

Modelos conceptuales de prediseño e innovaciones tecnológicas en diques de abrigo

[Conceptual design formulas and technological innovations in rubble mound and vertical breakwaters]

Vicente Negro Valdecantos

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos/C.Eng. Ph. D. Lecturer.

Profesor Titular. E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Ovidio Varela Carnero

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos/C.Eng. Ph. D. Lecturer.

Profesor Titular. E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

RESUMEN

Los diques se construyen en la mayoría de las ocasiones para obtener superficies de agua abrigada para las operaciones portuarias y sus instalaciones. En ocasiones, protegen una serie de zonas de la intrusión del transporte sólido litoral. De hecho, en España, con la mayoría de los puertos abiertos a condiciones muy adversas de Clima Marítimo, como el Océano Atlántico y el Mar Cantábrico; y con notables condiciones placenteras y benignas, en el Mar Mediterráneo, los diques ejercen un papel fundamental en la ingeniería marítima y costera. Este artículo muestra la combinación de los diseños preliminares para las dos tipologías principales de dique, en talud y vertical, y la combinación de los diseños adecuados ante el clima marítimo, buscando la armonía con la naturaleza, resolviendo los problemas geotécnicos, y mostrando las innovaciones tecnológicas en el proceso de diseño.

ABSTRACT

Breakwaters are constructed to provide a calm bassins for ships and to protect harbor facilities. Sometimes, they are used to cover the port area from the intrusion of littoral drift. In fact, in Spain, with ports open to a very rough wave climate, the Atlantic Ocean and the Cantabrian Sea, and with a huge pleasure conditions, the Mediterranean Sea, breakwaters play a key role in coastal and harbour engineering. This paper deals about the combination of conceptual preliminary design for the two main types of breakwaters: rubble mound and composite one (vertical) and the combination of the adequate design against wave action, harmonising with nature, resolving geotechnical aspects, and showing new technological innovation in the design procedure.

1. INTRODUCCIÓN

La determinación de la respuesta de las Obras Costeras o los diques, tanto en talud como monolíticos verticales, en sus secciones de tronco o morro, se efectúa, en múltiples ocasiones,

1. INTRODUCTION

The determination of the response of a Coastal Structure or a breakwater, rubble mound breakwater or a vertical one, trunk or head, to wave action is almost always determined by model

mediante modelos físicos o ensayos 2D ó 3D. En ocasiones, sólo en diseño preliminar, (muy útil en el campo de la Ingeniería Civil), los Ingenieros Hidráulicos emplean fórmulas alimentadas con datos procedentes de los citados modelos con objeto de predecir las adversas condiciones de la naturaleza.

Los principales problemas dependen de la naturaleza aleatoria de las acciones y de las múltiples tipologías estructurales (cajones, diques en talud, diques berma, diques en S, diques arrecifes, de baja cota de coronación, sumergidos, taludes de protección, playas de grava, playas de arena...). Estos tipos pueden clasificarse dentro de la perspectiva de comportamiento estático y dinámico.

En ocasiones, las condiciones medioambientales, geotécnicas o los aspectos constructivos, han conducido a combinar el diseño estructural y funcional con las nuevas innovaciones tecnológicas que tienen presente las características de armonía con la naturaleza y constructivas mencionadas.

Este artículo presenta los modelos conceptuales de prediseño de diques en talud y verticales, así como, la combinación de los diseños adecuados en función de distintas variables, tales como el clima marítimo compatible con los usos recreativos y lúdicos, (Beirut, Marina Central), el entronque con la trama urbana (Fachada marítima de Las Palmas), reducción de la agitación interior en dársenas (Motril), resolviendo problemas geotécnicos y de dragados (Málaga), o grandes cajones flotantes en 40 a 70 metros de lámina de agua, con aparcamiento interior (Montecarlo).

2. CLASIFICACIÓN DE LOS DIQUES DE ABRIGO Y FÓRMULAS PRELIMINARES DE DISEÑO

Hay dos tipologías fundamentales de diques de abrigo, en talud y vertical, empleados de forma extensa y abundante a lo largo de todo el mundo. Como muestra la clasificación de Takahashi, 1996, las diferentes tipologías son las siguientes:

Diques en talud

- Diques de escollera
- Diques de piezas multicapa
- Piezas especiales que resisten por gravedad
- Piezas especiales que resisten por trabazón
- Diques berma, en S ó en D
- Taludes de escollera
- Playas de grava

Dique monolítico vertical

- Paramento impermeable monolítico
- Mediante bloques interconectados

Dique compuesto - mixto

- Bloques celulares, tipo monobar, warock, igloo, ...
- Tecnología japonesa, Niigata, Yobuko, Owagara...
- Nueva tipología de cajones (*)

Dique vertical compuesto (Figura 1)

tests. Sometimes, for preliminary design (very useful for the Civil Engineers), the Hydraulics Engineers use formulae fitted to model test trying to reproduce the several and adverse conditions in nature.

The main problems depends on the stochastic nature of loads and the types of the structures (caisson, rubble mound breakwater, berm breakwater, S - shape breakwater, detached breakwater, reef and low crested breakwater, submerged breakwater, rock protection, rock beach, gravel beach, sand beach...). These types can be classified into statically stable and dynamically stable.

Sometimes, the environmental conditions, the geotechnical and construction aspects, the structural and functional concepts have begun to combine new technological innovations taking into account all the conditions and effects.

This paper deals about the conceptual formula for the preliminary design for different types of structures and the combination of the adequate concepts against the wave action, achieving the wave climate compatible with the use and enjoyment area (Beyrouth), harmonising with nature (Las Palmas), reducing wave disturbances in bassins (Motril), resolving geotechnical aspects in weak soils (Malaga) and using floating breakwater with 344 metres length in forty to seventy metres depth with park area inside (Montecarlo).

2. CLASSIFICATION OF BREAKWATERS AND PRELIMINARY DESIGN FORMULAS

There are two main types of breakwaters: rubble mound and vertical - composite one. Many types are used throughout the world. As shown in Takahashi table, the conceptual diagrams of the different types are as follow:

Sloping types

- Rubble mound breakwaters*
- Rubble mound breakwaters, multi - layer*
- Rubble mound breakwaters armored with blocks*
- Concrete block breakwaters*
- Artificial interlocking block breakwaters*
- Reshaping rubble mound breakwaters, berm*
- S shaped and D shaped breakwaters*
- Rock slopes*
- Gravel slopes*

Vertical - upright type

- Monolithic breakwaters*
- Block Masonry breakwaters*

Composite type

- Cellular block breakwaters, monobar, warock, igloo,*
- Concrete caisson breakwaters, Japanese experience*
- New caisson breakwaters (*)*

Horizontally composite type (Figure 1)

Diques especiales no gravitatorios

Láminas verticales
 Diques de pilotes metálicos
 Mesas amortiguadoras horizontales
 Diques flotantes
 Diques neumáticos
 Comportamientos hidráulicos

Innovaciones tecnológicas (Negro - Varela - Alonso)

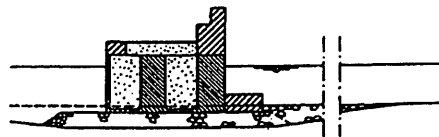
Cajones con patio
 Cajones indios empleados en Obra Marítima
 Soluciones ARC
 Dobles barreras verticales en cajones
 Cajones circulares con patios interiores

Special non gravity type

Curtain wall breakwater
 Steel pile breakwater
 Horizontal plate breakwater
 Floating breakwater
 Pneumatic breakwater
 Hydraulic breakwater

Technological innovations (Negro - Varela - Alonso)

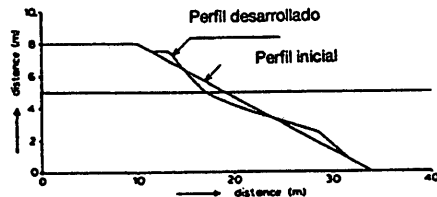
Caisson with yard
 Indian caisson
 ARC solution
 Double faced vertical breakwater
 Circular caisson with yard inside



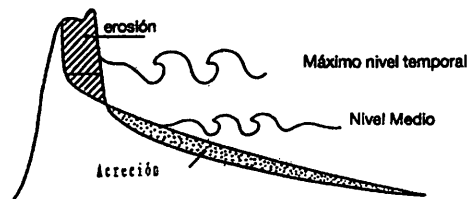
Dique vertical - Cajones
 $H/\Delta D < 1$



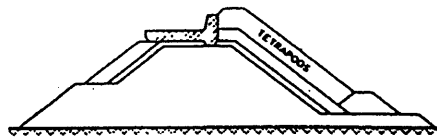
Dique en "S"
 $H/\Delta D = 3 - 6$



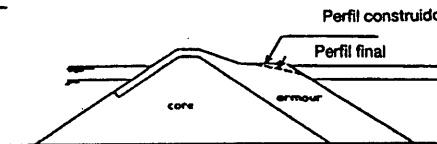
Playa de bolos
 $H/\Delta D = 6 - 20$



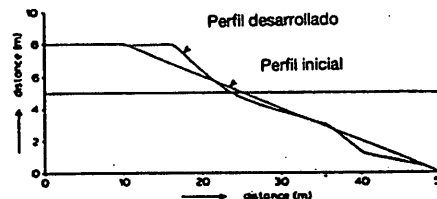
Playa de arena
 $H/\Delta D > 500$



Dique en talud convencional
 $H/\Delta D = 1 - 4$



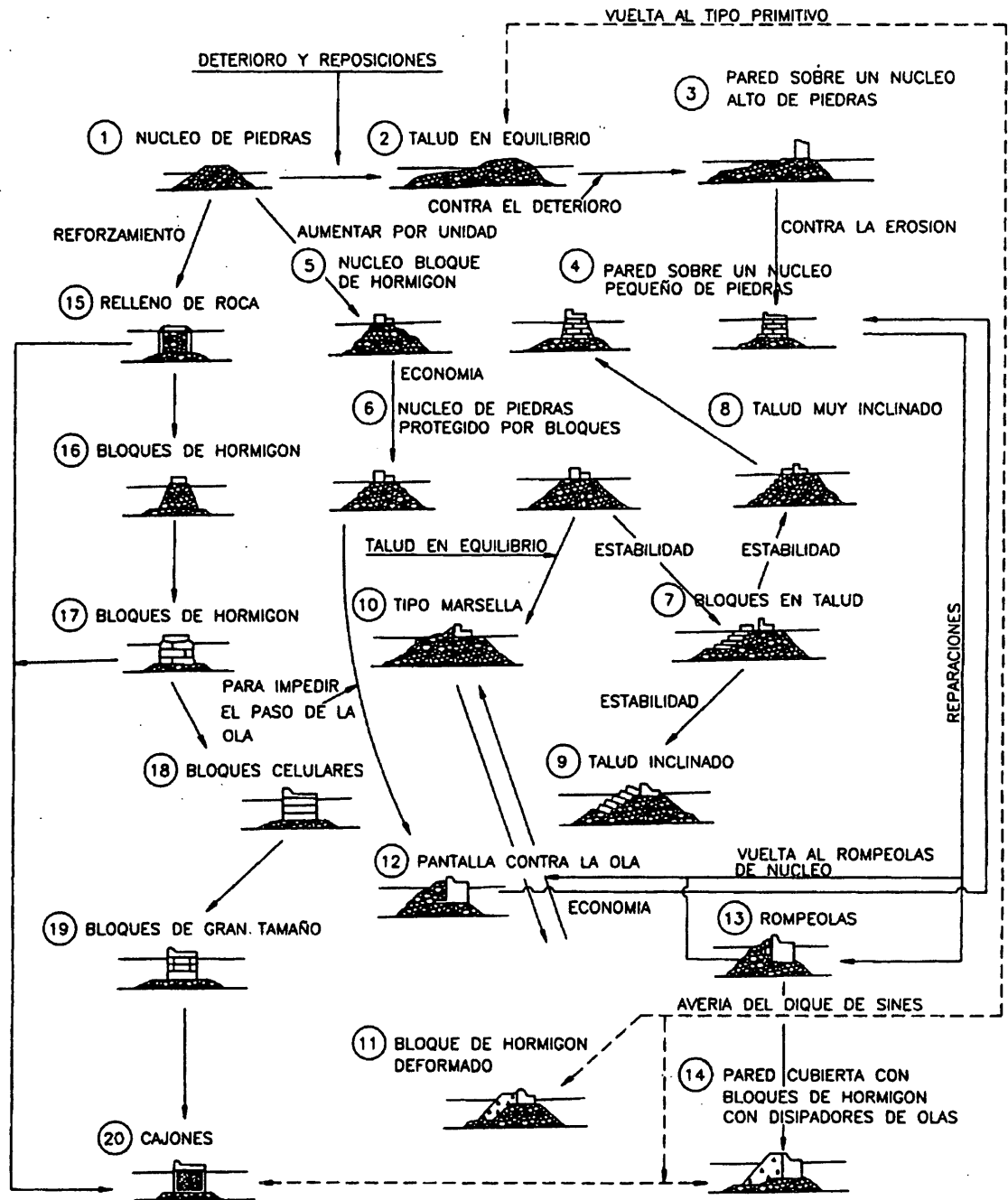
Dique Berna
 $H/\Delta D = 3 - 6$



Playa de grava
 $H/\Delta D = 20 - 500$

Figura 1. Tipología de estructuras como función de H_0 , Van der Meer, 1988
Figure 1. Type of structure as a function of H_0 , Van der Meer, 1988

Figura 2.
Clasificación
de Obras
Marítimas,
Tanimoto y Goda,
1991
Figure 2.
Classification
of breakwaters,
Tanimoto & Goda,
1991



Las Obras Marítimas, y, como consecuencia, los diques, también pueden clasificarse en función del parámetro de altura de ola adimensional H_0 . Los valores pequeños corresponden a monolitos y diques en talud con elevado peso de manto. Valores elevados muestran situaciones tales como las playas de grava o de arena. También se puede emplear el parámetro de período adimensional T_0 o la combinación dinámica $H_0 T_0$ parámetro adimensional de altura de ola y período, que permite clasificar las estructuras en comportamientos estáticos y dinámicos.

Breakwater structures can also be classified by the use of the dimensionless wave height parameter, H_0 . Small values give structures as caissons and breakwaters with large armour unit; large ones imply gravel and sand beaches. Using T_0 dimensionless period parameter, and $H_0 T_0$ dimensionless combined wave height and period, these types can be classified into statically stable and dynamically stable.

$$H_0 = \frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n50}} \quad , \quad T_0 = T_m \cdot \sqrt{\frac{g}{D_{n50}}} \quad ,$$

$$\Delta = \frac{\gamma}{\gamma_w} - 1 \quad , \quad D_{n50} = 3 \sqrt{\frac{W}{\gamma}} \quad , \quad D_{n50} = A$$

donde,

H_0	Parámetro de altura de ola adimensional,-
T_0	Parámetro de período adimensional,-
H_s	Altura de ola significativa, m
T_m	Período ondulatorio, sg
Δ	Coeficiente relativo de densidades,-
γ	Peso específico de la pieza, t/m ³
γ_w	Peso específico del agua del mar, t/m ³
D_{n50}	Diámetro nominal medio, m
g	Aceleración de la gravedad, m/s ²
A	Ancho del cajón, m
W	Peso de las unidades del manto, t

Tabla N° 1
 Relación entre el parámetro adimensional de altura de ola, H_0 y $H_0 - T_0$

Tipo estructural	Parámetro adimensional de altura de ola	Parámetro adimensional de altura y período
Comportamiento estático	1 - 4	< 100
Taludes de piedra y playas	6 - 20	200 - 500
Playas de grava	15 - 500	1000 - 200000
Playas de arena	> 500	> 200000
Dique vertical	< 1.00	Comportamiento estático

Usando las investigaciones de Burcharth y Frigaard, 1988 - 91, Van der Meer et al, 1988-1992, sobre diques en talud, troncos expuestos a oleaje peraltado y oblicuo, morros, y distintos tipos de taludes; y Takahashi et al, 1992-96, como aproximación teórica; y la larga serie de datos recogidos de los Inventarios sobre obras construidas resistiendo temporales durante décadas en nuestro litoral, la investigación analizó más de 100 obras convencionales en el Cantábrico y más de cuarenta diques verticales en el litoral incluyendo las Islas Canarias, obteniendo el resultado que se ve en la Tabla 2.

$$H_0 = \frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n50}} \quad , \quad T_0 = T_m \cdot \sqrt{\frac{g}{D_{n50}}} \quad ,$$

$$\Delta = \frac{\gamma}{\gamma_w} - 1 \quad , \quad D_{n50} = 3 \sqrt{\frac{W}{\gamma}} \quad , \quad D_{n50} = A$$

where,

H_0	Dimensionless wave height parameter,-
T_0	Dimensionless wave period parameter,-
H_s	Significant wave height, m
T_m	Wave period, sg
Δ	Relative mass density,-
γ	Specific weight of the unit, t/m ³
γ_w	Specific weight of seawater, t/m ³
D_{n50}	Nominal diameter, m
A	Width of the caisson, m
g	Gravity acceleration, m/sg ²
W	Weight of the armour unit, t

Table N° 1
 Relationship between dimensionless wave height and wave - period parameter

Structure	Dimensionless wave height parameter	Dimensionless period parameter wave
Statically stable	1 - 4	< 100
Rock slopes and beaches	6 - 20	200 - 500
Gravel beaches	15 - 500	1000 - 200000
Sand beaches	> 500	> 200000
Vertical breakwater	< 1.00	statically stable

Using the research of Burcharth and Frigaard, 1988-91, Van der Meer et al, 1988-1992, in rubble mound breakwaters, trunks exposed to steep and long oblique waves, roundheads and types of sloping protection; and Takahashi et al, 1992 - 96, as a theoretical approach and the long series of Spanish data collecting from nature, the research analyzed more than 100 conventional breakwaters in the Cantabrian Sea Coast and more than forty vertical walls all over the Spanish Coast, and the Canary Isles. We obtained the following results (Table 2).

Tabla N° 2. Aproximación teórica de diques en talud en España
 Table N° 2. Theoretical approach of rubble mound breakwaters in Spain

Nombre del dique <i>Breakwater name</i>	Peso del manto exterior, tn <i>Weight armour layer, tn</i>	Diámetro nominal, m <i>Nominal diameter, m</i>	Altura de ola significativa, m <i>Significant wave height, m</i>	Parámetro de altura de ola adimensional <i>Dimensionless wave height,</i>
Hondarribia	9 tn	1,50 m	5,00 m	2,04
Orio	13 tn	1,66 m	5,85 m	2,02
Getaria	20 tn	1,96 m	6,63 m	2,12
Bermeo, 1°	50 tn	2,75 m	7,13 m	1,93
Bermeo, 2°	85 tn	3,30 m	9,00 m	2,03
Bilbao	150 tn	4,00 m	10,10 m	1,88
Lastres	40 tn	1,955 m	6,80 m	1,98
Gijón	120 tn	3,70 m	9,60 m	1,94
Candas	27 tn	2,25 m	4,95 m	1,64
Pravia	125 tn	3,70 m	8,75 m	1,77
Cudillero	60 tn	2,92 m	8,00 m	2,04
Burela	72 tn	3,10 m	7,45 m	1,79
San Ciprián	90 tn	3,35 m	8,90 m	1,98
Cillero	28 tn	2,25 m	6,25 m	2,06
Cariño	12 tn	2,05 m	5,00 m	1,96
Malpica	120 tn	3,68 m	10,70 m	2,16
Lage	20 tn	2,05 m	5,00 m	1,96
Finisterre	15 tn	1,85 m	5,00 m	2,09
Zurriola	45 tn	2,55 m	8,20 m	1,96
Langosteira	150 tn	4,00 m	11,00 m	2,05

La tabla N° 2 representa los resultados para obras en talud convencionales, mientras que las tablas 3 y 4 muestran los mismos para diques verticales en gran profundidad, ($h > 2 \cdot H_{1/3}$).

Observando y analizando los resultados, con el presente análisis y "sólo" para el diseño preliminar de las secciones de diques convencionales, morro, inicio de avería, talud $\cotg \alpha = 1,50$ a $2,00$, podemos concluir como primera estima, tras alimentar el modelo con datos de la naturaleza, el valor del parámetro de altura de ola adimensional, resulta:

$$H_0 = \frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n_{50}}} = 1,70 - 2,00$$

En la misma situación, pero sólo para diques verticales en grandes profundidades, sin problemas de presiones de pico impulsivas, ni rotura de ola, $h > 2 \cdot H_s$, los autores proponen para diseño conceptual preliminar:

The table 2 represents the results with rubble mound conventional breakwaters, table 3 and 4 the preliminary results for vertical breakwaters in deep water conditions, ($h > 2 \cdot H_{1/3}$).

Looking at the results and statistics of the present analysis and "only" for preliminary and conceptual design in conventional breakwaters, head, start of damage, and slope $\cotg \alpha = 1,50$ to $2,00$, we can conclude in the first step, fitting the model with nature, that the dimensionless wave height parameter is:

$$H_0 = \frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n_{50}}} = 1,70 - 2,00$$

In the same situation, but only for vertical breakwaters in deep water conditions, with no problems of impulsive pressure, and breaking waves, $h > 2 \cdot H_s$, the authors propose for preliminary design:

APROXIMACIÓN TEÓRICA EN DIQUES VERTICALES

Dique vertical	Altura de ola sin romper (m)	Altura de ola rota (m)	Altura de ola de diseño (m)	Periodo (seg)	Carrera de marea (m)	Profundidad al pie de la obra (m)	Profundidad del cajón (m)	$H_{0,5}$ eqb. estricto $F_s = 1,00$ $F_v = 1,00$	Ancho estricto (m)	$H_{0,5}$ eqb. Goda $F_s = 1,20$ $F_v = 1,50$	Ancho Goda (m)	$H_{0,5}$ eqb. clásico $F_s = 1,50$ $F_v = 2,00$	Ancho clásico (m)	Ancho real A (m)	H_s real (m)
BILBAO Pta. Galera	18,00	25,37	18,00	18,00	4,50	33,00	20,00	0,52	30,00	0,43	36,00	0,35	44,50	30,00	0,52 Mínimo
ZARZIS Tunez	9,00	5,91	5,91	12,00	0,80-1,20	8,00	5,00	0,49	10,50	0,41	12,50	0,33	15,50	12,66	0,41 Goda
ALGECIRAS Dique Navio	10,80	21,52	10,80	15,00	1,30	32,00	14,00	0,52	18,20	0,45	21,05	0,35	28,45	28,45	0,33 Clásico
TENERIFE Dique del Este	8,46	30,27	8,46	15,00	2,70	50,00	16,00	0,68	10,80	0,56	13,23	0,48	15,30	15,65	0,47 Mínimo
TENERIFE Los LLanos	8,10	33,97	8,10	15,00	2,70	60,00	12,00	0,71	10,00	0,59	12,00	0,47	14,90	13,90	0,51 Clásico
ROSARIO	5,40	11,98	5,40	12,00	2,94	15,00	10,00	0,60	7,80	0,53	8,80	0,43	11,00	9,00	0,52 Mínimo
GOMERA	9,90	12,12	9,90	15,00	3,00	26,50	13,00	0,88	9,60	0,72	11,80	0,62	13,80	15,65 Morro 31,3	0,55 Clásico
GOMERA Dique Muelle	9,90	11,91	9,90	8,00	3,00	25,60	13,00	0,80	9,60	0,69	11,80	0,56	13,80	15,65	0,55 Clásico
LOS CRISTIANOS	9,90	10,42	10,00	10,00	2,50	14,00	12,00	0,72	12,00	0,59	14,50	0,48	17,85	15,65	0,55 Goda
SANTA CRUZ DE LA PALMA	9,90	15,69	10,00	10,00	2,60	27,00	15,00	0,92	10,70	0,75	13,10	0,57	15,00	15,65	0,55 Clásico
MALAGA	10,80	14,40	10,80	10,00	0,60	26,00	20,00	0,80	11,80	0,65	14,50	0,55	17,00	21,25	0,44 Clásico
LAS PALMAS Reina Sofía	10,80	21,22	10,80	15,00	2,70	>30,00	15,00	0,70	13,40	0,58	16,10	0,47	20,10	18,50	0,51 Clásico
MARIN Dique Ons	8,10	10,89	8,100	15,00	4,50	10,50	9,00	0,50	14,20	0,41	17,10	0,33	21,40	14,00	0,50 Clásico
DEVA	8,10	4,25	4,25	15,00	4,50	5,50 P 1,00 B	-2,50 P + 1,00 B	0,57	6,50	0,477	780	0,38	9,80	7,206	0,51 Goda
MOTRICO	13,50	9,23	9,230	15,00	4,50	12,50 P 8,00 B	-12,50 P -8,00 B	0,61	13,20	0,51	15,90	0,40	19,80	20,22 13,00	0,40-0,62 Clásico
ELANCHOVE	8,10	4,25	4,25	15,00	4,50	5,50 P 1,00 B	-5,50 P -1,00 B	0,62	6,00	0,51	7,20	0,42	8,90	8,50	0,43 Clásico
BERMEO	9,90	5,21	5,21	15,00	4,80	5,80 P 1,00 B	-6,80 P -2,00 B	0,68	6,70	0,57	8,00	0,45	10,00	13,00 7,00	0,35-0,65 Clásico
SAN VICENTE	11,70	6,09	6,09	15,00	5,00	8,00 P 3,00 B	-3,50 P + 1,50 B	0,34	15,70	0,282	18,90	0,22	23,60	10,50	0,50
LUANCO	16,02	8,89	8,89	15,00	5,00	13,00 P 8,00 B	-7,00 P -2,00 B	0,38	20,20	0,322	24,20	0,25	30,30	9,30 Berma pie	0,83
LASTRES	16,11	9,23	9,23	15,00	5,25	12,75 P 7,50 B	-11,75 P -6,50 B	0,52	15,50	0,43	18,60	0,35	23,20	10,50 Guarda	0,77
TAZONES	12,60	6,80	6,80	15,00	4,50	8,50 P 4,00 B	-8,50 P -4,00 B	0,53	11,20	0,44	13,50	0,35	16,80	10,30 Berma	0,57
CANDAS	10,80	5,73	5,73	15,00	5,25	7,50 P 6,50 B	-6,40 P -1,50 B	0,54	9,30	0,44	11,20	0,35	14,00	9,60	0,52 Mínimo

THEORETICAL APPROACH OF VERTICAL BREAKWATER

Vertical breakwater	Non breaking wave (m)	Breaking wave height (m)	Design wave height (m)	Period (s)	Tidal range (m)	Depth at toe of structure (m)	Depth at caisson (m)	H_{a+} eqb. minimum $F_s = 1,00$ $F_s = 1,00$	Minimum Width (m)	H_{a+} eqb. Goda $F_s = 1,20$ $F_s = 1,50$	Goda Width (m)	H_{a+} eqb. classic $F_s = 1,50$ $F_s = 2,00$	Classic Width (m)	Total Width A (m)	H_r real (m)
BILBAO Pta. Galera	18,00	25,37	18,00	18,00	4,50	33,00	20,00	0,52	30,00	0,43	36,00	0,35	44,50	30,00	0,52 Minimum
ZARZIS Tunez	9,00	5,91	5,91	12,00	0,80-1,20	8,00	5,00	0,49	10,50	0,41	12,50	0,33	15,50	12,66	0,41 Goda
ALGECIRAS Dique Navio	10,80	21,52	10,80	15,00	1,30	32,00	14,00	0,52	18,20	0,45	21,05	0,35	28,45	28,45	0,33 Classic
TENERIFE Dique del Este	8,46	30,27	8,46	15,00	2,70	50,00	16,00	0,68	10,80	0,56	13,23	0,48	15,30	15,65	0,47 Minimum
TENERIFE Los Llanos	8,10	33,97	8,10	15,00	2,70	60,00	12,00	0,71	10,00	0,59	12,00	0,47	14,90	13,90	0,51 Classic
ROSARIO	5,40	11,98	5,40	12,00	2,94	15,00	10,00	0,60	7,80	0,53	8,80	0,43	11,00	9,00	0,52 Minimum
GOMERA	9,90	12,12	9,90	15,00	3,00	26,50	13,00	0,88	9,60	0,72	11,80	0,62	13,80	15,65 Round Head 31,3	0,55 Classic
GOMERA Dique Muelle	9,90	11,91	9,90	8,00	3,00	25,60	13,00	0,80	9,60	0,69	11,80	0,56	13,80	15,65	0,55 Classic
LOS CRISTIANOS	9,90	10,42	10,00	10,00	2,50	14,00	12,00	0,72	12,00	0,59	14,50	0,48	17,85	15,65	0,55 Goda
SANTA CRUZ DE LA PALMA	9,90	15,69	10,00	10,00	2,60	27,00	15,00	0,92	10,70	0,75	13,10	0,57	15,00	15,65	0,55 Classic
MALAGA	10,80	14,40	10,80	10,00	0,60	26,00	20,00	0,80	11,80	0,65	14,50	0,55	17,00	21,25	0,44 Classic
LAS PALMAS Reina Sofia	10,80	21,22	10,80	15,00	2,70	> 30,00	15,00	0,70	13,40	0,58	16,10	0,47	20,10	18,50	0,51 Classic
MARIN Dique Ons	8,10	10,89	8,100	15,00	4,50	10,50	9,00	0,50	14,20	0,41	17,10	0,33	21,40	14,00	0,50 Classic
DEVA	8,10	4,25	4,25	15,00	4,50	5,50 P 1,00 B	-2,50 P +1,00 B	0,57	6,50	0,477	780	0,38	9,80	7,206	0,51 Goda
MOTRICO	13,50	9,23	9,230	15,00	4,50	12,50 P 8,00 B	-12,50 P -8,00 B	0,61	13,20	0,51	15,90	0,40	19,80	20,22 13,00	0,40-0,62 Classic
ELANCHOVE	8,10	4,25	4,25	15,00	4,50	5,50 P 1,00 B	-5,50 P -1,00 B	0,62	6,00	0,51	7,20	0,42	8,90	8,50	0,43 Classic
BERMEO	9,90	5,21	5,21	15,00	4,80	5,80 P 1,00 B	-6,80 P -2,00 B	0,68	6,70	0,57	8,00	0,45	10,00	13,00 7,00	0,35-0,65 Classic
SAN VICENTE	11,70	6,09	8,09	15,00	5,00	8,00 P 3,00 B	-3,50 P +1,50 B	0,34	15,70	0,282	18,90	0,22	23,60	10,50	0,50
LUANCO	16,02	8,89	8,89	15,00	5,00	13,00 P 8,00 B	-7,00 P -2,00 B	0,38	20,20	0,322	24,20	0,25	30,30	9,30 Toe berm	0,83
LASTRES	16,11	9,23	9,23	15,00	5,25	12,75 P 7,50 B	-11,75 P -6,50 B	0,52	15,50	0,43	18,60	0,35	23,20	10,50 Guard	0,77
TAZONES	12,60	6,80	6,80	15,00	4,50	8,50 P 4,00 B	-8,50 P -4,00 B	0,53	11,20	0,44	13,50	0,35	16,80	10,30 Toe berm	0,57
CANDAS	10,80	5,73	5,73	15,00	5,25	7,50 P 6,50 B	-6,40 P -1,50 B	0,54	9,30	0,44	11,20	0,35	14,00	9,60	0,52 Minimum

$$H_0 = \frac{H_s}{\Delta \cdot A} = 0,50 \quad A = 3,15 \cdot H_s$$

En función de los estudios teóricos y el análisis de las fuentes de datos disponibles, así como, la experiencia española, se recomiendan los valores del parámetro de altura de ola adimensional para diques en talud convencionales de 1,70 - 2,00 y monolitos impermeables verticales en el entorno de 0.50.

3. INNOVACIONES TECNOLÓGICAS EN DIQUES DE ABRIGO

La combinación de los aspectos estéticos, variables medioambientales, la reducción del impacto visual, garantizando la explotación y la operatividad, en función del clima marítimo, las características hidráulicas de funcionamiento (transmisión, reflexión, disipación) han conducido a distintas ideas a aplicar en el diseño de diques, preferentemente en el campo de las obras monolíticas verticales.

La primera idea surge en una doble barrera vertical sumergida con laguna interior de cuarenta metros de longitud con losa de unión diseñada para un temporal de período de retorno centenario, con ola significativa de 9,00 metros, máxima superior a 16,20 metros y período de pico de 15 segundos, sustituyendo al cajón ARC de Sogreah, Grenoble, 1994.

Derivado de las inestabilidades geotécnicas, la presencia de espesores considerables de fango y arena, un cajón rectangular con patio interior, solera discontinua, para trabajar como mixto, gravitacional y rozamiento por fuste, fue diseñado para Botafoch en Ibiza, 1999, Tazacorte, La Palma, 1999,

$$H_0 = \frac{H_s}{\Delta \cdot A} = 0,50 \quad A = 3,15 \cdot H_s$$

According the theoretical studies, and the data analysis and the information available and the Spanish Experience, it is possible to recommend both values of the dimensionless wave height parameter for conventional rubble mound breakwaters (1,70 - 2,00) and vertical breakwaters (0,50).

3. TECHNOLOGICAL INNOVATION IN BREAKWATERS

The combination of aesthetic, environmental variables in the design minimising the visual impact, guaranteeing operative breaks in times of climatic kindness and reducing the hydraulic components of wave transmission led to the different ideas in the conceptual innovation in breakwaters.

The first one was a submerged double barrier with caissons of forty metres length with foundation slab designed for a storm of one hundred years return period, significant wave height of 9,00 metres, maximum wave height of 16,20 metres and peak period of 15 seconds. This solution replaced the tradicional ARC caisson tested in Sogreah, Grenoble, 1994.

Due to the geotechnical instabilities with the presence of mud and silt of a considerable

thickness, a rectangular caisson with no intermediate slab to work as a composite breakwater - quay was proposed for Botafoch, Ibiza, 1999, Tazacorte, 1999, to resolve the problem of more than millions of cubic metres of mud products with an environmental impact solution. The

Figura 3. Sección Tipo Marina Beirut. Proyecto Variante. Desarrollo Distrito Central
Figure 3 Cross section Beyrouth Central District, alternative tender

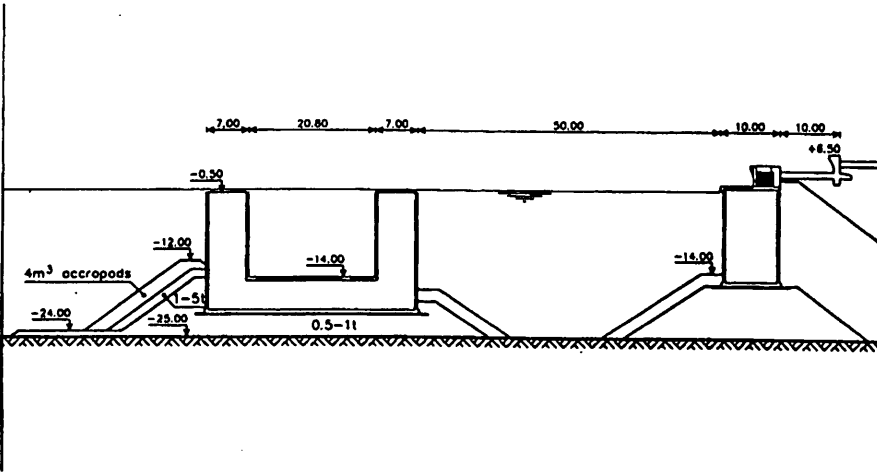
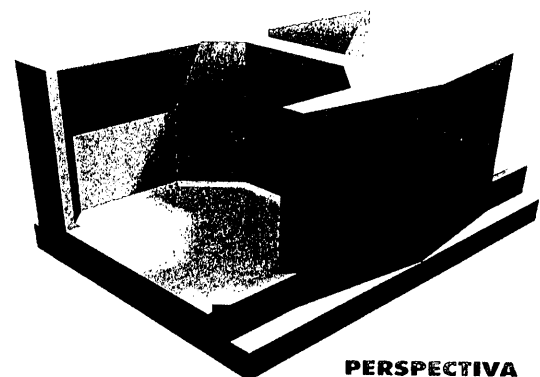


Figura 4 Perspectiva Cajón ARC
Figure 4 ARC perspective



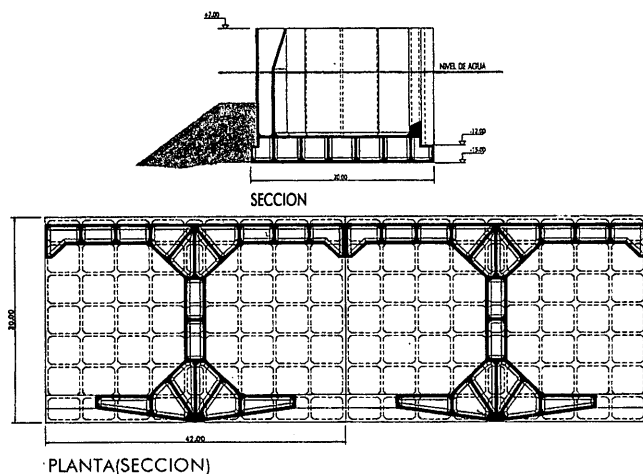


Figura 5. Planta y sección tipo ARC
Figure 5. Cross section and plan view

resolviendo los varios millones de metros cúbicos de material procedente del dragado, siendo una solución limpia y ecológica. Los cajones con patio y la idea del cajón indio hincado combinan los esfuerzos de minimización de problemas ambientales, el proceso de dragado, y, sobre todo, el vertido del mismo.

Finalmente, la nueva obra de Mónaco con cajones flotantes combinando aspectos hidrodinámicos, marítimos, geotécnicos, estéticos, operativos, entre otros, demuestran las posibilidades empleando solamente cinco cajones. Un cajón estribo en forma trapezoidal, en 40 metros de profundidad, y dimensiones en superficie de 69,4 * 22 metros; dos cajones actuando como puente, el primero de ellos de 69,85 metros de eslora y 12 metros de manga, coronado a cota + 2.00 y en 10 metros de calado; el segundo, de 115 metros de eslora, 15.5 metros de manga y 17 metros de profundidad. El cajón principal flotante, de 344 metros de eslora, 28 metros de manga superior, más de 40 inferior, con 19 metros de calado, con aparcamiento interno de 386 plazas y atraque de cruceros adosado, para barcos de esloras superiores a 200 metros. El mismo, se encuentra atado por diez cadenas y pilas, dos en zona de puente, ocho en el tramo final, cinco en lado offshore, tres en lado costa. El contradique también es un cajón especial de 145 metros de eslora, 31 metros de manga y en 10 me-

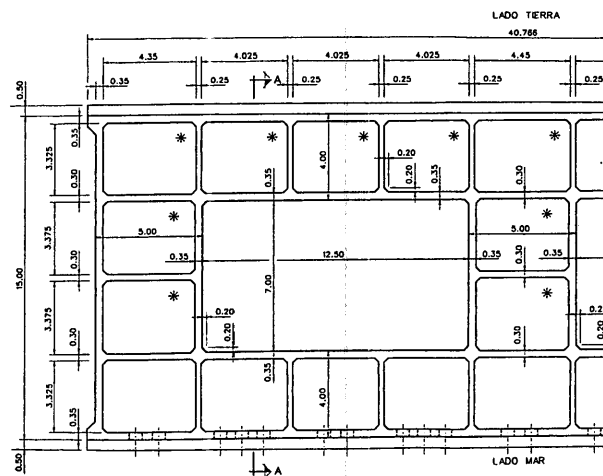


Figura 6. Cajón con patio. Planta
Figure 6. Caisson with yard. Plan view

caissons with yard and the use of Indian caissons also with yard with the guarantee of sinking of the structure combine efforts and technique with environmental conditions avoiding the dredging process.

Finally, the new floating breakwater in Montecarlo combines hydrographic, maritime, geotechnical and aesthetic conditions with a modern solutions integrated with five main structural elements. An abutment caisson with trapezoidal form in forty metres depth with maximum draught of 48 metres, and surface dimensions of 69,4 * 22

metres; two caissons acting as bridges, the first one of 69 metres, 85 metres length and in 12 metres beam crowed at + 2,00 metres, and in 10 metres depth; the second one, of 115 metres length and 15.5 metres beam in 17 metres depth. The main caisson, floating breakwater, with 344 metres length, 28 metres beam; 19 metres maximum draught, with a parking inside of 386 places, minimising the wave disturbances in the whole basins and with a berthing point of liners of two hundred metres length. The second breakwater is another huge caisson of 145 metres length, 31

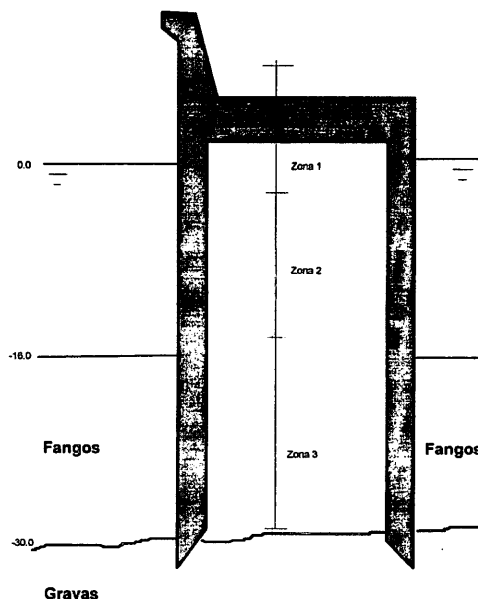


Figura 7. Sección tipo, Cajón Indio
Figure 7. Cross section, Indian caisson

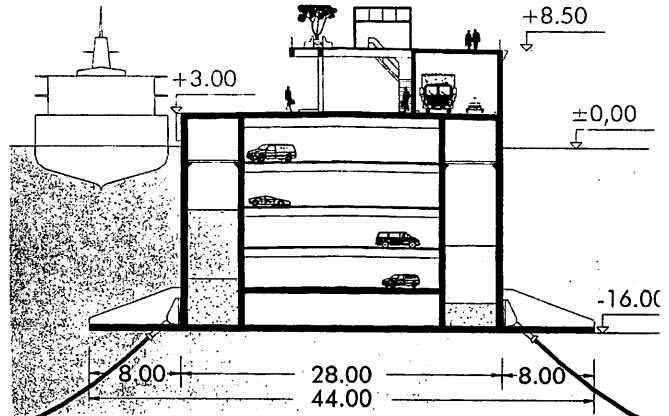
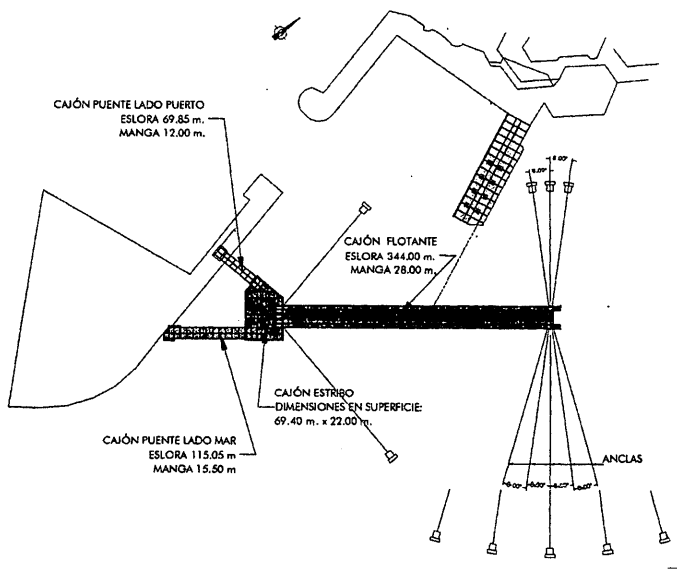


Figura 8. Desarrollo del Proyecto de Montecarlo, planta
Figure 8. Montecarlo Project Development, lay-out
Figura 9. Cajón flotante principal
Figure 9. Floating breakwater

tros de profundidad. El proyecto será construido durante los años 2000 - 2005.

Los problemas técnicos resueltos pueden sintetizarse en:

- ▼ Hacer compatible el clima marítimo con el uso y función de la zona
- ▼ Obtención de un marco marítimo que minimice el impacto y recupere la línea de costa, de forma artificial, reproduciendo las formas y características naturales
- ▼ Desarrollo de un diseño optimizando el entronque con la vertebración urbana, enlazando el mar con el medio físico terrestre y marino, con elevado nivel ambiental
- ▼ Minimizando la explotación de canteras y colocación de material granular por los problemas ecológicos que el empleo conlleva
- ▼ Reduciendo el producto de dragado, su uso y vertido, minimizando la alteración del ecosistema
- ▼ Combinar aspectos estéticos y ambientales con estructurales y funcionales
- ▼ Mejorar los comportamientos hidráulicos y geotécnicos

4. CONCLUSIONES

La historia de la construcción de diques es una serie de desastres en la lucha del hombre contra los agentes, incrementando la estabilidad, dentro de los aspectos económicos y de seguridad-riesgo. Muchas de las situaciones catastróficas se esquematizan en las tablas siguientes, en diferentes tipologías, diques en talud convencionales, diques verticales y mixtos. La principal razón del fallo reside en la estimación de los oleajes de diseño, la presencia de fenómenos de rotura y picos impulsivos en diques verticales, fenómenos de erosiones de pie, problemas geotécnicos y comportamientos dinámicos de las estructuras.

metres beam in 10 metres depth. This project will be constructed during 2000/05.

The technical problem raised be summarised as follows:

- ▼ Achieving wave action compatible with the use and enjoyment area
- ▼ Avoiding sea works impacting under landscape concept since the aim is to recover a lost shoreline, even though artificially with the natural features it had in its time
- ▼ Providing and adequate design for the action taken to constitute an appreciable enhancement of this urban stretch environmental quality
- ▼ Minimising the rubble mound material and the ecological problems
- ▼ Reducing the dredging material and the environmental impact
- ▼ Combining aesthetic and environmental variables with structural and functional ones
- ▼ Reducing hydraulic and geotechnical effects

4. CONCLUSIONS

The history of breakwaters construction was a series of struggles against powerful waves, to increase stability and to save maintenance cost. Most of the disasters and catastrophic failures are summarised in the tables below, in different types of breakwaters, rubble mound, vertical and composite ones. The main reason is the underestimation of the wave climate, and, of course, the effect of breaking waves in shallow water and the peak and impulsive pressure in monolithic walls, the scour and geotechnical effects, and the dynamic response of the structure.

Tabla N° 4. Averías relevantes en diques en talud convencionales en España
Table N° 4. Relevant rubble mound breakwater damages in Spain

Nombre del dique y año <i>Breakwater and year</i>	Fecha <i>Date</i>	Condiciones de oleaje <i>Wave conditions</i>	Causas de la avería <i>Causes of failure</i>
Punta Lucero, Bilbao (1976)	12 - 14 Marzo (March) N 48° W	$H_s = 7,20$ m $T_{op} = 13,50$ sg	Indeterminación Oleaje <i>Underestimate Wave Climate</i>
Punta Lucero, Bilbao (1976)	1/5 Diciembre N 48° W	$H_s = 8,00$ m $T_{op} = 16,01$ sg	Estimación Oleaje de cálculo <i>Underestimate Wave Climate</i>
San Ciprian, Lugo (1982)	11 Diciembre	$H_s = 4,76$ m $H_{max} = 10,05$ m	Trabazón de piezas, dolos <i>Interlocking of dolosses</i>
San Ciprian, Lugo (1982)	13 Diciembre	$H_s = 6,47$ m $H_{max} = 13,28$ m	Trabazón de piezas, dolos <i>Interlocking of dolosses</i>
San Ciprian, Lugo (1982)	16 Diciembre	$H_s = 8 - 9,00$ m $H_{max} = 16,50$ m	Estimación Oleaje de cálculo <i>Underestimate Wave Climate</i>
El Abra Exterior, 1996	8 Febrero	$H_s = 7,92$ m $H_{max} = 12,22$ m	En proceso constructivo <i>Construction process</i>

La interacción estructura - cimentación, ha recomendado el desarrollo de diferentes soluciones innovadoras en el campo de los diques verticales descritas en el epígrafe tercero.

La historia de las averías más relevantes en España es diques en talud convencionales es la reflejada en la tabla 4.

Otros ejemplos de roturas, desastres y daños importantes en los años últimos han sido: Antalya, Turquía (10/11 Diciembre 1971); Arzew el Djedid, Argelia (1978 - 79); Sines, Portugal (28 Febrero 1978); Arviksand, Norway (1965); Akranes, Iceland (1981) (Tabla 5).

Estas situaciones catastróficas demuestran las incertidumbres del Clima Marítimo, así como, los requerimientos de combinar la altura de ola con el período, la marea, las persistencias, el número de olas activas, la duración de las tormentas, la geotecnia y la interacción suelo y estructura.

Este artículo además de especificar los parámetros conceptuales de altura de ola adimensional, útiles en la Ingeniería Hidráulica, Van der Meer, 1988, $H_0 = 1,70 - 2,00$ en diques convencionales en talud, and $H_0 = 0,50$ en diques verticales a gran profundidad, por encima de dos veces la altura de ola, $h > 2 * H_s$, estimaciones de Negro - Varela, incluye algunas innovaciones tecnológicas teniendo en cuenta el diseño estructural y funcional, las condiciones naturales y ambientales, la minimización de los productos de cantera y del material gra-

The interaction between structure and foundation recommend the development of the technological innovations described in point 3 of this paper.

The history of rubble mound relevant failures in Spain are: Breakwater and year Date Wave conditions Causes of failure (Table 4).

Other examples of breakdowns, disasters or heavy damages which have taken place during recent years are: Antalya, Turkey (10/11 December 1971); Arzew el Djedid, Argelia (1978 - 79); Sines, Portugal (28 February 1978); Arviksand, Norway (1965); Akranes, Iceland (1981) (Table 5).

These catastrophic failures demonstrate the uncertainties in wave climate and the efforts to evaluate the wave action combining wave height, period, tide, number of active waves, duration of the storm, geotechnical conditions and interaction structure - foundation.

This paper deals about using preliminary conceptual design in Civil Hydraulic Engineering based in dimensionless wave height parameter, Van der Meer, 1988, $H_0 = 1,70 - 2,00$ in conventional rubble mound breakwaters, and $H_0 = 0,50$ in vertical breakwaters in water depth over twice the significant wave height.

The technological innovations have to take into account the structural and functional design as well as natural and

Tabla N° 5. Averías notables en Diques Verticales
Table N° 5. Relevant vertical breakwater failure

DAÑOS RELEVANTES EN DIQUES VERTICALES/RELEVANT VERTICAL BREAKWATER FAILURES

Nombre y año <i>Name and year</i>	País <i>Country</i>	Oleaje de diseño <i>Design Wave Height</i>	Condiciones reales de oleaje <i>Real wave conditions</i>	Causas de la avería <i>Causes of failure</i>
Bizerta, 1905 y 1915	Tunez (<i>Tunisia</i>)	— — —	— — —	Rotura (<i>Breaking wave</i>) Rebase (<i>Overtopping</i>) Socavación (<i>Scouring</i>)
Valencia, 1926	España (<i>Spain</i>)	— — —	H = 7,00 m, L = 150 m	Rotura (<i>Breaking wave</i>) Rebase (<i>Overtopping</i>) Socavación (<i>Scouring</i>)
Antofagasta, 1928 y 1929	Chile	H = 6,00 m, L = 90,00 m	H = 9,00 m, L = 250 m	Rotura (<i>Breaking wave</i>) Estimación de oleaje diseño (<i>Wave</i> <i>underestimated</i>)
Catania, 1930 y 1933	Italia (<i>Italy</i>)	— — —	H = 7 a 7,50 m L = 200 m	Rotura (<i>Breaking wave</i>) Interconexión bloques (<i>Interlock. blocks</i>) Estimación Ola (<i>Urderestimated W</i>)
Mustafá, 1934	Argelia (<i>Algeria</i>)	H = 5,00 m, L = 80 m	H = 9,00 m, L = 300 m	Rotura (<i>Breaking wave</i>) Rebase (<i>Overtopping</i>) Estimación Ola (<i>Urderestimated W</i>)
Génova, 1955	Italia (<i>Italy</i>)	— — —	H = 7,00 m, L = 200 m	Rotura (<i>Breaking waves</i>) Interconexión (<i>Interlock. blocks</i>)
Niigata, 1976	Japón (<i>Japan</i>)	H = 7,00 m, L = 260 m	H = 7,00 m, L = 280 m	Rotura (<i>Breaking waves</i>) Interconexión (<i>Interlock. blocks</i>) Estimación Ola (<i>Urderestimated W</i>)
Mutsu - Owagara, 1991	Japón (<i>Japan</i>)	H = 7,00 m, L = 260 m	H = 9,84 m, L = — m	Socavación (<i>Scouring</i>) Rotura (<i>Breaking waves</i>)

nular, los productos de dragado y vertido, debiendo compatibilizarse con el diseño armónico con la naturaleza, tanto a nivel lúdico como de explotación, así como resolviendo los problemas hidráulicos y geotécnicos.

5. BIBLIOGRAFÍA

—Tanimoto, K & Goda, Y. (1992). Historical development of breakwater structures in the world. Coastal Structures and Breakwaters'91. The Institution of Civil Engineers. Thomas Telford.

environmental conditions, minimising the rubble mound material, the dredging products, providing an adequate design compatible with the use and enjoyment area, harmonising with nature.

5. REFERENCES

—Tanimoto, K & Goda, Y. (1992). Historical development of breakwater structures in the world. Coastal Structures and Breakwaters'91. The Institution of Civil Engineers. Thomas Telford.

Tabla N° 6. Avería importantes en diques mixtos - compuestos en España
Table N° 6. Relevant composite breakwater failures in Spain

AVERIAS NOTABLES EN DIQUES MIXTOS O COMPUESTOS / RELEVANT COMPOSITE BREAKWATERS FAILURE IN SPAIN

Dique y año <i>Breakwater and year</i>	Condiciones de diseño <i>Design wave conditions</i>	Causas de la avería <i>Causes of failure</i>	Naturaleza del terreno <i>Ground nature</i>	Reconstrucción <i>Reconstruction</i>
Fuenterrabía, 1919	H = 4,00 m, L = 128 m	Socavación (<i>Scouring</i>) Rotura Ola (<i>Breaking waves</i>)	Arena (<i>Sand</i>)	Bloques de hormigón (<i>Concrete blocks</i>)
Zumaya, 1947 - 1981	15 proyectos reparación (<i>15 projects reparation</i>)	Socavación (<i>Scouring</i>) Rotura Ola (<i>Breaking Waves</i>)	Arena (<i>Sand</i>)	Bloques de hormigón (<i>Concrete blocks</i>)
Bermeo, 1934 - 1956	H = 6,00 m, L = 120 m	Socavación (<i>Scouring</i>) Rotura Ola (<i>Breaking Waves</i>)	Roca "cayuela" (<i>Rock "cayuela"</i>)	Bloques de hormigón 50 tn (<i>Concrete blocks of 50 tn</i>)
Castro, 1930 - 1978	H = 9,14 m, L = ---	Socavación (<i>Scouring</i>) Rotura Ola (<i>Breaking Waves</i>)	Roca (<i>Rock</i>)	Bloques de hormigón 48.8 tn (<i>Concrete blocks of 48.8 tn</i>)
Lastres, 1968	H = 6,80 m, L = ---	Rotura Ola (<i>Breaking Waves</i>)	Roca (<i>Rock</i>)	Bloques de hormigón 40 tn (<i>Concrete bloks of 40 tn</i>)
Tazones, 1934 - 1962	H = 6,60 m, L = ---	Cavernas (<i>Caves</i>) Rotura Ola (<i>Breaking Waves</i>)	Roca y arena (<i>Rock and sand</i>)	Bloques de hormigón 22 tn (<i>Concrete blocks of 22 tn</i>)
Candás, 1927 - 1955	H = 4,95 m, L = ---	Socavación (<i>Scouring</i>) Rebase (<i>Overtopping</i>)	Roca (<i>Rock</i>)	Barcaza y bloques de 27 tn (<i>Vessel and block of 27 tn</i>)
Luanco, 1934 - 1935	Sin proyecto (<i>No project</i>)	Socavación (<i>Scouring</i>) Agujeros en dique (<i>Holes in old b.</i>)	Arena (<i>Sand</i>)	Bloques de hormigón de 18 tn (<i>Concrete blocks of 18 tn</i>)
San Esteban Pravia, 1931	Sin proyecto (<i>No project</i>)	Socavación (<i>Scouring</i>) Rotura Ola (<i>Breaking waves</i>)	Roca y arena (<i>Rock and sand</i>)	Bloques hormigón de 15 a 30 tn (<i>Concrete blocks of 15 to 30 tn</i>)
Cudillero, 1934 - 1948	Sin proyecto (<i>No project</i>)	Socavación (<i>Scouring</i>)	Roca (<i>Rock</i>)	Bloques hormigón de 40 tn (<i>Concrete blocks of 40 tn</i>)
Luarca, 1967 - 1979	H = 5,00 m, L = ---	Socavación (<i>Scouring</i>)	Roca y salud (<i>Rock and sand</i>)	Bloques de hormigón 20 tn (<i>Concrete blocks of 20 tn</i>)

- Maritime Works Recommendations. (1992). Annex I. Wave actions, currents, tides and other water level variations. ROM 03/91. Ministry of Public Works.
- Burcharth, H.F. (1992) Design innovations including recent research contributions. Coastal Structures and Breakwaters'91. The Institution of Civil Engineers. Thomas Telford.
- Van der Meer, J. W. (1993) Conceptual design of rubble mound breakwaters. Delft Hydraulics Publications. Number 483.
- Negro, V. & Varela, O. (1994) H0 parameter for preliminary design of conventional breakwater structural head. Data analysis of Spanish North Coast. 24th International Conference on Coastal Engineering. ASCE. Kobe.
- Negro, V.; Varela, O. & García Palacios, J. (1995) Modelo conceptual para la determinación del ancho efectivo de un dique vertical empleando datos de campo y el parámetro adimensional de altura de ola, H0. Ingeniería Civil. Número 101. Enero - Marzo 1996.
- Takahashi, S. (1996) Design of vertical breakwaters. 25th International Conference on Coastal Engineering. ASCE. Orlando (Short Course)
- Oumeraci, H. (1998). Wave impact loading and dynamic response of vertically faces breakwaters. European Research Project. MAST III/PROVERBS
- Alonso, E. & Sánchez del Río, L. (1999) Iniciativas recientes en el diseño y construcción de diques de reducido impacto ambiental. Puertos del Estado. Foro de la Innovación.
- Negro, V.; Varela, O. & Alonso, E. (1999) Technological innovations in the conceptual design of vertical breakwaters. Coastal Structures and Breakwaters'99. ASCE.
- Inventario de Diques de Abrigo en el Litoral Español. (1988) Tres tomos. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Dirección General de Puertos y Costas.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el interés y el caudal de aportación de conocimientos de D. Emilio Alonso, D. Pablo Molinero y D. Luis Sánchez del Río de Dragados. A D. Jaime Garcia Palacios, de la Universidad Politécnica de Madrid su sapiencia informática, y al Profesor Suarez Bores su sincero apoyo durante años de comentarios y charlas. ■

- Maritime Works Recommendations. (1992). Annex I. Wave actions, currents, tides and other water level variations. ROM 03/91. Ministry of Public Works.
- Burcharth, H.F. (1992) Design innovations including recent research contributions. Coastal Structures and Breakwaters'91. The Institution of Civil Engineers. Thomas Telford.
- Van der Meer, J. W. (1993) Conceptual design of rubble mound breakwaters. Delft Hydraulics Publications. Number 483.
- Negro, V. & Varela, O. (1994) H0 parameter for preliminary design of conventional breakwater structural head. Data analysis of Spanish North Coast. 24th International Conference on Coastal Engineering. ASCE. Kobe.
- Negro, V.; Varela, O. & García Palacios, J. (1995) Modelo conceptual para la determinación del ancho efectivo de un dique vertical empleando datos de campo y el parámetro adimensional de altura de ola, H0. Ingeniería Civil. Número 101. Enero - Marzo 1996.
- Takahashi, S. (1996) Design of vertical breakwaters. 25th International Conference on Coastal Engineering. ASCE. Orlando (Short Course)
- Oumeraci, H. (1998). Wave impact loading and dynamic response of vertically faces breakwaters. European Research Project. MAST III/PROVERBS
- Alonso, E. & Sánchez del Río, L. (1999) Iniciativas recientes en el diseño y construcción de diques de reducido impacto ambiental. Puertos del Estado. Foro de la Innovación.
- Negro, V.; Varela, O. & Alonso, E. (1999) Technological innovations in the conceptual design of vertical breakwaters. Coastal Structures and Breakwaters'99. ASCE.
- Inventario de Diques de Abrigo en el Litoral Español. (1988) Tres tomos. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Dirección General de Puertos y Costas.

6. ACKNOWLEDGEMENT

The authors greatly appreciate Mr. Emilio Alonso, Mr. Pablo Molinero and Mr. Luis Sánchez del Río from Dragados, Mr. Jaime Garcia from the Technical University of Madrid, and Professor Suarez Bores for their sincere assistance and help during the study. ■