Sprilur

Proyecto de Refuerzo del Dique-Muro de la Central Nuclear de Lemoiz

ANEJO Nº5. CÁLCULOS DE ESTABILIDAD

Junio 2023

TYPSA

TYPSA dispone de un Sistema de Gestión de la Integridad y desde 2019 cuenta con la Certificación ISO 37001 «Sistema de Gestión Antisoborno». A través del enlace *www.typsa.com/etica-e-integridad/* puede acceder a nuestra Política de Integridad Corporativa y a nuestro Código Ético, así como al canal de comunicación habilitado para denuncias, dudas, quejas o sugerencias.

Hoja de control de calidad

Documento	Anejo Nº5. Cálculos de estabilidad	
Proyecto	**CP9486. Proyecto de refuerzo del dique-muro de la Central Nuclear de Lemoiz**	
Código	CP9486-PC-AN-05-CalculosEstabilidad-D01	
Autores:	Firma:	NRG
	Fecha:	09.06.2023
Verificado	Firma:	NUM
	Fecha:	09.06.2023
Destinatario	SPRILUR	
Notas		
Confidencialidad	Información confidencial	

Índice

Anejo Nº5. Cálculos de estabilidad

1. OBJETO 1
2. OLEAJE DE CÁLCULO 3
3. CÁLCULO DE ESTABILIDAD DEL MANTO EXTERIOR 4
   3.1. Metodología 4
   3.2. Resultados 4
4. CÁLCULO DE ESTABILIDAD DEL ESPALDÓN Y REBASE 6
   4.1. Metodología 6
      4.1.1. Estabilidad del espaldón 6
      4.1.2. Rebase 6
   4.2. Resultados 7

APÉNDICE Nº1. RESULTADOS DE ESTABILIDAD DEL MANTO EXTERIOR

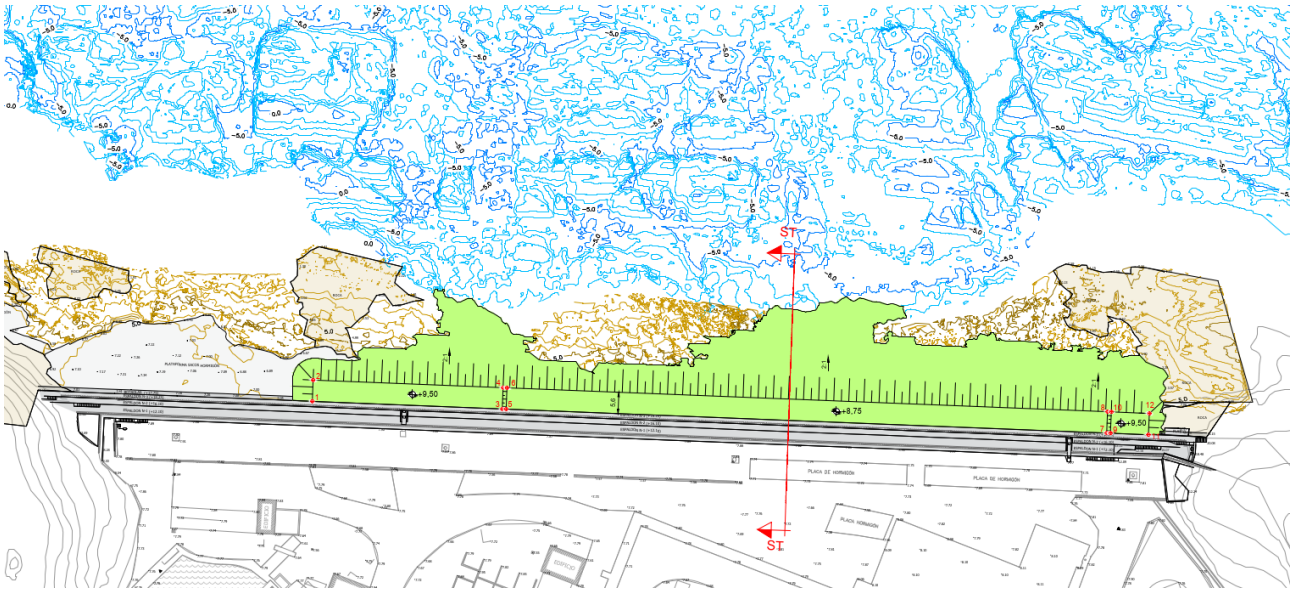
APÉNDICE Nº2. RESULTADOS DE ESTABILIDAD DEL ESPALDÓN Y REBASE

Anejo Nº5. Cálculos de estabilidad

1. OBJETO

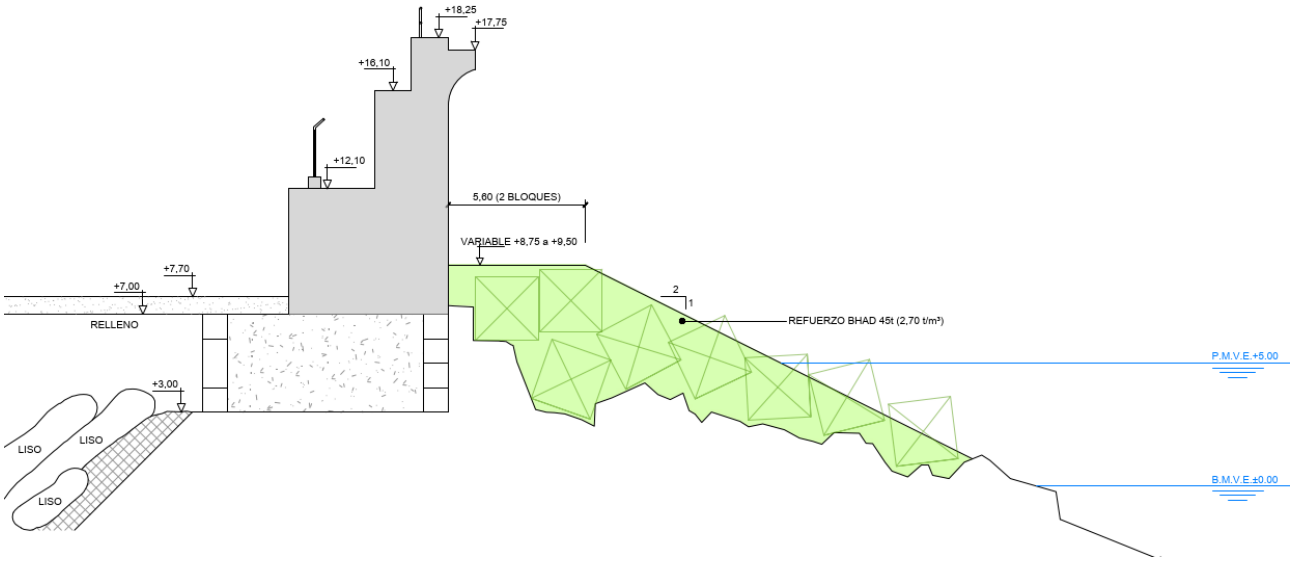
El objeto de este anejo de cálculo es analizar la estabilidad de los bloques de protección del manto principal, así como del espaldón del dique.

Las obras incluidas comprenden el refuerzo del talud exterior del dique a lo largo de los últimos 230 metros. Atendiendo a la realidad física de la zona de estudio y la solución planteada se muestra a continuación la distribución en planta de la zona de refuerzo mediante la colocación de 415 bloques de hormigón de alta densidad (2,70 t/m3) de 45 toneladas de peso.



Distribución en planta de la zona de refuerzo mediante bloques de 45 t.

La sección tipo de refuerzo plantea la colocación de dos bloques en la berma de coronación del manto principal en una anchura de 5,60 m y una cota de coronación variable entre las cotas +8,75 y +9,50 m, y su prolongación con un talud 2H:1V hasta el apoyo en el fondo rocoso.



Sección tipo refuerzo.

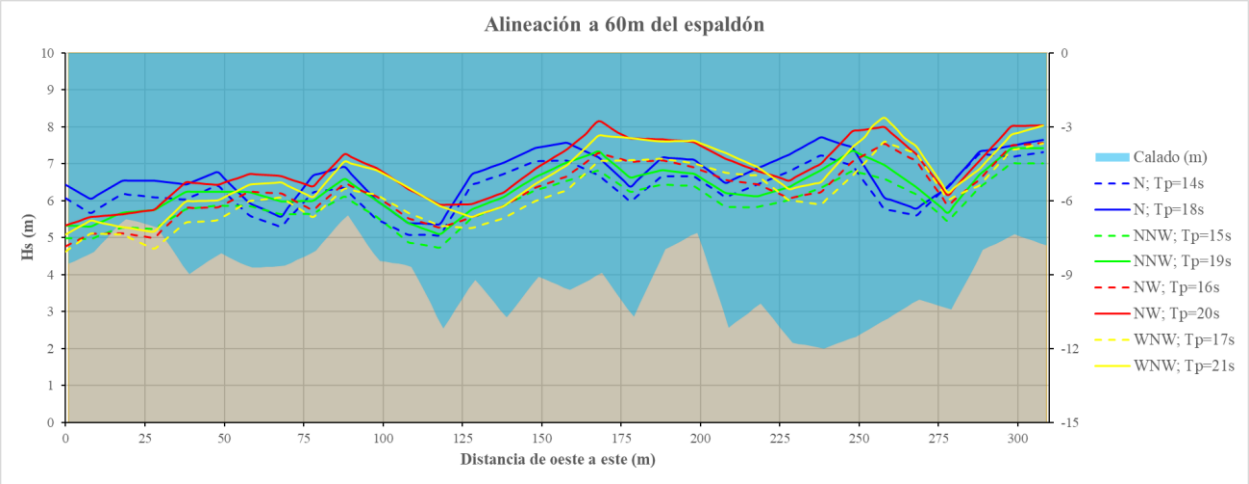
2. OLEAJE DE CÁLCULO

El oleaje se ha definido en el Anejo nº3. Clima marítimo y propagación del oleaje desde aguas profundas, para un periodo de retorno de 238 años.

Los resultados del análisis del oleaje de cálculo para el conjunto de oleajes propagados desde aguas profundas hasta pie de obra (alineación a 60 metros respecto al espaldón) se muestran en la siguiente tabla, donde aparecen los valores máximos que se producen a lo largo de la alineación para los distintos sectores, de acuerdo con la banda de confianza superior del 90% y un periodo de retorno de 238 años, que define el oleaje de diseño. Los valores de altura de ola máximos se producen para los dos sectores predominantes en aguas profundas, NW y WNW, y en especial en el tramo situado más hacia el este.

Oleaje en alineación 60 m del espaldón			
N	Tp=14s	Hs(m)	7.31
		Dir (º)	6.5
	Tp=18s	Hs(m)	7.72
		Dir (º)	9.3
NNW	Tp=15s	Hs(m)	7.01
		Dir (º)	348.3
	Tp=19s	Hs(m)	7.43
		Dir (º)	350.2
NW	Tp=16s	Hs(m)	7.56
		Dir (º)	343.5
	Tp=20s	Hs(m)	8.15
		Dir (º)	355.7
WNW	Tp=17s	Hs(m)	7.60
		Dir (º)	345.0
	Tp=21s	Hs(m)	8.25
		Dir (º)	348.7

Valores máximos de oleaje asociados a la banda de confianza del 90%.



Oleaje de diseño a lo largo de la alineación (60 m desde el espaldón).

3. CÁLCULO DE ESTABILIDAD DEL MANTO EXTERIOR

3.1. Metodología

La metodología empleada para el dimensionamiento del manto principal formado por bloques cúbicos de hormigón de alta densidad (2,70 t/m3) es la propuesta por Van der Meer (1988) para diques de cubos de hormigón no rebasables, desarrollada a partir de una serie de ensayos experimentales en canal de oleaje, la cual nos proporciona el valor del parámetro de estabilidad N_s, definido como:

$$N_s = \frac{H_s}{\left(\frac{\rho_{escollera}}{\rho_w} - 1\right) D_{n,50}}$$

$$D_{n,50} = \sqrt[3]{\frac{W_{50}}{\rho_{escollera}}}$$

donde D_{n50} es el diámetro nominal medio, y W_{50} es el peso medio (mediana) de los cubos de hormigón. Dicho parámetro es función del número de elementos movidos N_{od}, el número de olas del temporal N y el peralte de la ola s_{om}. La expresión propuesta es la siguiente:

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = \left(6{,}7 \frac{N_{od}^{0,4}}{N^{0,3}} + 1{,}0\right) s_{om}^{-0,1}$$

La formulación de Van der Meer es aplicable para un talud 3H:2V, por lo que, para pasar a un talud 2H:1 es necesario aplicar la siguiente fórmula:

$$W_a = W_{1,5} * \left(\frac{1{,}5}{cotg\alpha}\right)$$

El parámetro N_{od} se ha fijado en 0,20 para el refuerzo del dique-muro, siendo este un valor contrastado en otros proyectos y obras en el mar Cantábrico.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el manto principal exterior del dique de abrigo en talud para el oleaje más desfavorable.

3.2. Resultados

A partir de los diferentes oleajes de cálculo obtenidos y siguiendo la formulación propuesta por Van der Meer (1988), se ha obtenido el peso de bloque a disponer en el manto exterior, considerando la fabricación de los bloques con hormigón de alta densidad (2,70 t/m3).

Dirección	Tp	Hs	Peso bloque
N	14 s	7,31 m	37,39 t
	18 s	7,72 m	38,50 t
NNW	15 s	7,01 m	31,24 t
	19 s	7,43 m	32,84 t
NW	16 s	7,56 m	38,56 t
	20 s	8,15 m	43,22 t
WNW	17 s	7,60 m	37,83 t
	21 s	8,25 m	**43,69 t**

La situación más desfavorable se produce con el oleaje del sector WNW, Hs = 8,25m y T = 21s, obteniendo un peso de bloque de 43,69 t, por lo tanto, se proyecta la colocación de bloques de hormigón de alta densidad de 45 toneladas de peso.

Se incluye en el Apéndice 1 los resultados de estabilidad del manto para cada uno de los oleajes simulados en la propagación exterior.

4. CÁLCULO DE ESTABILIDAD DEL ESPALDÓN Y REBASE

4.1. Metodología

4.1.1. Estabilidad del espaldón

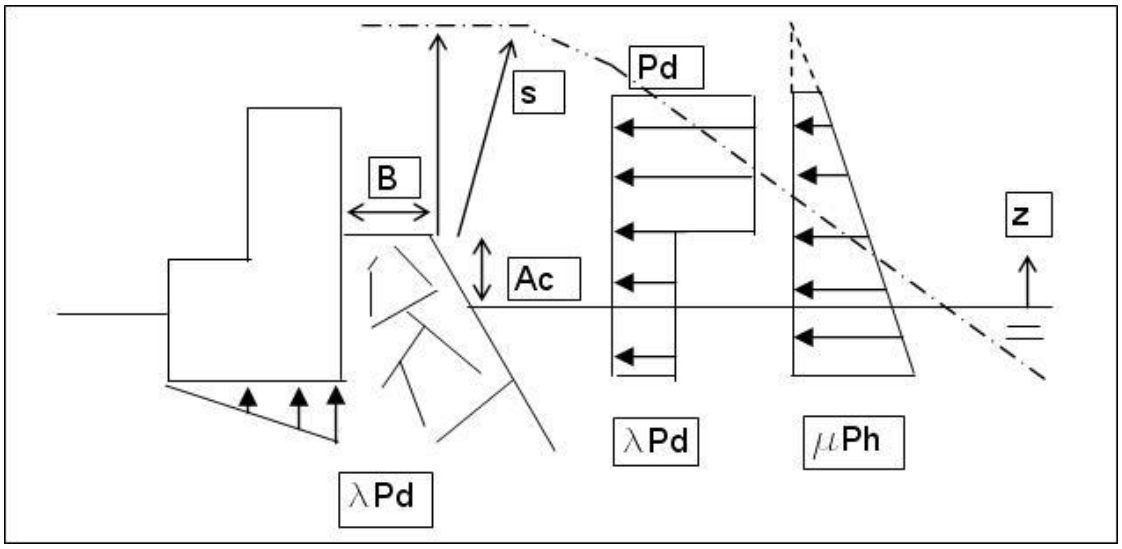
El cálculo del espaldón se ha realizado a partir del equilibrio de un sistema de fuerzas, en el cual se comparan las componentes desestabilizadoras (debidas al oleaje), con la resistencia estática del propio espaldón (proporcionada por su peso y el rozamiento con la base de apoyo).

Las diferentes fuerzas actuantes sobre el espaldón son:

- El peso propio de la superestructura (P).
- La acción del oleaje, incluyendo tanto la componente horizontal (F_h) como la vertical o subpresión (S_w).

Para el cálculo de los esfuerzos provocados por el oleaje sobre el espaldón (F_w) se ha utilizado la metodología descrita por Martín, Vidal, Losada y Medina (1995), que tiene en cuenta el efecto de la geometría y naturaleza del manto principal en las fuerzas resultantes sobre el espaldón.

Con esta metodología, el espaldón presenta dos partes claramente diferenciadas: la parte superior, expuesta al oleaje de forma directa, y la parte inferior, protegida por el macizo granular, que recibe las acciones filtradas por la protección de la berma de material natural o artificial. Esto origina unas presiones de choque, hidrodinámicas, pseudohidrostáticas y subpresiones que se reflejan en la figura siguiente:

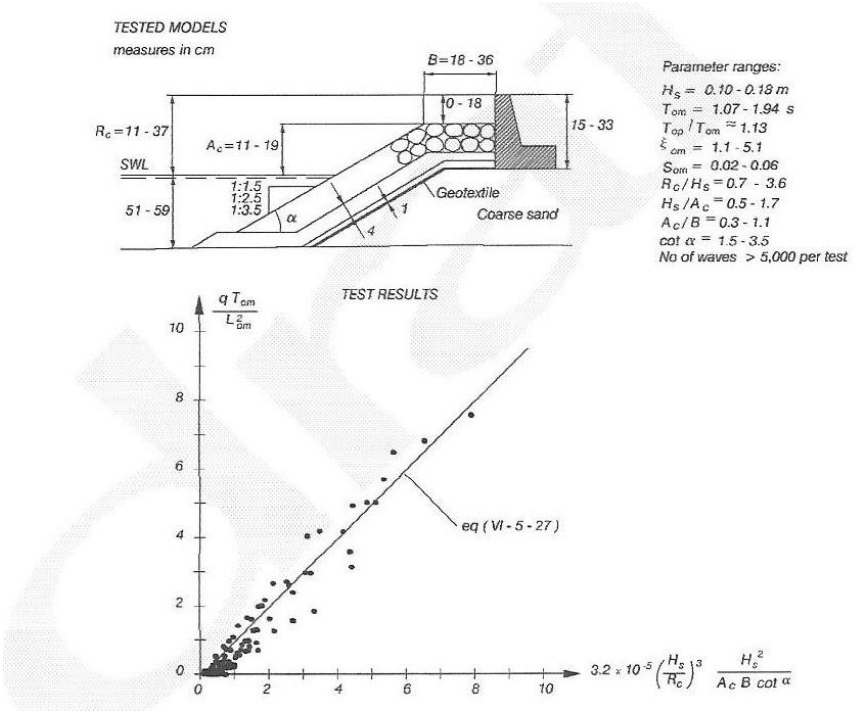


Distribución y leyes de presiones.

4.1.2. Rebase

El cálculo del rebase se obtiene a través del método de Pedersen y Burcharth (1992) y Pedersen (1996). Los autores proponen una fórmula basada en un estudio experimental para una tipología de dique en talud permeable, con manto de escollera, berma y espaldón, sometidos a oleaje irregular y con incidencia normal.

Ellos realizaron sus ensayos con una permeabilidad de 0,4 y según la sección que se muestra a continuación:



La expresión de la fórmula es la siguiente:

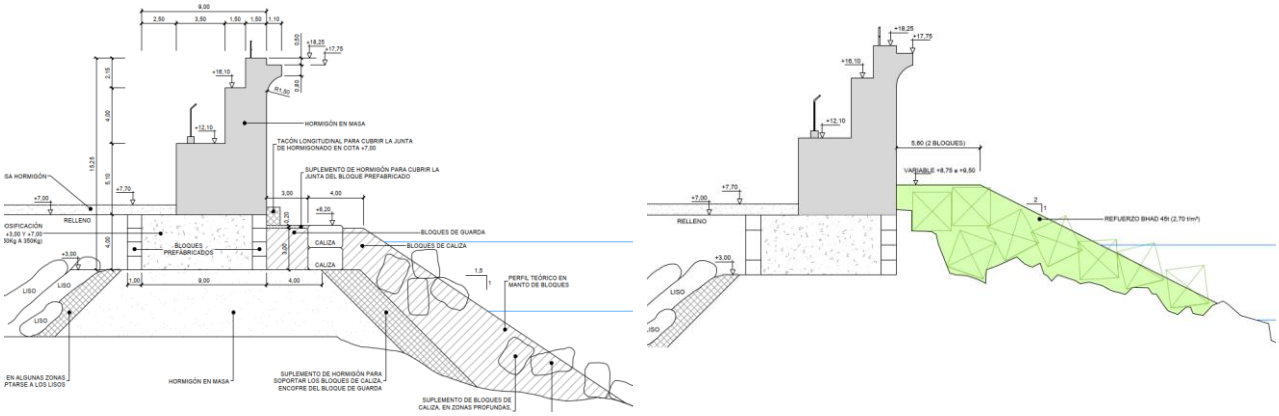
$$\frac{qT_{om}}{L_{om}^2} = 3{,}2\cdot10^{-5}\left(\frac{H_s}{R_c}\right)^3 \frac{H_s^2}{A_c B \cot\alpha}$$

4.2. Resultados

A continuación, se recogen los resultados obtenidos (estabilidad frente al deslizamiento y frente al vuelco) según los valores indicados en la ROM (Recomendaciones para Obras Marítimas).

Atendiendo a las características físicas existentes en el dique-muro, se ha obtenido el Coeficiente de Seguridad al Deslizamiento (CSD) y el Coeficiente de Seguridad al Vuelco (CSV) tanto para la situación actual del espaldón como para la situación de refuerzo con bloques.

Espaldón	Actual	Refuerzo
CSD > 1,2	0,95	1,52
CSV > 1,4	0,98	1,45
q (l/s/ml)	398	110



Comparativa de sección tipo original y la proyectada.

La situación actual, muestra unos coeficientes de seguridad inferiores a los establecidos por la ROM, incluso inferiores a la unidad. No obstante, hay que tener en cuenta que los cálculos realizados son para una rebanada del espaldón, es decir, una situación 2D. Sin embargo, la realidad es que el espaldón se comporta de modo tridimensional, más aún cuando es un muro-espaldón ejecutado de una forma muy robusta sin juntas entre paños y con buena trabazón entre los diferentes niveles del espaldón, por lo que trabaja de una forma monolítica. Además de estas consideraciones, el espaldón presenta material de relleno en su trasdós que favorecen a su estabilidad de conjunto.

En la situación proyectada con refuerzo de bloques de 45 t hasta la cota variable +8,75 y +9,50 se observa cómo se mejoran de forma significativa los coeficientes de seguridad al deslizamiento y al vuelco hasta cumplir con los valores recomendados por la ROM.

Respecto al rebase la situación proyectada con refuerzo de bloques mejorará de forma significativa el rebase por encima del espaldón actual, pudiendo suponer reducción del rebase del orden del 50-70%. Para poder confirmar estos valores habría que realizar un ensayo en modelo físico.

Se incluye en el Apéndice 2 el desarrollo de los resultados obtenidos en este apartado.

APÉNDICE Nº1. RESULTADOS DE ESTABILIDAD DEL MANTO EXTERIOR

Figura 1. Sector N; NM +5.40m; Hs = 7,31m; Tp = 14s
Figura 2. Sector N; NM +5.40m; Hs = 7,72m; Tp = 18s
Figura 3. Sector NNW; NM +5.40m; Hs = 7,01m; Tp = 15s
Figura 4. Sector NNW; NM +5.40m; Hs = 7,43m; Tp = 19s
Figura 5. Sector NW; NM +5.40m; Hs = 7,56m; Tp = 16s
Figura 6. Sector NW; NM +5.40m; Hs = 8.15m; Tp = 20s
Figura 7. Sector WNW; NM +5.40m; Hs = 7,60m; Tp = 17s
Figura 8. Sector WNW; NM +5.40m; Hs = 8,25m; Tp = 21s

DIQUE-MURO CENTRAL NUCLEAR LEMOIZ

Dir	NM	Hs	Tp
N	5.40	7.31	14

ESTABILIDAD DEL MANTO PRINCIPAL: BLOQUES DE ALTA DENSIDAD (2.70 T/M^3)

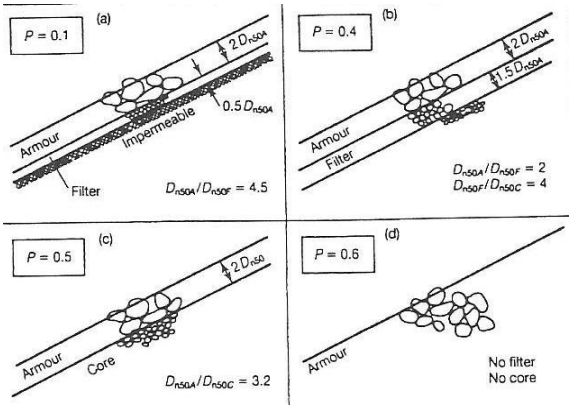
Coastal Engineering Manual, 2001

DATOS DE ENTRADA

Dmaterial=	2.70	Densidad del material considerado (roca u hormigón) (t/m3)			
Dagua=	1.025	Densidad agua del mar (t/m3)			
D =	1.6341	Densidad sumergida (t/m3)			
h=	**8.00**	Calado desde la B.M.V.E. (m)			
N.M.=	**4.80**	Nivel de marea (m)			
S.E.=	**0.60**	Sobre-elevación (m)			
cotgα=	**1.50**	Talud del manto principal			
Hs=	**7.31**	Altura ola significante: banda confianza 90% (m), T=112 años			
Hsd=	**7.31**	Altura de ola significante de cálculo (m)	***H 1/10 =***	**9.28**	(1,27Hs)
Tom=	**12.17**	Periodo medio (s)			
Top=	14.00	Periodo pico (s)			
Lom=	231.39	Longitud de onda aguas profundas_Tm (m)			
Lop=	306.02	Longitud de onda aguas profundas_Tp (m)			
Lp=	153.13	Longitud de onda local_Tp (m) 2.12156E-			
S om =	0.0316	Peralte ola aguas profundas_Tm (entre 0.005 y 0.06 en formulación de van der Meer)			
S op =	0.0239	Peralte ola aguas profundas_Tp			
S p =	0.0477	Peralte ola con longitud onda local_Tp			

Formulación: Van der Meer (1988)

Permeabilidad nominal (P) de diferentes tipos de estructuras



D_{n50A}= Diametro nominal manto principal
D_{n50F}= Diametro nominal material filtro
D_{n50C}= Diametro nominal núcleo

CUBOS DE HORMIGÓN - No rebasable (Talud 1:1,5, P=0,4) / (van der Meer 1988)

Cubos de hormigón colocados aleatoriamente en dos capas **Oleaje irregular**

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = \left(6{,}7\,\frac{N_{od}^{0,4}}{N^{0,3}} + 1{,}0\right) s_{om}^{-0,1}$$

Factor de permeabilidad: P=	0.4	0,1<P<0,6
Nº Iribarren: x_m =	3.75	3< x_m<6
Densidad hormigón=	2.70	
Densidad sumergida: Δ=	1.6341	
Nº de olas: N=	3000	< 7500
cotan a =	1.5	
Factor morro =	**1.5**	
Nod= número estabilidad. Inicio averías=0, daño moderado=0,5-1,5 y fallo>2,0=	**0.20**	

Dn= 2.40 m
W= 37.39 t

Figura 1. Sector N; NM +5.40m; Hs = 7,31m; Tp = 14s.

DIQUE-MURO CENTRAL NUCLEAR LEMOIZ

Dir	NM	Hs	Tp
N	5.40	7.72	18

ESTABILIDAD DEL MANTO PRINCIPAL: BLOQUES DE ALTA DENSIDAD (2.70 T/M³)

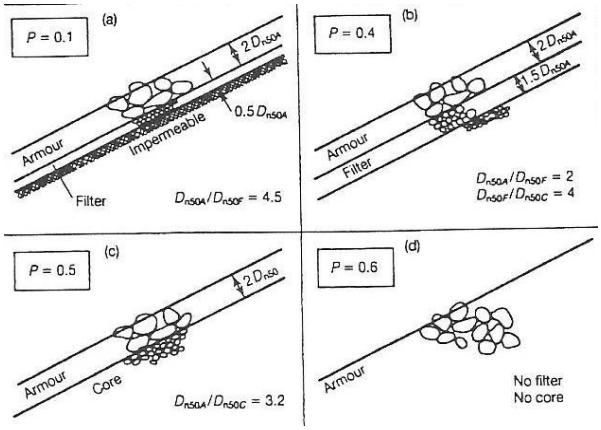
Coastal Engineering Manual, 2001

DATOS DE ENTRADA

Dmaterial=	2.70	Densidad del material considerado (roca u hormigón) (t/m3)		
Dagua=	1.025	Densidad agua del mar (t/m3)		
D =	1.6341	Densidad sumergida (t/m3)		
h=	**8.00**	Calado desde la B.M.V.E. (m)		
N.M.=	**4.80**	Nivel de marea (m)		
S.E.=	**0.60**	Sobre-elevación (m)		
cotgα=	**1.50**	Talud del manto principal		
Hs=	**7.72**	Altura ola significante: banda confianza 90% (m), T=112 años		
Hsd=	**7.72**	Altura de ola significante de cálculo (m)	***H 1/10 =*** **9.80**	(1,27Hs)
Tom=	**15.65**	Periodo medio (s)		
Top=	18.00	Periodo pico (s)		
Lom=	382.51	Longitud de onda aguas profundas_Tm (m)		
Lop=	505.86	Longitud de onda aguas profundas_Tp (m)		
Lp=	200.64	Longitud de onda local_Tp (m) 9.24E-		
S om =	0.0202	Peralte ola aguas profundas_Tm (entre 0.005 y 0.06 en formulación de van der Meer)		
S op =	0.0153	Peralte ola aguas profundas_Tp		
S p =	0.0385	Peralte ola con longitud onda local_Tp		

Formulación: Van der Meer (1988)

Permeabilidad nominal (P) de diferentes tipos de estructuras



D_{n50A}= Diametro nominal manto principal
D_{n50F}= Diametro nominal material filtro
D_{n50C}= Diametro nominal núcleo

CUBOS DE HORMIGÓN - No rebasable (Talud 1:1,5, P=0,4) / (van der Meer 1988)

Cubos de hormigón colocados aleatoriamente en dos capas **Oleaje irregular**

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = \left(6{,}7\,\frac{N_{od}^{\,0,4}}{N^{0,3}} + 1{,}0\right) s_{om}^{\,-0,1}$$

Factor de permeabilidad: P=	0.4	0,1<P<0,6
Nº Iribarren: x_m =	4.69	3< x_m<6
Densidad hormigón=	2.70	
Densidad sumergida: Δ=	1.6341	
Nº de olas: N=	3000	< 7500
cotan a =	1.5	
Factor morro =	**1.5**	
Nod= número estabilidad. Inicio averías=0, daño moderado=0,5-1,5 y fallo>2,0=	**0.20**	

Dn= 2.42 m
W= 38.50 t

Figura 2. Sector N; NM +5.40m; Hs = 7,72m; Tp = 18s.

DIQUE-MURO CENTRAL NUCLEAR LEMOIZ

Dir	NM	Hs	Tp
NNW	5.40	7.01	15

ESTABILIDAD DEL MANTO PRINCIPAL: BLOQUES DE ALTA DENSIDAD (2.70 T/M ^{3})

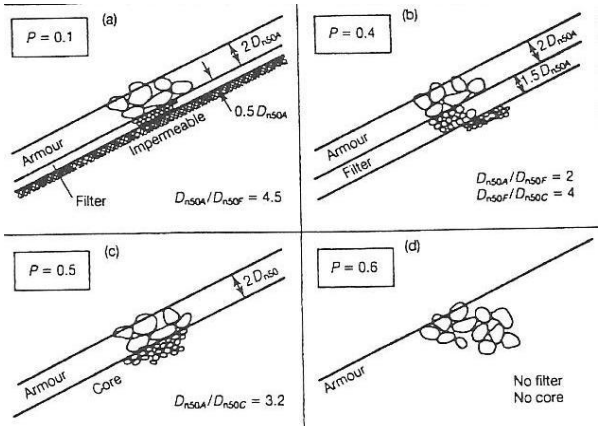
Coastal Engineering Manual, 2001

DATOS DE ENTRADA

Dmaterial=	2.70	Densidad del material considerado (roca u hormigón) (t/m3)		
Dagua=	1.025	Densidad agua del mar (t/m3)		
D =	1.6341	Densidad sumergida (t/m3)		
h=	**8.00**	Calado desde la B.M.V.E. (m)		
N.M.=	**4.80**	Nivel de marea (m)		
S.E.=	**0.60**	Sobre-elevación (m)		
cotgα=	**1.50**	Talud del manto principal		
Hs=	**7.01**	Altura ola significante: banda confianza 90% (m), T=112 años		
Hsd=	**7.01**	Altura de ola significante de cálculo (m)	***H 1/10 =*** **8.90**	(1,27Hs)
Tom=	**13.04**	Periodo medio (s)		
Top=	15.00	Periodo pico (s)		
Lom=	265.63	Longitud de onda aguas profundas_Tm (m)		
Lop=	351.29	Longitud de onda aguas profundas_Tp (m)		
Lp=	165.09	Longitud de onda local_Tp (m) -8.2255E-		
S om =	0.0264	Peralte ola aguas profundas_Tm (entre 0.005 y 0.06 en formulación de van der Meer)		
S op =	0.0200	Peralte ola aguas profundas_Tp		
S p =	0.0425	Peralte ola con longitud onda local_Tp		

Formulación: Van der Meer (1988)

Permeabilidad nominal (P) de diferentes tipos de estructuras



D_{n50A}= Diametro nominal manto principal
D_{n50F}= Diametro nominal material filtro
D_{n50C}= Diametro nominal núcleo

CUBOS DE HORMIGÓN - No rebasable (Talud 1:1,5, P=0,4) / (van der Meer 1988)

Cubos de hormigón colocados aleatoriamente en dos capas **Oleaje irregular**

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = \left(6{,}7 \frac{N_{od}^{\,0,4}}{N^{0,3}} + 1{,}0 \right) s_{om}^{\,-0,1}$$

Factor de permeabilidad: P=	0.4	0,1<P<0,6
Nº Iribarren: x_m =	4.10	3< x_m<6
Densidad hormigón=	2.70	
Densidad sumergida: Δ=	1.6341	
Nº de olas: N=	3000	< 7500
cotan a =	1.5	
Factor morro =	**1.5**	
Nod= número estabilidad. Inicio averías=0, daño moderado=0,5-1,5 y fallo>2,0=	**0.20**	

Dn= 2.26 m
W= 31.24 t

Figura 3. Sector NNW; NM +5.40m; Hs = 7,01m; Tp = 15s.

DIQUE-MURO CENTRAL NUCLEAR LEMOIZ

Dir	NM	Hs	Tp
NNW	5.40	7.43	19

ESTABILIDAD DEL MANTO PRINCIPAL: BLOQUES DE ALTA DENSIDAD (2.70 T/M ^{3})

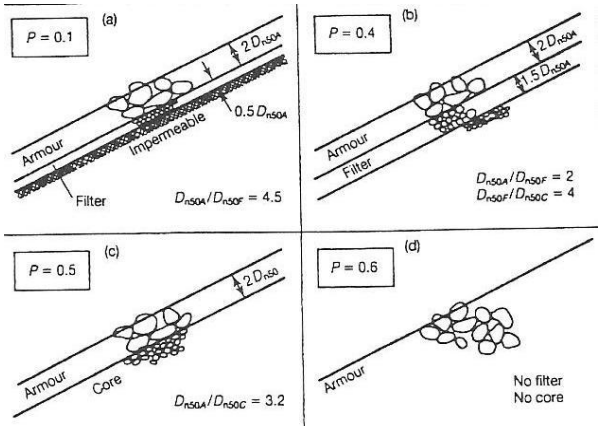
Coastal Engineering Manual, 2001

DATOS DE ENTRADA

Dmaterial=	2.70	Densidad del material considerado (roca u hormigón) (t/m3)		
Dagua=	1.025	Densidad agua del mar (t/m3)		
D =	1.6341	Densidad sumergida (t/m3)		
h=	**8.00**	Calado desde la B.M.V.E. (m)		
N.M.=	**4.80**	Nivel de marea (m)		
S.E.=	**0.60**	Sobre-elevación (m)		
cotgα=	**1.50**	Talud del manto principal		
Hs=	**7.43**	Altura ola significante: banda confianza 90% (m), T=112 años		
Hsd=	**7.43**	Altura de ola significante de cálculo (m)	***H 1/10 =*** **9.44**	(1,27Hs)
Tom=	**16.52**	Periodo medio (s)		
Top=	19.00	Periodo pico (s)		
Lom=	426.19	Longitud de onda aguas profundas_Tm (m)		
Lop=	563.63	Longitud de onda aguas profundas_Tp (m)		
Lp=	212.41	Longitud de onda local_Tp (m) 5.63968E-		
S om =	0.0174	Peralte ola aguas profundas_Tm (entre 0.005 y 0.06 en formulación de van der Meer)		
S op =	0.0132	Peralte ola aguas profundas_Tp		
S p =	0.0350	Peralte ola con longitud onda local_Tp		

Formulación: Van der Meer (1988)

Permeabilidad nominal (P) de diferentes tipos de estructuras



D_{n50A}= Diametro nominal manto principal
D_{n50F}= Diametro nominal material filtro
D_{n50C}= Diametro nominal núcleo

CUBOS DE HORMIGÓN - No rebasable (Talud 1:1,5, P=0,4) / (van der Meer 1988)

Cubos de hormigón colocados aleatoriamente en dos capas **Oleaje irregular**

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = \left(6{,}7 \frac{N_{od}^{\,0,4}}{N^{0,3}} + 1{,}0 \right) s_{om}^{\,-0,1}$$

Factor de permeabilidad: P=	0.4	0,1<P<0,6
Nº Iribarren: x_m =	5.05	3< x_m<6
Densidad hormigón=	2.70	
Densidad sumergida: Δ=	1.6341	
Nº de olas: N=	3000	< 7500
cotan a =	1.5	
Factor morro =	**1.5**	
Nod= número estabilidad. Inicio averías=0, daño moderado=0,5-1,5 y fallo>2,0=	**0.20**	

Dn= 2.30 m
W= 32.84 t

Figura 4. Sector NNW; NM +5.40m; Hs = 7,43m; Tp = 19s.

DIQUE-MURO CENTRAL NUCLEAR LEMOIZ

Dir	NM	Hs	Tp
NW	5.40	7.56	16

ESTABILIDAD DEL MANTO PRINCIPAL: BLOQUES DE ALTA DENSIDAD (2.70 T/M^3)

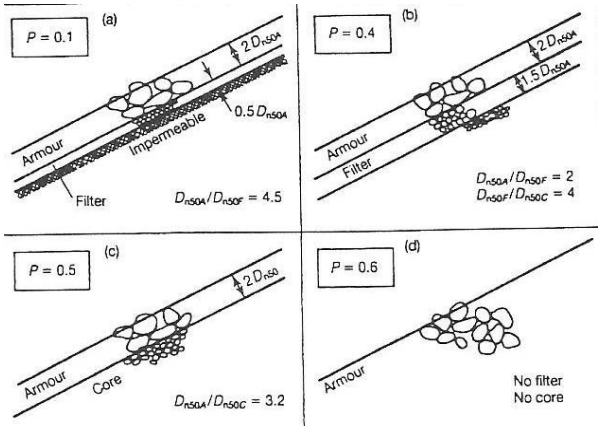
Coastal Engineering Manual, 2001

DATOS DE ENTRADA

Dmaterial=	2.70	Densidad del material considerado (roca u hormigón) (t/m3)		
Dagua=	1.025	Densidad agua del mar (t/m3)		
D =	1.6341	Densidad sumergida (t/m3)		
h=	**8.00**	Calado desde la B.M.V.E. (m)		
N.M.=	**4.80**	Nivel de marea (m)		
S.E.=	**0.60**	Sobre-elevación (m)		
cotgα=	**1.50**	Talud del manto principal		
Hs=	**7.56**	Altura ola significante: banda confianza 90% (m), T=112 años		
Hsd=	**7.56**	Altura de ola significante de cálculo (m)	***H 1/10 =*** **9.60**	(1,27Hs)
Tom=	**13.91**	Periodo medio (s)		
Top=	16.00	Periodo pico (s)		
Lom=	302.23	Longitud de onda aguas profundas_Tm (m)		
Lop=	399.70	Longitud de onda aguas profundas_Tp (m)		
Lp=	176.99	Longitud de onda local_Tp (m) -5.4329E-		
S om =	0.0250	Peralte ola aguas profundas_Tm (entre 0.005 y 0.06 en formulación de van der Meer)		
S op =	0.0189	Peralte ola aguas profundas_Tp		
S p =	0.0427	Peralte ola con longitud onda local_Tp		

Formulación: Van der Meer (1988)

Permeabilidad nominal (P) de diferentes tipos de estructuras



D_{n50A}= Diametro nominal manto principal
D_{n50F}= Diametro nominal material filtro
D_{n50C}= Diametro nominal núcleo

CUBOS DE HORMIGÓN - No rebasable (Talud 1:1,5, P=0,4) / (van der Meer 1988)

Cubos de hormigón colocados aleatoriamente en dos capas **Oleaje irregular**

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = \left(6{,}7\,\frac{N_{od}^{\,0,4}}{N^{0,3}} + 1{,}0\right) s_{om}^{\,-0,1}$$

Factor de permeabilidad: P=	0.4	0,1<P<0,6
Nº Iribarren: x_m =	4.22	3< x_m<6
Densidad hormigón=	2.70	
Densidad sumergida: Δ=	1.6341	
Nº de olas: N=	3000	< 7500
cotan a =	1.5	
Factor morro =	**1.5**	
Nod= número estabilidad. Inicio averías=0, daño moderado=0,5-1,5 y fallo>2,0=	**0.20**	

Dn= 2.43 m
W= 38.56 t

Figura 5. Sector NW; NM +5.40m; Hs = 7,56m; Tp = 16s.

DIQUE-MURO CENTRAL NUCLEAR LEMOIZ

Dir	NM	Hs	Tp
NW	5.40	8.15	20

ESTABILIDAD DEL MANTO PRINCIPAL: BLOQUES DE ALTA DENSIDAD (2.70 T/M^3)

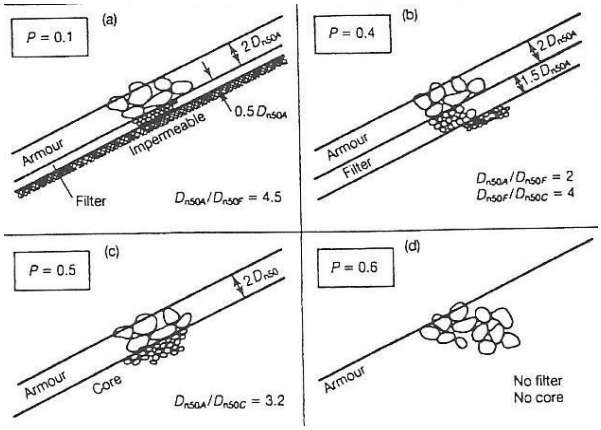
Coastal Engineering Manual, 2001

DATOS DE ENTRADA

Dmaterial=	2.70	Densidad del material considerado (roca u hormigón) (t/m3)			
Dagua=	1.025	Densidad agua del mar (t/m3)			
D =	1.6341	Densidad sumergida (t/m3)			
h=	**8.00**	Calado desde la B.M.V.E. (m)			
N.M.=	**4.80**	Nivel de marea (m)			
S.E.=	**0.60**	Sobre-elevación (m)			
cotgα=	**1.50**	Talud del manto principal			
Hs=	**8.15**	Altura ola significante: banda confianza 90% (m), T=112 años			
Hsd=	**8.15**	Altura de ola significante de cálculo (m)	***H 1/10 =***	**10.35**	(1,27Hs)
Tom=	**17.39**	Periodo medio (s)			
Top=	20.00	Periodo pico (s)			
Lom=	472.23	Longitud de onda aguas profundas_Tm (m)			
Lop=	624.52	Longitud de onda aguas profundas_Tp (m)			
Lp=	224.14	Longitud de onda local_Tp (m)	3.38193E-		
S om =	0.0173	Peralte ola aguas profundas_Tm	(entre 0.005 y 0.06 en formulación de van der Meer)		
S op =	0.0130	Peralte ola aguas profundas_Tp			
S p =	0.0364	Peralte ola con longitud onda local_Tp			

Formulación: Van der Meer (1988)

Permeabilidad nominal (P) de diferentes tipos de estructuras



D_{n50A}= Diametro nominal manto principal
D_{n50F}= Diametro nominal material filtro
D_{n50C}= Diametro nominal núcleo

CUBOS DE HORMIGÓN - No rebasable (Talud 1:1,5, P=0,4) / (van der Meer 1988)

Cubos de hormigón colocados aleatoriamente en dos capas **Oleaje irregular**

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = \left(6{,}7\,\frac{N_{od}^{\,0,4}}{N^{0,3}} + 1{,}0\right) s_{om}^{\,-0,1}$$

Factor de permeabilidad: P=	0.4	0,1<P<0,6
Nº Iribarren: x_m =	5.07	3< x_m<6
Densidad hormigón=	2.70	
Densidad sumergida: Δ=	1.6341	
Nº de olas: N=	3000	< 7500
cotan a =	1.5	
Factor morro =	**1.5**	
Nod= número estabilidad. Inicio averías=0, daño moderado=0,5-1,5 y fallo>2,0=	**0.20**	

Dn= 2.52 m
W= 43.22 t

Figura 6. Sector NW; NM +5.40m; Hs = 8.15m; Tp = 20s.

DIQUE-MURO CENTRAL NUCLEAR LEMOIZ

Dir	NM	Hs	Tp
WNW	5.40	7.60	17

ESTABILIDAD DEL MANTO PRINCIPAL: BLOQUES DE ALTA DENSIDAD (2.70 T/M ^{3})

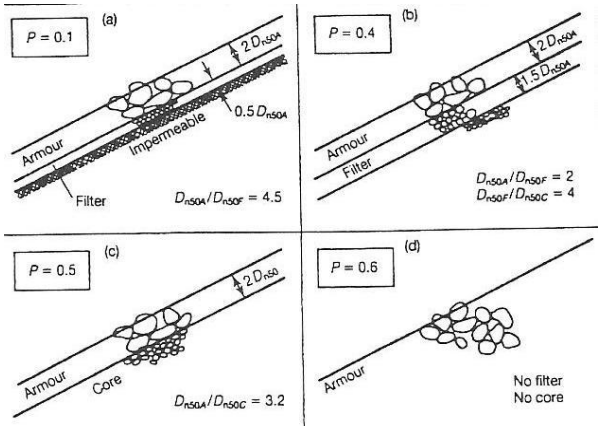
Coastal Engineering Manual, 2001

DATOS DE ENTRADA

Dmaterial=	2.70	Densidad del material considerado (roca u hormigón) (t/m3)		
Dagua=	1.025	Densidad agua del mar (t/m3)		
D =	1.6341	Densidad sumergida (t/m3)		
h=	**8.00**	Calado desde la B.M.V.E. (m)		
N.M.=	**4.80**	Nivel de marea (m)		
S.E.=	**0.60**	Sobre-elevación (m)		
cotgα=	**1.50**	Talud del manto principal		
Hs=	**7.60**	Altura ola significante: banda confianza 90% (m), T=112 años		
Hsd=	**7.60**	Altura de ola significante de cálculo (m)	***H 1/10 =*** **9.65**	(1,27Hs)
Tom=	**14.78**	Periodo medio (s)		
Top=	17.00	Periodo pico (s)		
Lom=	341.19	Longitud de onda aguas profundas_Tm (m)		
Lop=	451.22	Longitud de onda aguas profundas_Tp (m)		
Lp=	188.83	Longitud de onda local_Tp (m) -3.4045E-		
S om =	0.0223	Peralte ola aguas profundas_Tm (entre 0.005 y 0.06 en formulación de van der Meer)		
S op =	0.0168	Peralte ola aguas profundas_Tp		
S p =	0.0402	Peralte ola con longitud onda local_Tp		

Formulación: Van der Meer (1988)

Permeabilidad nominal (P) de diferentes tipos de estructuras



D_{n50A}= Diametro nominal manto principal
D_{n50F}= Diametro nominal material filtro
D_{n50C}= Diametro nominal núcleo

CUBOS DE HORMIGÓN - No rebasable (Talud 1:1,5, P=0,4) / (van der Meer 1988)

Cubos de hormigón colocados aleatoriamente en dos capas **Oleaje irregular**

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = \left(6{,}7 \frac{N_{od}^{\,0{,}4}}{N^{0{,}3}} + 1{,}0 \right) s_{om}^{\,-0{,}1}$$

Factor de permeabilidad: P=	0.4	0,1<P<0,6
Nº Iribarren: x_m =	4.47	3< x_m<6
Densidad hormigón=	2.70	
Densidad sumergida: Δ=	1.6341	
Nº de olas: N=	3000	< 7500
cotan a =	1.5	
Factor morro =	**1.5**	
Nod= número estabilidad. Inicio averías=0, daño moderado=0,5-1,5 y fallo>2,0=	**0.20**	

Dn= 2.41 m
W= 37.83 t

Figura 7. Sector WNW; NM +5.40m; Hs = 7,60m; Tp = 17s.

DIQUE-MURO CENTRAL NUCLEAR LEMOIZ

Dir	NM	Hs	Tp
WNW	5.40	8.25	21

ESTABILIDAD DEL MANTO PRINCIPAL: BLOQUES DE ALTA DENSIDAD (2.70 T/M ^{3})

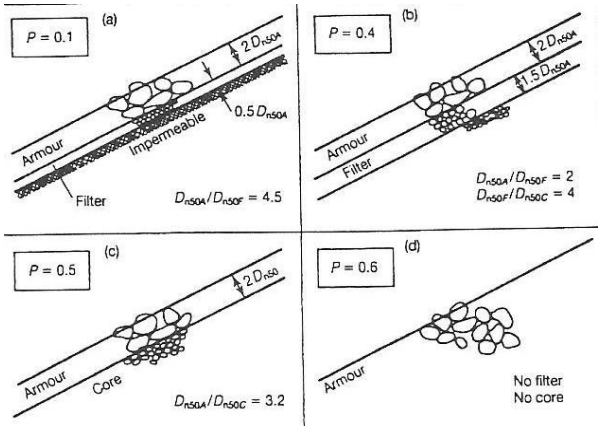
Coastal Engineering Manual, 2001

DATOS DE ENTRADA

Dmaterial=	2.70	Densidad del material considerado (roca u hormigón) (t/m3)		
Dagua=	1.025	Densidad agua del mar (t/m3)		
D =	1.6341	Densidad sumergida (t/m3)		
h=	**8.00**	Calado desde la B.M.V.E. (m)		
N.M.=	**4.80**	Nivel de marea (m)		
S.E.=	**0.60**	Sobre-elevación (m)		
cotgα=	**1.50**	Talud del manto principal		
Hs=	**8.25**	Altura ola significante: banda confianza 90% (m), T=112 años		
Hsd=	**8.25**	Altura de ola significante de cálculo (m)	***H 1/10 =*** **10.48**	(1,27Hs)
Tom=	**18.26**	Periodo medio (s)		
Top=	21.00	Periodo pico (s)		
Lom=	520.63	Longitud de onda aguas profundas_Tm (m)		
Lop=	688.54	Longitud de onda aguas profundas_Tp (m)		
Lp=	235.86	Longitud de onda local_Tp (m) 0.0009581		
S om =	0.0158	Peralte ola aguas profundas_Tm (entre 0.005 y 0.06 en formulación de van der Meer)		
S op =	0.0120	Peralte ola aguas profundas_Tp		
S p =	0.0350	Peralte ola con longitud onda local_Tp		

Formulación: Van der Meer (1988)

Permeabilidad nominal (P) de diferentes tipos de estructuras



D_{n50A}= Diametro nominal manto principal
D_{n50F}= Diametro nominal material filtro
D_{n50C}= Diametro nominal núcleo

CUBOS DE HORMIGÓN - No rebasable (Talud 1:1,5, P=0,4) / (van der Meer 1988)

Cubos de hormigón colocados aleatoriamente en dos capas **Oleaje irregular**

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = \left(6{,}7\,\frac{N_{od}^{\,0,4}}{N^{0,3}} + 1{,}0\right) s_{om}^{\,-0,1}$$

Factor de permeabilidad: P=	0.4	0,1<P<0,6
Nº Iribarren: x_m =	5.30	3< x_m<6
Densidad hormigón=	2.70	
Densidad sumergida: Δ=	1.6341	
Nº de olas: N=	3000	< 7500
cotan a =	1.5	
Factor morro =	**1.5**	
Nod= número estabilidad. Inicio averías=0, daño moderado=0,5-1,5 y fallo>2,0=	**0.20**	

Dn= 2.53 m
W= 43.69 t

Figura 8. Sector WNW; NM +5.40m; Hs = 8,25m; Tp = 21s.

APÉNDICE Nº2. RESULTADOS DE ESTABILIDAD DEL ESPALDÓN Y REBASE

Hs	Tp
8,25	21

PROYECTO: DIQUE-MURO CENTRAL NUCLEAR LEMOIZ

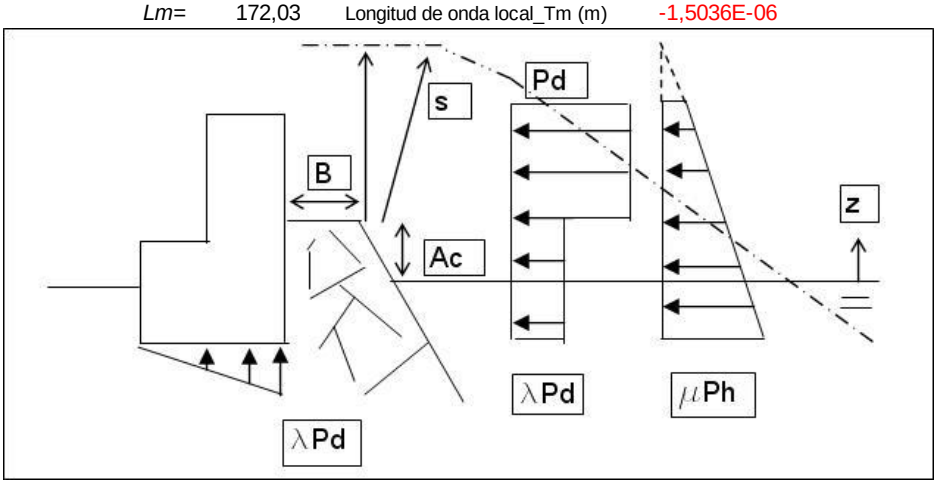
Situación actual - Cota inferior espaldón +3,00 m

ESTABILIDAD DEL ESPALDÓN

Un método para el cálculo de espaldones *(Francisco L. Martín, Miguel A. Losada, Raúl Medina, César Vidal)*

DATOS DE ENTRADA

Dmaterial=	2,40	Densidad del hormigón en masa (t/m3)		
Dagua=	1,025	Densidad agua del mar (t/m3)		
D =	1,3415	Densidad sumergida (t/m3)		
h=	**4,00**	Calado desde la B.M.V.E. (m)		
N.M.=	**4,80**	Nivel de marea (m)		
S.E.=	**0,60**	Sobre-elevación (m)		
Ac=	**1,80**	Francobordo de la berma (m)		*7,20*
B=	**4,40**	Anchura berma (m)		
C.Cor=	**17,75**	Cota coronación espaldón (m)		*12,35*
C.Cim=	**3,00**	Cota cimentación espaldón (m)		*-2,40*
E=	**10,00**	Anchura base del espaldón (m)		
cotgα=	**1,50**	Talud del manto principal		
Hs=	**8,25**	Altura ola significante: banda confianza 90% (m), T=112 años		
Hmáx=	**7,52**	Altura de ola de cálculo (m)		
Tom=	**18,26**	Periodo medio (s)	***Top=***	**21,00**
Lom=	520,63	Longitud de onda aguas profundas_Tm (m)		
Lm=	172,03	Longitud de onda local_Tm (m)		-1,5036E-06



Condiciones requeridas para la aplicación del método

Ir>3

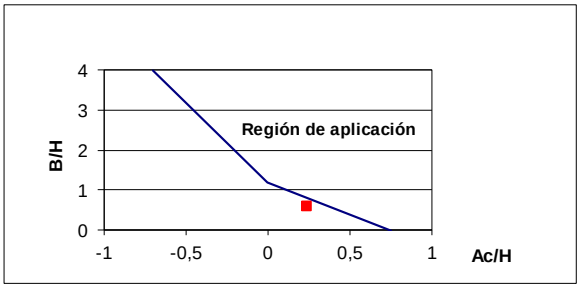
$$I_r = \frac{tan\beta}{\sqrt{H/L}}$$

b= 33,69

Ir= 3,1887 <3

Si la ola rompe antes, también se puede aplicar el método (aunque Ir < 3)

Si Ir < 3, estudiar el comportamiento de la onda sobre el talud, ver gráfica a continuación:



Ac/H= 0,2394

B/H= 0,5851

(Gráfica experimental)

Cálculo run-up (Ru) y anchura lámina de agua a la cota de coronación del talud de bloques (s)

Porosidad (a)= 0,4
Au= -(1,8/0,37)*(a-0,67)= 1,3135
Bu= -Au/2= -0,6568

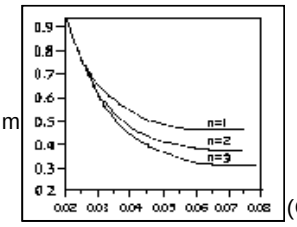
Ru= H Au (1-exp(Bu Ir))
Ru= 8,66 m
s= H(1-Ac/Ru)
s= 5,9571 m

Coeficiente a
a=2(Ru/H)(cosb)^2= **1,5947**

Evaluación parámetros l y m

l= 0,8 exp(-10,9(B/L))= **0,6054**

n=número de piezas que conforman la berma
n= 2
H/L= 0,0437
m= 0,5671

m 

(Gráfica experimental)
Peralte = (H/L)

Presiones dinámicas

Pd=args Ac<z<Ac+s *Presión dinámica (en la zona expuesta)*
Pd=largs Cota cimentación<z<Ac *Presión dinámica (en la zona protegida por la escollera)*
g= 9,81
a= parámetro que contiene información de la celeridad de aproximación de la lámina de agua
s = anchura de la lámina de agua (función del run-up y del ángulo del talud b)

Pd=	9,7373	t/m2	en la parte expuesta			
Pd=	5,8946	t/m2	en la parte protegida			
Fh=	127,49	t	Fuerza horizontal	Lexp=	10,55	m
Sw=	29,47	t	Subpresión dinámica	Lpro=	4,20	m
Mdes=	1221,83	tm	Momento desestabilizador			
P=	215,81	t	Peso espaldón			
Mest=	1.197,73	tm	Momento estabilizador			

Coeficiente fricción hormigón-escollera= 0,65

CSD= 0,95 >1,2
CSV= 0,98 >1,4

Presiones pseudohidrostáticas

Ph(z)=mrg(s+Ac-z) Cota cimentación<z<Ac+s Ac+s= 7,76 > 9,7

Ph(1,7)=	-2,6698	t/m2		
Ph(-0,8)=	5,9042	t/m2		4,5091
Fh=	23,85	t	Fuerza horizontal	
Sw=	29,52	t	Subpresión pseudohidrostática	
Mdes=	217,28	tm	Momento desestabilizador	

CSD= 5,08 >1,2
CSV= 5,51 >1,4

Se comprueba que la situación más desfavorable es debida a las presiones dinámicas.

TYPSA

Hs	Tp
8,25	21

PROYECTO: DIQUE-MURO CENTRAL NUCLEAR LEMOIZ

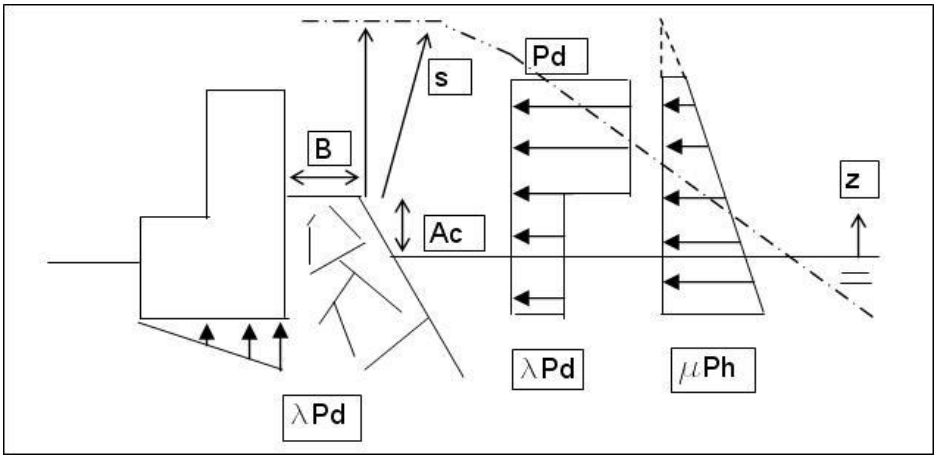
Situación refuerzo - Cota inferior espaldón +3,00 m

ESTABILIDAD DEL ESPALDÓN

Un método para el cálculo de espaldones *(Francisco L. Martín, Miguel A. Losada, Raúl Medina, César Vidal)*

DATOS DE ENTRADA

Dmaterial=	2,40	Densidad del hormigón en masa (t/m3)		
Dagua=	1,025	Densidad agua del mar (t/m3)		
D =	1,3415	Densidad sumergida (t/m3)		
h=	**4,00**	Calado desde la B.M.V.E. (m)		
N.M.=	**4,80**	Nivel de marea (m)		
S.E.=	**0,60**	Sobre-elevación (m)		
Ac=	**3,60**	Francobordo de la berma (m)		*9,00*
B=	**5,60**	Anchura berma (m)		
C.Cor=	**17,75**	Cota coronación espaldón (m)		*12,35*
C.Cim=	**3,00**	Cota cimentación espaldón (m)		*-2,40*
E=	**10,00**	Anchura base del espaldón (m)		
cotgα=	**2,00**	Talud del manto principal		
Hs=	**8,25**	Altura ola significante: banda confianza 90% (m), T=112 años		
Hmáx=	**7,52**	Altura de ola de cálculo (m)		
Tom=	**18,26**	Periodo medio (s)	***Top=***	**21,00**
Lom=	520,63	Longitud de onda aguas profundas_Tm (m)		
Lm=	172,03	Longitud de onda local_Tm (m)	-1,5036E-06	



Condiciones requeridas para la aplicación del método

Ir>3

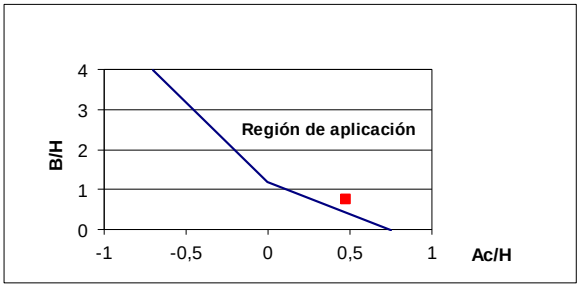
$$I_r = \frac{tan\beta}{\sqrt{H/L}}$$

b= 26,57

Ir= 2,3915 <3

Si la ola rompe antes, también se puede aplicar el método (aunque Ir < 3)

Si Ir < 3, estudiar el comportamiento de la onda sobre el talud, ver gráfica a continuación:



Ac/H= 0,4787

B/H= 0,7447

(Gráfica experimental)

Cálculo run-up (Ru) y anchura lámina de agua a la cota de coronación del talud de bloques (s)

Porosidad (a)= 0,4
Au= -(1,8/0,37)*(a-0,67)= 1,3135
Bu= -Au/2= -0,6568

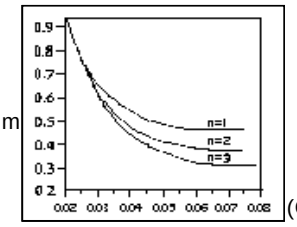
Ru= H Au (1-exp(Bu Ir))
Ru= 7,82 m
s= H(1-Ac/Ru)
s= 4,0598 m

Coeficiente a
a=2(Ru/H)(cosb)^2= **1,6647**

Evaluación parámetros l y m

l= 0,8 exp(-10,9(B/L))= **0,5610**

n=número de piezas que conforman la berma
n= 3
H/L= 0,0437
m= 0,5265

m 

(Gráfica experimental)
Peralte = (H/L)

Presiones dinámicas

Pd=args Ac<z<Ac+s *Presión dinámica (en la zona expuesta)*
Pd=largs Cota cimentación<z<Ac *Presión dinámica (en la zona protegida por la escollera)*
g= 9,81
a= parámetro que contiene información de la celeridad de aproximación de la lámina de agua
s = anchura de la lámina de agua (función del run-up y del ángulo del talud b)

Pd=	6,9272	t/m2	en la parte expuesta			
Pd=	3,8865	t/m2	en la parte protegida			
Fh=	83,93	t	Fuerza horizontal	Lexp=	8,75	m
Sw=	19,43	t	Subpresión dinámica	Lpro=	6,00	m
Mdes=	828,37	tm	Momento desestabilizador			
P=	215,81	t	Peso espaldón			
Mest=	1.197,73	tm	Momento estabilizador			

Coeficiente fricción hormigón-escollera= 0,65

CSD= 1,52 >1,2
CSV= 1,45 >1,4

Presiones pseudohidrostáticas

Ph(z)=mrg(s+Ac-z) Cota cimentación<z<Ac+s Ac+s= 7,66 > 9,7

Ph(1,7)=	-2,5312	t/m2		
Ph(-0,8)=	5,4292	t/m2		4,1339
Fh=	21,37	t	Fuerza horizontal	
Sw=	27,15	t	Subpresión pseudohidrostática	
Mdes=	194,27	tm	Momento desestabilizador	

CSD= 5,74 >1,2
CSV= 6,17 >1,4

Se comprueba que la situación más desfavorable es debida a las presiones dinámicas.

PROYECTO: DIQUE-MURO CENTRAL NUCLEAR LEMOIZ

Situación actual (cota coronación +18,25 m)

Hs	Tp
8,25	21

CÁLCULO DE REBASE_estabilidad: DIQUES EN TALUD

Coastal Engineering Manual, 2001

DATOS DE ENTRADA

Rc=	**12,85**	Francobordo del espaldón (m)	*18,25*
Ac=	**1,80**	Francobordo de la berma (m)	*7,20*
B=	**5,00**	Anchura berma (m)	
h=	**4,00**	Calado desde la B.M.V.E. (m)	
N.M.=	**4,80**	Nivel de marea (m)	
S.E.=	**0,60**	Sobre-elevación (m)	
cotgα=	**1,50**	Talud del manto principal	
Hs=	**8,25**	Altura ola significante: banda confianza 90% (m), T=112 años	
Hsd=	**7,52**	Altura de ola significante de cálculo (m)	
Tom=	**18,26**	Periodo medio (s)	
Lom=	520,63	Longitud de onda aguas profundas_Tm (m)	
s_{om} =	0,0144	Peralte ola aguas profundas_Tm (entre 0.005 y 0.06 en formulación de van der Meer)	

Formulación: Pedersen y Burcharth (1992), Pedersen (1996)

$$\frac{qT_{om}}{L_{om}^2} = 3{,}2\cdot10^{-5}\left(\frac{H_s}{R_c}\right)^3 \frac{H_s^{\,2}}{A_c B\cot\alpha}$$

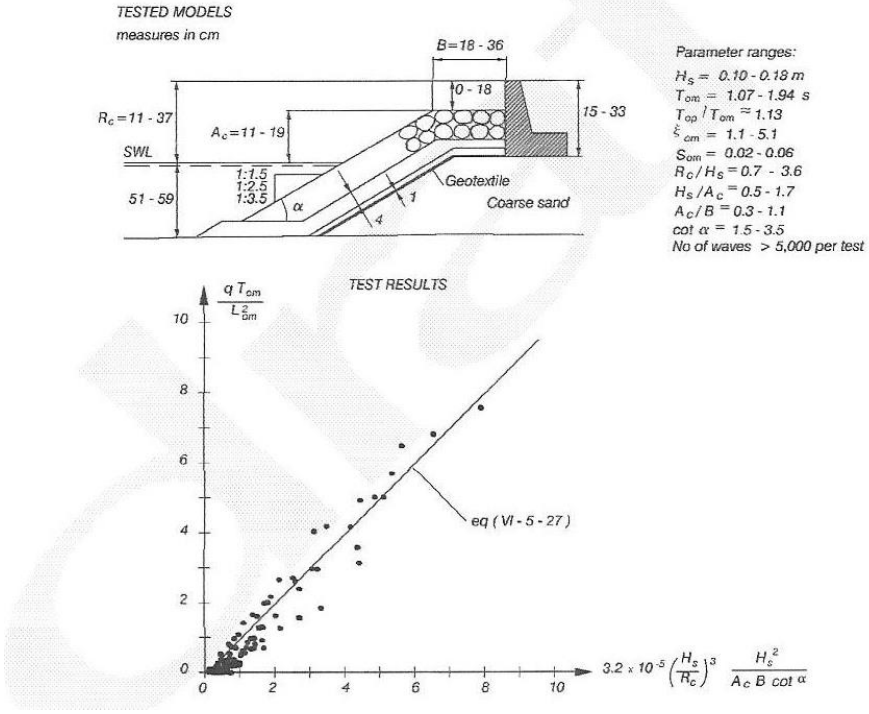
q= **398,78** **l/s por metro lineal**

Condiciones ensayo físico:

Oleaje irregular

Talud de escollera con berma frente al espaldón

Capas permeables: P=0,4



TYPSA

PROYECTO: DIQUE-MURO CENTRAL NUCLEAR LEMOIZ

Situación refuerzo (cota coronación +18,25 m)

Hs	Tp
8,25	21

CÁLCULO DE REBASE_estabilidad: DIQUES EN TALUD

Coastal Engineering Manual, 2001

DATOS DE ENTRADA

Rc=	**12,85**	Francobordo del espaldón (m)	*18,25*
Ac=	**3,35**	Francobordo de la berma (m)	*8,75*
B=	**7,25**	Anchura berma (m)	
h=	**4,00**	Calado desde la B.M.V.E. (m)	
N.M.=	**4,80**	Nivel de marea (m)	
S.E.=	**0,60**	Sobre-elevación (m)	
cotgα=	**2,00**	Talud del manto principal	
Hs=	**8,25**	Altura ola significante: banda confianza 90% (m), T=112 años	
Hsd=	**7,52**	Altura de ola significante de cálculo (m)	
Tom=	**18,26**	Periodo medio (s)	
Lom=	520,63	Longitud de onda aguas profundas_Tm (m)	
s_{om} =	0,0144	Peralte ola aguas profundas_Tm (entre 0.005 y 0.06 en formulación de van der Meer)	

Formulación: Pedersen y Burcharth (1992), Pedersen (1996)

$$\frac{qT_{om}}{L^2_{om}} = 3{,}2\cdot10^{-5}\left(\frac{H_s}{R_c}\right)^3 \frac{H_s^{\,2}}{A_c B \cot\alpha}$$

q= **110,83** **l/s por metro lineal**

Condiciones ensayo físico:

Oleaje irregular

Talud de escollera con berma frente al espaldón

Capas permeables: P=0,4

