

ANÁLISIS Y AJUSTE DEL PARAMETRO $H_0 = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}}$ PARA EL DISEÑO PRELIMINAR DE MORROS DE DIQUES EN TALUD CONVENCIONALES. APLICACIÓN A LA FACHADA CANTÁBRICA

Vicente Negro Valdecantos.

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Profesor Titular de la U. P. M.

RESUMEN

La determinación de la respuesta de una estructura marítima ante la acción del oleaje se define generalmente mediante ensayos en modelo físico o fórmulas calibradas con datos procedentes de los mismos. Por consecuencia, empleando los ensayos de la Universidad de Aalborg, Dinamarca, 1987-88 y el Inventario de Obras de Abrigo, Fachada Norte, 1988, se pretende calibrar el parámetro estático H_0 de Van der Meer para el cálculo preliminar de morros de estructuras flexibles convencionales de manto de bloques. Los efectos orbitales, la duración del temporal, la interconexión de piezas, la limitación por fondo y la geometría del dique serán contrastados en el futuro con objeto de mejorar y analizar la bondad del presente ajuste.

ABSTRACT

The determination of the response of a Coastal Structures to waves is almost always determined by model tests or using formulae fitted to model data. Using results of Aalborg University, 1987-88 and Collecting Spanish data from the North Coast, 1988, we approach for preliminary design the H_0 parameter (Van der Meer) for conventional breakwater, structural head, blocks. The effect of wave length, storm duration, and the influence of the breakwater geometry, interlocking blocks and water depth will be include in the future for better calibration of Van der Meer parameter.

1. INTRODUCCIÓN

La determinación de la respuesta de una estructura marítima ante la acción de agentes incidentes, principalmente el oleaje, se define, generalmente, mediante ensayos de la sección en modelo reducido. En múltiples ocasiones, los Ingenieros hidráulicos emplean para sus diseños fórmulas cuyo origen se encuentra en datos proporcionados por las mencionadas experimentaciones. El máximo problema radica en la aleatoriedad de las acciones y la multiplicidad, dentro del "desorden" de las interconexiones y puntos de contacto y del emplazamiento de las piezas del manto exterior.

Pese a todo, los conceptos de avería, grado de riesgo, probabilidad de fallo de componentes y sistemas, además de los avances en modelos y ensayos han permitido definir formas y perfiles de elevada y superior estabilidad y notable capacidad estética.

Desde Hudson, 1959, o Brebner y Donelly, 1962, se ha pretendido determinar la respuesta de una estructura marítima ante la acción del oleaje, esquematizándola en monomios o productos adimensionales, tales como $k_d \cot \alpha$ o N_s .

Brorsen, 1974, demuestra que la fórmula de Hudson no es válida por las dificultades de reproducir los equilibrios y las interconexiones de las piezas sobre el talud (Concepto ya desarrollado por Iribarren y Suárez Bores). Van der Meer, 1988 tras una serie numerosa de ensayos y ajuste estático del equilibrio de los cantos respecto a sus puntos de contacto propone un parámetro H_0 que intenta recoger la mencionada inquietud. De esta manera, relaciona las clásicas teorías monocromáticas con análisis irregulares, más realistas y fiables.

Hudson Brebner y Donelly Van der Meer

$$(\cot g \cdot \gamma \cdot K_d) \langle N_s \rangle \frac{H_s}{\Delta D_{n50}}$$

El objetivo del presente estudio es, en función del parámetro H_0 , y los ensayos de Bur-

charth y Frigaard de la Universidad de Aalborg, 1987-88, y en base a la notable experiencia de los diques convencionales en talud de la fachada Cantábrica, ajustar

$$H_0 = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}}$$

para la determinación preliminar, previa a ensayo, del morro de una estructura flexible clásica.

2. MARCO DE ACTUACIÓN

Van der Meer recoge la inquietud de reducir mediante monomios adimensionales la respuesta de una estructura marítima ante el oleaje incidente. De esta manera define su parámetro estático H_0 como:

$$H_0 = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}}$$

H_s Altura de ola significativa (m)

Δ Coeficiente relativo de densidades (-)

$$\frac{\gamma}{\gamma_w} - 1$$

γ Densidad de la pieza (t/m^3)

γ_w Densidad del agua del mar (t/m^3)

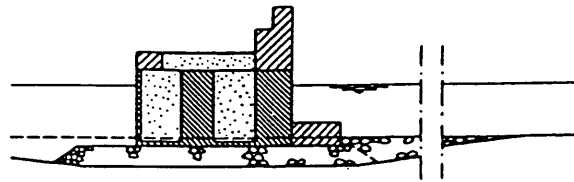
D_n Diámetro nominal medio (m)

Nuevos experimentos y análisis de perfiles dinámicos han proporcionado monomios H_0 , T_0 , para clasificar estructuras flexibles:

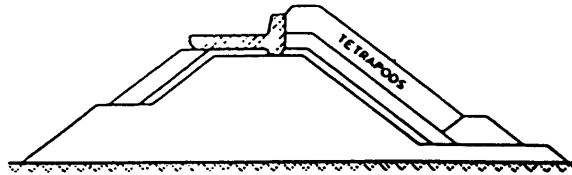
$$H_0 T_0 = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} T_m \sqrt{\frac{g}{D_{n50}}}$$

En este aspecto, y como consecuencia del citado producto adimensional, propone una clasificación de las Obras Marítimas (fig. 1).

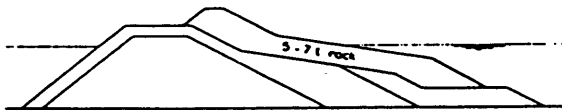
Figura 1.
Clasificación de
Obras Marítimas
de Van der Meer.



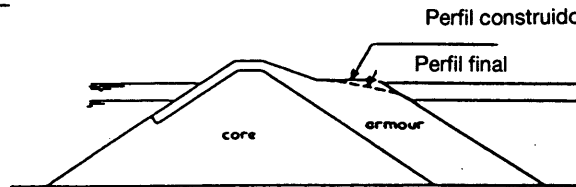
Dique vertical - Cajones
 $H/\Delta D < 1$



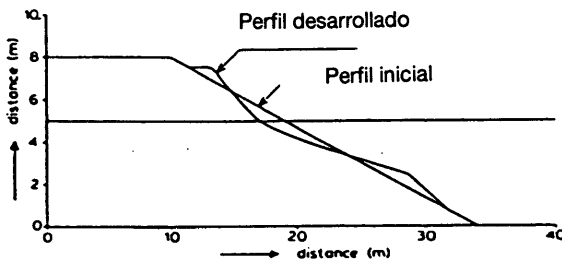
Dique en talud convencional
 $H/\Delta D = 1 - 4$



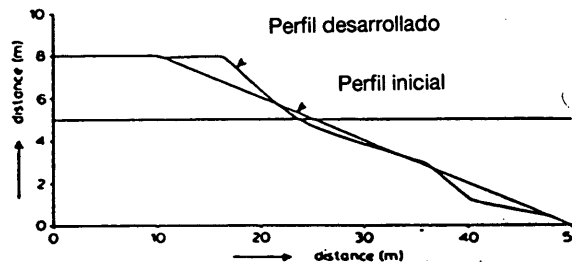
Dique en "S"
 $H/\Delta D = 3 - 6$



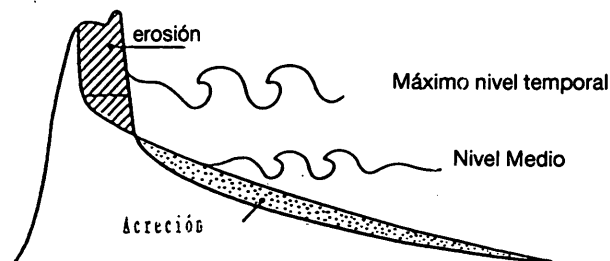
Dique Berna
 $H/\Delta D = 3 - 6$



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

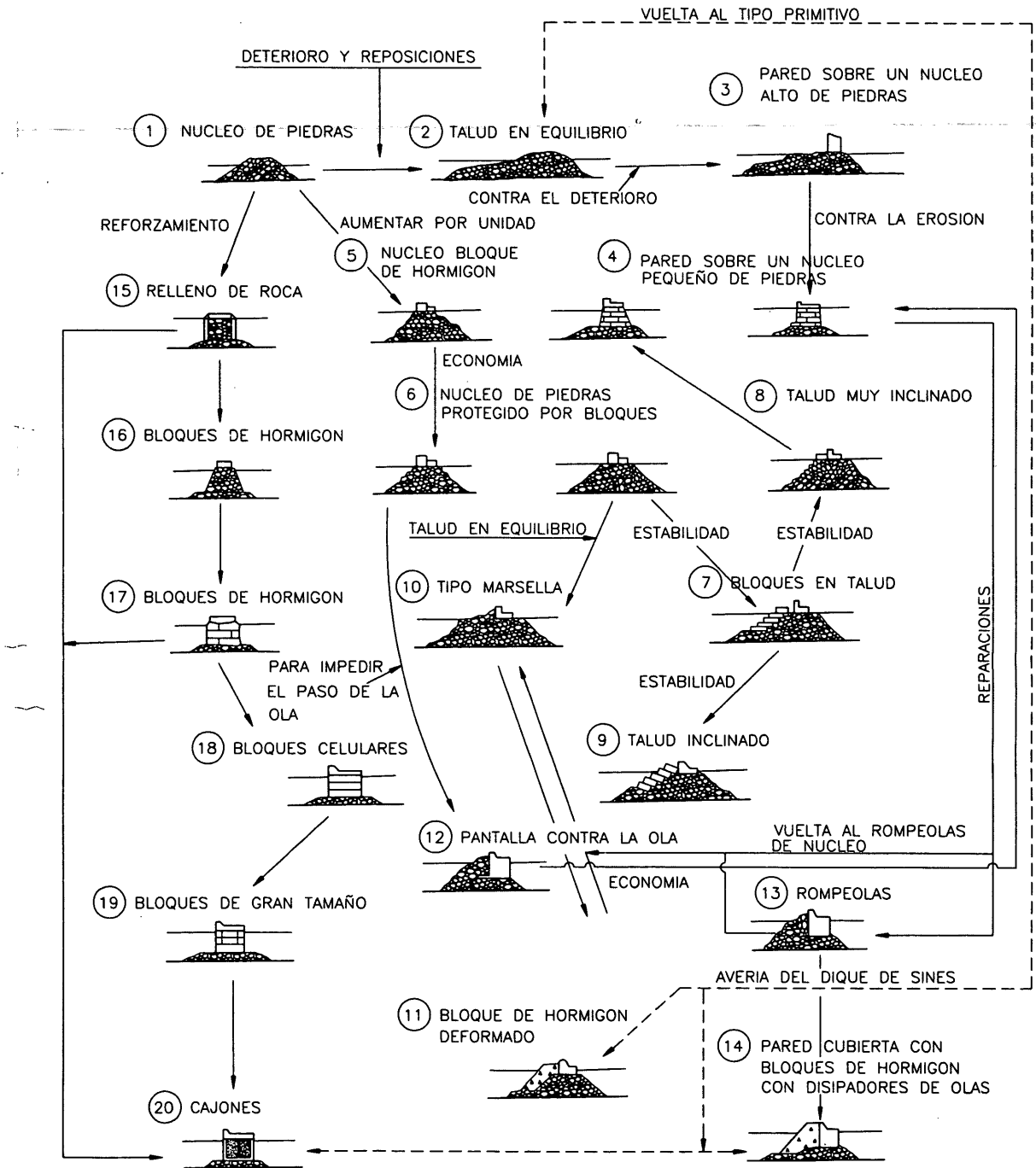


Playa de grava
 $H/\Delta D = 20 - 500$



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

Figura 2.
Evolución
de Obras
Marítimas
según Goda.



$H_o < 1$ Diques verticales. Estructura rígida de fallo instantáneo.

$1 < H_o < 4$ Dique en talud convencional. Estructura de fallo gradual. Deformable o flexible.

$3 < H_o < 6$ Dique en talud especial, en berma, S o D.

$6 < H_o < 20$ Taludes de escollera de diámetro reducido.

$15 < H_o < 500$ Playas de grava

$H_o > 500$ Playas de arena

Así mismo, la clasificación permite diferenciar para el diseño de una estructura portuaria y/o costera entre perfiles estáticos y dinámicos,

$H_o T_o < 100$ Criterio estático

$H_o T_o > 100$ Criterio dinámico

Esta clasificación contrasta con la evolución funcional, estructural sintetizada por Suarez Bores, 1968-74-78, y la desarrollada por Goda y Tanimoto, 1991 (fig. 2)

▼ Dimensionamiento estructural

- . Determinismo
- . Univariado
- . Multivariado

▼ Comportamiento ante la acción, el oleaje incidente

- . Rígida o cuya ruina es ocasionada por una sóla ola
- . Deformable o cuya ruina es ocasionada por un tren de olas

▼ Respuesta estructural

- . Fallo instantáneo
- . Fallo gradual

▼ Geometría estadística

- . Estructura rígida, H_{max} , N
- . Estructura flexible, $H1/n$

▼ Diseño óptimo

- . Económico
- . Riesgo
- . Probabilidad de fallo y multivariabilidad

Visto todo lo anterior, el ámbito de actuación del presente estudio se circunscribe al dique en talud clásico convencional con parámetro H_o comprendido entre 1 y 4.

Los ensayos realizados en la Universidad de Aalborg, Dinamarca, mostraban en función de las pruebas en modelo reducido el siguiente rango:

$$3,50 < H_o < 7,10$$

los análisis estructurales eran:

▼ 1 - 3 Dique en talud convencional, inicio de fallo

▼ 2 - 5 Dique en talud convencional, avería

▼ 3 - 7 Dique berma

proporcionando para una avería moderada, inicio de fallo, las siguientes recomendaciones de diseño,

▼ Troncos de diques sometidos a oleaje oblicuo peraltado $< 4,50$

▼ Troncos de diques sometidos a oleaje oblicuo de largo $< 3,50$

▼ Morros $< 3,00$

El objetivo de esta investigación es ajustar con los datos procedentes de los morros de diques en talud convencionales de la fachada Cantábrica el entorno del parámetro H_o para un predimensionamiento o diseño preliminar de los mismos, en caso de bloques de hormigón.

3. AJUSTE DE H_o EN MORROS EN FUNCIÓN DE LOS DATOS EXISTENTES

El oleaje que alcanza la costa del Mar Cantábrico está generado en el Atlántico Norte por la acción de tormentas extratropicales. Las oscilaciones de la masa polar a lo largo del año definen unas condiciones en el frente costero de las más activas, con vientos del Cuadrante Oeste, Noroeste, Norte con un gradiente de velocidades de 40 m/sg y ocasionando grandes tem-

TABLA 1

Naturaleza de la obra	Peso del manto exterior	Diámetro nominal medio	Altura de ola	Ho
Fuenterrabía, escollera	9 t	1,50 m	5,00 m	2,04
Orio, bloque calizo 2,80	13 t	1,66 m	5,85 m	2,02
Getaria, escollera	20 t	1,96 m	6,63 m	2,12
Bermeo, 1ª Fase	50 t	2,75 m	7,13 m	1,93
Bermeo, 2ª Fase	85 t	3,30 m	9,00 m	2,03
Bilbao, Punta Lucero	150 t	4,00 m	10,10 m	1,88
Lastres	40 t	2,55 m	6,80 m	1,98
Gijón	120 t	3,70 m	9,60 m	1,94
Candás (Daño y avería)	27 t	2,25 m	4,95 m	1,64
San Esteban	125 t	3,70 m	8,75 m	1,77
Cudillero	60 t	2,92 m	8,00 m	2,04
Burela	72 t	3,10 m	7,45 m	1,79
San Ciprián	90 t	3,35 m	8,90 m	1,98
Cillero	28 t	2,25 m	6,25 m	2,06
Cariño, escollera	12 t	2,05 m	5,00 m	1,96
Malpica	120 t	3,68 m	10,70 m	2,16
Lage	20 t	2,05 m	5,00 m	1,96
Finisterre	15 t	1,85 m	5,00 m	2,09
Panjón	5 t	1,28 m	3,18 m	1,85

Otros diseños posteriores han servido de comprobación de los múltiples ajustes realizados con los morros de diques en talud convencionales de la Fachada Cantábrica. Entre ellos destaca,

Zurriola, bloque calizo	45 t	2,55 m	8,20 m	1,96
Cala Bens, La Coruña	125 t	3,75 m	10,00 m	1,98

porales, siendo una de las zonas más acusadas y activas del mundo. (Losada et al, 1992).

Este hecho ha provocado la ubicación de una serie de puertos cuyas obras de abrigo, algunas a gran profundidad, presentan mantos con piezas de protección de más de 100 toneladas de peso.

Con objeto de calibrar los morros de obras convencionales deformables, se han analizado más de 100 diques de la Cornisa Cantábrica, alcanzando los siguientes resultados del parámetro Ho. (Tabla 1).

El coeficiente relativo de densidades oscila entre 1,63 para escollera natural, 1,3414 para

bloques paralelepípedicos de hormigón, 1,731 para bloque de cantera de elevada densidad.

Estos ajustes contrastan con la clásica formulación que consiste en:

$W_{morro} = \text{Coeficiente multiplicador} \times W_{hudson}$

siendo este coeficiente siempre superior a la unidad, función del tipo de pieza, colocación y naturaleza del movimiento ondulatorio. Este hecho se añade a los valores de la constante de estabilidad de Hudson. (Tabla 2).

Del análisis de resultados se desprende como cálculo preliminar y de diseño provisional, sujeto a un ensayo posterior, para la determinación de morros de diques convencionales ($1 < H_o < 4$), el ajuste $H_o \approx 2,00$

Este ajuste, tal como indica Burcharth et al, se debe contrastar con nuevas variables que responden a la multivariedad del diseño de obras marítimas, incluyendo el efecto orbital del movimiento ondulatorio, L y T, la duración del temporal, N, la geometría del talud y el tipo de pieza, correspondiendo a formulaciones:

$$\frac{H_s^{2/3} \cdot L^{1/3}}{\Delta D_{n50}} \approx H_o \approx (\cot g. \alpha. Kd)^{1/3} \approx Ns$$

$$\frac{H_s^{2/3} \cdot L^{1/3}}{\Delta D_{n50}} \cdot f(N)$$

donde,

L: Longitud de onda en profundidades reducidas (m)

N: Número de olas activas (-)

α : Angulo del talud (°)

Kd: Constante de estabilidad de Hudson (-)

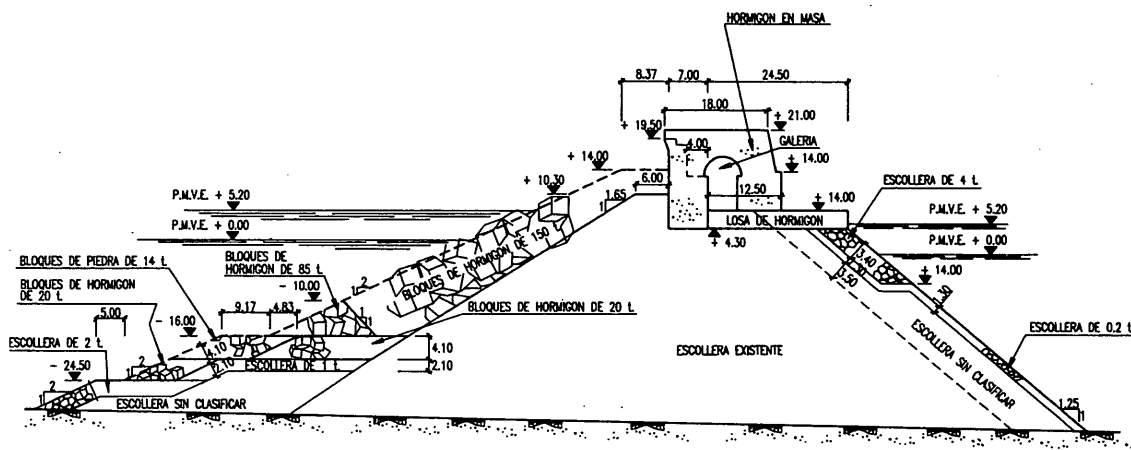
Ns: Número de estabilidad de Brebner y Donnelly (-)

Ho: Parámetro de Van der Meer (-)

Hs: Altura de ola significativa (m)

Dn: Diámetro nominal (m)

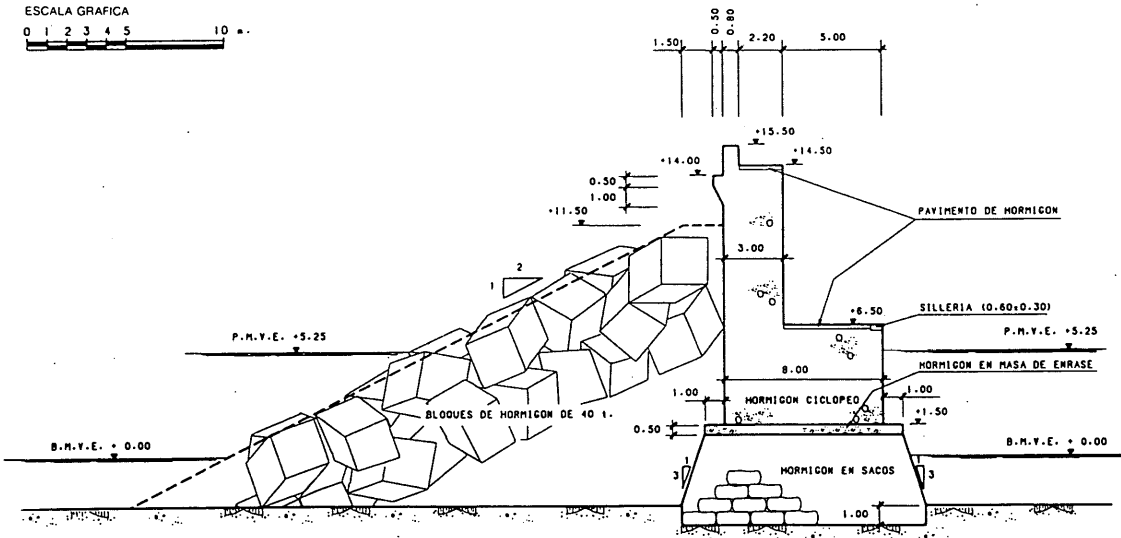
Figura 3.
De arriba a abajo:
Secciones tipo
dique de abrigo
de Bilbao,
de Lastres
y de Gijón



SECCION TIPO

ESCALA GRAFICA

0 1 2 3 4 5 10 m.



SECCION TIPO

ESCALA GRAFICA

0 5 10 15 25 m.

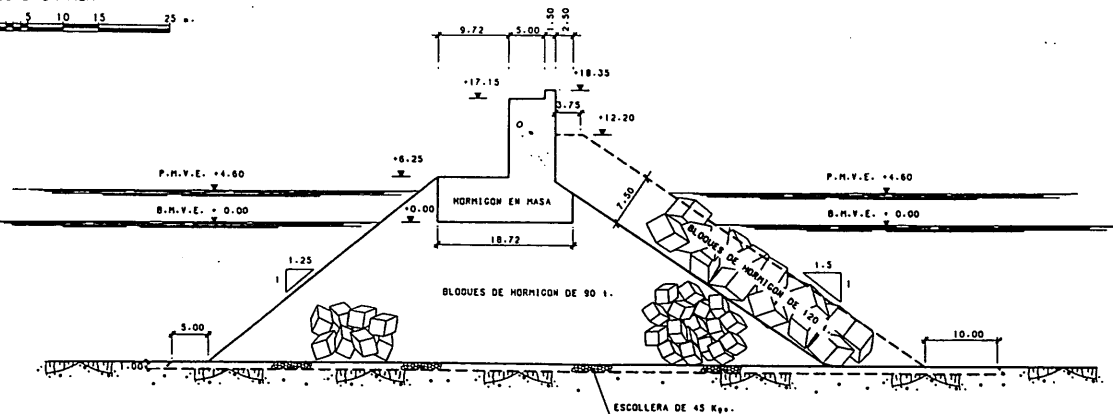


Figura 4.
De arriba a abajo:
Secciones tipo
dique de abrigo
de Candás,
de Burela
y de San Ciprián.

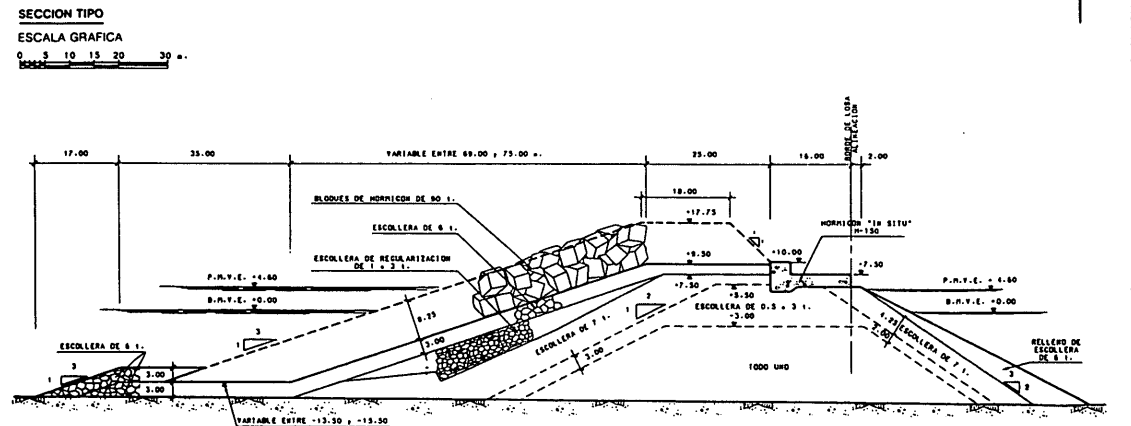
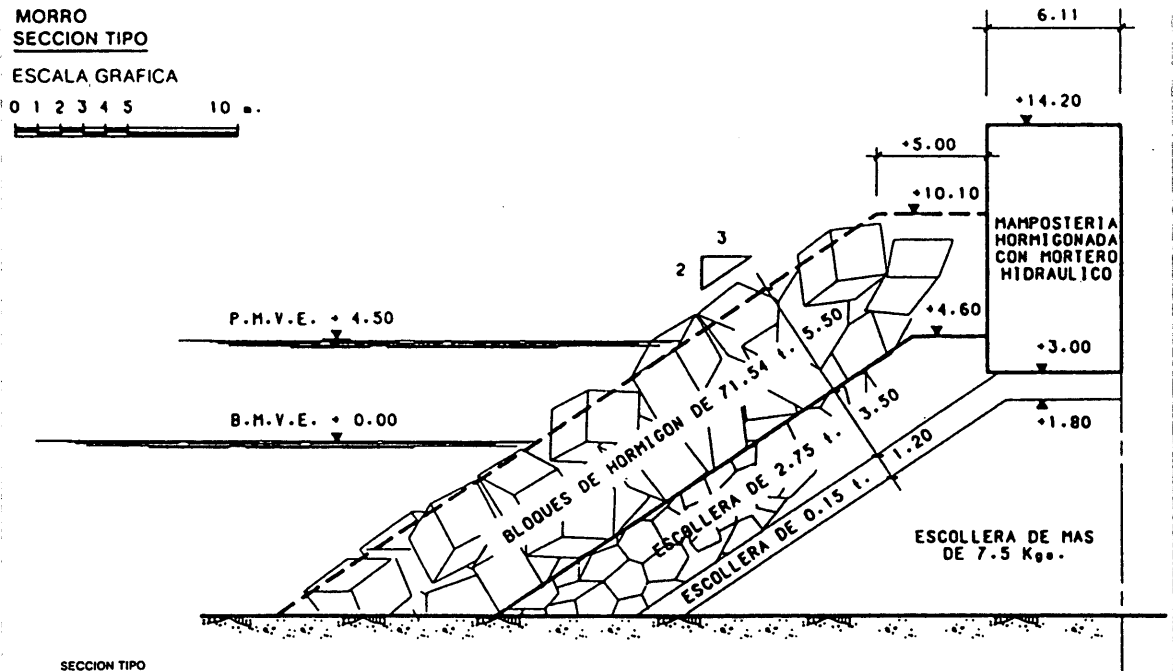
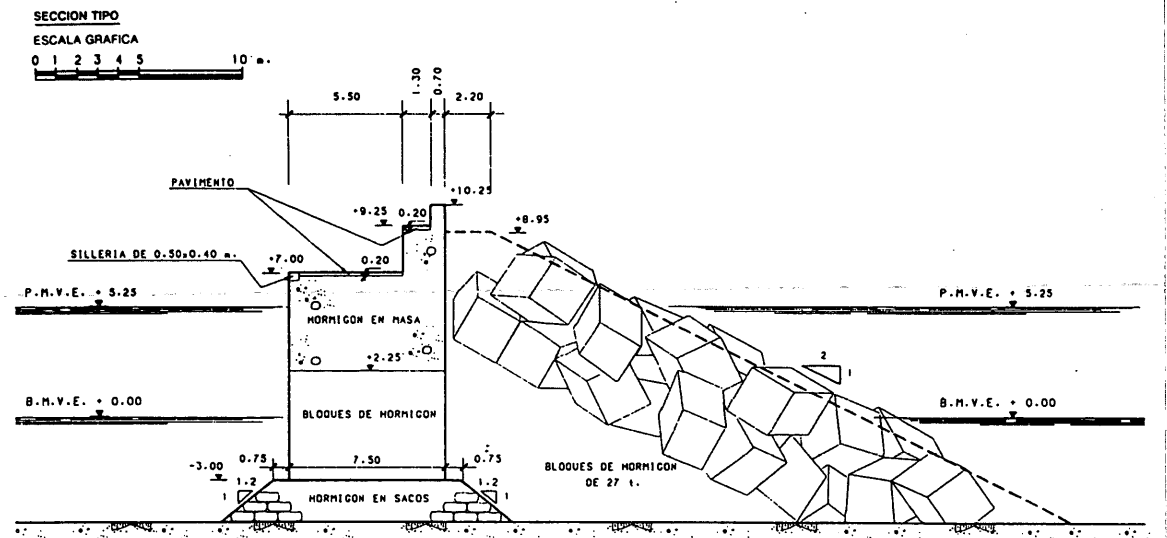


TABLA 2

Tipo elemento del manto exterior	Número de capas	Modo de puesta en obra	Coeficiente multiplicador olas rotas olas no rotas		Pendiente de talud: base por unidad de altura
Materiales de cantera					
a) Lisas redondeadas	2	"en desorden"	1,25	1,25	1,5 a 3,0
b) Lisas redondeadas	3	"en desorden"	1,35	1,40	1,5 a 3,0
c) Rugosas angulares	1	"en desorden"	NR	1,25	1,5 a 3,0
" "	2	"en desorden"	1,20	1,25	1,5
" "	2	"en desorden"	1,40	1,40	2,0
" "	2	"en desorden"	1,75	1,75	3,0
e) Rugosas angulares	3	"en desorden"	1,05	1,10	1,5 a 3,0
f) Rugosas angulares	3	especiales	1,40	1,20	1,5 a 3,0
Tetrápodos	2	"en desorden"	1,20	1,25	1,5
"	2	"en desorden"	1,30	1,35	2,0
"	2	"en desorden"	1,80	1,90	3,0
Tribars	2	"en desorden"	1,10	1,15	1,5
"	2	"en desorden"	1,15	1,20	2,0
"	2	"en desorden"	1,30	1,35	3,0
Dolos	2	"en desorden"	1,50	1,50	2,0
"	2	"en desorden"	1,60	1,65	3,0
Cubo modificado	2	"en desorden"	-	1,55	1,5 a 3,0
Hexápodos	2	"en desorden"	1,65	1,35	1,5 a 3,0
Tribars	1	uniforme	1,60	1,60	1,5 a 3,0

$$Dn = \sqrt[3]{(W / \tau)}$$
 , determinando W morro

W: Peso de los cantos del manto exterior (t)

γ: Densidad de la pieza (t/m³)

4. CONCLUSIÓN

Tal como indican los ensayos de la Universidad de Aalborg, Dinamarca, puede usarse como diseño preliminar y siempre que no se disponga de una serie de ensayos o información adicional, el parámetro $H_o = 2,00$ para el predimen-

sionamiento de morros de diques en talud convencionales de bloques.

Este es el resultado de una serie de ajustes y contrastes sobre un total de más de 100 morros de obras deformables de la fachada Cantábrica.

Los efectos orbitales, la duración del temporal, la interconexión de piezas, el efecto fondo, la geometría del dique, serán contrastados en el futuro con objeto de alimentar la bondad del presente ajuste y profundizar en el cálculo de un elemento singular y conflictivo, en ocasiones, como es el morro de un dique (Fig. 3 y 4) ●

REFERENCIAS

1. Inventario de Diques de Abrigo. Tomo I. MOPU. 1988.
2. Rock slopes and gravel beaches under wave attack. J.W. Van der Meer. Delft Hydraulics. 1.988.
3. Historical developments of breakwaters design. Y. Goda et al I.C.E. 1991.
4. Análisis multivariado. P.S. Bores. 1980.
5. Random seas and design of maritime structure. Y. Goda. 1985.
6. Damage and repair work performed on some mound breakwaters in Spain. M. Losada et al. I.C.E. 1991.
7. Design innovation including recent research contributions. H.F. Burcharth. I.C.E. 1991.
8. On 3 - dimensional stability reshaping breakwaters. H.F. Burcharth y P. Frigaard. CERC. 1988.