

# LA EXPERIENCIA ESPAÑOLA EN EL PROYECTO Y LA CONSTRUCCIÓN DE DIQUES DE ABRIGO PORTUARIO EN EL SIGLO XXI

Gutiérrez Serret, R.<sup>1</sup>, Grassa Garrido, J.M.<sup>1</sup>  
y Grau Albert, J.I.<sup>2</sup>

## RESUMEN

El objeto de la ponencia<sup>3</sup>, de carácter eminentemente descriptivo, es el de presentar la gran actividad que, en el ámbito del proyecto y la construcción de diques de abrigo, ha tenido lugar en España, en lo que va de siglo, en los puertos del Sistema Portuario de Titularidad Estatal; sin que la extensión de la misma permita incluir los construidos en las diez Comunidades Autónomas con costa algunos de los cuales han sido de magnitudes importantes.

La ponencia también incorpora una breve reseña histórica sobre la construcción de diques en España, presentando algunos de los más significativos del último tercio del siglo XX.

Asimismo se incluyen algunas referencias a los trabajos de experimentación física realizados en el CEDEX para el diseño y la construcción de muchas de estas estructuras.

En conjunto, la longitud de diques construidos en este siglo en el Sistema Portuario Estatal, en profundidades entre 12 y 42 m, ha sido de 32,27 km, de los cuales 15,44 km son diques en talud y 16,83 km verticales; habiendo, muchos de ellos, soportado ya temporales importantes.

## ABSTRACT

The aim of this paper is to provide a general and descriptive overview of the major port breakwater development that has taken place in Spain in this century, especially in the design and construction fields. The port breakwater of the Autonomous Regions -10 Regions with coastline do not fall within the scope of this article due to its extension.

---

<sup>1</sup> Centro de Estudios de Puertos y Costas. CEDEX.

<sup>2</sup> Organismo Público Puertos del Estado.

<sup>3</sup> La presente ponencia es la actualización de una de las dos conferencias inaugurales del congreso "Coast, Marine Structures and Breakwaters", celebrado en septiembre de 2009 en Edimburgo (U.K.), denominada: "Breakwater development in Spain. The last ten years".

## INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

Also it is included a historical mention to the breakwater construction in Spain, showing some of the most representatives builded in the last third of the XX Century.

References to the physical model test developed in CEDEX for the design and construction of some of these structures are included.

Over the past 12 years, about 32.27 km of large breakwaters have been constructed in depths between 12 and 42 m, 15.44 km of the rubble mound type and 16.83 km of vertical and many of them has withstood important storms.

### INTRODUCCIÓN

La presente ponencia ofrece una panorámica, general y eminentemente descriptiva, de la importante actividad que, en el ámbito del diseño y de la construcción de diques de abrigo portuario, ha tenido lugar en España en lo que va de siglo.

En este contexto, se presentan las realizaciones más importantes del Sistema Portuario Estatal -28 Autoridades Portuarias que gestionan 44 puertos- bajo la coordinación del Organismo Público Puertos del Estado. El detalle de las actuaciones que se muestran y la inclusión de otras, también relevantes, tanto del Sistema Estatal como del de las Comunidades Autónomas -10 Comunidades con costa- excede la extensión de esta conferencia.

Con los ejemplos que se presentan, se ha buscado ofrecer una selección de los problemas más importantes e innovadores con los que se ha enfrentado la ingeniería portuaria española –grandes calados, fuertes oleajes o problemas geotécnicos singulares–, los cuales, con carácter general, están determinados, por la necesidad de acometer los nuevos desarrollos portuarios en aguas exteriores; no sólo por la ausencia general de zonas con abrigo natural de la costa española, sino también por los aspectos ambientales, que suponen una gran dificultad para realizar estos desarrollos en bahías, estuarios o desembocaduras de ríos, como históricamente ha ocurrido con los grandes puertos del mundo.

Esta circunstancia, de carencia de abrigo natural -puertos exteriores-, no ha sido una novedad en España. Aunque históricamente, los puertos se han ido ubicando en bahías y estuarios, en zonas litorales contiguas a playas o en tramos fluviales, la mencionada particularidad de la costa española, de falta de abrigo natural e inexistencia de ríos navegables, a excepción del Guadalquivir hasta Sevilla, así como las mayores exigencias y capacidades de los buques, fueron determinando la necesidad de diques de abrigo.

En este sentido, pueden citarse: el dique romano de escollera del puerto de Bares en el NW peninsular de unos 300 m en profundidades de 4-5 m, en el siglo XVI (1575) los de Santander, en el XVII (1435) los de Gijón y en el XVIII los de Málaga, Valencia y Barcelona (figura 1). En el XIX aumenta la construcción de diques, progresando mucho en el XX [1].

En las últimas décadas del siglo pasado, pueden destacarse los diques de los puertos de: Bilbao (Punta Lucero, 1985), Gijón (Príncipe de Asturias, 1976), Las Palmas (Reina

# INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

DIQUES EN TALUD CONSTRUIDOS EN LOS ÚLTIMOS 12 AÑOS										
Dique Denominación	L (m)	D <sub>max</sub> (m)	B (m)	C (m)	H (m)	W (t)	S (H/V)	H <sub>diseño</sub> (m)	h (m)	Estado
Torres. Gijón.	1.450	-22	-	22	44	145	2:1	9,5	4,6	Terminado
Ferrol. Puerto Exterior	1.100	-33	-15	18	51	90	3,5:2	7,60	4,5	Terminado
Coruña. Puerto Exterior	4.000	-42	-28	25	67	150	2:1	15,1	4,5	Terminado
Valencia. Ampliación Norte	1.123	-16	-9	12	28	35	3:2	6,3	1	Terminado
Este. Barcelona.	2.165	-20	-10	12	32	50	3,5:2	7,3	0	Terminado
Sur. Tramo 1 y 3. Barcelona	3.100	-23/-27	-14	11	33-38	40	1,75:1	7,3	0	Terminado
Bocana Norte. Barcelona	1.000	-25,2	-10	11	35,2	40	3:2	6,4	0	Terminado
Alicante	1.200	-16	-8	7,5	23,5	20	3:2	4,4	0	Terminado
Esfinge. Las Palmas	302	-39	-10	15	54	56	3:2	7,3	3,0	Terminado
Longitud total: 15.440 m		Longitud construida: 8.867 m				Longitud en construcción: 6.573 m				
DIQUES VERTICALES CONSTRUIDOS EN LOS ÚLTIMOS 12 AÑOS										
Dique Denominación	L (m)	D <sub>max</sub> (m)	B (m)	C (m)	H (m)	W (t)	H <sub>diseño</sub> (m)	h (m)	Estado	
Norte. Gijón	1.588	-30	-24,75	24	32,01	48,75	9,5	4,6	Terminado	
Isla Verde. Algeciras	1.750	-43	32,5	7,5	21,4	40	4,8	1,3	Terminado	
Levante. Málaga	1.200	-20	-20	10	21,1	30	6,3	0,8	Terminado	
Motril	550	-20	-12	7,5	21,1	91,5	6,3		Terminado	
Ampliación Escombreras	1.955	-52	-28	8	24	32	8,1	0,6	Terminado	
Valencia. Ampliación Norte	2.271	-16	-	13	19,17	29	6,3	1	Terminado	
Sagunto	1.204	-15	-	9	19,6	24	6,4	0	Terminado	
Levante. Castellón	440	-12	-13	12	19,6	25	7,3	0,5	Terminado	
Prolong. Levante Castellón	358	-15	-13	12	19,6	25	7,3	0,5	Terminado	
Sur. Castellón	819	-16	-12,5	12	15	5,20	7,3	0,5	Terminado	
Prolongación. Tarragona	736	-30	-21,5	8	24	29,5	7	0	Terminado	
Sur. Tramo 2. Barcelona	1.700	-20	-15	11	24,4	26	7,6	0	Terminado	
Bocana Norte. Barcelona	450	-29	-17,5	6	19,6	25,5	6,4	0	Terminado	
Botafoc. Ibiza	615	-25	-20	7	21,1	27	6,3	0	Terminado	
Reina Sofía. Las Palmas	490	-40	-26	12,2	24	38,2	7,3	3,0	Terminado	
Esfinge. Las Palmas	664	-33	-26	12,2	24,6	38,2	7,3	3,0	Construcción	
Longitud total: 16.830 m		Longitud construida: 11.130 m				Longitud en construcción: 5.700 m				

**Tabla 1. Diques construidos en España en los últimos doce años. Sistema Portuario Español.**

# INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

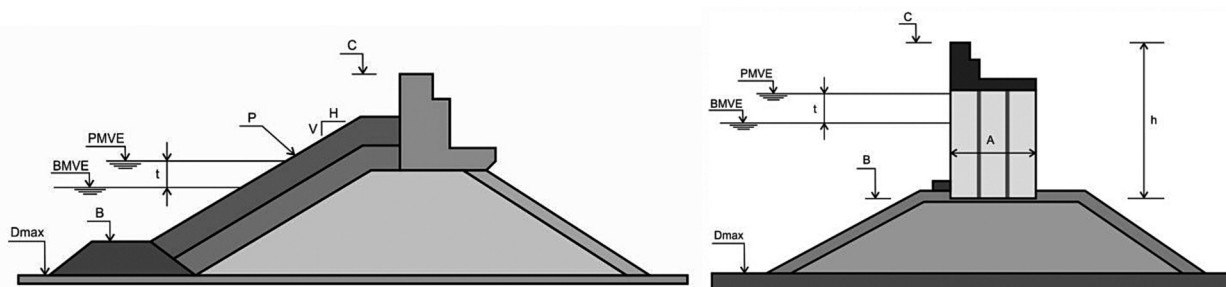


Figura 1. Diques en talud y verticales. Nomenclatura.

Sofía, 1972 y posteriores) y Tenerife (Los Llanos, 1980 y anteriores). En relación con ellos y como antecedente próximo a los construidos en los últimos diez años, en el siguiente apartado, se incluye una sucinta descripción de los mismos.

Por el contrario, lo que sí ha sido una novedad y un reto, en este siglo, es la magnitud y la singularidad de las ampliaciones portuarias que se han acometido y los problemas que estas circunstancias han planteando, derivadas, como se ha indicado, de los grandes calados en los que se han construido estas estructuras, de los fuertes oleajes que algunas de ellas han de resistir o de la escasa capacidad portante de los fondos marinos dónde se han cimentado.

A este respecto, en el Sistema Portuario Estatal, cabe destacar la gran envergadura, de los diques de los nuevos puertos exteriores de Gijón [2], Ferrol [3] y Coruña [4], en el Atlántico, con longitudes de 3,8; 1 y 3,4 km, alturas máximas de 48, 49 y 64 m, oleajes de diseño de 9,5; 7,6 y 15 m de altura significativa y tipologías estructurales en talud y de cajones; la ampliación del puerto de Algeciras con un dique vertical de baja reflexión de 2 km de longitud en calados de 30 a 40 m; la ampliación del puerto de Cartagena en su dársena de Escombreras con un dique vertical a 50 m de profundidad y 1 km de longitud y los problemas geotécnicos derivados de los fangos existentes en la cimentación de los diques de la ampliación del puerto de Barcelona.

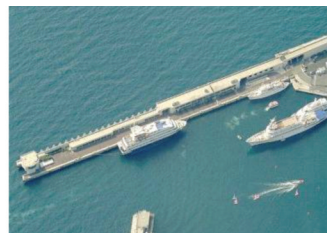
Junto a ellos, aunque con menores dimensiones pero, en cualquier caso, muy importantes, se encuentran los diques de las ampliaciones de los puertos de: Málaga, Motril, Alicante [5], Valencia, Sagunto, Castellón, Tarragona [6], Barcelona (Bocana Norte),



Dique seco puerto Algeciras (España)



Remolque Algeciras-Mónaco.



Ubicación. Puerto Condamine (Mónaco)

Figura 2. Dique flotante del puerto de la Condamine (Mónaco)

Ibiza y Las Palmas (Reina Sofía y la Esfinge). En total, en los últimos 12 años se han construido 32,27 km m de grandes diques, correspondiendo 15, 44 km a estructuras en talud y 16,83 km a verticales.

De todas estas estructuras, como obras más relevantes, en la ponencia se presentan, de forma específica, los casos de los diques mencionados de: Gijón, Coruña, Algeciras y Barcelona, incluyendo algunos detalles de los ensayos físicos realizados en el CEDEX para su diseño y construcción. No obstante, en la tabla 1 se resumen las principales características de todos los diques citados [7], mostrándose en la figura 1 la nomenclatura utilizada.

Además, en las Comunidades Autónomas también se han construido diques destacables. En el litoral Cantábrico, los de los puertos de Bermeo, Laredo, Llanes o San Esteban de Pravia; en Canarias Tazacorte y Puerto del Carmen y en Baleares Ciudadela, entre otros.

Asimismo, aunque fuera de España, sobresale, como realización singular, el dique flotante del puerto de La Condamine (Principado de Mónaco); que, con dimensiones de 352 x 28 x 19 m, fue construido, por dos empresas españolas, en el puerto de Algeciras y remolcado hasta su emplazamiento, dónde quedó unido a tierra mediante un cajón-estribo con una rótula de 2,60 m de diámetro y fondeado con 8 cadenas a pilotes hincados entre -50 a -80 m (figura 2).

De este desarrollo en la construcción de diques, como aspectos sobresalientes cabe destacar: crecimiento de las estructuras verticales; construcción de soluciones en talud de gran envergadura con bloques de 150 a 200 t; procedimientos constructivos innovadores –p. ej. el fondeo de cajones-; introducción de diques verticales de baja reflexión y avances en la instrumentación estructural y geotécnica y en los sistemas de predicción del oleaje.

Una circunstancia determinante, que ha facilitado este desarrollo, ha sido la existencia, desde el año 1982, de las redes de Puertos del Estado de observación del medio marino ([www.puertos.es/oceanografía\\_y\\_meteorología](http://www.puertos.es/oceanografía_y_meteorología)): Red Costera de Medida y Registro de Oleaje (REMRO), Red de Aguas Profundas, Red de Correntímetros y Red de mareógrafos, merced a las cuales se ha dispuesto de una inestimable información sobre temporales para el diseño y la construcción de estos diques. Asimismo, otro factor que ha coadyuvado en este desarrollo ha sido la normativa que, desde el año 1987, viene elaborando Puertos del Estado a través de sus Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM)[7].

## **CONSTRUCCIÓN DE DIQUES EN ÚLTIMO TERCIO DEL SIGLO XX. [7]**

Según se ha indicado, como antecedentes del desarrollo en este siglo, se presenta, por su importancia, una síntesis de las características de 4 diques singulares: Príncipe de Asturias (Gijón), Punta Lucero (Bilbao) y Reina Sofía (Las Palmas) [7].

### **Dique “Príncipe de Asturias”: Puerto de Gijón**

Se trata de un dique en talud con una altura máxima de 40,35 m y una longitud de 2.145 m, que consta de 5 tramos de: 490, 525, 885, 100 y 145 m. Tiene la particularidad

## INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

de que su núcleo está formado por bloques de 90 t, lo que le confiere una gran permeabilidad.

El tramo 1 data de finales del siglo XIX, el 2 se construyó entre 1950 y 1963 y el resto entre 1969 y 1976. En la figura 3 se muestra una panorámica del dique y la sección tipo de su tramo 3, representativa de la mayor parte de la estructura.

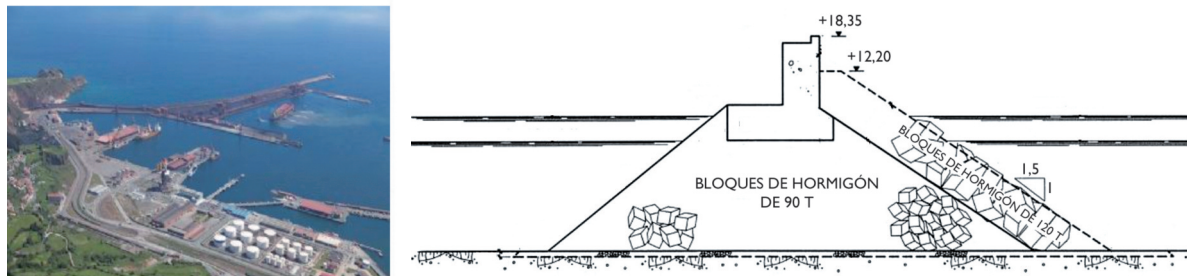


Figura 3. Dique Príncipe de Asturias. Puerto de Gijón. Panorámica y Sección tipo.

La altura de la ola de cálculo fue de 9,60 m y la carrera de marea de 4,60 m. Su comportamiento, en general, ha sido bueno, habiendo sufrido algunas averías en el tramo 1 y algún deterioro de bloques en el 2; detectándose en una inspección en 1983, un talud más vertical que el de proyecto y un pie de dique escaso en los tramos 4 y 5.

### Dique de "Punta Lucero". Puerto de Bilbao

Se trata también de un dique en talud con una altura máxima de 54 m y una longitud de 2.498 m, que consta de 3 tramos de: 540, 1.510 y 373 m. Se construyó entre 1.971 y 1976, sufriendo, ese año, importantes averías que determinaron su refuerzo, el cual se realizó entre 1.980 y 1.985. En la figura 4 se muestra una panorámica actual del

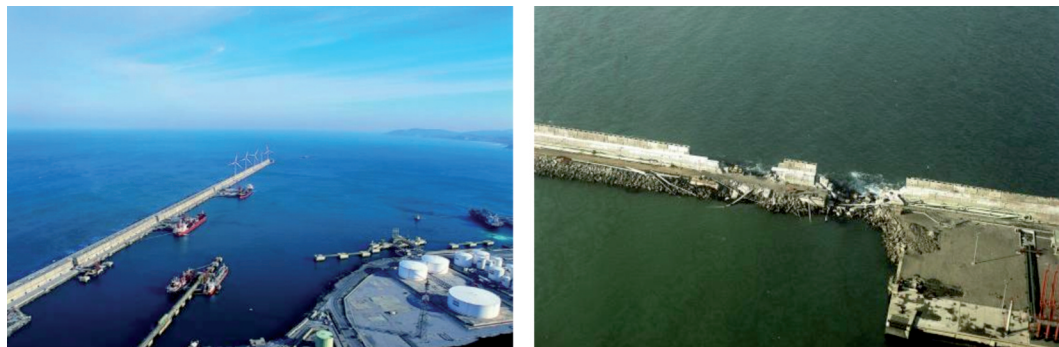


Figura 4. Dique Punta Lucero. Puerto de Bilbao. Panorámica actual y de la avería.

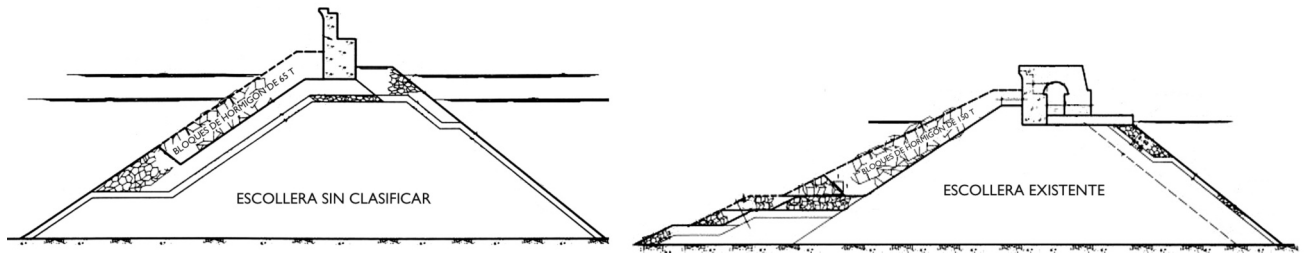


Figura 5. Dique Punta Lucero. Puerto de Bilbao. Secciones tipo: primitiva y reforzada.

dique y su estado tras la avería de diciembre de 1976 y en la 5, las secciones tipo - primitiva y reforzada- de su tramo 2.

La altura de ola de cálculo fue: 10,1 m en inicio de avería (daños 4%) y 14,5 m en rotura (daños 36%) y la carrera de marea 5,2 m. Las averías, se produjeron en marzo de 1976 (12-14/03/1976) y en diciembre (1-5/12/1976). En el primer temporal se ocasionaron averías importantes, llegándose en diciembre a la rotura del dique en unos 140 m de su tramo 2.

Las características de ambos temporales, determinadas mediante un “registrador” de oleaje, instalado a principios de 1975, fueron: dirección en ambos sucesos N48°W, altura significativa máxima 7,2 y 8,0 m y periodos medios 7,9 y 9,5 s respectivamente.

A la vista de los daños producidos, se realizaron diversos estudios para determinar la causa de las averías y reforzar el dique, constatándose que el espaldón era inestable a partir de una altura de ola de 7 m y que la profundidad del pie manto principal (-10 m) era insuficiente.

### Dique “Reina Sofía”. Puerto de Las Palmas

Es un dique en vertical con una altura máxima de 58,30 m y una longitud de 3.108 m, que consta de 2 tramos de: 2.417 y 691 m. Se construyó entre 1.967 y 1972 (tramo 1)

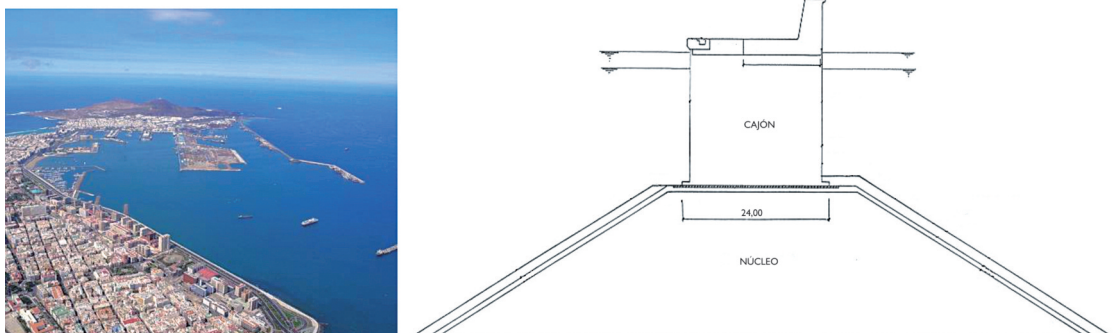


Figura 6. Dique de Reina Sofía. Puerto de Las Palmas. Panorámica y Sección tipo.

# INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

y 1975 y 1979 (tramo 2). En la figura 6 se muestra una panorámica y la sección tipo de su tramo 1.

La altura de la ola de cálculo fue 6,4 m y la carrera de marea 2,7 m. Su comportamiento ha sido bueno, sin que se hayan detectado averías, aunque se ha registrado un asiento uniforme de 0,5 m a lo largo del tramo 1, llegando a 1 m en el morro.

## DIQUE DE LA AMPLIACIÓN DEL PUERTO DE GIJÓN. [2]

El nuevo, contiguo al actual al este del cabo Torres, tiene un dique de 3.834 m, un muelle de 1.250 m con calados entre 23 y 27 m, que permitirá el atraque simultáneo de tres bulcarriers de 230.000TPM y abriga 145 ha de agua y dispondrá 145 ha de explanadas. La figura 8 muestra el dique en construcción y una simulación fotográfica de su configuración final.

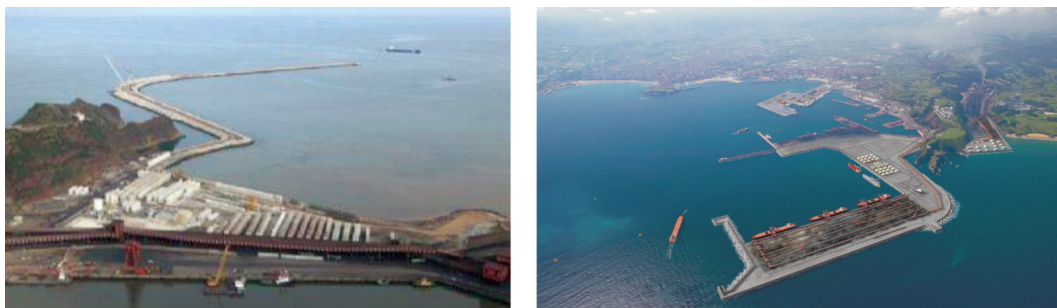


Figura 7. Dique en construcción y configuración final.

El dique parte del cabo Torres y consta de tres alineaciones con diferente tipología: Dique Torres, Dique Norte y Contradique. El Dique Torres, con longitud de 1.488 m, es una estructura en talud, situada entre -10 a -22 m, con un manto principal de bloques de 10 a 145 t y con su espaldón entre las cotas +14 y +24. En la figura 8 se muestra la sección tipo de su tramo final.

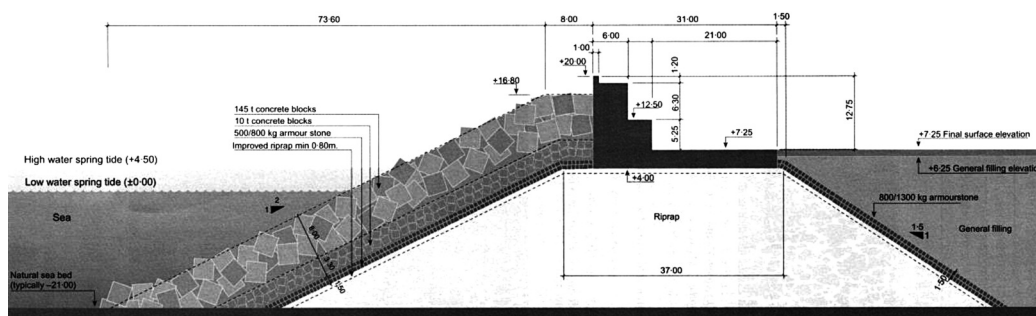


Figura 8. Dique Torres. Sección tipo del tramo final.



El Dique Norte (figura 9) es vertical coronado a +24 m, con 33 cajones -51,8 m eslora, 32 m manga y 32 m puntal-, y longitud de 1.593 m, cimentado entre -25 a -30 m.

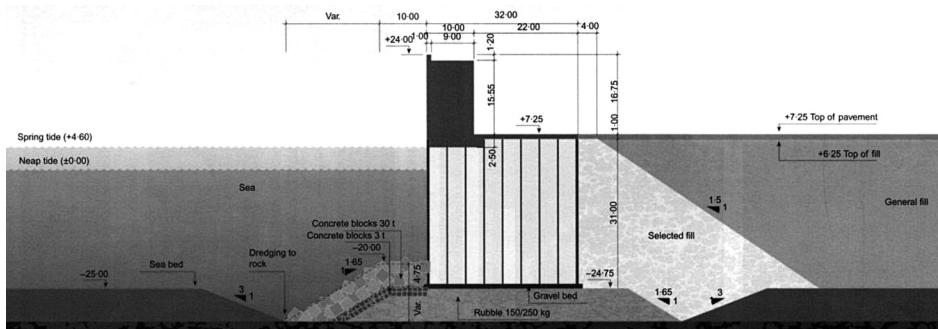


Figura 9. Dique Norte. Sección tipo.

El contradique que arranca en el morro del Dique Norte, es en talud con un manto de bloques de 90 t y 815 m de longitud. Una zona singular del dique es el entronque entre el Dique Torres y el Norte, resuelta con dos cajones transversales protegidos por bloques de 200 y 90 t.

Las condiciones de diseño corresponden a temporales del NNW y del N, con altura de ola significativa  $d$  de 8,75 m para el Dique Torres y 9,50 m para el Norte y periodo de pico de 19 s.

Para el diseño de estos tramos se realizaron múltiples ensayos en modelo físico en varios laboratorios europeos. En el caso del CEDEX, se ensayó el Contradique (figura 10).

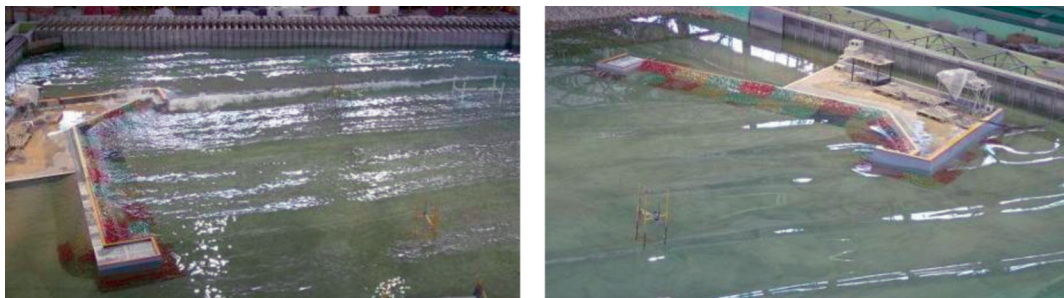


Figura 10. Ensayo en modelo físico del Contradique. CEDEX.

Las obras comenzaron en febrero de 2005 y finalizaron en 2010. La construcción del Dique Torres se realizó a sección completa en su mayor parte mediante medios marinos, utilizando medios terrestres en época de verano. La construcción del Dique Norte comenzó con el dragado del fondo arenoso hasta llegar a la roca, continuando con la ejecución de la banqueta de apoyo de los cajones y el fondeo de los mismos, lo que ha sido uno de los mayores retos de esta obra, por ser la primera vez que unos ca-

## INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

iones de esta envergadura se fondean en el mar Cantábrico. En la figura 11 se muestran diversas etapas de la construcción del dique.



Figura 11. Estado de las obras.

La construcción y la seguridad, se planificó en función del sistema de predicción de oleaje desarrollado para la obra, a fin de conocer la superación de umbrales críticos:  $H_s$ ,  $T_p$  y velocidad de viento, estando el avance por tierra condicionado por  $H_s > 1,5$  m.

La obra ha soportado múltiples temporales con  $H_s > 5$  m, en 3 de ellos  $H_s > 7$  m y uno fue extraordinario por sus tres días de duración con  $H_s \sim 6,6$  m,  $H_{m\acute{a}x} \sim 11,2$  m,  $T_p \sim 18$  s y sobre-elevación de marea 5,5 m. En todos ellos los daños fueron localizados en las secciones en construcción y en las protecciones provisionales.

### DIQUE DEL NUEVO PUERTO EXTERIOR DE CORUÑA [4]

El nuevo puerto está situado en Punta Langosteira a unos 8 km al suroeste del puerto actual, estando constituido por: un dique en talud de 3.354 m de longitud con un martillo vertical próximo a su morro de 391 m, un muelle transversal de 921,5 m con calado de 22 m y un contradique, también en talud, de 579 m. Abriga 230,5 ha de agua y dispondrá de 143, 5 ha de explanadas, dispone de atraques en el dique para petroleros y en el muelle para otras mercancías y puede ampliarse con otro muelle de ribera de 3.000 m (Figura 12).



Figura 12. Emplazamiento y dique construido (enero 2012).

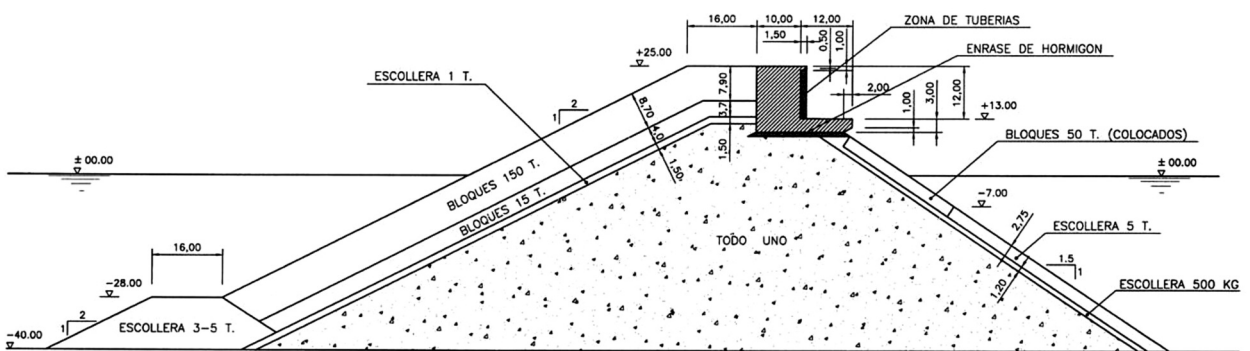


Figura 13. Sección tipo del tramo principal.

El dique consta de 3 alineaciones, la de arranque y dos en su tramo principal, tiene una profundidad máxima de 42 m y está coronado a la cota +25 en su tramo principal y a la +19 en su arranque. A 230 m del morro, se sitúa un martillo, constituido por cajones de 26 m de puntal. En la figura 13 se muestran la sección tipo del tramo principal.

Como zonas singulares del dique destacan, el morro con bloques de alta densidad (175-195 t) algunos armados; el manto del trasdós con bloques perforados concertados de 150 y 50 t. El clima de diseño, para un periodo de retorno de 140 años, son:  $H_s = 15,1$  m y  $T_p = 18$  s.

Para el diseño del dique se han realizado múltiples ensayos en modelo físico en varios laboratorios europeos. En el caso del CEDEX, se ha ensayado en 2D la sección del tramo de arranque (E:1/45) y de la del principal (E:1/25 y 1/30) y en 3D este tramo (E:1/60). En la figura 14 se muestran los 2D del tramo principal en el canal de grandes dimensiones y los 3D de este tramo y su morro, con disposición vertical, en el tanque de oleaje multidireccional.

Las obras se iniciaron en marzo de 2005, finalizando en noviembre de 2011. Los dos primeros años se dedicaron a trabajos preparatorios: accesos, canteras, plantas de áridos y hormigón, de fabricación de bloques y construcción de un puerto auxiliar, formado por un dique en talud de 503 m con bloques de 50 t y un muelle de 350 m. La construcción avanzó, desde mar con el vertido del núcleo guiado por motas laterales y posterior protección con escollera de 1 t y bloques de 15 t, sobre los que se colocaron las dos capas de bloques de 150 t del manto principal, utilizando dos grúas



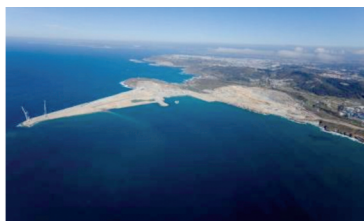
Figura 14. Ensayos en modelo físico. 2DY 3D. CEDEX.

## INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

de orugas de las mayores del mundo, capaces de colocar los bloques de 150 t a 115 m. En invierno el avance general se detuvo, previa ejecución del morro de invernada, continuando sólo con el vertido del núcleo y la escollera. En la figura 15 se muestra el avance de la obra en varias fechas.



Final campaña 2007



Mayo 2009



Septiembre 2011

Figura 15. Estado de las obras.

Un aspecto a destacar del proceso constructivo fue la seguridad en las obras, de forma que a partir de  $H_s > 1,3$  m se detenía la actividad en la plataforma de trabajo del dique. Para ello se desarrolló un sistema de predicción de oleaje (SPOL).

Hasta la fecha el dique se ha comportado conforme a lo esperado, soportando varios temporales, en especial los del 10/3/08, 20/1/09 y 9/11/10, con  $H_s = 10,40$ ;  $8,84$  (fallo boya) y  $10,41$  m y  $T_p = 16,70$ ;  $14,30$  y  $13,40$  s, con daños sólo en tramos en construcción (Figura 16).

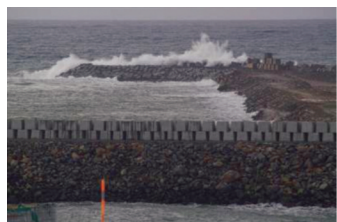


Figura 16. Temporales: 1/3/08, 20/1/09 y 15/2/11. Tramos en construcción.

### DIQUE DE LA AMPLIACIÓN DEL PUERTO DE ALGECIRAS EN ISLA VERDE

La ampliación del puerto de Algeciras en "Isla Verde", está formada por un dique vertical exento de 2.060 m, que abriga dos muelles: el Norte de 680 m y 17,5 m de calado y el Este de 1.540 m y calado de 18,5 m, existiendo en su lado sur otro dique en talud de 890 m (figura 17).

El dique es vertical formado por 43 cajones antirreflejantes con una única alineación, separada del muelle Este 413 m, coronado a la cota +7,5 m y cimentado sobre una banqueta de escollera a la cota -35 m que apoya en profundidades entre -43 m y -28 m.



Figura 17. Ampliación del puerto de Algeciras en Isla Verde. Vista general y dique.

La reducción de la reflexión, es debida a la parte superior de las celdas de los cajones y del espaldón, que en su primera línea están abiertas. En la figura 18 se muestra su sección tipo.

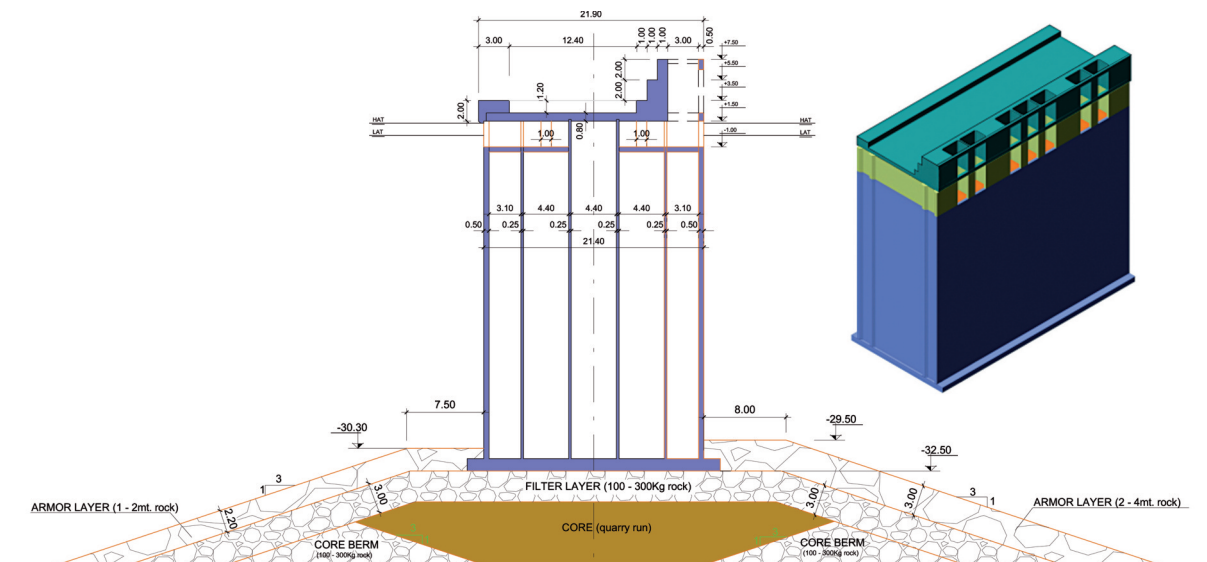


Figura 18. Sección tipo.

Las condiciones de clima marítimo para las que se ha diseñado el dique, corresponden a un periodo de retorno de 275 años, resultando una  $H_s = 4,8$  m y un  $T_p = 9$  s.

Para el diseño de esta tipología antirreflejante, en el CEDEX se realizaron ensayos a gran escala (1:12,5), llegándose a reducciones del coeficiente de reflexión respecto a un dique vertical del 60% para  $T_p < 8$  s y  $H_s = 0,5$  y 1 m y del 40-20 % para oleajes más severos (figura 19).

Las obras se iniciaron en 2006, terminado en 2008. En la figura 20, se muestra el avance de la obra en septiembre de 2006 y finalizada.

# INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

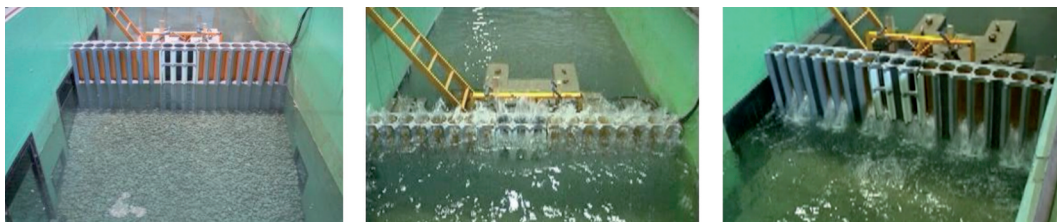


Figura 19. Ensayos en modelo físico 2D. CEDEX.

Ha soportado un temporal del E, el 11 de octubre de 2008, con  $H_s = 7$  m en aguas profundas y 3 m en el dique, habiéndose apreciado sólo pequeños asentos de los cajones.



Figura 20. Situación de la obra en 2006 y finalizada (2008).

## DIQUES DE LA AMPLIACIÓN DEL PUERTO DE BARCELONA

La ampliación del puerto, comenzó en diciembre de 2001 y finalizó en 2008, lo que supuso la construcción de dos diques: el Dique Sur de 4.800 m y el Dique Este de 2.170 m, una terminal de contenedores con 1.500 m de atraque y calado mínimo de 16 m, así como otras líneas de atraque, incrementándose así la superficie terrestre en 208 ha. (Figura 21).



Figura 21. Planta de la ampliación.

La construcción de los diques, en profundidades máximas de 23 a 27 m, fue condicionada por la baja capacidad portante de los fondos con 50 a 70 m de limos y arcillas blandas.

El Dique Sur (4.800 m), consta de tres tramos:

- Tramo 1 (2.000 m): en talud con manto principal de bloques entre 8 y 60 t y espaldón a la cota +12 m. Para garantizar su estabilidad frente al deslizamiento, se dispusieron en sus dos lados amplias bermas de escollera (figura 22).

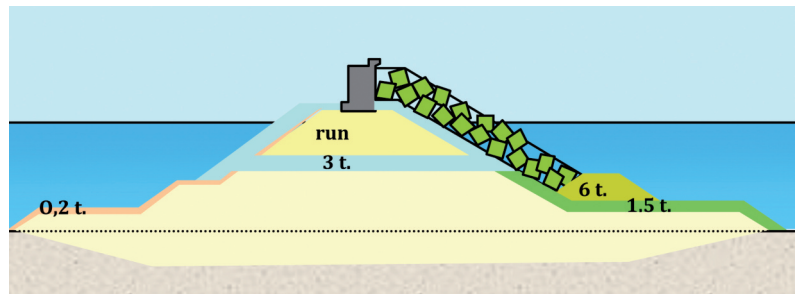


Figura 22. Dique Sur.  
Tramo 1. Sección tipo.

- Tramo 2 (1.700 m): vertical, constituido por 47 cajones (manga 33 m y puntal 21,5 m), con una banqueteta de escollera de 73 m, con espaldón coronado a la cota +12 m (figura 23).

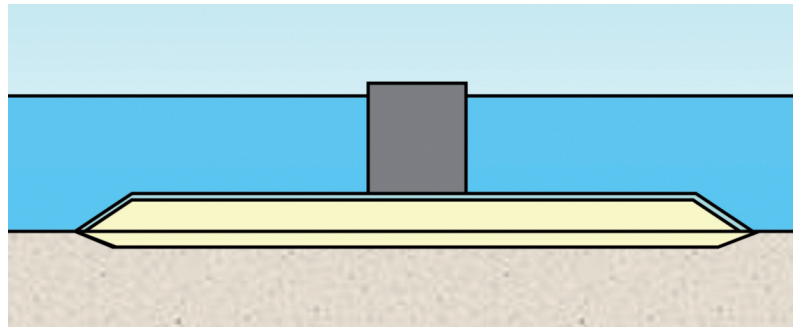


Figura 23. Dique Sur.  
Tramo 2. Sección tipo.

- Tramo 3 (1.100 m): tipología en talud con manto principal de bloques de 40 t en su tronco, configurándose su morro mediante dos cajones

El Dique Este (2.165 m) es una estructura en talud cimentada directamente sobre el fondo, previo dragado de una zanja de 3 m de espesor (figura 24).

El clima para el que se han diseñado los diques son:  $T_p = 13$  s y  $H_s = 7,6$  m en el tramo 2 (vertical) del Dique Sur y 7,3 m en el tramo 3 (en talud) y en el Dique Este. Para el

# INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

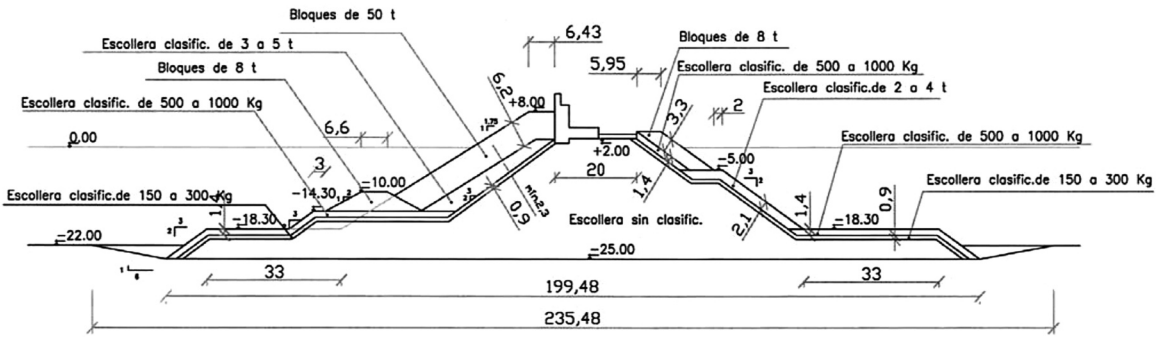


Figura 24. Dique Este. Sección tipo proximidades del morro.

diseño de ambos diques, en el CEDEX, se han realizado múltiples ensayos en modelo físico en 2D y 3D, tanto de su configuración final, como de sus fases constructivas (Figura 25).

La baja capacidad portante del terreno de cimentación, hizo necesario su consolidación y disipación de tensiones intersticiales, mediante la construcción por etapas de los diques.

Para garantizar que el proceso constructivo se adaptaba a las hipótesis de diseño, cada dique se instrumentó en 4 secciones, mostrando la figura 26 un esquema de la



Figura 25. Ensayos: 3D Bocana, Dique Sur y fase constructiva Dique Este. CEDEX.

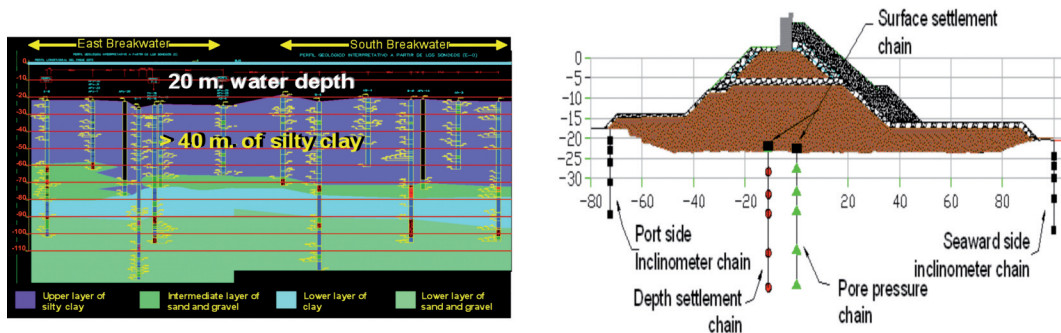


Figura 26. Instrumentación del dique en talud.



instrumentación de las secciones en talud. Los parámetros medidos fueron: asientos, deformaciones laterales y presiones intersticiales. Ello permitió: conocer el comportamiento del terreno en la construcción, calibrar los modelos de cálculo, determinar la seguridad de la obra y reprogramarla en su caso.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Ente Público Puertos del Estado y a las Autoridades Portuarias, citadas en el texto, la información facilitada y la confianza depositada en el CEDEX para el desarrollo de los ensayos mencionados en la ponencia.

## REFERENCIAS

- [1] CEHOPU (1994): *"Puertos Españoles en la Historia"*. Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Madrid, España.
- [2] DÍAZ RATO J. L., MOYANO J. y DE MIGUEL M. (2008): *"Extension to the port of Gijón, Spain"*. Maritime Eng., ICE, Vol 161, Issue MA4, diciembre 2008, pp. 153-186.
- [3] GRASSA, J. M. *et al.* (2009): *"Ferrol outer port : experimental and in situ design studies"*. Maritime Eng., ICE, Vol 162, junio 2009, pp. 57-72.
- [4] NOYA, F. (2008): *"New port facilities at Punta langosteira, Spain"*. Maritime Eng., ICE, Vol 161, sept. 2008, pp. 101-106.
- [5] ELENO C. J. (2010): *"Geotechnical instrumentation in the port of Alicante. Spain"*. Maritime Eng., ICE, Vol 161, Issue MA3, sept. 2010, pp. 105-115
- [6] SÁNCHEZ, F. J. *et al.* *"Extension to the port of Tarragona"*. Maritime Eng., ICE, Vol 161, Issue MA3, sept. 2010, pp. 97-103.
- [7] MOPU (1988): *"Diques de abrigo en España"*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo y Puertos del Estado. *"Inventario de obras de abrigo 1986-2011"*. Ministerio de Fomento. España (en elaboración).
- [8] Programa ROM. *"Recomendaciones de Obras Marítimas y Portuarias"*. Puertos del Estado. España.
- [9] MOLINERO, P. (2010): *"Large breakwaters in deep water in northern Spain"*. Maritime Eng., ICE, Vol 161, Issue MA3, sept. 2010, pp. 97-103.
- [10] LEFFLER, F. C. and REY, V. D. (2009): *"Reinforced concrete caissons for port structures in Spain"*. Maritime Eng., ICE, Vol 162, Issue MA2, sept. 2009, pp. 73-81.

