas y, en este caso, esportones o capachos.

120.- Se refiere a una arcilla arenosa de color blanquecino.

los textos/referencia presentes en las bibliotecas de las Academias; sin embargo, tal vez, como argumento constructivo incontrovertible, llega un poco tarde: el sistema normativo antiguo ya está en crisis y Vitruvio y la arquitectura antigua están rendidas al filtrado de la Ciencia y la Razón<sup>121</sup>.

En lo referente a España, el conocimiento y progreso constructivo en la fundación de diques, puertos o rompeolas, lo tenemos que asociar al desarrollo de la ingeniería y, por añadidura, al perfeccionamiento de las composiciones constructivas, que, forzosamente en el siglo XIX, tienen su reducto en el Cuerpo de Ingenieros y su fuente de conocimiento en la Academia de Ingenieros en Guadalajara<sup>122</sup>.

En este marco, algunas de las decisiones tomadas por el general Antonio Remón Zarco del Valle y Huet resultaron cruciales en pos de conservar

---

121.- A pesar de lo expresado, la esencia de sistema de fundación mediante cajones flotables permanecerá indemne, adaptándose a los nuevos materiales e ingredientes.

122.- Es también reseñable, aunque intermitente, la irrupción en el panorama académico de la institución que culminará siendo la Escuela de Caminos y Canales de Madrid.

Ejerciendo como ministro Pedro Cevallos, la Corona sancionó en 1802 la creación de un centro con el nombre inicial de *Estudios de la Inspección General de Caminos y Canales*; recayendo la organización y puesta en marcha en el ilustre ingeniero Agustín de Betancourt, que tomó como argumento la *Ecole des Ponts et Chaussées* francesa.

En 1803, Betancourt sugiere un cambio de nombre y pasa a denominarse *Escuela de Caminos y Canales*.

Quebrantada por la invasión francesa, la vida académica resultó fugaz, interrumpiéndose las clases en 1808.

La Escuela vuelve a acoger alumnos en 1821, pero otra contingencia política, la llegada de los *Cien Mil Hijos de San Luis* a Madrid, propicia su cierre en 1823.

Será definitivamente en 1834 cuando la Escuela reanude su docencia, esta vez de manera definitiva, incorporando estudios que se segmentan de la Marina, con el nombre de Escuela de Caminos, Canales y Puertos (VV.AA. 1996:194-195).

y acrecentar el crédito adquirido por el Cuerpo; entre otras cosas, fomentó los viajes al extranjero del cuerpo docente, promoviendo, a su vez, que tales experiencias sirviesen para la redacción de manuales y libros de texto; aún más, implantó un negociado encargado de dar cobertura oficial a los contactos interarmas con otros países y a las visitas correspondientes (FERRANDIS POBLACIONES 2012:117).

Es en este contexto en el que Nicolás Valdés es comisionado para que viaje a Francia, se empape de lo que allí sucede con respecto a la ingeniería y lo salpimiente con las experiencias y conocimientos adquiridos en sus múltiples destinos; tal cual, atendiendo al concepto francés de *Aide-Mémoire* elabora un manual práctico, acompañado de un atlas con 105 láminas.

En los pasajes correspondientes a “*cuando los cimientos que se han de construir están debajo del agua, como sucede para el fundamento de los estribos y pilares en la mayor parte de los puentes, y en todos los muelles y esclusas*” (VALDÉS 1859:676), Valdés establece cuatro variantes: por ataguías, por encajonado, por cajones y por escollera.

Las variantes que nos interesan, de encajonado y por cajones, son soluciones que difieren en función la permeabilidad o capacidad de desagüe de los fondos.

Por encajonado tenemos que entender la combinación de una ataguía simple, que permita las labores de vaciado, con la inclusión de un cajón que consienta moldear el hormigón en tongadas horizontales hasta llegar a la superficie del agua, para, después de su fraguado, continuar con sillería<sup>123</sup>; también, atendiendo a la cualidad portante del

---

123.- Valdés cita como argumento o ejemplo el muelle construido en Puerto-Rico.

terreno, aboga por preparaciones a base de emparillados o estacadas (VALDÉS 1859:676-677).

Reparando en el sistema por cajones, el torreño especifica que son adecuados para fondos permeables, imposibles de desaguar o para obras económicas. Así, previa preparación del suelo mediante dragados y la hincas de pilotes<sup>124</sup>, 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 son desmontables, permitiendo su reutilización<sup>125</sup> (Figura 94).

Con objeto de que el conjunto no pierda la verticalidad, el cajón, a medida que aumenta el peso del macizo, desciende mediante un sistema de poleas convenientemente ligadas a unas guías de sujeción.

Como dato a tener en cuenta, las mediciones batimétricas tienen que ser precisas, ya que la “*altura del cajón debe exceder la de las aguas; y si hubiese mareas ha de sobrepasar las de pleamar*” (VALDÉS 1859:677).

Una vez sobrepasados los límites de seguridad y rescatados los laterales del cajón, la obra se fortifica, “*se echa una escollera que cubra á bastante altura los cimientos*” (VALDÉS 1859:677).

---

124.- Para nivelar los pilotes y propiciar un asiento estable para el cajón, recomienda el empleo de sierras circulares, citando su experiencia en Filipinas: “*En Manila, vi que bastaba hacerlo con buzos guiados por una sonda: de cuatro pilotes que se clavaron á diferentes profundidades, desde 15 á 24 piés, el más profundo costó solo 20 minutos para aserrarle al nivel del fondo, y los otros 15' en término medio; siendo de 9 pulgadas el grueso de aquellos, y de dongon la calidad de la madera*” (VALDÉS 1859:677).

125.- Como es evidente, el fondo del cajón permanece debajo del macizo, asumiendo la función de emparillado.

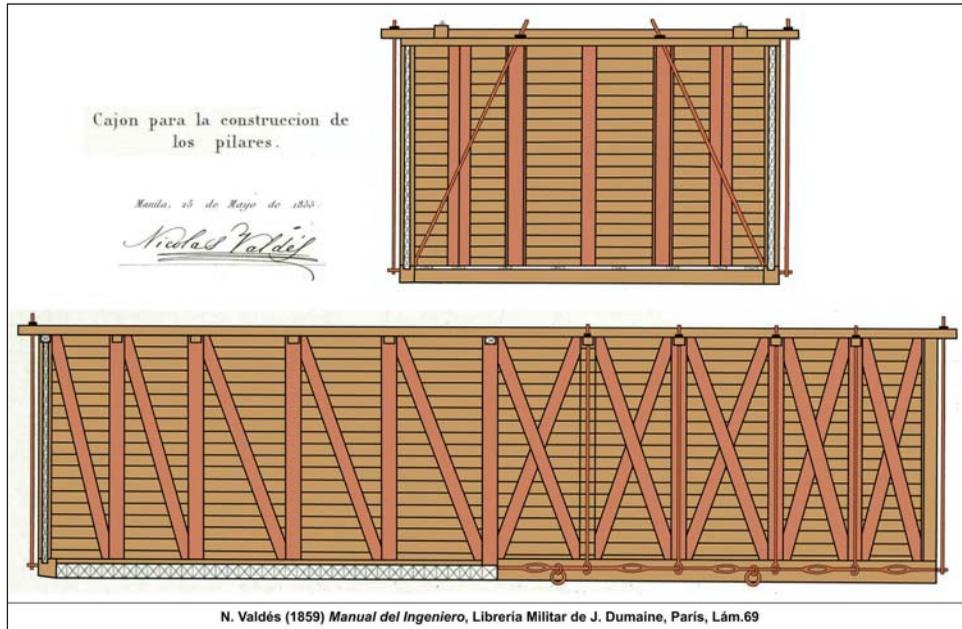


FIGURA 94. Cajón propuesto por Nicolás Valdés en Manila en 1855. La figura certifica el sistema de acoplamiento de la base del cajón con los laterales; propiciando la ulterior separación mediante el destornillando o desjuntado de las barras de hierro que se aprecian en el dibujo (sobre dibujo de VALDÉS 1859:Lám. 69).

El último tercio del XIX es un momento en el que la ingeniería portuaria acusa transformaciones importantes, con un gran impulso a la construcción de puertos u obras de abrigo.

La fases intuitivas o extrapolables van dejando paso al método científico, si bien la experiencia y el empirismo, como argumento, todavía están presentes; es así que en los planes de estudios de la Escuela de Caminos cada vez son más importantes los estudios sobre el efecto del oleaje en las obras, junto a la necesidad de conocer los procesos costeros causados por los agentes climáticos marinos -dinámica litoral-, sin olvidar el perfeccionamiento de los sistemas de

cálculo de resistencia de los sólidos deformables, teniendo en cuenta fundamentalmente las cargas.

Es en este ámbito en el que Pedro Pérez de la Sala y Suárez-Baró va a jugar un papel importante por su especialidad y por su largo desempeño como docente y director de la Escuela de Caminos<sup>126</sup>. A lo largo de su dilatado magisterio, publicó varios manuales, como *Lecciones sobre el establecimiento y construcción de puertos*, *Tratado de construcciones en el mar* o *Lecciones de faros*, que serán de obligado estudio por bastantes generaciones de ingenieros.

Pérez de la Sala consagra un extenso capítulo a los sistemas generales de construcción bajo el agua; en él, amén de otras opciones, dedica sendos apartados a los cajones sin fondo y con fondo.

En lo concerniente al procedimiento constructivo mediante cajones sin fondo, el asturiano considera que es el sistema “*que mejor se presta á las construcciones en el mar, (...) y no habría objeción fundada que oponerle, tenida en cuenta su sencillez, baratura y rapidez de ejecución, si se lograra descartar los peligros que ofrece la descomposición de los hormigones atacados por agua de mar*” (PÉREZ DE LA SALA 1876:504-505); cita como ejecuciones exitosas las de Argel y Fiume<sup>127</sup>, detallando que nunca se deben colocar contiguos los cajones, ya que son precisos pilares intermedios o a intervalos sobre los que graviten o se adhieran los cajones compactados con hormigón.

126.- Como docente, su estancia en la Escuela de Caminos comienza en 1859 y termina en 1908.

127.- Indudablemente, Pérez de la Sala se refiere a la actual Rijeka que, a lo largo de la historia, pasó por innumerables vicisitudes propias de su ubicación estratégica; llegando incluso a ser un Estado libre (de Fiume), regido por Gabriele D’Annunzio. Después de la Segunda Guerra Mundial fue el puerto principal de Yugoslavia, y en la actualidad lo es de Croacia.

También refiere minuciosamente los detalles que contribuyen a completar las entrañas del diseño; los cajones se ensamblan en tierra, siendo botados al agua sobre una basada; previamente, las faldas<sup>128</sup> tienen que ser recortadas o adaptadas lo más posible al fondo elegido, con arreglo a las mediciones (sondas) tomadas con antelación (PÉREZ DE LA SALA 1876:505).

Continuando con la tecnología aplicada al desarrollo técnico, el ástur, en un remedo de la técnica empleada por Di Giorgio, pormenoriza el método a emplear para impedir que el hormigón fresco fluya por los intersticios: “*se agrega al fondo del cajón una bolsa de lona fuerte, sujeta á los costados por medio de un listón ó barrote clavado á ellos, cuya bolsa los cubre por el exterior hasta 0,50 metros sobre la línea de flotación. Este saco se amolda á las desigualdades del fondo, é impide al hormigón salir fuera del recinto*<sup>129</sup>” (PÉREZ DE LA SALA 1876:505).

Ya botado, el cajón se remolca hacia el lugar elegido para su inmersión; ya en posición, utilizando cabrias, se le suspende verticalmente y se lastra con cajas llenas de lingotes, entendemos de plomo, que se adjuntan a los laterales del arca mediante cuerdas que se hacen pasar por unas anillas fijas; a la par, los tableros se fortifican mediante un arriostrado asegurador (PÉREZ DE LA SALA 1876:505).

---

128.- Como decisión inoperante o ineficaz, Pérez de la Sala relata que los tableros de los cajones utilizados en el puerto de Argel fueron calafateados y embreados; precaución que califica de inútil e incomprensible, ya que “*por mucho esmero que se ponga al recortar los cajones con arreglo al perfil del suelo, es imposible se consiga un ajunte perfecto*” (PÉREZ DE LA SALA 1876:505).

129.- Pérez de la Sala refiere que en algunos casos, como medida complementaria o de precaución, también se embrea la lona; calificando la medida como más perjudicial que útil, ya que impide la adherencia del hormigón al fondo (PÉREZ DE LA SALA 1876:505).

Una vez que se tiene constancia de que el hormigón ha fraguado, se ejecuta la operación de desmoldeo, soltando las uniones y retirando los tableros; juntamente, un buzo recorta el sobrante de la lona empleada.

Al contrario de lo compendiado con antelación, Pérez de la Sala se muestra renuente con el análisis de los cajones con fondo; esboza que el sistema no se ha aplicado “*en toda su pureza*” en la construcción de diques, describiendo como intento fallido la propuesta del ingeniero Walker para el dique de Dover, donde se planteaba un cajón de 91,50 metros de longitud y 30 de ancho y el empleo del hormigón en grandes masas (PÉREZ DE LA SALA 1876:512).

El ástur es menos crítico con la propuesta del escocés James Bremner, el ingeniero británico planteaba ensamblar un artificio de 122 metros de largo, 30,50 de ancho y 13,70 de alto, dividiendo transversalmente el ancho en tres trozos longitudinales: el central, donde se construye la obra, reducida a un solo paramento del dique, y los laterales que sirven de flotadores; una vez fondeado y hundido, se separarían las cajas laterales, quedando en el fondo el segmento central. De igual manera se construiría el otro paramento, rellenándose el intervalo “*con el material de que se disponga*” (PÉREZ DE LA SALA 1876:513).

La sugerencia, calificada como más racional que la de Walker, es valorada por su versatilidad, a consecuencia de que el cajón puede armarse con menores dimensiones, ya que solamente necesita “*el poder de flotación necesario para sostener la fábrica del paramento*” (PÉREZ DE LA SALA 1876:513).

Ahora bien, Pérez de la Sala, teniendo en cuenta “*la información inglesa para la construcción del dique de Dover*”, en la que se propusieron también cajones huecos construidos con ladrillos, y los trabajos de Moffat en el puerto de Ardrossan, Escocia, dispone una modificación del sistema: “*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 adaptó el enunciado con éxito en el puerto de Ardrossan; ahí, John Moffat forzó la longitud de la fórmula, llevando el diseño a los 12 metros.

El método de Moffat (MOFFAT 1865:75-77), cuya traducción, sin el aparato gráfico, ya se publica el mismo 1865 en la Revista de Obras Públicas (GONZÁLEZ 1865:84-86), rompe con el uso de cajones flotables de madera para confeccionar diques o muelles relativamente baratos.

Moffat imaginó y ejecutó 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 (Figura 95).

Teniendo en cuenta que la bajamar en Ardrossan estaba próxima a los 6,10 m y que disponían de un cimientó de sillares con una potencia superior al metro cincuenta, Moffat, utilizando como base o suelo planchas de hierro fundido, reforzadas con nervios en el sentido de los ejes, con un grosor del orden de 19 mm, delineó cajones de ladrillo de 4,57 m de longitud, 3,35 m de anchura y 4,57 m de altura. Los muretes, conformados con ladrillos de 0,51 x 0,25 x 0,13 m, tenían 0,51 m de espesor, fueron amalgamados a la romana y se fortificaron con tirantes horizontales de hierro, colocados a lo largo de las líneas de junta.

Una vez botados, comprobada su flotabilidad e impermeabilización, mediante pontones se colocaron en posición, procediendo de inmediato al hormigonado.

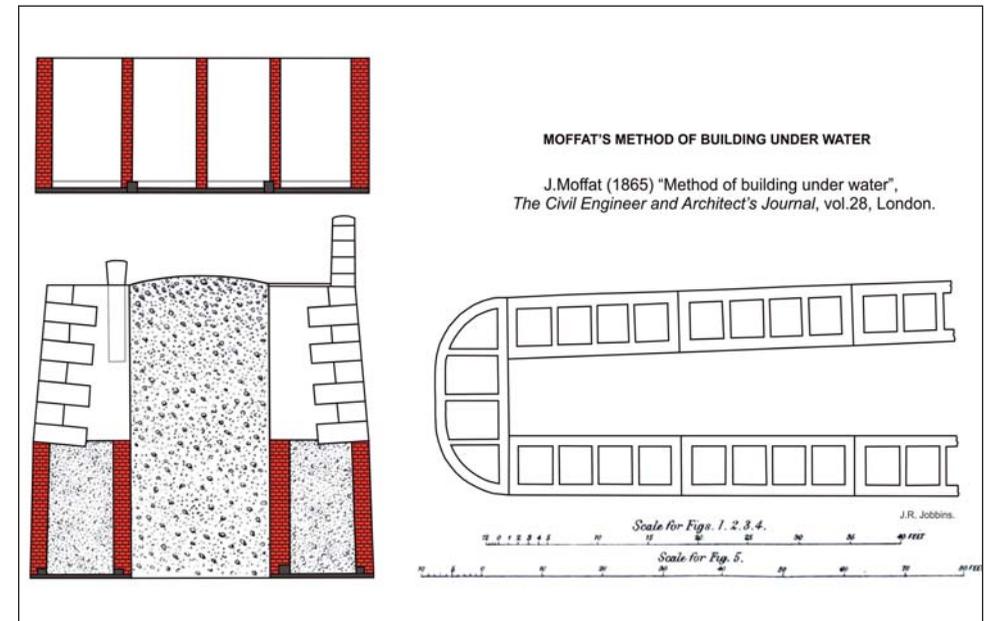


FIGURA 95. Sistema de Moffat para la construcción de diques con cajones flotables de paredes de ladrillo (sobre dibujos de J.R. Jobbins, en MOFFAT 1865:Pl.6, figs. 2, 4 -izq.- y 5 -dcha.-).

El orden superior del dique se suplementó con sillares y mampostería, “por el método ordinario”, completando una infraestructura de 91,44 m, con un ancho medio de 21,34 m y un coste calculado del orden de 10.000 libras esterlinas de 1855, fecha en la que concluyó la primera experiencia constructiva.

Pérez de la Sala, juntando las propuestas para Dover y Ardrossan, resume el procedimiento que nosotros agrupamos de la siguiente manera:

- a) Los cajones pueden construirse sobre talleres ubicados en la playa, de manera que, después de concluidos, consigan flotar con

la pleamar; pudiendo emplearse distintos tipos de flotadores<sup>130</sup> si la carrera de la marea resultase insuficiente (PÉREZ DE LA SALA 1876:514); también, en el caso de resolver construir los cajones fuera del alcance del mar o si, por otra parte, el dique se concibe para un mar sin mareas, habrán de construirse sobre una grada y botarlos como se hace con los buques; no obstante, la mejor opción, siempre que exista la posibilidad, es la construcción en seco de los cajones en el interior de un dique de carena (PÉREZ DE LA SALA 1876:515).

b) Los cajones, de longitud variable (entre 4,50 y 12 metros), tendrán unos paramentos de 0,50 metros para una profundidad estimada de 4, atendiendo de atar con tirantes de hierro las caras opuestas en los pequeños, y cuidando de ejecutar tabiques divisorios, formando celdas de 2,50 a 3 metros, en los mayores. Por otra parte, el material que mejor se presta para la ejecución de estos cajones es el ladrillo, procurando emplear como aglutinante “*cementos muy enérgicos*” (PÉREZ DE LA SALA 1876:515).

En lo referente a los fondos de los cajones, pueden ser de fábrica o se pueden utilizar placas de fundición de 2 centímetros de grueso, reforzadas con nervios; bien que, en un intento de

abaratarse, se pueden utilizar fondos de madera<sup>131</sup> (PÉREZ DE LA SALA 1876:514).

c) Previo a las operaciones de fondeo y hundimiento, es necesario un acondicionamiento del fondo; en el caso de lechos arenosos o fangosos, el peso y asiento de los cajones resulta suficiente o, simplemente, una delgada capa de escollera bastará; en lechos irregulares y difíciles resulta práctico disponer varias hiladas de sillares, propiciando una rasante constructiva y reduciendo el calado. (PÉREZ DE LA SALA 1876:514-515).

Las ventajas de la utilización de pauta descrita (sistema modificado), referida a los cajones con fondo, resultan inequívocas. De golpe 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).

---

130.- Pérez de la Sala propone como ayuda para la flotación la utilización de “*cajones asegurados a los costados, para dar a la masa de fábrica el complemento de flotación que fuese necesario, según se pretende lo practicaban los romanos*” (PÉREZ DE LA SALA 1876:516).

Aquí, entendemos que cuando se refiere a cajones asegurados a los costados está haciendo referencia a plataformas flotantes, o pontones paralelepípedos capaces de aguantar los cajones y soportar la impedimenta necesaria para cualquier maniobra.

---

131.- El piso estará conformado por dos vigas, a las que se clavarán transversalmente listones de 8 centímetros; todo ello perfectamente calafateado para hacerlo impermeable (PÉREZ DE LA SALA 1876:514).



## ADENDA 4

### PRECEDENTES HISTÓRICOS HASTA EL PUERTO TELEFÉRICO DE SIDI IFNI DE REMOLQUES OCEÁNICOS DE LARGA DISTANCIA

El remolque de los cajones desde las Islas Canarias hasta Ifni resulta, al menos para nosotros, admirable; tal como se señaló, los cajones no surcaron las aguas de punta, sino de costado, agigantando la operación (Figura 96).

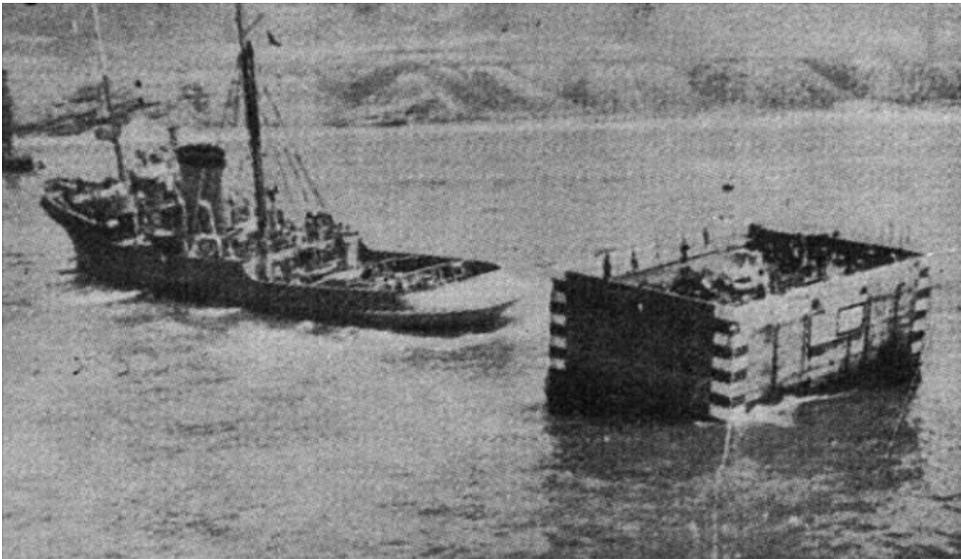


FIGURA 96. Remolque de costado del cajón “Virgen del Carmen” (CAFFARENA 1963a:66).

Es habitual que cuando se empuja se trabaje a “carnero”, por el lado más ancho; sin embargo remolcar o singlar por el lado amplio, en una travesía de tantas millas, no lo es tanto, ya que la resistencia hidrodinámica por fricción varía y complica la navegación.

Caffarena, a excepción del pequeño comentario que se recoge en el diario “Falange” de octubre de 1958, donde califica el remolque como uno de los “*más curiosos del mundo*”, no relata los entresijos de ese incidente.

Nuestro afán indagador nos lleva a sospechar que Caffarena, como buen ingeniero, tuvo en cuenta los principios básicos de la “*resistencia de materiales*” y determinó que, aplicando la fuerza de costado, los esfuerzos inducidos serían los aconsejables. Por otra parte, sospechamos que el efecto de ola del remolcador también jugó a favor de la decisión de un remolcado de costado, ya que, al no llevar timón los cajones, difícilmente pueden “*seguir aguas*”.

Igualmente, desconocemos si, después del primer intento fallido, variaron las soluciones adoptadas a priori; nada sabemos del juego con los lastres, ni de la longitud, articulación y funcionamiento de la estacha; en fin, todos estos interrogantes, y algún otro más, se nos escapan, ya que nuestra formación, o desinformación, nos impide llegar más allá.

Sin embargo, sí conocemos que las operaciones de remolque, hasta ese momento, no fueron nada usuales y siempre estuvieron rodeadas de una épica ennoblecida con valores literarios.

Un documento ulterior sobre un transporte de estas características nos relata un sinnúmero de vicisitudes que, de una manera u otra, el transporte de los cajones hasta Ifni tuvo que padecer. Este conjunto de acontecimientos o avatares son narrados a raíz del remolque de

punta, desde Cartagena a Palma, de los cajones para la prolongación del Muelle de Poniente en el Puerto de Palma de Mallorca (SÁENZ DE ORMIJANA *et alii* 1996:57-68).

La nota narra el aparejo utilizado para el remolque, con una estacha de polipropileno de 105 mm, 200 m de longitud y con carga de rotura de 110 T; haciéndola pasar por unos cáncamos, habilitados tanto en proa como en popa, y así evitar el desplazamiento vertical del cable (SÁENZ DE ORMIJANA *et alii* 1996:61) (Figura 97).

La estabilidad de los cajones, o la capacidad de volver a una situación de equilibrio cuando son sometidos a la acción del viento u oleaje, se materializó apostando con el lastre y los centros de gravedad, para conseguir la altura metacéntrica deseada (SÁENZ DE ORMIJANA *et alii* 1996:61). Como acción complementaria, eligieron elevar el grado de impermeabilización durante la travesía con una losa/tapa de hormigón armado, de 15 cm de espesor, diseñada para resistir una presión de 2 T/m<sup>2</sup> (SÁENZ DE ORMIJANA *et alii* 1996:63).

A pesar de las medidas adoptadas, el segundo cajón no superó la singladura y se hundió a 11 millas del Puerto de Palma; desconociéndose, a ciencia cierta, si fue una la causa o el fallo fue multifactorial.

Desde luego, según se relata en la narración, el estado del mar pudo influir; los vientos, de intensidad 6 en la medida empírica de Beaufort, propiciaban olas grandes (3,5 a 4,5 m) y crestas rompientes, con la consiguiente escora, alteada y cabeceo del cajón; desde el remolcador, a 2 nudos, se estimó que el balanceo alcanzó los 20° (SÁENZ DE ORMIJANA *et alii* 1996:64).

Este simple pasaje nos hace valorar, en su justa medida, el riesgo asumido y el denuedo empleado en el transporte atlántico de los cajones para el Puerto Teleférico de Sidi Ifni.

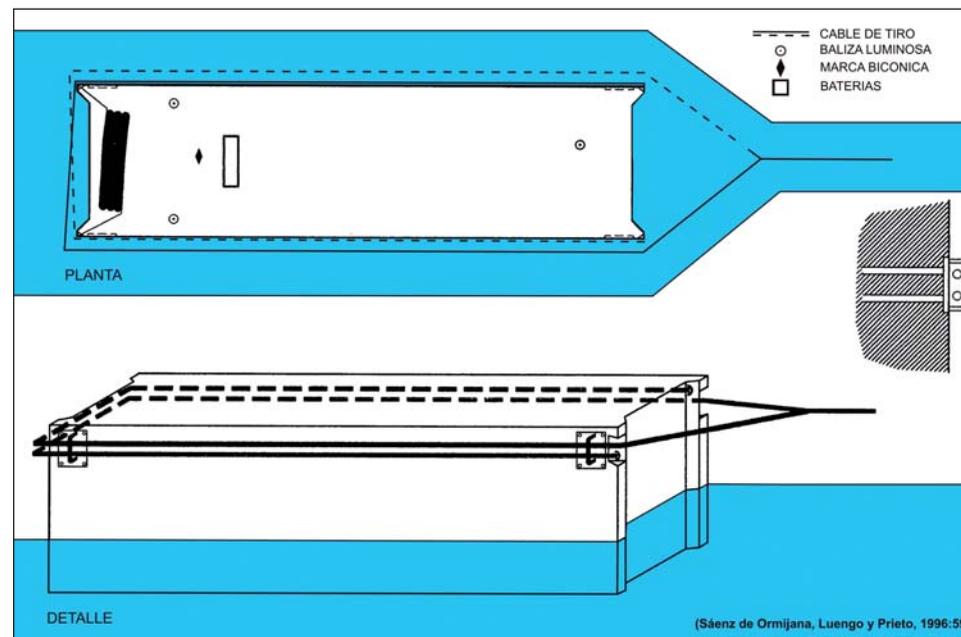


FIGURA 97. Detalles de un cajón tipo y características del aparejo del remolque. Los cajones, construidos por la empresa Ferrovial en una pontona sumergible, disponible en ese momento en el Puerto de Cartagena, comenzaron a ser remolcados el 14 de diciembre de 1995.

El aparejo para el remolque resulta un clásico en estas operaciones: desde el remolcador se tensaba una estacha de polipropileno (200 mm / con carga de rotura 110 T) con la finalidad de enganchar dos cables, de 40 mm, que abrazaban por popa los cajones, configurando una figura denominada pie de gallo.

Para evitar los movimientos verticales de los cables durante el transporte, éstos se embastaron a unas argollas acopladas en las esquinas.

También, con el objeto de estabilizar los cajones para su remolcado, bajando el centro de gravedad, se jugó con un lastre combinado, a base de hormigón pobre y agua (planimetría y argumentos tomados de SÁENZ DE ORMIJANA *et alii* 1996:59).

Hasta este momento cronológico que estamos analizando, no son conocidos muchos transportes especiales remolcados; no obstante, sí es cierto que, procedentes de la antigüedad, advertimos un número

reseñable de relatos y documentos arqueológicos que nos introducen en el transporte naval de grandes elementos constructivos pétreos (FELICI 2017:1-15).

Dentro de este apartado, si bien no remolcados, son interesantes los traslados de los imponentes obeliscos egipcios; aunque discutida, tal vez la escena en bajorrelieve de Deir el-Bahari, con la nave de Hatshepsut, destinada al transporte de monolitos, y la renombrada nave de Calígula<sup>132</sup>, ocupada para desplazar un obelisco desde Alejandría a Ostia, sean los ejemplos más conocidos.

Sin descartar cualquier posibilidad interpretativa de los textos clásicos o algún hallazgo arqueológico nuevo, es probable que el primer artilugio para el remolque<sup>133</sup>, del que tenemos una imagen clara con cierta garantía, sea Il Badalone<sup>134</sup>. Esta barcaza forma parte de las inimaginables historias y cuitas que rodean la vida y proceder de los “genios” renacentistas (Figura 98).

---

132.- Citamos la nave de Calígula, y no otras referidas de época de Augusto, por su trascendencia literaria y por su “segunda oportunidad” como barco “porta contenedor” y, a la vez, cajón fundacional flotante, en la construcción del dique norte del puerto de Ostia.

Sobre la discusión sobre su inclusión como base para conformar la isla del faro o como fundación del puerto de arco y cajones, resulta interesantes las consideraciones que José Manuel de la Peña Olivas establece en su *Inventario de Puertos Antiguos en Hispania* (PEÑA OLIVAS 2016:72 y 78-79).

133.- Con seguridad, Brunelleschi tuvo en cuenta estudios y prototipos, junto a la herencia tecnológica y técnica, que en su mayoría se nos escapan; sin embargo, un arquetipo de Guido da Vigevano -circa 1335-, agrupado en el *Texaurus regis Franciae*, parece el nexo de unión entre la tecnología clásica, agrupada en el *Codex Oxoniensis Canonicianus*, por ejemplo, y el Renacimiento (ver NANNI 2011).

134.- Es notorio que no estaba diseñado para transportes oceánicos, ya que su finalidad era transportar los mármoles por el Arno, como vía fluvial, hasta Florencia.

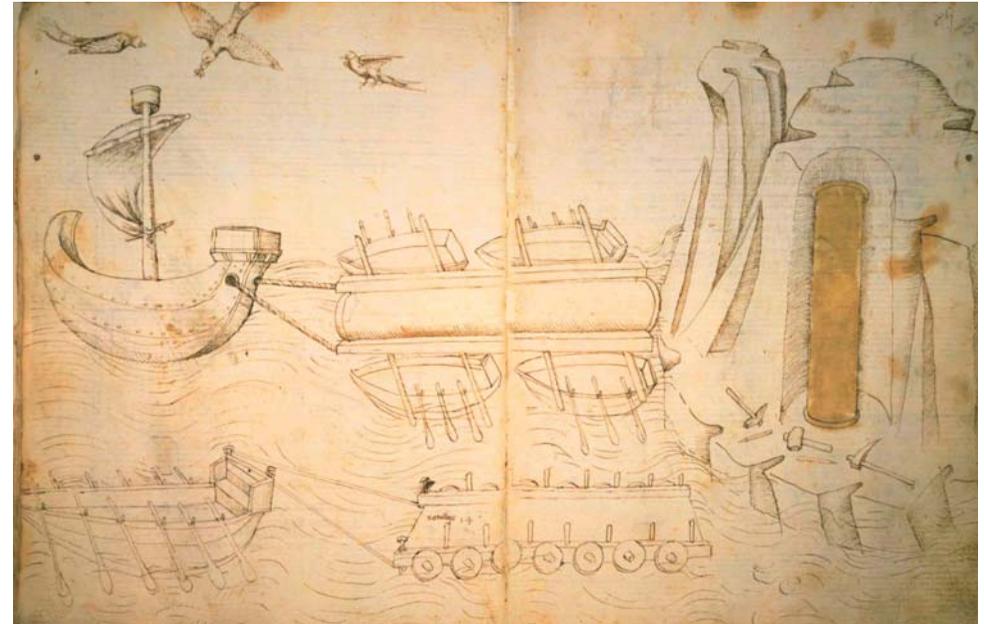


FIGURA 98. Sistema integrado para el transporte de mármol -Il Badalone- ideado por Brunelleschi y recogido por Mariano di Jacopo, “Taccola”, en el Liber tertius de ingeneis ac edifitiis non usitatis (Biblioteca Digital del Museo Galileo -Istituto e Museo di Storia della Scienza-, Firenze, Italia, en <https://bibdig.museogalileo.it/Teca/Viewer?an=33686>).

Este experimento *brunelleschiano*, recogido por Taccola en el *Liber tertius de ingeneis ac edifitiis non usitatis*, lo tenemos que relacionar con la necesidad de disponer de mármol de Carrara para las grandes obras que se ejecutaban en la República de Florencia.

Verdaderamente no sabemos los pormenores del diseño, lo cierto es que en su primera puesta en escena se hundió a la altura de la ciudad de Empoli (NANNI 2011:67).

También, como dato notable de este diseño, es propio mencionar que, tal vez, nos encontremos ante la petición y concesión de una de

las primeras patentes. Bunelleschi, inmerso en las intrigas y reparos de la época, solicitó que la República de Florencia le concediera un “*privilegio de invención*”, en realidad una patente o un monopolio, que le fue otorgado en 1421; pudiendo, con el derecho por argumento, durante un periodo de tres años, calcinar cualquier nave que copiase la traza (MENÉNDEZ DÍAZ 2016:2).

Uno de los aspectos positivos de la época victoriana fue la disposición para asumir grandes retos, a menudo de características sin igual; así es el caso del *Bermuda's Floating Dry Dock* de 1869.

La evolución de las arquitecturas flotantes a lo largo del siglo XIX, unido al empleo de nuevos materiales y a la necesidad de trabajosos mantenimientos, hizo necesario disponer de diques secos que permitieran un examen completo del exterior de las naves.

Expuesto lo anterior, la marina británica necesitó una de estas infraestructuras estratégicas en el Atlántico/Caribe: la solución lógica hubiese sido la construcción de un dique seco convencional, generando una esclusa en la que introducir el navío; sin embargo, los condicionantes geológicos de la isla de Irlanda, en las Bermudas, con un substrato poroso, aconsejaron el diseño y construcción de un dique flotante.

El astillero elegido fue Campbell & Johnstone, próximo al Támesis, donde tomó cuerpo la estructura en U que sería botada a finales del verano de 1868.

Después de sortear el invierno, estratégicamente hundido en Sheerness, el dique flotante fue remolcado en dos etapas, en una aventura sin precedentes, pensaban en la época, hasta Bermudas (Figuras 99 y 100).

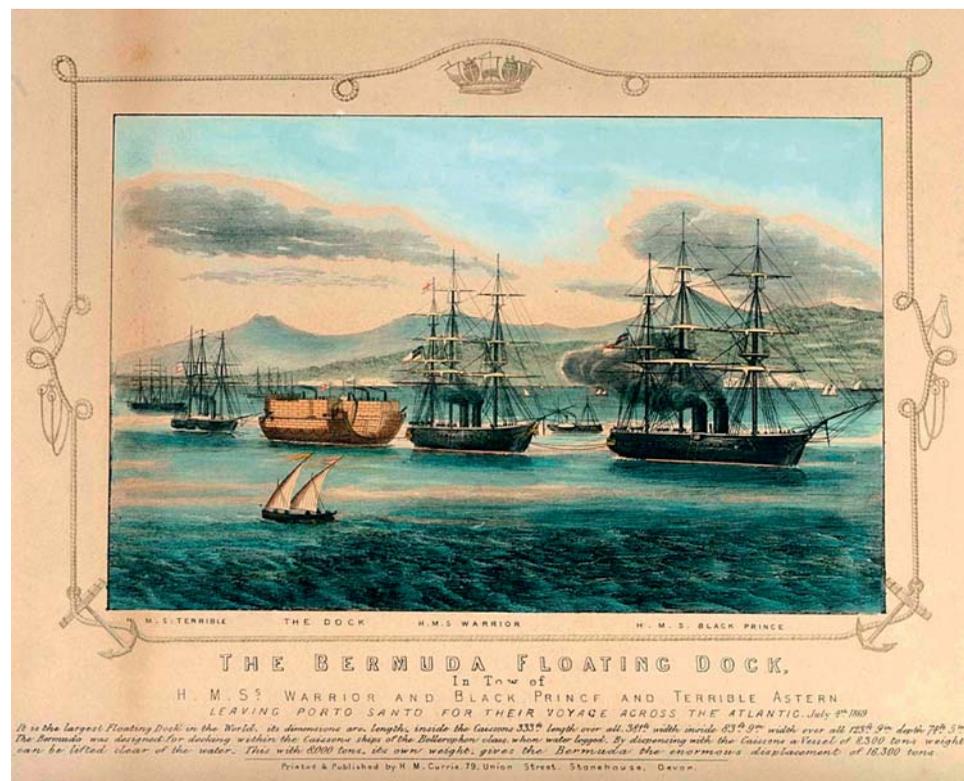


FIGURA 99. Postal coloreada que narra la salida remolcada del dique flotante desde Porto Santo, isla situada a 43 kilómetros al noroeste de la isla de Madeira, rumbo a Bermudas (Royal Museums Greenwich, RMD ID: PAI8972).

El remolque, sin navíos oceánicos especializados, corrió a cargo de buques emblemáticos de la Marina Real británica, como es el caso de la fragata blindada HMS Warrior, la HMS Black Prince o el HMS Terrible.

El peso muerto fue remolcado, con una escala en el archipiélago de Madeira, a una velocidad media de 4,8 nudos y, cuando las condiciones

de navegación lo permitieron, se izó una vela compensatoria como ayuda (GOULD y SOUZA 1996:4-20).

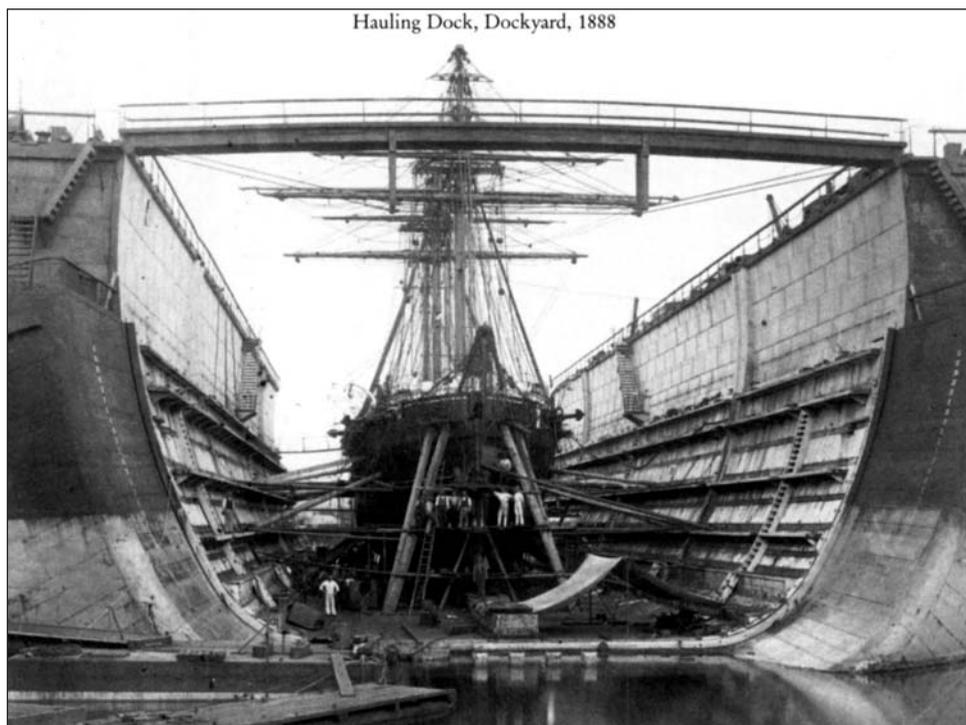


FIGURA 100. Bermuda's Floating Dry Dock en 1888 durante las operaciones de mantenimiento de una nave (imagen tomada de <https://i.imgur.com/OgB6hHs.jpg>).

El remolque de un obelisco<sup>135</sup>, conocido como la *Aguja de Cleopatra*, desde Alejandría hasta Gravesend, en la ribera sur del Támesis, supuso,

---

135.- Son conocidos otros traslados en ese mismo segmento temporal, como es el caso del increíble viaje de otro obelisco desde Luxor a París en 1836; no obstante, elegimos la *Aguja de Cleopatra* por las características de su remolque.

también, uno de los mayores hitos que conocemos del remolque oceánico (Figuras 101 y 102).



FIGURA 101. El obelisco varado en Alejandría a la espera de que se organice su traslado a Londres (<https://alpoma.net/tecob/?p=4487>, sin referencia de autor y propiedad).

La aventura comienza en 1819 cuando el Beylerbey del eyalato de Egipto, Mehemet Alí, agasaja al gobierno británico con un obelisco, como símbolo conmemorativo por las victorias de Nelson en la batalla del Nilo y del escocés Abercromby en Alejandría.

El gesto, propio de los regalos diplomáticos de la época, no fue desdeñado, pero institucionalmente no se dieron los pasos necesarios para su traslado efectivo a Londres.

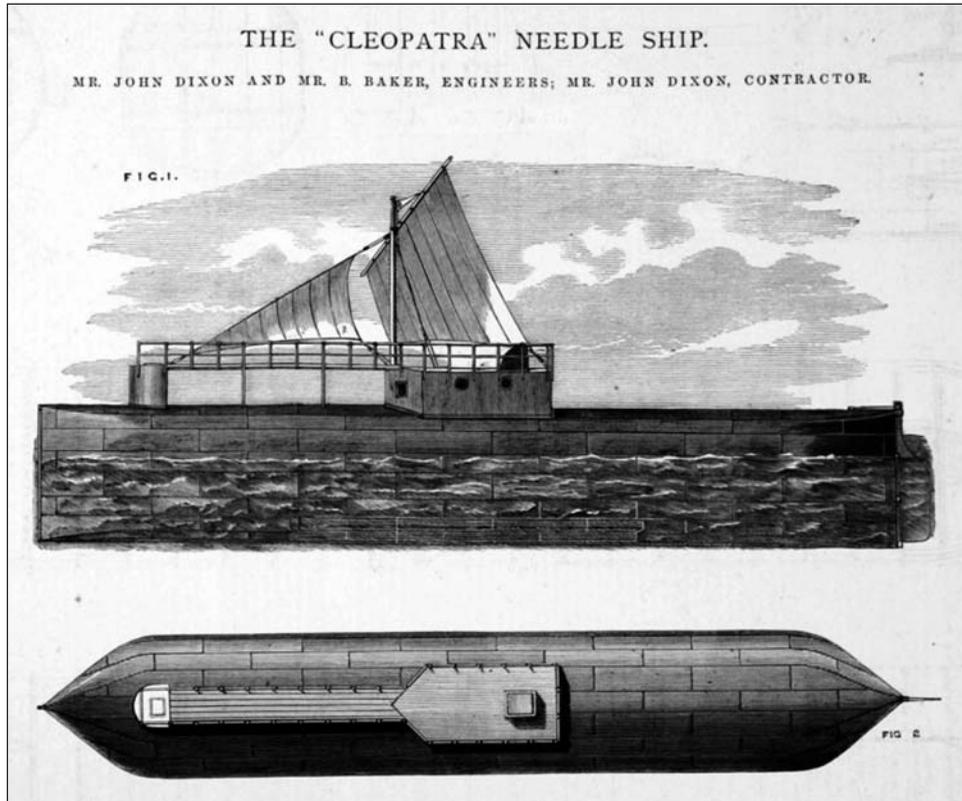


FIGURA 102. Diseño original, incluyendo una perspectiva cenital, del Cleopatra (tomada de Isle of Dogs Life-WordPress.com, sin referencia de autoridad y propiedad).

Después de casi sesenta años, en 1877, el profesor y filántropo William J.E. Wilson perceptuó, con su dinero, transportar la ofrenda pétreo al Reino Unido; para ello, los hermanos Dixon<sup>136</sup>, junto a Baker,

136.- John Dixon, reputado ingeniero de la época, también pasará a la historia de la tecnología y la innovación por su participación en la construcción del Muelle de Riotinto en Huelva.

planearon un transporte porta/obelisco -*El Cleopatra*-, en hierro, capaz de flotar y ser remolcado por el Mediterráneo y el Atlántico. A tal fin, concibieron un casco con una sección transversal circular y dos quillas de balance, compartimentado por mamparos, también transversales, que ofrecían estanqueidad a cada sección (CALANDRA 2008:209-210) (Figura 103).

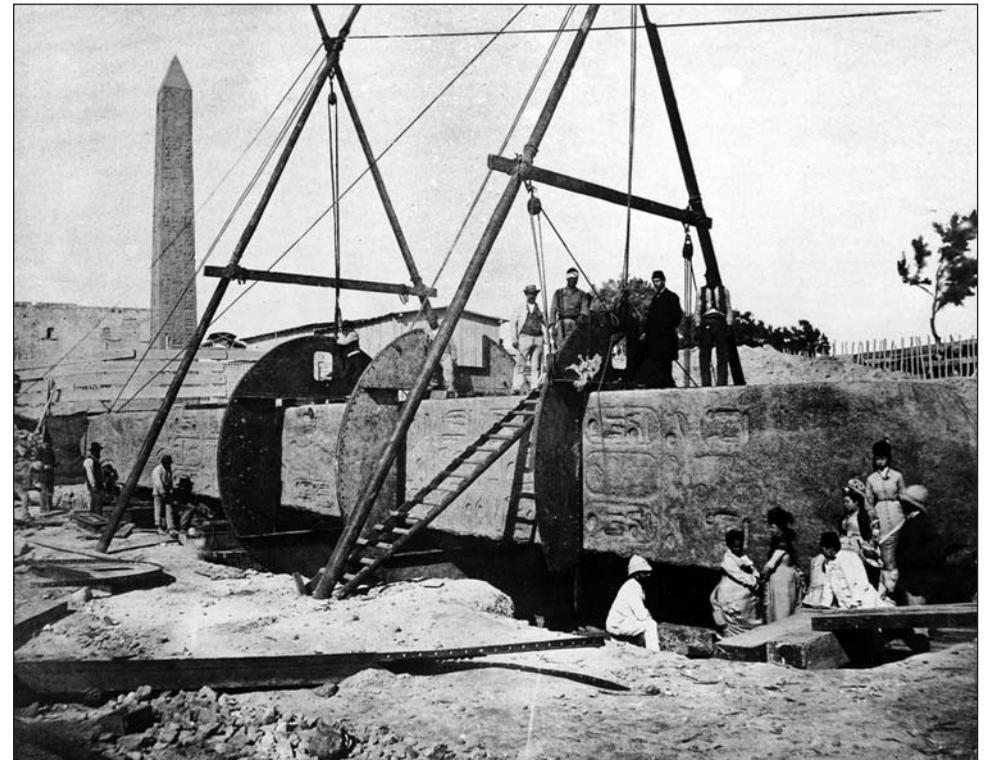


FIGURA 103. Trabajos de preparación del obelisco en Alejandría para su embarque y traslado a Londres. En la imagen se puede observar una parte de los mamparos, ya en posición, que configurarían las divisiones internas del cilindro y ayudarían en la delicada operación de estibado del monolito.

(<http://www.histarmar.com.ar/InfGral-7/CLEOPATRA/EICleopatra.htm>, sin referencia de autor y propiedad).

El artificio fue ensamblado en la planta de Thames Iron Works para, a posteriori, remitirlo en piezas a Egipto; allí, una vez estibado el obelisco, se le acoplaron los elementos marinos y de gobierno al contenedor: timón de popa, mástil, velas, ancla, luces, bomba de achique y espacio para la tripulación (CALANDRA 2008:209); amén de candeleros y guardamancebos para ofrecer seguridad a la marinería (Figura 104).



FIGURA 104. Maqueta (1:250) del Cleopatra elaborada por la Walden Model Co. y construida por Oliver Weiss en la que se aprecia la estiba del obelisco en el interior del cuerpo cilíndrico y una gran parte de los elementos marinos acoplados (Copyright 2006-2021 Walden Font Co. d.b.a. Walden Models, and Oliver Weiss).

El *Cleopatra*, halado inicialmente por el *Olga* en julio de 1877, comenzó una travesía incierta, que le costaría la vida a seis tripulantes; después de muchas vicisitudes, del abandono a su suerte seguidamente de un temporal, ya que el *Olga* desencapilló el cable de conexión, de su reparación en El Ferrol luego de ser rescatado por el *Fitzmaurice*, arribó al Támesis en 1878, remolcado por el *Anglia* (CALANDRA 2008:210) (Figuras 105 y 106).



FIGURA 105. Óleo sobre lienzo de George Knight que plasma la singladura del Cleopatra (National Maritime Museum, Greenwich, London, BHC0641).

Con todo y con ello, parece ser que el precedente inmediato de un gran arrastre oceánico, que Caffarena pudo tener en cuenta, es el traslado de los famosos puertos flotables desde Inglaterra hasta Normandía.

Ante la posibilidad real de no poder romper las defensas de Cherburgo, e incluso antes de que la operación OVERLORD tomara cuerpo, los ingleses ya barruntaban que la solución pasaba por un ejercicio arriesgado de ingeniería.

Una sección importante de ese kit de hormigón, diseñado para solventar los problemas de aprovisionamiento del Día D+1 en adelante, fueron los cajones *Phoenix*; éstos, remolcados por potentes tractores



FIGURA 106. Óleo de 1883 con la llegada del “cylinder ship” portando el obelisco a Londres (Parliamentary Art Collection, <http://www.artuk.org/artworks/214054>).

marinos, cruzaron el Canal, no sin alguna pérdida<sup>137</sup>, comenzando su hundimiento en la posición elegida a partir del Día D+2 o D+3 (Figura 107).

En definitiva, al margen de la gran odisea asociada al *Cleopatra* y, probablemente, por un número significativo de operaciones

137.- Las fuentes refieren cuatro pérdidas durante el transporte: dos debido al mal tiempo, uno por la colisión con una mina y otro hundido por un torpedo (FERRAND 1997:17).

desconocidas, el gran desplazamiento asumido por Caffarena debe de figurar en la nómina de los arrastres oceánicos comprometidos.

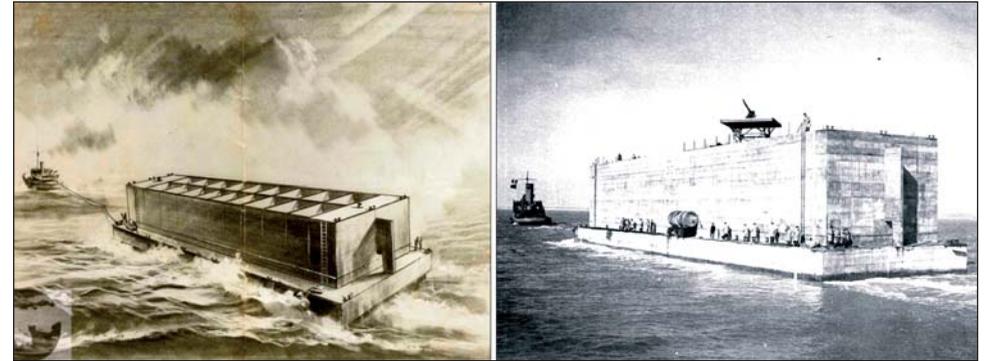


FIGURA 107. Al no disponer de una infraestructura portuaria desde la que abastecer y reabastecer a la fuerza expedicionaria o de invasión, inmediatamente después del Día D, se hizo imprescindible, rememorando la célebre afirmación de Mountbatten: “Ya que no disponemos de puertos, traeremos los nuestros”, trasladar, a través del Canal, un sinnúmero de elementos prefabricados en secciones. En este caso, a la izquierda, vemos la recreación de un Phoenix, tipo B, remolcado en su traslado a Normandía (The D-Day Story Collection, Portsmouth), y a la derecha, una fotografía del mismo proceso (tomada de <http://omaha-vierville.com/WebOmahaVierville1944/WebMulberry/85112-Phoenix.html>).





## ADENDA 5

### EL PUERTO TELEFÉRICO EN LOS DOCUMENTALES DEL NODO (RTVE)

- Noticiero 825 A del NODO (1958) (Cajón Virgen del Pino en Las Palmas):  
<https://www.rtve.es/filmoteca/no-do/not-825/1487583/>
- Noticiero 840 B del NODO (1959) (Construcción; visita del Ministro de Obras Públicas General Vigón):  
<https://www.rtve.es/filmoteca/no-do/not-840/1487043/>
- Noticiero 953 B del NODO (1961) (Construcción):  
<https://www.rtve.es/filmoteca/no-do/not-953/1487233/>
- “África Occidental Española. Sáhara e Ifni”, nº 921 de la Revista Imágenes del NODO (1962) (Anfibios y cita a la construcción del puerto teleférico):  
<https://www.rtve.es/alacharta/videos/revista-imagenes/africa-occidental-espanola-sahara-ifni/2876488/>
- Noticiero 1035 C del NODO (1962) (Construcción; visita del Ministro Subsecretario de Presidencia Carrero Blanco y General Díaz de Villegas):  
<https://www.rtve.es/filmoteca/no-do/not-1035/1471523/>
- Noticiero 1215 A del NODO (1966) (Periodo de pruebas; visita del Ministro de Información y Turismo Fraga Iribarne):  
<https://www.rtve.es/filmoteca/no-do/not-1215/1478455/>
- “Sidi Ifni, ayer y hoy”, nº 1190 de la Revista Imágenes del NODO (1967) (Terminado):  
<https://www.rtve.es/alacharta/videos/revista-imagenes/sidi-ifni-ayer-hoy/2856035/>



## BIBLIOGRAFÍA

- ABC (1967). “Inauguración de los nuevos puertos de Sidi Ifni y El Aaiún”. *ABC*, Miércoles 7 de junio de 1967: 89.
- AGUIRRE HIDALGO, J.M. (1932). “Averías en cajones de hormigón armado empleados en la construcción de diques de abrigo”. *Revista de Obras Públicas*, 2591: 93-96.
- ALCALÁ GALIANO, P. (1879). *Memoria sobre Santa Cruz de Mar Pequeña y las pesquerías en la costa noroeste de África*. Madrid, Imprenta de Fortanet.
- ALEMANY LLOVERA, J. (1991). *Los puertos españoles en el siglo XIX*. Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones del MOPT, Madrid: 1-256.
- ÁLVAREZ-MALDONADO, R. (2008). “50 aniversario del conflicto Ifni-Sáhara”. *Revista General de Marina*, Tomo 254, marzo: 7-30.
- AMORÓS HERNÁNDEZ, A. (1996). “El Escorial y la traducción española de ‘Vitruvio’ de Perrault”. *Actas del Simposium: Literatura e imagen en el Escorial*, Francisco Javier Campos y Fernández de Sevilla (coord.), Real Centro Universitario Escorial-María Cristina.
- AMPHIBIOUS VEHICLES OF WORLD WAR II (1992). *War Machine*, 113. London, Aerospace Publishing Ltd: 2241-2260.
- AOE (1945). *AOE*, Número Extraordinario 18 de julio de 1945: 3.
- ARAGONÉS, P. (1931). “Una avería en los cajones de hormigón armado del Puerto de San Esteban de Pravia”. *Revista de Obras Públicas*, 2584: 483-486.
- ASCENSOR FUNICULAR AÉREO (1905). *Revista de Obras Públicas*, 1573: 775-776.
- BELIDOR, B.F de. (1729). *La Science des Ingénieurs*. París.
- BELIDOR, B.F de. (1753). *Architecture Hydraulique* (seconde partie). París.
- BELL, C. (2017). *El Caribe colombiano. Guía de arquitectura y paisaje*. Junta de Andalucía.
- BENEVOLO, L. (1968). *Storia dell'architettura del Rinascimento*. Volume I, Editori Laterza, Bari: 1-324.
- BENJAMIN, L. (2020). “‘Most extraordinary of busses’: Documenting the rise and fall of the Mt. Hood Aerial Skiway with OHS Collections”. *The Oregon Historical Society*. En: <https://www.ohs.org/blog/most-extraordinary-of-busses.cfm> [Consultado: 08.06.2020].
- BERKERS, E. (1998). “Kustlijnverkorting en afsluittechniek”. En SCHOT, J.V.; LINTSEN, H.W.; RIP, A. y ALBERT DE LA BRUHÈZE, A.A. (red.): *Techniek in Nederland in de twintigste eeuw. Deel 1. Techniek in ontwikkeling, waterstaat, kantoor en informatietechnologie*. Eindhoven, Stichting Historie der Techniek: 71-88.

- BILLOUZ, R. y GILBERT, A. (1996). *De la Tréfilerie-Câblerie de Bourg à Tréfileurope*. Bourg-en-Bresse, Musnier-Gilbert Éditions.
- BOE (1943). *Ley de 4 de septiembre de 1943 sobre concesión de un crédito extraordinario de cuatro millones de pesetas en concepto de subvención al Presupuesto de Ifni para dar comienzo a las obras de construcción del puerto de Sidi Ifni*. Madrid, 248: 8589.
- BOE (1954). *Orden de 22 de julio de 1954 por la que se aprueba el proyecto modificado de embarcadero de Sidi Ifni*. Madrid, 210, 29 de julio de 1954: 5214.
- BOE (1955). *Orden de 28 de diciembre de 1954 por la que se adjudica a "Cubiertas y Tejados, S.A." Compañía General de Construcciones, la construcción del primer grupo de obras comprendidas en el proyecto modificado de Embarcadero de Sidi Ifni*. Madrid, 3, 3 de enero de 1955: 39.
- BOE (1958). *Decreto de 10 de enero de 1958 por el que se reorganiza el Gobierno General del África Occidental Española*. Madrid, 12, 14 de enero de 1958: 87.
- BOE (1960a). *Ley 28/1960, de 21 de julio, por la que se concede un crédito extraordinario de 29.499.032,58 pesetas a la Presidencia del Gobierno, para pago de obras del embarcadero de Sidi-Ifni, y fijación de una anualidad para 1961 de 10.599.829,37 pesetas para dichas obras*. Madrid, 175, 22 de julio de 1960: 10211.
- BOE (1960b). *Ley 81/1960, de 22 de diciembre, por la que se concede un crédito extraordinario de 31.000.000 de pesetas a la Presidencia del Gobierno, como subvención al Presupuesto de Ifni, para obras de su embarcadero*. Madrid, 307, 23 de diciembre de 1960: 17597.
- BOE (1961a). *Resolución de la Dirección General de Plazas y Provincias Africanas por la que se convoca concurso público para adquisición de los materiales necesarios para la instalación del funicular aéreo en el Embarcadero de Sidi Ifni*. Madrid, 66, 18 de marzo de 1961: 4218.
- BOE (1961b). *Orden de 14 de septiembre de 1961 por la que se resuelve el concurso convocado para adquisición de los materiales necesarios para la instalación del funicular aéreo en el embarcadero de Sidi Ifni*. Madrid, 228, 23 de septiembre de 1961: 13823.
- BOE (1963). *Ley 219/1963, de 28 de diciembre, por la que se concede un crédito extraordinario de 29.650.398 pesetas, a la Presidencia del Gobierno, para satisfacer revisión de precios del proyecto reformado del modificado del embarcadero de Sidi Ifni*. Madrid, 313, 31 de diciembre de 1963: 18242.
- BOE (1964). *Orden de 23 de junio de 1964 por la que se concede un crédito extraordinario al presupuesto de la Provincia de Ifni, por importe de 65.611.845 pesetas, para gastos del embarcadero de Sidi-Ifni*. Madrid, 167, 13 de julio de 1964: 8973.
- BOE (1966). *Ley 76/1966, de 28 de diciembre, de concesión de un suplemento de crédito de 37.000.000 de pesetas a la Presidencia del Gobierno con destino a financiar instalaciones y medios auxiliares complementarios del embarcadero de Sidi Ifni*. Madrid, 311, 29 de diciembre de 1966: 16381.
- BRANDON, C. (1997). "Techniques d'Architecture Navale dans la Construction des Caissons en Bois du Port du Roi Hérode à Césarée". *Cahiers d'Archéologie Subaquatique*, XIII: 13-33.

- BRANDON, C. (2014). "Roman Formwork Used for Underwater Concrete Construction". En BRANDON, C., HOHLFELDER, R.L., JACKSON, M.D. y OLESON, J.P.: *Building for Eternity: The History and Technology of Roman Concrete Engineering in the Sea*. Oxford-Philadelphia, Oxbow Books: 189-222.
- BRANDON, C. y JACKSON, M.D. (2014). "Appendix 2. Schedule of Samples Collected for Preliminary Study Prior to the ROMACONS Project". En BRANDON, C., HOHLFELDER, R.L., JACKSON, M.D. y OLESON, J.P.: *Building for Eternity: The History and Technology of Roman Concrete Engineering in the Sea*. Oxford-Philadelphia, Oxbow Books: 239-241.
- BRUNA QUINTAS, B. (2017). "1915, hundimiento del Muelle Transversal". *Efemérides del Puerto de Vigo*, 39-50 (octubre 2016-septiembre 2017), Autoridad Portuaria de Vigo, Archivo General del Puerto de Vigo.
- BUCARO, A. e RASCAGLIA, M. (2020). *Leonardo e il Rinascimento nei Codici Napoletani*. Edizioni Grandi Opere.
- BURGOS NÚÑEZ, A. (2009). *Los Orígenes del Hormigón Armado en España*. Tesis Doctoral, Universidad de Granada.
- BUSTAMANTE GARCÍA, A. (1989). "Los grabados de Vitruvio complutense de 1582". *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología* (BSAA) tomo 55: 273-288.
- CAFFARENA ACEÑA, V. (1955). "El puerto de Sidi Ifni". *África*, 159: 107-112.
- CAFFARENA ACEÑA, V. (1963a). "El embarcadero de Sidi-Ifni". *África*, 254: 63-67.
- CAFFARENA ACEÑA, V. (1963b). "El embarcadero de Sidi-Ifni". *Revista de Obras Públicas*, 2982: 651-658.
- CAFFARENA ACEÑA, V. (1964). "Realizaciones portuarias en las provincias de Ifni y Sáhara". *África*, 268: 237-243.
- CAFFARENA ACEÑA, V. (1966a). "Estado actual de los puertos de las provincias de Ifni y Sáhara". *África*, 294: 344-347.
- CAFFARENA ACEÑA, V. (1966b). *Las obras portuarias en las provincias de Ifni y Sáhara*. Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- CAFFARENA ACEÑA, V. (1966c). "Present condition of ports in the Spanish provinces of Ifni and Sáhara". *Translations on Africa*, 450. Washington D.C., U.S. Department of Commerce: 56-62.
- CAFFARENA ACEÑA, V. (1967). "Los puertos de Sidi Ifni, Aaiún y Villa Cisneros". *África*, 307: 351-356.
- CAFFARENA ACEÑA, V. (1971). "Las obras portuarias en el Sáhara español". *África*, 353: 185-189.
- CAFFARENA LAPORTA, F. y CAFFARENA LAPORTA, J.A. (2013). "Obituario-Vicente Caffarena". *Caminos Andalucía*, Marzo-Abril: 20.
- CALANDRA, O.J. (2009). "Buques extravagantes". *Boletín del Centro Naval*, nº 820: 203-210.
- CAMPRUBRÍ, L. (2009). "Los estándares como instrumentos políticos: ciencia y Estado franquista a finales de los años cincuenta". *EMPIRIA*, 18: 85-114.

- CAPEL, H. (2005). “Los ingenieros militares y el sistema de fortificación en el siglo XVIII”. *Los Ingenieros Militares de la Monarquía Hispánica en los siglos XVII y XVIII* (Coordinado por Alicia Cámara), CEEH.
- CASSON, L. (2014). *Ships and Seamanship in the Ancient World*. Princeton University Press.
- CASTAÑEDA, J. (1761). *Compendio de los Diez Libros de Arquitectura de Vitruvio* (traducción e introducción). Madrid, Imprenta de D. Gabriel Ramírez, Impresor de la Academia.
- CENIVAL, P. de y LA CHAPELLE, F. de (1935). “Possessions espagnoles sur la côte occidentale d’Afrique: Santa-Cruz de Mar Pequeña et Ifni”. *Hespéris*, XXI: 19-77.
- CERDEÑA ARMAS, F.J. (2019). *Cuaderno de Puerto de Cabras. Recuerdos de la Virgen que vino de Sidi Ifni*. En: <http://mis-blogger.blogspot.com/2019/09/recuerdos-de-la-virgen-que-vino-de-sidi.html> [Consultado: 29.01.2020].
- CHURRUCA, E. de (1899). “Puerto de Bilbao: Rompeolas o Dique del Oeste del Puerto Exterior”. *Revista de Obras Públicas*, 1264: 481-483.
- COELLO, F. (1878). “Nota sobre los resultados geográficos de esta exploración”. *Boletín de la Sociedad Geográfica de Madrid*, 3, marzo: 242-247.
- COLECCIÓN LEGISLATIVA DE ESPAÑA (1860). Tomo LXXXIII. Madrid, Imprenta del Ministerio de Gracia y Justicia.
- COLLINS, P.L. (1959). *Splendeur du béton: les prédécesseurs et l’oeuvre d’Auguste Perret*. París, Hazan, 1995 (traducción de Pierre Lebrun).
- CZALOUN, G. (1975). “The ‘Funebus’”. *Internationale Seilbahn-Rundschau*, 4: 153-156. En: [www.seilbahnen.org](http://www.seilbahnen.org) [Consultado: 07.06.2020].
- DE ROJAS, C. (1598). *Teorica y practica de fortificacion, conforme las medidas y defensas de estos tiempos, repartida en tres partes (Dirigida al Principe nuestro Feñor Don Felipe III)*. Con Privilegio, en Madrid, por Luis Sánchez.
- DI GIORGIO MARTINI, F. (ca.1476-77). *Trattati di Architettura Ingegneria e Arte Militare*. En Beinecke Rare Book and Manuscript Library, Yale University.
- DÍAZ LORENZO, J.C. (2018). *Concepción Aparisi, primer barco a motor de Antonio Armas*. En: <https://www.puentedemando.com/concepcion-aparisi-primer-barco-a-motor-de-antonio-arms/> [Consultado: 29.01.2020].
- DURANTINO, F.L. (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, P.M. (1949). “La forme des navires romains, d’après la mosaïque d’Althiburus”. *Mélanges d’Archéologie et d’Histoire*, 61: 119-149.
- ELIE, B. (1975). “Peines d’emprisonnement avec sursis pour trois ingénieurs de la société Neyrpic”. *Le Monde*, 05-mars-1975. En: <https://www.lemonde.fr/archives/article/1975/03/05/peines->

- d-emprisonnement-avec-sursis-pour-trois-ingenieurs-de-la-societe-neyrpic\_2581105\_1819218.html [Consultado: 15.03.2020].
- FELICI, E. (2017). “Trasporti navali de pietra, marmi e obelischi (Egitto, Grecia, Roma). Alcune riflessioni”. *L’Archeologo Subacqueo*, Anno XXIII, 65 n.s., 1: 1-16.
- FERNÁNDEZ-ACEYTUNO, M. (2001). *Ifni y Sáhara, una encrucijada en la historia de España*. Palencia, Simancas.
- FERNÁNDEZ DE MEDRANO, S. (1735). *El Architecto Perfecto en el Arte Militar*. Amberes, Viuda de Henrico Verdussen.
- FERNÁNDEZ DURO, C. (1878). “Exploración de una parte de la costa noroeste de África, en busca de Santa Cruz de Mar Pequeña”. *Boletín de la Sociedad Geográfica de Madrid*, 3, marzo: 157-212.
- FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, M. (1985). *España y Marruecos en los primeros años de la Restauración (1875-1894)*. Madrid, CSIC, Centro de Estudios Históricos.
- FERNÁNDEZ TROYANO, L. (2014). “Los transbordadores y la barquilla de Leonardo Torres Quevedo”. *Revista de Obras Públicas*, 3553: 25-30.
- FERRAND, A. (1977). *Arromanches, Historia de un Puerto: El Puerto Prefabricado Mulberry*. O.R.E.P. Editions.
- FERRANDIS POBLACIONES, J.A. (2012). “Los ingenieros militares en el siglo XIX”. *Revista de Historia Militar*, año LVI, Núm. Extraordinario: Los Ingenieros Militares en la Historia de España, III Centenario de la creación del Arma de Ingenieros: 98-135.
- FOURNIER, G. (1654). *Traité des fortifications, ou Architecture militaire tirée des places les plus estimées de ce temps, pour leurs Fortifications*. París.
- FRAILE MORA, J. (2003). “Evolución Histórica, Enseñanza, Planes de Estudio y Profesorado de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid”. *Historia ETS ICCP*, Madrid, Parte 1: 1-10.
- FRANCO, F. (1939). *Discurso leído por el Caudillo a las 10:30 de la noche del día 31 de diciembre de 1939*.
- FRITACH, A. (1640). *L’Achitecture Militaire du La Fortification Nouvelle*. París.
- FUENTES MACHO, J.D. (2008). *Sobre mi estancia en Ifni..., poemas y otros recuerdos....* Valladolid, autoeditado.
- FUNIVIA DEL COLLE, 100 ANNI (2008). Provincia Autonoma di Bolzano-Alto Adige.
- GALIANI, B. (1758). *L’architettura di M. Vitruvio Pollione*. Napoli, nella Stamperia Simoniana.
- GALINDO DÍAZ, J. (2004). “El legado técnico de los tratados de fortificación en América hispánica”. *APUNTES*, vol. 17: 8-29.
- GALINDO DÍAZ, J. y FONTÁS SERRAT, J. (2019). “La escollera de Bocagrande en Cartagena de Indias (Colombia): una obra

- maestra de la ingeniería española en ultramar (S. XVIII)". *Actas del XI Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Soria: 459-468.
- GALLEGO, E. (1911). "Una aplicación de los cajones sumergibles de hormigón armado para la fundación de obras hidráulicas". *La Construcción Moderna* (Revista Quincenal Ilustrada), 18: 365-367.
- GAUCKLER, P. (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.
- GARCÍA NAVARRO, P. (2009). "El cemento del Muelle de Levante en el Puerto de Huelva (1904-1931)". *Revista de Obras Públicas*, 3496: 53-60.
- GARCÍA TAPIA, N. (1987). "Pedro Juan de Lastanosa y Pseudo-Juanelo Turriano". *LLULL*, vol. 10: 51-74.
- GARCÍA TAPIA, N. (1996). "Ingeniería del agua en los códices de Leonardo y en los manuscritos españoles del siglo XVI". *Ingeniería del Agua*, 3, Num. 2: 17-38.
- GÓMEZ DE ARTECHE, J. y COELLO, F. (1859). *Descripción y mapas de Marruecos*. Madrid, Establecimiento tipográfico de Don Francisco de P. Mellado.
- GONÇALEZ DE MEDINA BARBA, D. (1599). *Examen de fortificación*. Con Privilegio en Madrid, Imprenta del Licenciado Varéz de Castro.
- GONZÁLEZ, F. (1865). "Método empleado por Moffat para construir debajo del agua". *Revista de Obras Públicas*, 13, tomo I (7): 84-86.
- GONZÁLEZ SOSA, P. (1958). "Aquí y ahora... Con D. Vicente Caffarena". *Falange*, 8734, domingo 5 de octubre de 1958: 2.
- GOULD, R.A. y SOUZA D.J. (1996). "History and Archaeology of HM Floating Dock Bermuda". *The International Journal of Nautical Archaeology*, volume 25, issue 1: 4-20.
- GUIGON, L. (2006). "Présent dans l'Ain depuis 1999, Mittal est plutôt un bon employeur". *Le Monde*, 02-février-2006. En: [https://www.lemonde.fr/economie/article/2006/02/02/present-dans-l-ain-depuis-1999-mittal-est-plutot-un-bon-employeur\\_737210\\_3234.html](https://www.lemonde.fr/economie/article/2006/02/02/present-dans-l-ain-depuis-1999-mittal-est-plutot-un-bon-employeur_737210_3234.html) [Consultado: 23.01.2021].
- HERNÁNDEZ PACHECO, E. (1935). "Expedición científica a Ifni". *Boletín de la Sociedad Geográfica Nacional*, Tomo LXXV, 9: 515-541.
- IRIBARREN CAVANILLES, R. (1941). "Obras de abrigo de los puertos". *Revista de Obras Públicas*, 2709: 13-25.
- IRIBARREN CAVANILLES, R. y NOGALES OLANO, C. (1949). "Protection des Ports". *XVIIth Int. Nav. Congress*, Section II, Comm. 4, Lisbon: 31-80.
- JIMÉNEZ, A. (1975). "De Vitruvio a Vignola: autoridad de la tradición". *Habis* 6: 253-293.
- LASTANOSA, P.J. 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/bnearch/detalle/bdh0000099602>  
[Consultado: 12.05.2020].

LECHUGA ÁLVARO, A. (1999). “Cincuenta años del parámetro de Iribarren (1949-1999)”. *Ingeniería Civil*, 115: 131-134.

L'ECONOMISTE(2014). “Ports: 1,8 milliard de DH d'investissement”. *L'Economiste*, Edition n° 4285, 28-05-2014. En: <https://www.leconomiste.com/article/954101-ports-18-milliard-de-dh-d-investissement> [Consultado: 07.03.2020].

LIFT (1974a). “A New Ropeway System with Autodrive Cars. An Islet Landing Stage at Sidi Ifni (Morocco). Part 1”. *Lift*, March/April 1974: 44-47. En: [www.seilbahnen.org](http://www.seilbahnen.org) [Consultado: 15.03.2020].

LIFT (1974b). “A New Ropeway System with Autodrive Cars. An Islet Landing Stage at Sidi Ifni (Morocco). Part 2”. *Lift*, May/June 1974: 72-75. En: [www.seilbahnen.org](http://www.seilbahnen.org) [Consultado: 15.03.2020].

LIFT (1974c). “‘Sky-Tram’. Ropeway with Self-propelled Cars. An Aerial Ropeway System developed in U.S.A.”. *Lift*, July/August 1974: 110-112. En: [www.seilbahnen.org](http://www.seilbahnen.org) [Consultado: 07.06.2020].

LOZANO REY, L. (1956). “Notas sobre una campaña científica realizada en Ifni”. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Tomo L, 2: 233-285.

MAGGI, G. e CASTRIOTTO, I. (1584). *Fortificatione delle Citta*. Libri III, Venetia, appresso Camilo Borgominiero, al Segno di S. Giorgio.

MANRIQUE, A.M. (1889). *Resumen de la Historia de Lanzarote y Fuerteventura*. Arrecife de Lanzarote, Tip. de Francisco Martín González.

MAROLOIS, S. (1651). *Fortification ou Architecture Militaire tant offensive que deffensive* (dos partes). Amsterdam.

MARTÍNEZ RAYÓN, J. y GEYMAYR, G. (1955a). “La nueva técnica en la preparación de morteros y hormigones”. *Revista de Obras Públicas*, enero: 13-16.

MARTÍNEZ RAYÓN, J. y GEYMAYR, G. (1955b). “Los hormigones con productos químicos de adición, en obras”. *Revista de Obras Públicas*, mayo: 239-244.

MENÉNDEZ DÍAZ, J.A. (2016). “Una breve historia del origen de las patentes”. *Patentes increíbles*.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (1939). *Instrucción para el Proyecto y Ejecución de Obras de Hormigón*. Burgos, Publicaciones del Ministerio de Obras Públicas, 1, Hijos de Santiago Rodríguez.

MOFFAT, J. (1865). “Method of building under water”. *The Civil Engineer and Architect's Journal*, volume twenty-eighth, London: 75-77.

MOJARRO BAYO, A.M. (2017). *Francisco Montenegro y el Puerto de Huelva*. Puerto de Huelva.

MONTENEGRO, F. (1911). “Muelles de fábrica sobre terrenos de escasa resistencia”. *Revista de Obras Públicas*, 1845: 49-54.

- MONTENEGRO, F. (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.
- MUJICA, J.S. (2008). “Tarfaya, bajo las aguas”. *Canarias 7*, 02-05-2008. En: [https://www.canarias7.es/hemeroteca/tarfaya\\_bajo\\_las\\_aguas-CDCSN94565](https://www.canarias7.es/hemeroteca/tarfaya_bajo_las_aguas-CDCSN94565) [Consultado: 11.03.2020].
- MULLER, J. (1764). *A Treatise of Fortification in four parts*. (Second Edition, with Improvements), London, printed for A. Millar.
- MUÑOZ PÉREZ, J.J. y TEJEDOR, B. (2007). “Los conocimientos de oleaje en las postrimerías del siglo XVIII y su aplicación a la muralla del vendaval en Cádiz”. *Actas del Quinto Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Burgos, 7-9 de junio 2007, eds. M. Arenillas, C. Segura, F. Bueno, S. Huerta, Madrid: I. Juan de Herrera, SEdHC, CICCPC, CEHOPU: 689-698.
- MUÑOZ PÉREZ, J.J., FAGES ANTIÑOLO, L., CASA ALONSO, A de la y GÓMEZ PINA, G. (2009). “Las murallas de Cádiz y su lucha contra el mar”. *Revista de Obras Públicas*, 3495: 41-52.
- N, J. (1897). “Empleo de Cajones de Hierro en la Construcción de Diques”. *Revista de Obras Públicas*, 1124: 356-360.
- NAKAGAWA, H. (1972). “A New Transport System: Rope Monorail. Self-driven Gondolas moving along a Wire Rope”. *Elevator Lift and Ropeway Engineering*, January/February 1972: 12-13. En: [www.seilbahnen.org](http://www.seilbahnen.org) [Consultado: 07.06.2020].
- NANNI, R. (2011). “Il Badalone di Filippo Brunelleschi e l’iconografia del ‘*navigium*’ tra Guido da Vigevano e Leonardo da Vinci”. *Annali di Storia di Firenze*, VI: 65-119.
- NAVARRO, F.P. (1947). *Exploración Oceanográfica del África Occidental. Desde el Cabo Ghir al Cabo Juby*. Madrid, Ministerio de Marina, Instituto Español de Oceanografía, Trabajos 20.
- NISTAL CORDERO, A.F., RETANA MAQUEDA, M.J. y RUIZ ABRIO, T. (2012). “El hormigón: Historia, Antecedentes en Obras y Factores Indicativos de su Resistencia”. *Tecnología y Desarrollo*, X: 1-16.
- OLESON, J.P. (1988). “The technology of Roman harbours”. *The International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration*, 17.2: 147-157.
- ONRUBIA PINTADO, J.; BOKBOT, Y.; HERVÁS HERRERA, M.Á.; GARCÍA GARCÍA, L.A.; MARCHANTE ORTEGA, Á.; CÁCERES GUTIÉRREZ, Y.; GONZÁLEZ MARRERO, M.C.; JUAN ARES, J. de; MORENO GARCÍA, M. y RODRÍGUEZ SANTANA, C.G. (2016). “Arqueología de Fum Asaca (Sidi Ifni-Marruecos). De probable instalación purpuraria gétula a torre colonial hispano-canaria”. *Anuario de Estudios Atlánticos*, 62: 1-25.
- ORTEGA SPOTTORNO, J. (1987). “En la muerte de Francisco Bustelo”. *El País*, Sociedad 14/03/1987.
- ORTIZ Y SANZ, J. (1787). *Los Diez Libros de Archîectura de M. Vitruvio Polion*. De Orden Superior, en Madrid en la Imprenta Real.
- OSTOLAZA ELIZONDO, M.I. (1992/3). “Los veintiún libros de los ingenios y de las máquinas: composición, reconstrucción

- arqueológica, proceso de copia, copistas, datación”. *Archivo de Filología Aragonesa*, vol. 48-49: 225-262.
- PACHECO, J.C. (2017). “Ramón Iribarren Cavanilles (1900-1967): el mar como pedagogía del paisaje”. *Ingeniería Civil*, 188: 105-113.
- PAPPAULT, R. (1965). “Les travaux du Delta hollandais. L’execution de la digue de Grevelingen au moyen d’un téléphérique blondin équipé de véhicules automoteurs circulant en continu”. *Le Génie Civil, Revue Générale des Techniques*, 1er Septembre: 2-7.
- PASCON, P. (1963). *Les ruines d’Agoutir de Khnifis, province de Tarfaya (Santa Cruz de Mar Pequeña)*. Rabat.
- PEÑA BOEUF, A. (1954). *Memorias de un Ingeniero Político*. Madrid, Artes Gráficas Estades.
- PEÑA BOEUF, A. (1966). “Un siglo de hormigón armado en España”. *Revista de Obras Públicas*, febrero: 85-94.
- PEÑA OLIVAS, J.M. de la (2007). *Avance y desarrollo portuario en la Roma Antigua*. Traianvs: 1-30.
- PEÑA OLIVAS, J.M. de la (2016). *Inventario de Puertos Antiguos en Hispania*. Ministerio de Fomento / CEDEX, Madrid: 1-199.
- PÉREZ DE LA SALA, P. (1876). *Tratado de las Construcciones en el Mar*. (Entrega quinta), Madrid: 361-552.
- PERIAGO LORENTE, M. (2003). *Procopio de Cesarea: Los Edificios*. (Traducción, Introducción y Notas). *Estudios Orientales* 7, Murcia.
- PERRAULT, C. (1673). *Les Dix Livres d’Architecture de Vitruve*. Chez Jean Baptiste Coignard, Paris.
- PORT DE SIDI IFNI (2016). *Les ports du Maroc en chiffres*. Décembre 2016: 111-112. En: [www.equipement.gob.ma](http://www.equipement.gob.ma) [Consultado: 18.02.2020].
- QUID (2019). “ANP: la nouvelle vie des ports marocains”. *Quid*, 30 Décembre. En: <http://quid.ma/economie/ANP--La-nouvelle-vie-des-ports-marocains> [Consultado: 07.03.2020].
- RAPOSO MARTÍNEZ, J. (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.
- REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS (1917). “Hormigón Armado: Importante Real Decreto”. *Revista de Obras Públicas*, 2176: 276-277.
- RIBERA, J.E. (1902). *Hormigón y cemento armado: mi sistema y mis obras*. Madrid, Imprenta de Ricardo Rojas.
- RIBERA, J.E. (1922). “Caissons en Béton Armé, pour fondations à l’air comprimé”. *Le Génie Civil* (Revue Générale Hebdomadaire des Industries Françaises et Étrangères), LXXX, 14, 8 Avril: 318-320. En: [gallica.bnf.fr](http://gallica.bnf.fr) / Ecole nationale des ponts et chaussées [Consultado: 06.05.2020].
- RIBERA, J.E. (1930). *Puentes de Fábrica y Hormigón Armado: Cimientos*. Tomo II, segunda edición corregida y aumentada.
- ROMERO MUÑOZ, D. (2000). “La vida de Ramón Iribarren

- Cavanilles. Pionero de la técnica marítima”. En VV.AA.: *Iribarren. Ingeniería y mar*, Madrid, CEHOPU y CEDEX, Ministerio de Fomento: 95-115.
- SÁENZ, M. (2017). *Territorio*. Madrid, Funambulista.
- SÁENZ DE ORMIJANA, F.; LUENGO, A. y PRIETO, E. (1996). “Fabricación y remolque de los cajones de hormigón para la prolongación del Muelle de Poniente en el puerto de Palma de Mallorca”. *Revista de Obras Públicas*, septiembre, 3357: 57-68.
- SÁENZRIDRUEJO, F. (2004). “Sánchez del Río y Fernández Casado, dos ingenieros de la Generación del 27”. *Actas VIII Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas (Logroño 2002)*: 141-159.
- SAGLIO M.E. y POTTIER M.E. (1877-1919). *Dictionaire des Antiquités Grecques et Romaines*. París, Libraire Hachette.
- SALUZZO, C. (1841). *Trattato di Architettura Civile e Militare di Francesco Di Giorgio Martini*. Torino, Tipografia Chirio e Mina.
- SÁNCHEZ CARRIÓN, J.M. (2015). “La muralla del vendaval de Cádiz”. *Defensive Architecture of the Mediterranean. XV to XVIII centuries*, Vol II, Rodríguez Navarro (Ed.), Editorial Universitat Politècnica de València: 303-308.
- SÁNCHEZ TARAMAS, M. (1769). *Tratado de Fortificación, ó Arte de conftruir los Edificios Militares, y Civiles* (dos tomos). Barcelona: Por THOMAS PIFERRER Imprefor del Rey nuestro Señor.
- SIMONNET, C. (2009). *Hormigón: Historia de un Material*. Editorial Nerea, Donostia-San Sebastián: 1-239.
- SOBERÓN, M. (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.
- STAMHUIS, E. (1997). *Afsluitingstechnieken in de Nederlandse Delta*. Zutphen, Walburg Pers.
- SUÁREZ GALVÁN, E. (1927). “Averías del hormigón armado en los puertos de América del Norte”. *Revista de Obras Públicas*, 2475: 168-169.
- TABERNERO CHACOCO, H. (1958). “Ifni: la obra de España”. *Ejército*, 218: 3-10.
- TACCOLA, M. (ca.1453). *De re militari et machinis bellicis*. Manuscrit composite: Mariano Taccola -Vue de Constantinople (?).- Carte des Balkans, vers 1453. 1401-1500. (gallica.bnf.fr/Bibliothèque Nationale de France. Département manuscrits. Latin 7239).
- TORROJA, E. (1932). “Los pliegos de condiciones para obras de hormigón armado”. *Revista de Obras Públicas*, 2599: 293-296.
- TORROJA, E. (1953). “Laboratorios”. *Revista de Obras Públicas*, 2857: 19-22.
- TPH DE JANDRI 2 - LES DEUX-ALPES (2015). En: <https://www.remontees-mecaniques.net/forums/index.php?showtopic=2175&st=20&p=250234&hl=neyrpic&fromsearch=1&#entry250234> [Consultado: 09.03.2020].

- TURRIANO, J. -Pseudo- (¿XVI-XVII?). *Los Veintiún Libros de los Ingenios y Máquinas*. Madrid, BNE, microfilm, números 3372-76.
- URREA, M. (1582). *M Vitruuio Pollion, De Architectura diuidido en diez libros*. Impreso en Alcalá de Henares por Juan Gracián.
- VALDÉS, N. (1859). *Manual del Ingeniero*. París, Librería Militar de J. Dumaine, Editor del Emperador: 1-1040.
- VERA, E. (2019). “La memoria majorera regresa a Sidi Ifni, cincuenta años después”. *Diario de Fuerteventura*, 21-12-2019.  
En: <https://www.diariodefuerteventura.com/noticia/la-memoria-majorera-regresa-sidi-ifni-cincuenta-a%C3%B1os-despu%C3%A9s> [Consultado: 20.02.2020].
- VERA BOTÍ, A. (2001). *La arquitectura militar del Renacimiento a través de los tratadistas de los Siglos XV y XVI*. (Tesis doctoral), Universitat Politècnica de València.
- VIRELLA BLODA, A. (1976). “Los cementos Pórtland con adiciones y los cementos compuestos”. *Materiales de Construcción*, 26, 164: 51-71.
- VITRUVIO POLIÓN, M. (1787). *Los Diez Libros de Archîectura*. Traducidos del latín y comentados por Don Joseph Ortíz y Sanz (presbítero), Madrid, Imprenta Real.
- VOTRUBA, G.F. (2007). “Imported building materials of Sebastos Harbour, Israel”. *The International Journal of Nautical Archaeology*, 36.2: 325-335.
- VV.AA. (1900). “Bilbao Marítimo e Industrial”. *El Mundo Naval Ilustrado: Revista de Navegación y Comercio*, 4, 20 de febrero: 49-52.
- VV.AA. (1985). *Puertos y fortificaciones en América y Filipinas. Catálogo de la exposición*. CEHOPU, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Servicio de Publicaciones.
- VV.AA. (1996). *Betancourt. Los inicios de la ingeniería moderna en Europa*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Colección Ciencias, Humanidades e Ingeniería, nº 54, Madrid: 1-373.
- VV.AA. (2000). *Iribarren. Ingeniería y mar*. Madrid, CEHOPU y CEDEX, Ministerio de Fomento.
- YTURRIAGA DOU, F.M. (1967). “El Ministerio de Obras Públicas y los puertos de Sidi Ifni y Villa Cisneros y el embarcadero de El Aaiún”. *África*, 308: 408-410.
- ZAFRA, J.M. de (1911). *Construcciones de Hormigón Armado: Mecánica del Hormigón Armado*, (primera parte). Madrid, Imp. encuad. de V. Tordesillas.
- ZAFRA, J.M. de (1912). “El Hormigón Armado: Fórmulas-recetas y fórmulas racionales-experimentadas”. *Revista de Obras Públicas*, 1910: 213-215.









**Puerto de Málaga**



Autoridad Portuaria de Málaga