Sprilur

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

ANEJO Nº4. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

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 Nº4. Estudio de alternativas	
Proyecto	CP9486. Proyecto de refuerzo del dique-muro de la Central Nuclear de Lemoiz	
Código	CP9486-PC-AN-04-EstudioAlternativas-D01	
Autores:	Firma:	NRG
	Fecha:	09.06.2023
Verificado	Firma:	NUM
	Fecha:	09.06.2023
Destinatario	SPRILUR	
Notas		
Confidencialidad	Información confidencial	

Índice

Anejo Nº4. Estudio de alternativas

1. OBJETO 1

1.1. Alternativa 1: Bloques de Hormigón en Masa (BHM). Densidad 2,35 t/m^3 2

1.2. Alternativa 2: Bloques de Hormigón de Alta Densidad (BHAD). Densidad 2,70 t/m^3 4

1.3. Alternativa 3: Bloques de Piedra Natural Caliza (BPN). Densidad 2,70 t/m^3 5

2. ANÁLISIS MULTICRITERIO 7

2.1. Aspectos técnicos y constructivos 7

2.2. Factores económicos 7

2.3. Factores medioambientales 7

3. CONCLUSIÓN 8

Anejo Nº4. Estudio de alternativas

1. OBJETO

En el presente Anejo se analizan las diferentes alternativas planteadas para el refuerzo del dique-muro de la Central Nuclear de Lemoiz, teniendo en cuenta aspectos técnicos y constructivos, económicos y medioambientales para seleccionar la alternativa más adecuada.

Se han analizado diferentes densidades de los bloques, ya sea en hormigón o en piedra caliza:

- Alternativa 1: Bloques de hormigón en masa (BHM), con densidad 2,35 t/m^3.
- Alternativa 2: Bloques de hormigón en masa de alta densidad (BHAD), con densidad 2,70 t/m^3.
- Alternativa 3: Bloques de piedra natural caliza (BPN), con densidad 2,70 t/m^3.

Se realiza un análisis de la estabilidad para los oleajes más energéticos (NW y WNW), considerando dos densidades para determinar el peso del bloque: 2,35 y 2,70 t/m^3. A continuación, se muestran los pesos obtenidos:

		2.35 t/m^3	2.70 t/m^3
NW	Hs 7.56 m Tp 16 s	67.80 T	38.56 T
	Hs 8.15 m Tp 20 s	75.99 T	43.22 T
WNW	Hs 7.60 m Tp 17 s	66.52 T	37.83 T
	Hs 8.25 m Tp 21 s	**76.83 T**	**43.69 T**

Cálculo del peso de los bloques para los oleajes más energéticos.

Con referencia a la tabla arriba mostrada, la situación más desfavorable se obtiene con el siguiente oleaje de cálculo:

- Dirección oleaje → WNW
- Nivel del mar → 5,40 m
- Período de pico (Tp) → 21 s
- Altura de ola significante (Hs) → 8,25 m

En todas las alternativas analizadas se plantea la colocación de dos bloques en la berma de coronación del manto exterior y su prolongación con un talud 2H: 1V.

Para el cálculo del peso de los bloques se ha utilizado la formulación de Van der Meer (1988), considerando un índice de averías (Nod) de 0,20.

1.1. Alternativa 1: Bloques de Hormigón en Masa (BHM). Densidad 2,35 t/m^3

En esta primera alternativa, se ha analizado el empleo de un hormigón convencional (densidad 2,35 t/m^3). Con los datos de partida anteriormente mencionados se obtiene un peso de bloque de 76,83 t, por lo que se considera un bloque de 80 t.

DIQUE-MURO CENTRAL NUCLEAR LEMOIZ

Dir	NM	Hs	Tp
WNW	5.40	8.25	21

ESTABILIDAD DEL MANTO PRINCIPAL: BLOQUES DE HORMIGÓN EN MASA (2.35 T/M^3)

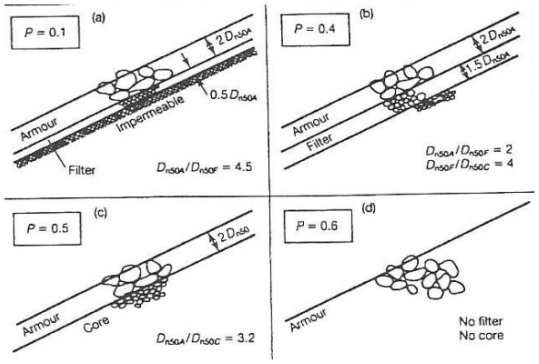
Coastal Engineering Manual, 2001 — *Alt. 1. BHM*

DATOS DE ENTRADA

Dmaterial=	2.35	Densidad del material considerado (roca u hormigón) (t/m3)
Dagua=	1.025	Densidad agua del mar (t/m3)
⊿ =	1.2927	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) 2.47364E-06
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)

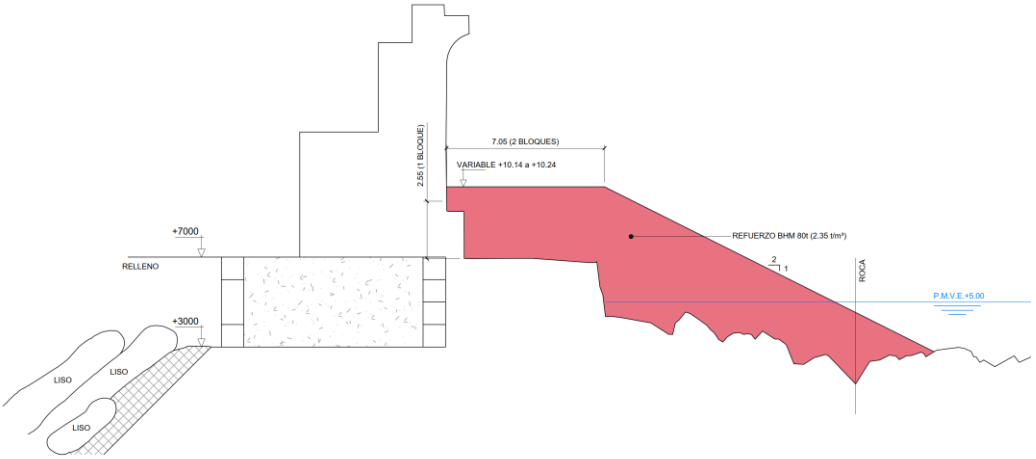
Cubos de hormigón colocados aleatoriamente en dos capas **Oleaje irregular**

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

Factor de permeabilidad: P=	0.4	0,1<P<0,6
Nº Iribarren: ξ_m=	5.30	3<ξ_m<6
Densidad hormigón=	2.35	
Densidad sumergida: Δ=	1.2927	
Nº de olas: N=	3000	< 7500
cotan α =	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= **3.20 m**
W= **76.83 t**

A continuación, se muestra la sección tipo planteada en esta alternativa:



Sección Tipo Alternativa 1 – BHM 80 t (2,35 t/m³).

El siguiente paso es calcular el coste de fabricación, acopio, transporte y colocación de cada bloque, por ello a continuación, se muestran de forma detallada dichos costes en función del peso de bloque.

Se estima que la colocación de bloques será más rápida que su fabricación. Por tanto, una vez se disponga de bloques acopiados suficientes se procederá a la colocación de los mismos en el manto principal del dique-muro.

Bloques de hormigón en masa HM-30 de 80 t. Densidad 2,35 t/m3				
UNIDAD	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
h	Capataz	1,15	22,59	25,98
h	Oficial 1ª	1,15	22,39	25,75
h	Peón ordinario	1,00	18,64	18,64
h	Grúa telescopica autoprop. 130 t	0,50	148,00	74,00
h	Retro s/ruedas con vibrador de agujas	0,80	67,02	53,62
m2	Operación encofrado bloques	42,25	3,10	130,98
m2	Operación desencofrado bloques	42,25	3,10	130,98
m3	Hormigón HM-30/B/20/I+Qb	34,33	132,00	4.531,31
m2	Encofrado de chapa en bloques	42,25	24,05	1.016,11
l	Desencofrante líquido	14,10	1,00	14,10
ud	Curado bloque	1,00	5,00	5,00
h	Grúas 600 t	0,20	1.000,00	200,00
%	6% costes indirectos	0,06	6.226,46	373,59
				6.600,05

Teniendo en cuenta lo anteriormente explicado, cálculo del número de bloques y su coste de fabricación, desacopio, transporte y colocación, el coste de la Alternativa 1: bloques de hormigón en masa (BHM) asciende a 6.600,05 €/ud de bloque (PEM).

1.2. Alternativa 2: Bloques de Hormigón de Alta Densidad (BHAD). Densidad 2,70 t/m^3

En la segunda alternativa, se ha analizado el empleo de un hormigón de alta densidad, es decir, densidad 2,70 t/m^3. Con los datos de partida anteriormente mencionados se obtiene un peso de bloque de 43,69 t, el cual se ha redondeado a 45 t.

Para la obtención de este tipo de hormigón se emplean áridos siderúrgicos valorizados, provenientes del proceso de fabricación del acero en hornos de arco eléctrico, cuya densidad es superior al árido calizo.

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)

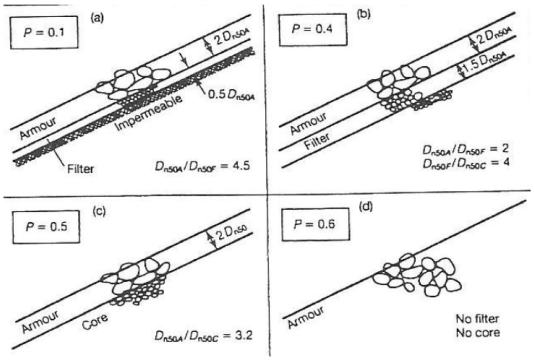
Coastal Engineering Manual, 2001 — *Alt. 2. BHAD - Alt. 3. BPN*

DATOS DE ENTRADA

Dmaterial=	2,70	Densidad del material considerado (roca u hormigón) (t/m3)		
Dagua=	1,025	Densidad agua del mar (t/m3)		
Δ =	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)	0,00095816	
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: ξ_m=	5,30	3<ξ_m<6
Densidad hormigón=	2,70	
Densidad sumergida: Δ=	1,6341	
Nº de olas: N=	3000	< 7500
cotan α =	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**

A continuación, se muestra la sección tipo planteada en esta alternativa:



Sección Tipo Alternativa 2 – BHAD 45 t (2,70 t/m³).

El siguiente paso es calcular el coste de fabricación, acopio, transporte y colocación de cada bloque, por ello a continuación, se muestran de forma detallada dichos costes en función del peso de bloque.

Como se estima que la colocación de bloques será más rápida que su fabricación una vez se disponga de bloques acopiados suficientes se procederá a la colocación de los mismos en el manto principal del dique-muro.

Bloques de hormigón alta densidad HM-30 de 45 t. Densidad 2,70 t/m3				
UNIDAD	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
h	Capataz	1,00	22,59	22,59
h	Oficial 1ª	1,00	22,39	22,39
h	Peón ordinario	1,00	18,64	18,64
h	Grúa telescopica autoprop. 130 t	0,50	148,00	74,00
h	Retro s/ruedas con vibrador de agujas	0,80	67,02	53,62
m2	Operación encofrado bloques	26,21	3,10	81,26
m2	Operación desencofrado bloques	26,21	3,10	81,26
m3	Hormigón HM-30/B/20/I+Qb	16,78	140,00	2.348,81
m2	Encofrado de chapa en bloques	26,21	24,05	630,46
l	Desencofrante líquido	8,80	1,00	8,80
ud	Curado bloque	1,00	5,00	5,00
h	Grúas 500 t	0,20	750,00	150,00
%	6% costes indirectos	0,06	3.496,83	209,81
				3.706,64

Teniendo en cuenta lo anteriormente explicado, cálculo del número de bloques y su coste de fabricación, desacopio, transporte y colocación, el coste de la Alternativa 2: bloques de hormigón de alta densidad (BHAD) asciende a 3.704,64 €/ud de bloque (PEM).

1.3. Alternativa 3: Bloques de Piedra Natural Caliza (BPN). Densidad 2,70 t/m³

En la tercera alternativa, se ha analizado el empleo de piedra natural caliza, es decir, densidad 2,70 t/m³. Los datos de partida para el cálculo del peso de bloque son coincidentes con la Alternativa 2 de Bloques de

Hormigón de Alta Densidad al tener la misma densidad. Por tanto, en esta alternativa se ha obtenido igualmente un peso de bloque de 43,69 t, el cual se ha redondeado a 45 t.

A continuación, se muestra la sección tipo planteada en esta alternativa:



Sección Tipo Alternativa 3 – BPN 45 t (2,70 t/m³).

El siguiente paso es calcular el coste de fabricación, acopio, transporte y colocación de cada bloque, por ello a continuación, se muestran de forma detallada dichos costes en función del peso de bloque.

Como se estima que la colocación de bloques será más rápida que su fabricación una vez se disponga de bloques acopiados suficientes se procederá a la colocación de los mismos en el manto principal del dique-muro.

Bloques de piedra caliza de 45 t. Densidad 2,70 t/m3				
UNIDAD	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
h	Capataz	2,00	22,59	45,18
h	Oficial 1ª	2,00	22,39	44,78
h	Peón ordinario	2,00	18,64	37,28
h	Grúa telescopica autoprop. 130 t	0,50	148,00	74,00
ud	Bloque piedra caliza 45 t	1,00	2.960,00	2.960,00
h	Góndola	2,00	120,00	240,00
h	Grúas 500 t	0,20	750,00	150,00
%	6% costes indirectos	0,06	3.551,24	213,07
				3.764,31

Teniendo en cuenta lo anteriormente explicado, cálculo del número de bloques y su coste de fabricación, desacopio, transporte y colocación, el coste de la alternativa 3: bloques de piedra natural caliza (BPN) asciende a 3.764,31 €/ud de bloque (PEM).

2. ANÁLISIS MULTICRITERIO

Para la elección de la alternativa más adecuada se han tenido en cuenta tanto aspectos técnicos y constructivos como factores económicos y medioambientales.

2.1. Aspectos técnicos y constructivos

Las tres alternativas analizadas se consideran viables desde el punto de vista técnico y constructivo. Si bien es cierto que la Alternativa 1 presenta una mayor complejidad técnica debido a la necesidad de utilizar grúas y equipos de izado de mayor capacidad.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que los bloques de piedra caliza de la Alternativa 3 tendrían que ser fabricados en las canteras de Markina, las únicas en el País Vasca capaces de fabricar bloques de este peso (45 toneladas).

2.2. Factores económicos

La siguiente tabla muestra el presupuesto de bloque unitario en cada una de las alternativas analizadas. Se puede comprobar cómo el presupuesto de bloque unitario de las Alternativas 2 y 3 es muy similar, siendo el presupuesto de la Alternativa 1 superior a las anteriores.

	Alternativa 1 (BHM)	Alternativa 2 (BHAD)	Alternativa 3 (BPN)
Presupuesto bloque unitario	6.600,05 €	3.704,64 €	3.764,31 €
Relación	1,781	1,000	1,016

2.3. Factores medioambientales

A continuación, se detallan los principales aspectos medioambientales en los que la Alternativa 2 (BHAD) es más adecuada que las otras dos alternativas:

- Se necesita menor volumen de hormigón por unidad de bloque debido a la mayor densidad que presenta.
- Se produce un aprovechamiento de un subproducto o residuo industrial, y por tanto, una reducción en el consumo de recursos naturales procedentes de cantera.
- Se evita la saturación de los vertederos de inertes debido a la reutilización de la escoria transformada y valorizada en árido siderúrgico.
- Se reduce el espacio para acopio de escorias en acería.
- Los bloques de piedra natural se fabricarían en de canteras situadas en la localidad de Markina, a una distancia de unos 70 km de la obra.

3. CONCLUSIÓN

Con el objetivo de realizar un análisis multicriterio, a continuación, se indican en la siguiente tabla diferentes criterios donde se ha valorado cada alternativa con una puntuación del 1 al 5, donde 1 es muy desfavorable y 5 es lo más favorable.

Alternativas	Técnico-constructivo (33,33%)	Económico (33,33%)	Medioambiental (33,33%)	Puntuación Total
Alternativa 1	3	1	3	2,33
Alternativa 2	4	5	5	4,67
Alternativa 3	4	4	1	3,00

Como resultado de este análisis multicriterio la alternativa más adecuada sería la descrita como **ALTERNATIVA 2: BLOQUES DE HORMIGÓN DE ALTA DENSIDAD (BHAD) DE PESO 45T, DENSIDAD 2,70 t/m^3**.