



Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y
Puertos
Universidad Politécnica de Cartagena



ELECCIÓN DE LA TIPOLOGÍA DE DIQUE DE ABRIGO MÁS ECONÓMICA EN FUNCIÓN DE LA PROFUNDIDAD

Trabajo realizado por:

María del Carmen Rodríguez Toquero

Dirigido por:

Martín Jáuregui Pajares

Titulación:

**Máster Universitario en
Ingeniería de Caminos,
Canales y Puertos**

Cartagena, Junio de 2020

TRABAJO FIN DE MÁSTER



ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	6
2.	MARCO TEÓRICO.....	8
2.1.	DIQUES DE ABRIGO	8
2.2.	TIPOLOGÍA DE LOS DIQUES DE ABRIGO	9
2.2.1.	REFLEXIÓN.....	10
2.2.2.	DISIPACIÓN.....	11
2.2.3.	EVOLUCIÓN ESPACIAL DE LA SECCIÓN DE UN DIQUE DE ABRIGO	11
2.2.4.	SECCIONES TIPO	13
2.2.5.	CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LA TIPOLOGÍA DE OBRA DE ABRIGO	15
3.	JUSTIFICACIÓN DEL PRESENTE ESTUDIO	21
3.1.	OBJETIVO DEL PRESENTE ESTUDIO	21
4.	ZONA DE ESTUDIO.....	23
4.1.	LOCALIZACIÓN.....	23
4.1.1.	DÁRSENA DE CARTAGENA.....	23
4.1.2.	DÁRSENA DE ESCOMBRERAS	24
4.2.	SITUACIÓN Y NECESIDADES DEL PUERTO	25
4.3.	BATIMETRÍA.....	26
4.4.	CLIMA MARÍTIMO	27
4.4.1.	FUENTE DE DATOS.....	27
4.4.2.	VIENTO	29
4.4.3.	OLEAJE.....	30
1.	Rosa de altura significativa y periodo de pico.....	30
2.	Distribución de altura significativa y periodo de pico.....	31
3.	Tabla dirección del viento VS Altura de ola.....	31
4.	Análisis estadístico unidimensional de la variable altura de ola significativa:	32
5.	BASES DE PARTIDA	42
6.	DIMENSIONAMIENTO SECCIÓN TIPO- DISEÑO NIVEL I.....	46
6.1.	INTRODUCCIÓN	46
6.2.	DISEÑO NIVEL I	46
6.2.1.	CARÁCTER GENERAL.....	46



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



6.2.2.	CARÁCTER OPERATIVO.....	48
6.3.	METODOLOGÍA DE CÁLCULO	50
6.3.1.	DIQUE VERTICAL.....	50
6.3.1.1.	MÉTODO DE CÁLCULO	51
6.3.1.2.	FÓRMULA DE GODA	55
6.3.1.3.	FÓRMULA DE TAKAHASHI ET AL.(1994)	56
6.3.1.4.	COEFICIENTES DE SEGURIDAD	59
6.3.1.5.	BANQUETA DE APOYO.....	60
6.3.1.6.	CAJONES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN.....	61
6.3.2.	DIQUE EN TALUD	63
6.4.	CÁLCULO DEL DIQUE	70
6.4.1.	DIQUE EN VERTICAL	70
6.4.2.	DIQUE EN TALUD	85
7.	VALORACIÓN ECONÓMICA DE LAS SECCIONES TIPO	91
8.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	95
9.	CONCLUSIONES	102
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	104
11.	ANEJOS	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Partes de la sección de un dique (ROM 0.1-09).....	9
Figura 2.	Flujo de energía en presencia de la obra.	10
Figura 3.	Esquema de reflector equivalente y desfase asociado en un dique en talud (ROM 1.0-09).....	10
Figura 4.	Procesos de transformación de la energía incidente en un dique en talud (ROM 1.0-09).....	11
Figura 5.	Evolución espacial de las partes de la sección y transformación de la energía incidente (ROM 1.0-09).....	12
Figura 6.	Evolución espacial de las partes de la sección y transformación de la energía incidente (ROM 1.0-09).....	12
Figura 7.	Sección tipo de un dique en vertical.	13
Figura 8.	Cajón hormigón prefabricado.	14
Figura 9.	Sección tipo de dique en talud.....	15
Figura 10.	Puerto de Cartagena.	23
Figura 11.	Dársena de Cartagena.	24
Figura 12.	Dársena de Escombreras.....	25
Figura 13.	Batimetría de la dársena de Cartagena.....	26
Figura 14.	Batimetría de la dársena de Escombreras.....	27



Figura 15. Localización fuente de datos.....	28
Figura 16. Localización boya de Cabo de Palos.....	35
Figura 17. Situaciones extremas para las que debe garantizarse la estabilidad del dique.....	50
Figura 18. Esquema de fuerzas asociadas a cada una de las situaciones extremas.....	51
Figura 19. Influencia de la berma en la rotura de ola.....	53
Figura 20. Teorías a emplear en el cálculo de la sección de dique vertical.....	54
Figura 21. Diagrama de presiones sobre el paramento vertical.....	55
Figura 22. Valor del coeficiente $\alpha/1$	59
Figura 23. Cajón de celdas rectangulares.....	61
Figura 24. Ejemplo de algunas tipologías de piezas que se emplean para los diques en talud..	64
Figura 25. Ascenso (run-up) y descenso (run-down) de la lámina de agua sobre el talud.....	64
Figura 26. Modelado de los picos de presión que se producen cuando la ola rota impacta sobre el espaldón.....	69
Figura 27. Sección dique vertical.....	84
Figura 28. Disposición de los mantos exteriores.....	86
Figura 29. Sección del espaldón.....	88
Figura 30. Diagrama de fuerzas sobre el espaldón.....	88
Figura 31. Sección tipo de dique en talud.....	89
Figura 32. Gráfica comparativa del coste de cada tipología en función de la profundidad (Situación 1).....	96
Figura 33. Gráfica comparativa del coste de cada tipología en función de la profundidad (Situación 2).....	97
Figura 34. Gráfica comparativa del coste de cada tipología en función de la profundidad (Situación 3).....	98
Figura 35. Gráfica comparativa del coste de cada tipología en función de la profundidad (Situación 4).....	99
Figura 36. Gráfica comparativa del coste de cada tipología en función de la profundidad (Situación 5).....	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipología conveniente en función de los agentes climáticos (ROM 1.0-09).....	16
Tabla 2. Tipología en función de las propiedades del terreno (ROM 1.0-09).....	16
Tabla 3. Tipología más adecuada en función del volumen de material y los procedimientos constructivos (ROM 1.0-09).....	17
Tabla 4. Tipología más adecuada en función de los requerimientos climáticos en el uso y la explotación (ROM 1.0-09).....	18
Tabla 5. Tipología más adecuada en función de los requerimientos ambientales (ROM 1.0-09).....	19
Tabla 6. Clasificación en función de la profundidad y longitud de onda.....	42
Tabla 7. Ecuaciones en función de la clasificación de aguas.....	43
Tabla 8. Vida útil mínima en la fase de proyecto servicio (ROM 0.0-01).....	47
Tabla 9. Máxima probabilidad conjunta en la fase de servicio para los E.L.U (ROM 0.0-01).....	48
Tabla 10. Operatividad mínima en la fase de servicio (ROM 0.0-01).....	49
Tabla 11. Número medio de paradas operativas en el intervalo de tiempo (ROM 0.0-01).....	49



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



Tabla 12. Duración máxima probable (horas) (ROM 0.0-01).	49
Tabla 13. Coeficientes de ajuste.	65
Tabla 14. Valores máximos de la función de estabilidad Ψ para bloques paralelepípedos. De Losada y Desiré (1985)	67
Tabla 15. Datos de entrada para el cálculo del dique vertical.	70
Tabla 16. Gráfica comparativa del coste de cada tipología en función de la profundidad (Valores de mercado).	95

ÍNDICE DE ANEJOS

Anejo 1. Dimensiones banquetta de apoyo y cajón en la sección tipo de dique en vertical	106
Anejo 2. Fuerzas y momentos sobre dique vertical	117
Anejo 3. Mediciones secciones tipo dique en talud y dique en vertical	128
Anejo 4. Informe de datos de la boya de Cabo de Palos.....	136



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



1. INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio se realiza con la finalidad de determinar qué tipología de dique de abrigo es más económica en función de la profundidad donde se ejecute, con el objetivo de poder optimizar costes con una buena elección de la tipología.

Para realizar este estudio el primer paso es definir qué es y cuál es la función de un dique de abrigo, definir sus principales características y secciones tipo para posteriormente realizar el diseño en nivel I de las secciones elegidas. Una vez definidas las dimensiones de las secciones elegidas se realizará una valoración económica de cada una de ellas.

Las secciones elegidas son: dique de abrigo en talud y dique de abrigo en vertical. La zona de estudio elegida es el Puerto de Cartagena.

Para seleccionar la tipología de dique de abrigo más adecuada se debería tener en cuenta la adecuación de esta frente a los agentes del medio físico, del terreno, del uso y explotación, etc. Es importante destacar que en este estudio se parte de la hipótesis de que no existen condicionantes excluyentes de una tipología u otra y que la elección depende únicamente de la discusión de los resultados de la estimación económica de cada sección tipo.



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



2. MARCO TEÓRICO



2. MARCO TEÓRICO

2.1. DIQUES DE ABRIGO

Un dique de abrigo es una obra marítima que permite crear zonas protegidas del oleaje. Las obras de abrigo son una de las obras portuarias más características y pueden considerarse como una de las infraestructuras básicas para la conceptualización de áreas marítimas y terrestres artificiales como puertos, entendiendo como tales las superficies de agua y tierra a resguardo de las acciones producidas por las dinámicas atmosféricas y marina en las que los buques pueden permanecer atracados o fondeados en condiciones seguras y desarrollarse a salvo de forma eficiente las operaciones asociadas con la carga, o descarga de las mercancías y el embarque o desembarque de pasajeros.

Toda obra marítima se construye para cumplir unas determinadas funciones, permitiendo o facilitando unas actividades económicas, repercutiendo socialmente e interfiriendo con el medio ambiente. Esta obra debe ser fiable, funcional y operativa durante el tiempo en que vaya a permanecer en servicio. A lo largo de su vida útil se producen cambios tanto en la geometría como en la batimetría sobre la que están contruidos los diques, debido a las acciones que sobre ellos ejercen los agentes climáticos, atmosféricos y marinos. Estas transformaciones pueden cambiar tanto los requisitos iniciales del proyecto como la probabilidad de fallo del dique. Por ello, su conservación, inspección y reparación es fundamental, así como intentar prever posibles fallos futuros del mismo.

En España, el proyecto y la construcción de estos diques se realiza según las **Recomendaciones de Obras Marítimas** (Puertos del Estado, Ministerio de Fomento)



2.2. TIPOLOGÍA DE LOS DIQUES DE ABRIGO

La sección tipo de un dique de abrigo se compone principalmente de las siguientes partes:

- **Cimentación**, que determina la forma en que la estructura transmite los esfuerzos al terreno.
- **Cuerpo central**, que controla la transformación del flujo de energía del oleaje incidente y transmite a la cimentación la resultante de las acciones.
- **Superestructura**, que controla el rebase sobre la coronación y, en su caso, ofrece un camino de rodadura.

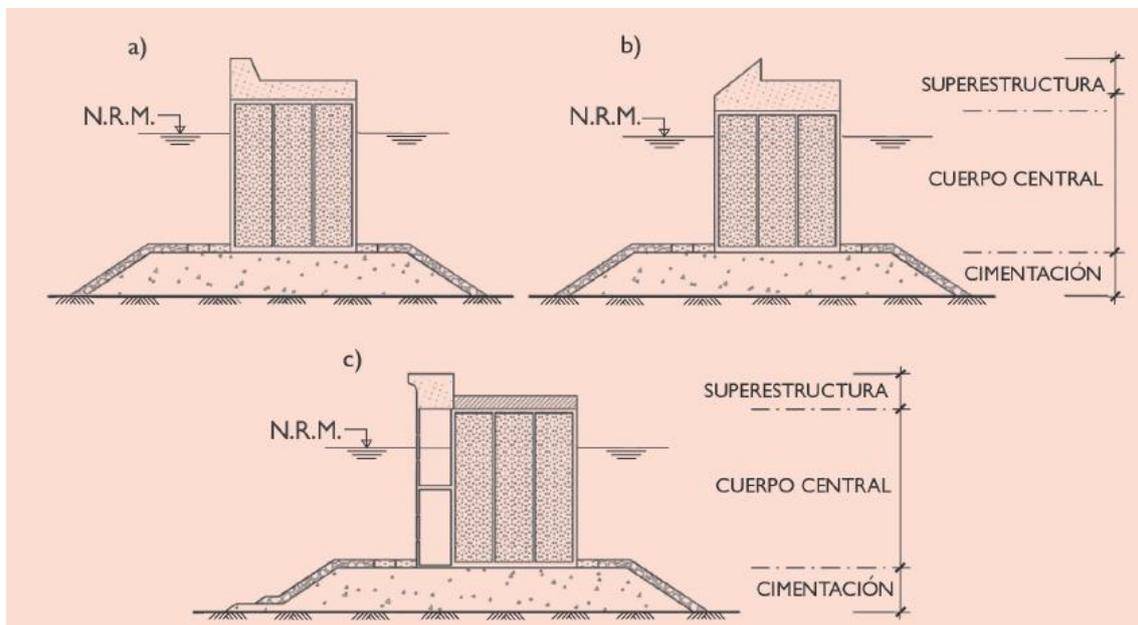


Figura 1. Partes de la sección de un dique (ROM 0.1-09).

La presencia de la obra transforma la energía de las diferentes oscilaciones del mar, el dique refleja, disipa, transmite e irradia la energía incidente en proporciones que dependen de su tipología, de su disposición en planta y de las características de la oscilación.



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad

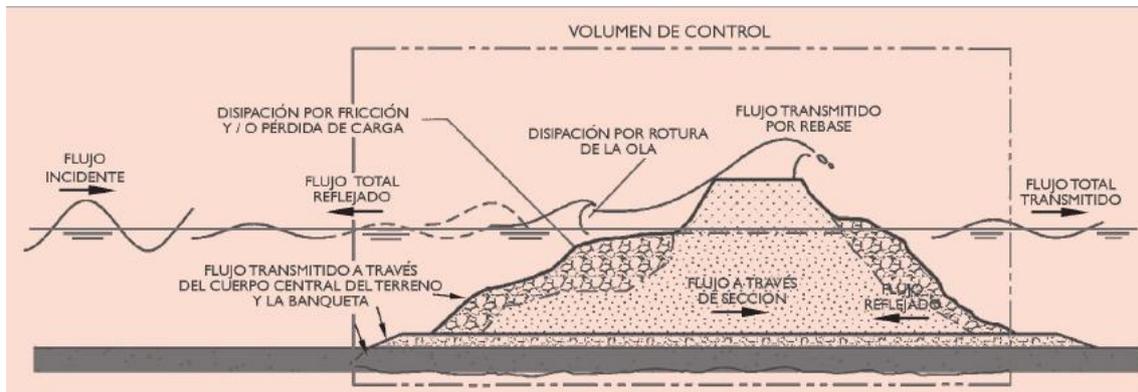


Figura 2. Flujo de energía en presencia de la obra.

Según sean la geometría y la disposición de los elementos que conforman la sección de un dique de abrigo, se pueden potenciar unos procesos de transformación del movimiento oscilatorio frente a otros. En los subapartados siguientes se analizan brevemente estos procesos.

2.2.1. REFLEXIÓN

Siempre que hay un cambio brusco de las propiedades geométricas del medio en el que se propaga el tren de ondas con el resultado de la modificación de la celeridad de fase del tren, y en consecuencia, del número de onda y de la dirección de propagación, se produce reflexión de energía oscilatoria. Así, los cambios bruscos de la profundidad de agua en una berma de pie o de las características hidráulicas del núcleo en un dique de escollera, o la presencia de una pared impermeable de un dique vertical, entre otros, provocan la reflexión hacia el mar de cierta parte de la energía incidente. Análogamente, cuando el tren de ondas se transmite a través del dique, lo abandona o se propaga por un canal de navegación, se refleja parte de la energía propagante tanto en la sección aguas arriba como en la sección aguas abajo.

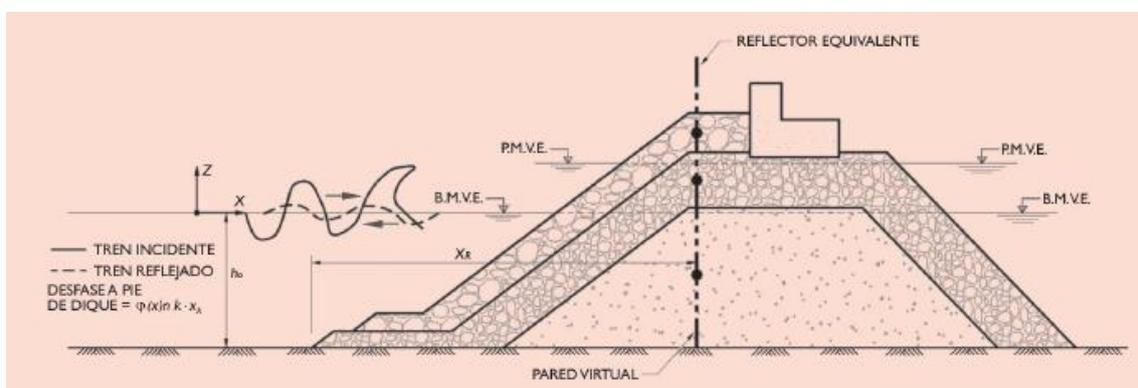


Figura 3. Esquema de reflector equivalente y desfase asociado en un dique en talud (ROM 1.0-09).



2.2.2. DISIPACIÓN

La disipación de la energía oscilatoria se produce principalmente por dos mecanismos, la rotura y la fricción por los contornos (superficie y fondo) e interior del medio por el que se propaga. El mecanismo más eficaz de disipación es la rotura de la ola en descrestamiento y en voluta, por el que se puede conseguir que se disipe más del 90% de la energía incidente. Por otro lado, las roturas de ola en colapso y en oscilación son menos eficientes y, en general, no disipan más del 60% de la energía.

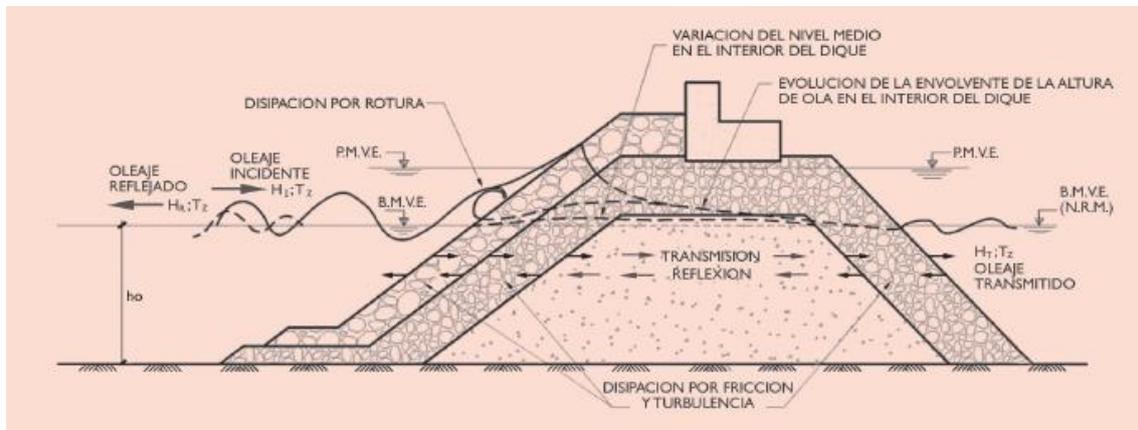


Figura 4. Procesos de transformación de la energía incidente en un dique en talud (ROM 1.0-09).

2.2.3. EVOLUCIÓN ESPACIAL DE LA SECCIÓN DE UN DIQUE DE ABRIGO

Para controlar y transformar la energía incidente se puede diseñar un dique de abrigo formado con diferentes elementos y dispuestos con diferentes configuraciones; el resultado final es el predominio de unos procesos de transformación sobre otros.



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad

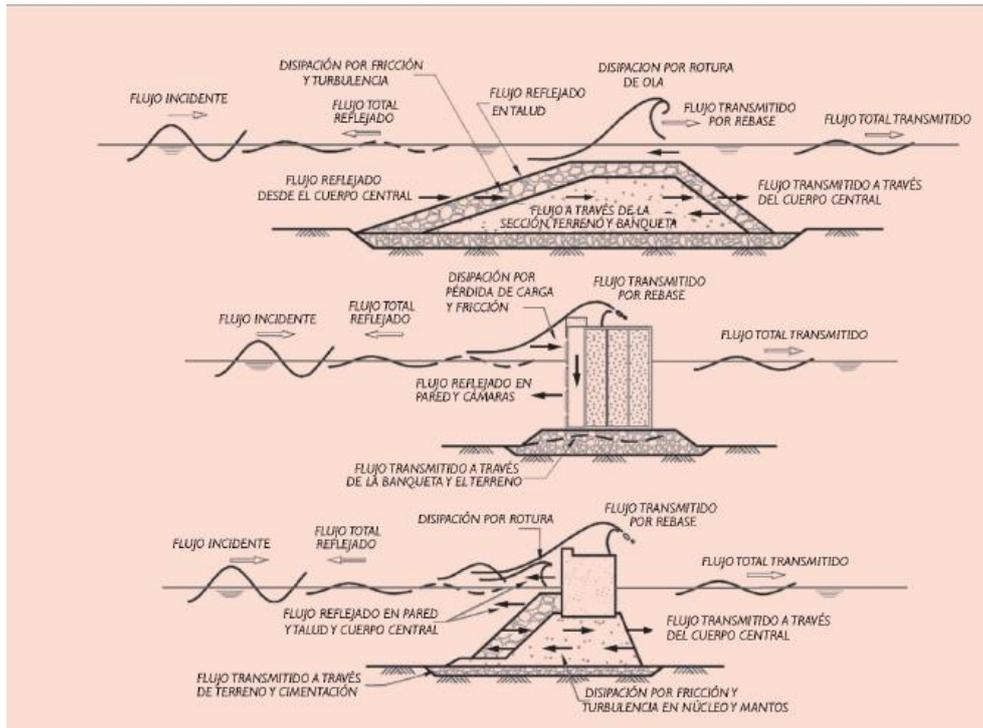


Figura 5. Evolución espacial de las partes de la sección y transformación de la energía incidente (ROM 1.0-09).

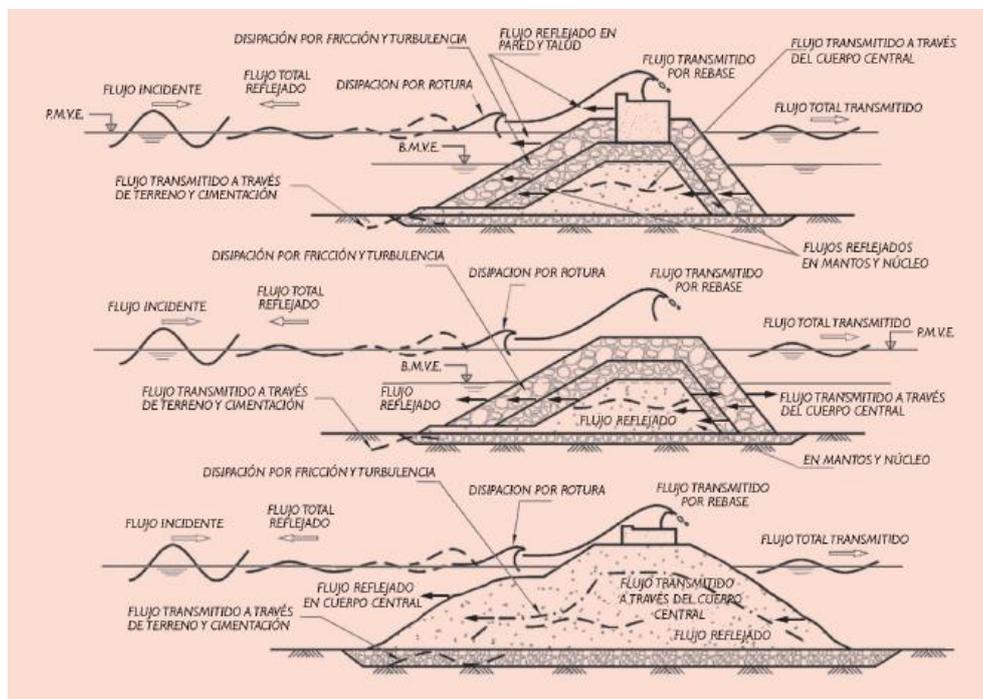


Figura 6. Evolución espacial de las partes de la sección y transformación de la energía incidente (ROM 1.0-09).

La selección de una tipología y el dimensionamiento de la sección debe responder a un conjunto de requerimientos entre los que se encuentra la capacidad de controlar la energía incidente.



2.2.4. SECCIONES TIPO

Un dique de abrigo es una obra marítima exterior que permite crear zonas protegidas del oleaje. Existen tres principales diques de abrigo, según sean los métodos de construcción y el método de funcionamiento; lo que conlleva diferentes formas de controlar los agentes climáticos (fundamentalmente el oleaje) y de transmitir los esfuerzos al terreno. A continuación, se describen sus características brevemente.

2.2.4.1. DIQUE EN VERTICAL

El dique vertical está formado por una banqueta de escollera sobre la que se apoya una estructura de paramento vertical, generalmente monolítica y realizada con cajones de hormigón rellenos de material granular. Este tipo de dique requiere menos cantidad de material y su proceso constructivo es más rápido que los diques en talud, sin embargo, necesitan unas condiciones de oleaje más favorables. Su modo de funcionamiento es por reflexión de la mayor parte de la energía del oleaje.

La siguiente figura muestra la sección de un dique vertical:

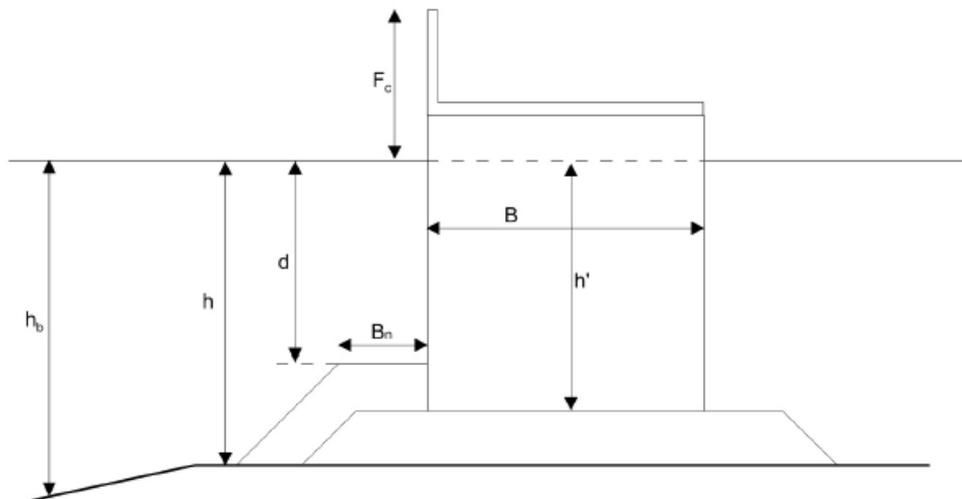


Figura 7. Sección tipo de un dique en vertical.

La tipología más utilizada es el dique en cajones. Los cajones se construyen de hormigón armado y están formados por una serie de huecos abiertos que se rellenan de material granular. Estas estructuras se fabrican en diques flotantes y se transportan flotando hasta su ubicación definitiva.



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



Un cajón está constituido por los siguientes elementos:

- Solera: losa maciza de hormigón normalmente de planta rectangular.
- Fuste: prisma recto con aligeramientos en toda su altura. En planta, la longitud del fuste suele coincidir con la de la solera.
- Zapatas: zonas voladas de la solera con respecto al fuste.

Los aligeramientos en el fuste hacen que el sólido resultante tenga una densidad inferior a la del agua y sea susceptible de flotar. Los aligeramientos pueden ser rectangulares, cuadrados o circulares.

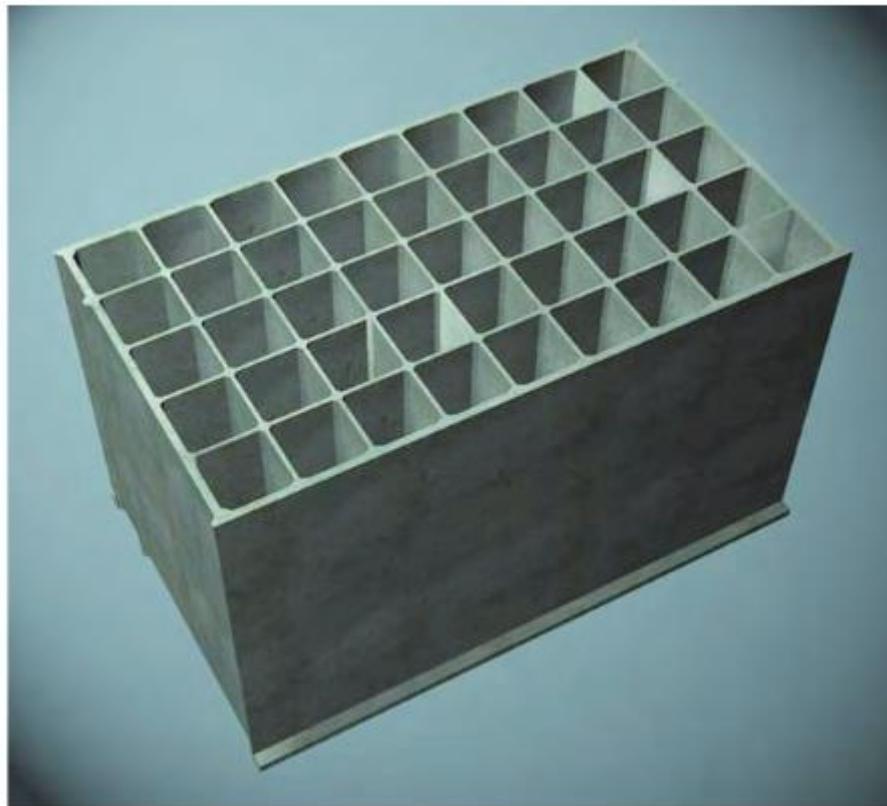


Figura 8. Cajón hormigón prefabricado.

2.2.4.2. DIQUE EN TALUD

La tipología de dique de abrigo en talud tradicional consta de un núcleo todo uno, encima del cual se superponen capas de elementos de tamaño creciente que cumplen la función de filtro. Generalmente, los elementos mayores (que forman el manto principal) son piezas de hormigón en masa de diferentes formas (cubos, dolos, tetrápodos, etc) o de escollera. Su funcionamiento es por disipación de energía.

La siguiente figura muestra la sección de un dique en talud:



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad

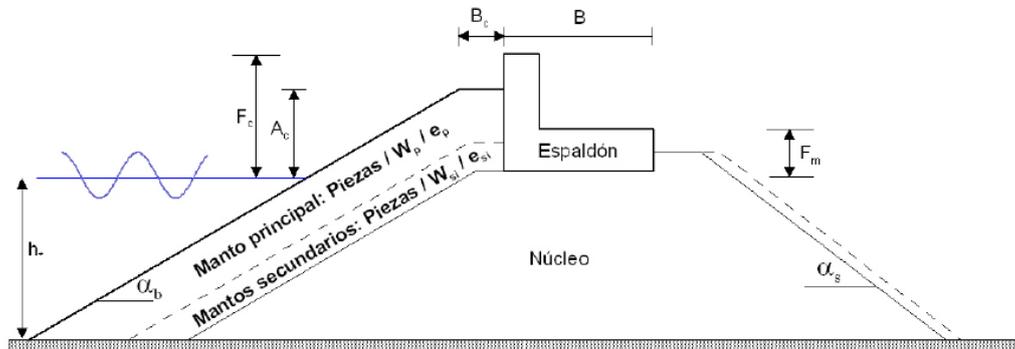


Figura 9. Sección tipo de dique en talud.

2.2.5. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LA TIPOLOGÍA DE OBRA DE ABRIGO

Para seleccionar la tipología de dique de abrigo más adecuada a cada tramo se recomienda tener en cuenta los siguientes factores de adecuación de la tipología frente a,

1. los agentes del medio físico, del terreno, de uso y explotación, de los materiales y de los métodos y procedimientos constructivos.
2. los requerimientos de uso y explotación y a los condicionantes morfológicos, medioambientales, constructivos y de los materiales de mantenimiento, reparación y desmantelamiento existentes localmente
3. la morfodinámica litoral, la calidad de las aguas y el entorno ambiental.

En general, **deberá optarse por la tipología más económica** de entre las posibles que satisfagan los dos primeros criterios.

Es importante destacar que en este estudio se parte de la hipótesis de que no existen condicionantes excluyentes de una tipología u otra y que la elección depende únicamente de la discusión de los resultados de la estimación económica de cada sección tipo.

2.2.5.1. COMPORTAMIENTO FRENTE A LOS AGENTES CLIMÁTICOS MARÍTIMOS

El comportamiento del dique frente a los agentes climáticos marítimos depende de su geometría y de la disposición de sus partes y elementos relativas a las características del oleaje, en particular el oleaje a pie de dique y en presencia de él y la profundidad de agua.

En la siguiente tabla se muestra la recomendación de la tipología más adecuada por su comportamiento frente al oleaje y la profundidad del agua caracterizados por H_s , L y h .



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



Tipología dique	Oleaje en presencia del dique	Profundidad (m)
En talud	Todos	$0 \leq h_w < 35 - 45$
Vertical	No rotura	$15 \leq h_w < 40 - 50$
Mixto	No rotura	$20 \leq h_w < 60 - 80$
Berma	Todos	$0 \leq h_w < 35 - 40$
Sumergido	Todos	Todas
Flotante y pantallas	Pequeño, periodo corto, no rotura	Todas

Tabla 1. Tipología conveniente en función de los agentes climáticos (ROM 1.0-09).

2.2.5.2. COMPORTAMIENTO FRENTE AL TERRENO

Un factor fundamental para la elección de la tipología es la adecuación del suelo marino para soportar los esfuerzos transmitidos por el dique y las oscilaciones del mar, es decir su (1) compresibilidad, o capacidad de deformarse variando su volumen al aplicar cargas de compresión en su superficie, (2) resistencia al esfuerzo cortante o capacidad del suelo de resistirse al deslizamiento relativo entre partículas adyacentes cuando es sometido a un esfuerzo de corte y (3) la capacidad de las partículas de fondo para permanecer en él en presencia de la dinámica marina.

La siguiente tabla recoge las tipologías de dique más recomendables en función de las características del terreno:

Tipo de suelo	Tipología
Roca	Todas
Granulares flojos	Algunas
Granulares duros	Todas
Cohesivos blandos o rellenos de baja calidad	Evitar diques verticales
rellenos homogéneos y permeables	Todas

Tabla 2. Tipología en función de las propiedades del terreno (ROM 1.0-09).



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



2.2.5.3. IDONEIDAD FRENTE A LOS CONDICIONANTES MORFOLÓGICOS

La combinación de la disponibilidad de espacio en planta, las pendientes del terreno y los calados naturales existentes en la localización de la obra puede condicionar su tipología. En general, los diques, salvo los flotantes o los verticales construidos mediante pantallas o recintos, ocupan mucha superficie en planta bien por ellos mismos, bien por la necesidad de disponer grandes banquetas de cimentación, por lo que no son adecuados en zonas con limitación de espacio. Por otra parte, dichas soluciones tampoco son convenientes cuando la pendiente del terreno natural es grande y la calidad del terreno exige la realización de dragados muy importantes. En general, los diques verticales requieren menor volumen de materiales de préstamo cuando la obra de abrigo deba construirse en una zona de calados importantes (>25m).

2.2.5.4. IDONEIDAD FRENTE A LOS CONDICIONANTES DE LOS MATERIALES Y PROCESOS CONSTRUCTIVOS.

La disponibilidad de materiales, tanto en cantidad como en calidad, así como los medios constructivos, marítimos y terrestres, condicionan de forma importante la decisión sobre la tipología de dique de abrigo.

Tipología	Vol. Préstamo	Medios constructivos	Adaptabilidad
En talud	Muy grande	Carga, vertido; grúa importante	Posible
Vertical	Pequeño	Fondeo cajón y vertido	Difícil
Mixto	Grande	Carga, vertido; grúa y fondeo	Muy difícil
Berma	Muy grande	Vertido y grúa	Posible
Sumergido	Según objetivo	Vertido	Posible
Flotante	Nulo	Flotantes e hinca	Posible
Pantallas	Nulo	Flotantes e hinca	Posible

Tabla 3. Tipología más adecuada en función del volumen de material y los procedimientos constructivos (ROM 1.0-09).

2.2.5.5. IDONEIDAD FRENTE A LOS REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DURANTE EL USO Y LA EXPLOTACIÓN

El flujo de energía incidente del oleaje en flujos reflejado, transmitido y disipado puede ser indicativo de la influencia que una u otra tipología puede tener un uso y la explotación. En general, la solución ideal es que el flujo incidente sea totalmente disipado por el dique. Esta situación no se alcanza con ninguna de las tipologías actuales de diques de abrigo. En general, cuanto menor sea la energía disipada y mayores sean los flujos de energía reflejada y transmitida, mayores pueden ser las interferencias de las oscilaciones del mar con el uso y la explotación, bien a barlomar en canales de acceso y bocanas haciendo más complicada la navegación, bien aumentando la agitación en el interior del puerto por rebase o por transmisión a través del dique.



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



El dique vertical, excepto por rebase es el que menos energía transmite a través del cuerpo central y es el que más energía refleja. Los diques en talud y en berma son los que menos energía reflejan y los que más disipan, transmitiendo en general poca energía excepto por rebase. El dique mixto tiene un comportamiento intermedio entre los diques granulares y el vertical. La funcionalidad del dique flotante depende de su calado relativo con respecto a la longitud de onda. Si éste es el adecuado la mayor parte de la energía incidente es reflejada; por el contrario, si el calado es insuficiente la mayor parte de la energía es transmitida a sotamar.

Tipología	Partición de la energía
En talud	Disipación y reflexión
Vertical	Reflexión
Mixto	Disipación y reflexión
Berma	Disipación
Sumergido	Disipación, reflexión y transmisión
Flotante	Reflexión y transmisión
Pantallas	Reflexión y transmisión

Tabla 4. Tipología más adecuada en función de los requerimientos climáticos en el uso y la explotación (ROM 1.0-09).

2.2.5.6. IDONEIDAD FRENTE A LOS REQUERIMIENTOS DE CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y DESMANTELAMIENTO

La construcción de un dique de abrigo puede provocar alteraciones significativas del entorno terrestre y marítimo relacionadas con la apertura y explotación de canteras, el transporte, y vertido de materiales de construcción, o con la remoción y vertido de productos de dragado pudiendo, en su caso, condicionar la selección de tipologías que necesiten grandes volúmenes de materiales de préstamo o realizar grandes volúmenes de dragado hasta alcanzar niveles de cimentación competentes. El dique vertical, salvo cuando requieren importantes volúmenes de dragado o sustitución, es una de las tipologías que tiene un menor impacto ambiental. En general, los diques flotantes producen un impacto ambiental pequeño, no obstante, se debe analizar su efecto en la morfodinámica litoral que, en algunas ocasiones, puede llegar a ser significativo.

Por otra parte, la construcción de un área portuaria o litoral interacciona con el litoral modificando los procesos morfodinámicos y la calidad de las aguas litorales. La magnitud de la modificación depende principalmente de la forma en planta del área y del grado de abrigo frente al oleaje.



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



Tipología	Volumen de materiales	Interacción con el entorno	Oxigenación agua nichos ecológicos
En talud	Grande	Significativa	Alta-muchos, diversos
Vertical	Pequeño	Significativa	Baja-pocos
Mixto	Intermedio	Significativa	Media-algunos
Berma	Máximo	Significativa	Alta-muchos
Sumergido	Según objetivo	Significativa	Alta
Flotante	Mínimo	Poco significativa	Baja-algunos
Pantallas	Mínimo	Significativa	Baja

Tabla 5. Tipología más adecuada en función de los requerimientos ambientales (ROM 1.0-09).



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



3. JUSTIFICACIÓN DEL PRESENTE ESTUDIO



3. JUSTIFICACIÓN DEL PRESENTE ESTUDIO

Según la **ROM 1.0-09**:

Para seleccionar la tipología de dique de abrigo más adecuada a cada tramo se recomienda tener en cuenta los siguientes factores de adecuación de la tipología frente a,

4. los agentes del medio físico, del terreno, de uso y explotación, de los materiales y de los métodos y procedimientos constructivos.
5. los requerimientos de uso y explotación y a los condicionantes morfológicos, medioambientales, constructivos y de los materiales de mantenimiento, reparación y desmantelamiento existentes localmente
6. la morfodinámica litoral, la calidad de las aguas y el entorno ambiental.

En general, **deberá optarse por la tipología más económica** de entre las posibles que satisfagan los dos primeros criterios, siempre que cumplan las exigencias ambientales establecidas en el tercero. Para dicha valoración económica deberán considerarse tanto la inversión inicial y los costes, en su caso, de los trabajos de mantenimiento y reparación, como los efectos de los mismos en la operativa portuaria. Debido a las severas condiciones ambientales y climáticas en las que se encuentran los diques de abrigo, en general, suele ser mucho **más económico adoptar tipologías estructurales robustas, simples y durables**, que exijan el mínimo mantenimiento durante su vida útil y tengan fáciles procesos constructivos y, en su caso, de reparación

3.1. OBJETIVO DEL PRESENTE ESTUDIO

Este estudio tiene como objetivo determinar qué tipología de dique de abrigo es más económica en función de la profundidad donde se ejecute, realizando para ello una comparación entre el coste de construcción de un dique de abrigo en vertical frente a uno en talud con el objetivo de poder optimizar costes con una buena elección de la tipología.

Para el cálculo de los costes, se suponen como costes únicos aquellos que están presentes en la ejecución, como son los costes de materiales.

Los parámetros necesarios para el diseño de las distintas secciones tipo de dique de abrigo son: **altura de ola (Hs), periodo (T) y profundidad (h)**. Este estudio se realiza en el Puerto Cartagena, la batimetría ha sido aportada por la Autoridad Portuaria de Cartagena y la altura de ola y periodo se ha obtenido de la web de Puertos del Estado eligiendo la boya más cercana al puerto.



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



4. ZONA DE ESTUDIO



4. ZONA DE ESTUDIO

En este apartado se describe la zona donde se realiza el estudio, tanto a nivel local como a nivel marítimo.

4.1. LOCALIZACIÓN

El Puerto de Cartagena se sitúa en el Sureste de la Península Ibérica, en la costa del Mar Mediterráneo. Está constituido por dos dársenas: la dársena de Cartagena y la dársena de Escombreras, separadas e independientes. La distancia entre ellas es de 1.5 millas por mar y 5 kilómetros por carretera.



Figura 10. Puerto de Cartagena.

4.1.1. DÁRSENA DE CARTAGENA

Esta dársena cuenta con:

- Puertos deportivos y turísticos
- Terminal de cruceros C002
- Instalaciones pesqueras
- Astilleros
- Terminal de contenedores C007/C008
- Instalaciones Ro-Ro para tráfico rodado C009/C010
- Terminal de mercancías general C010/C011
- Terminal hortofrutícola C010/C011
- Terminal de ganado C010/C011



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**

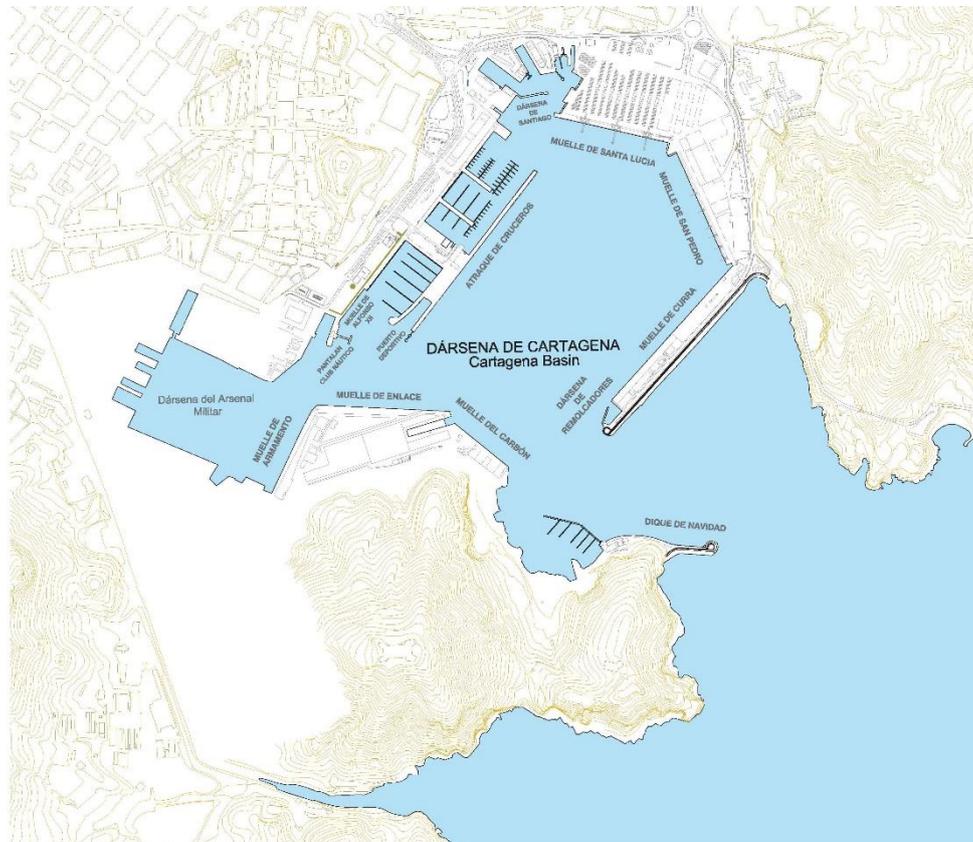


Figura 11. Dársena de Cartagena.

4.1.2. DÁRSENA DE ESCOMBRERAS

Esta dársena cuenta con:

- Terminales de graneles sólidos
 - Muelle Príncipe Felipe E004/E005/E006/E007
 - Muelle Isaac Peral E007/E008/E009
 - Muelle polivalente E021/E022
 - Muelle Sur E023/E024

- Terminales de graneles líquidos
 - Atraque de metaneros E001
 - Muelle de fertilizantes E002
 - Muelles Felipe Norte E003
 - Espigón Sureste E010/E011
 - Espigón E012
 - Pantalán E013/E014
 - Muelle de Maese E015/E016
 - Dique Muelle Bastarreche E017/E018



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



- Pantalán Bastarrece E20
- Otros atraques
 - Dique Suroeste E025/E026

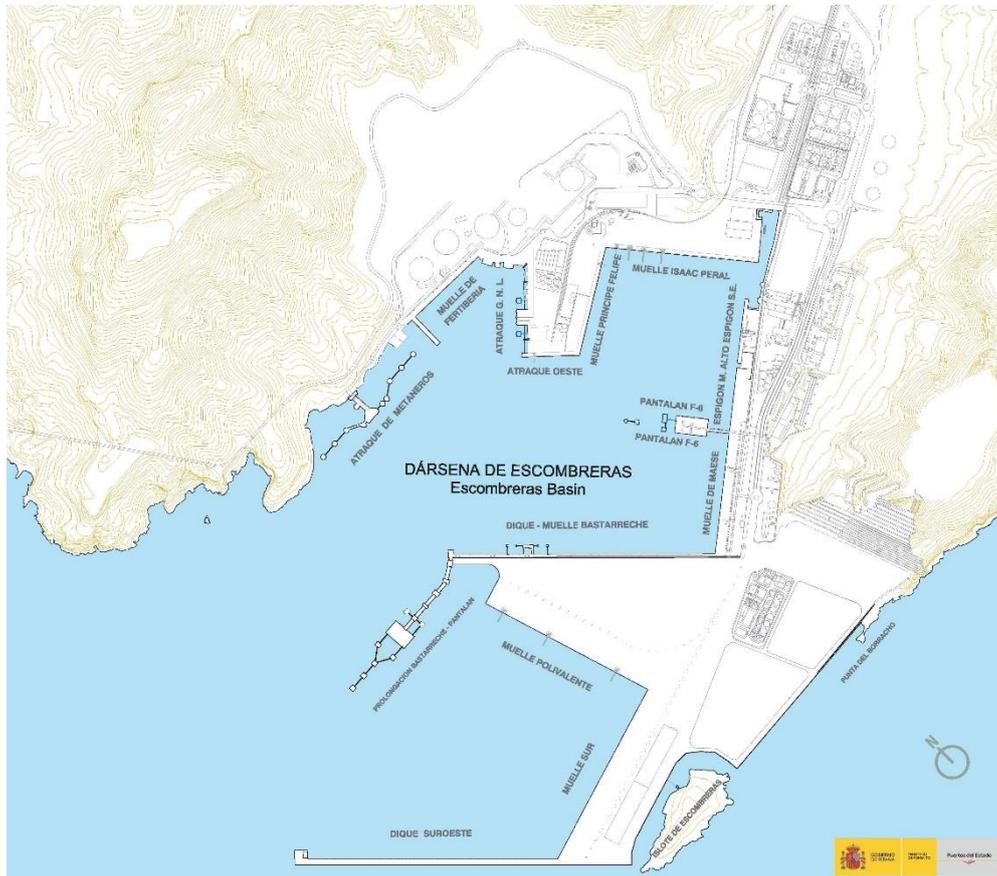


Figura 12. Dársena de Escombreras.

4.2. SITUACIÓN Y NECESIDADES DEL PUERTO

El Puerto de Cartagena ha sido a lo largo de toda su historia, debido a su posición estratégica, referente obligado en el tráfico marítimo en el Mediterráneo. Está consolidado como puerto industrial de primer orden dentro del sistema portuario español, ocupando el sexto puesto en tráfico de mercancías entre los 28 que forman los puertos de interés general en España. También en tráfico de cruceros se ha alcanzado una cifra récord.

Se han mejorado las dotaciones e infraestructuras, tanto en la dársena de Cartagena como en la de Escombreras dotándolas de mejores servicios, maquinarias o vías de comunicación.



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



El continuo crecimiento del Puerto lleva a la conclusión de que el Puerto tendrá que invertir y ampliar en el corto-medio plazo. Por este motivo, se convierte en una zona idónea para la realización de este estudio.

4.3. BATIMETRÍA

Conocer las cotas a las que se deben establecer las bases de las secciones tipo de los diques de abrigo es fundamental. La batimetría es el equivalente submarino a la altimetría.

La batimetría de la zona de estudio ha sido aportada por la Autoridad Portuaria de Cartagena (para más detalle ver el documento de planos).

A continuación, se muestran las batimetrías de las dos dársenas que componen el Puerto de Cartagena:

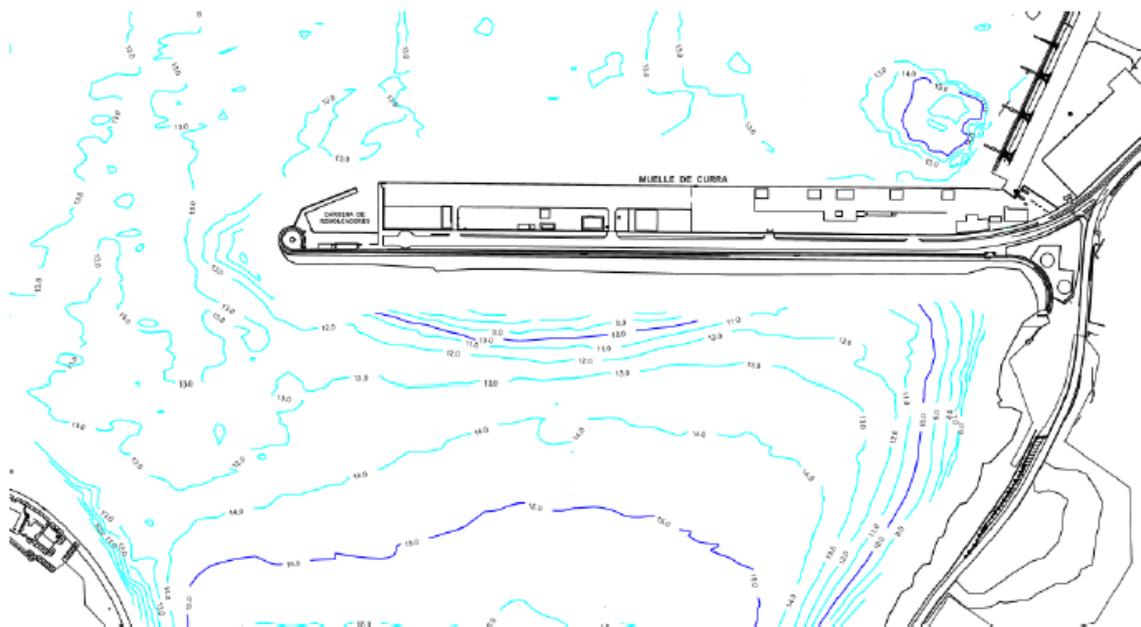


Figura 13. Batimetría de la dársena de Cartagena.

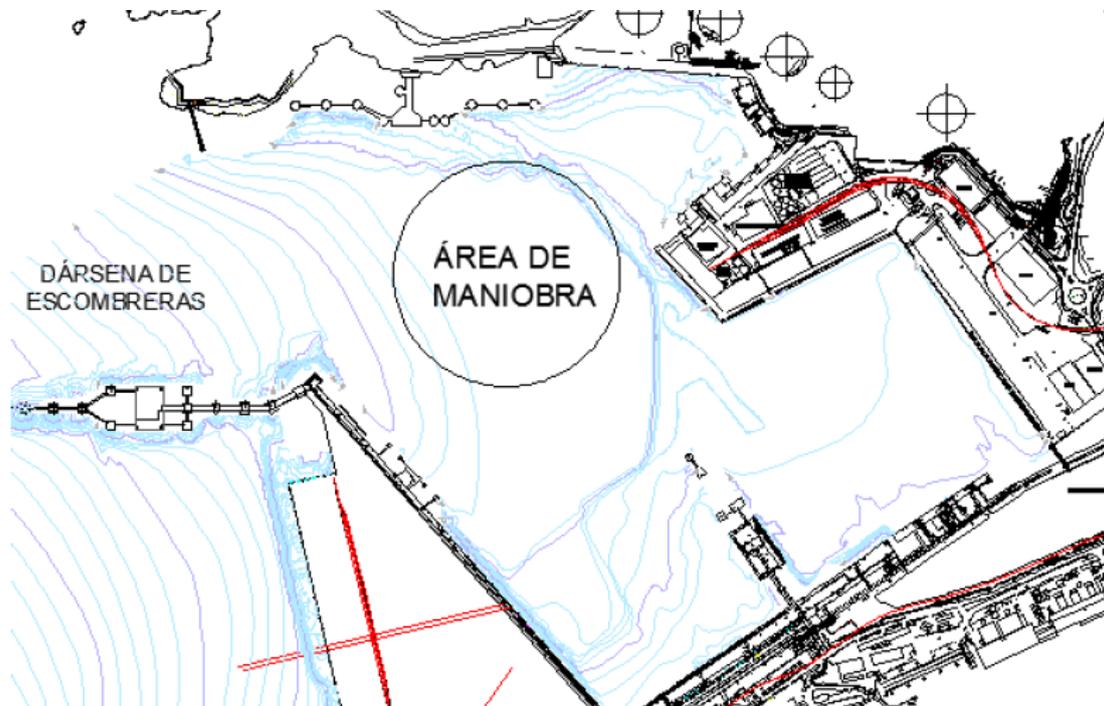


Figura 14. Batimetría de la dársena de Escombreras.

4.4. CLIMA MARÍTIMO

El objetivo de este apartado es realizar un estudio y análisis de las condiciones del clima marítimo en la zona del Puerto de Cartagena.

El primer paso es describir de forma general tanto las características de la costa como las fuentes empleadas para caracterizar el régimen medio y extremal del oleaje además de otras variables como el viento.

4.4.1. FUENTE DE DATOS

Los datos utilizados han sido recopilados de la web pública Puertos del Estado, se han considerado dos fuentes, una el punto SIMAR 611037012 y otra la Estación Meteorológica de Cartagena II.



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



PUNTO SIMAR 611037012	
Longitud	0.98º O
Latitud	37.58º N
Código modelo	611037012
Cadencia	60 min
Malla	S03B
Conjunto de datos	Punto SIMAR

Estación Meteorológica de Cartagena II	
Ubicación	Dique Bastarreche
Longitud	0.97º O
Latitud	37.57º N
Cadencia	10 min
Código	4621
Profundidad	10 m
Inicio de medidas	1-1-2000
Ultima medida	1-6-2006
Conjunto de datos	REMPOR



Figura 15. Localización fuente de datos.



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



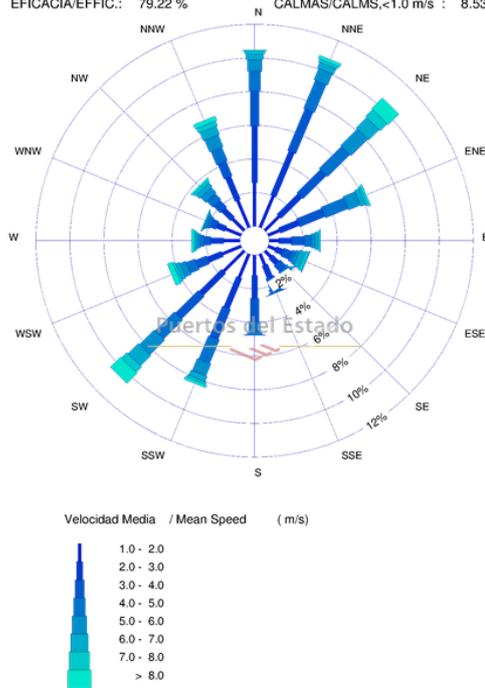
4.4.2. VIENTO

Los datos han sido aportados por el punto SIMAR 611037012 durante el periodo 2012-2020

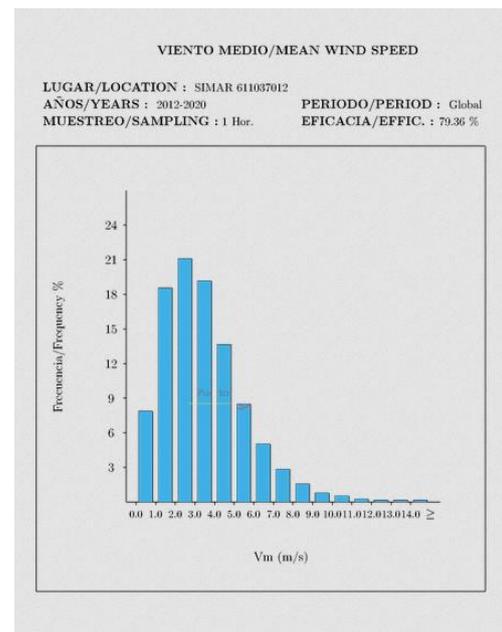
ROSA DE VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO en SIMAR 611037012 en el periodo 2012-2020

WIND SPEED ROSE at SIMAR Point 611037012 , period 2012-2020

LUGAR/LOCATION: SIMAR 611037012 MUESTREO/SAMPLING: 1Hor.
PERIODO/PERIOD: 2012-2020 INTERVALO/INTERVAL: Global
EFICACIA/EFFIC.: 79.22 % CALMAS/CALMS,<1.0 m/s : 8.53 %



La eficacia del proceso de medida para el periodo seleccionado fue de un 79.22 % de datos validos.
Las Direcciones son Direcciones de Procedencia
Efficiency: 79.22 % of valid data. Angles refer to coming-from directions



De la observación de estas imágenes se obtienen las siguientes conclusiones:

- Dirección reinante del viento: NNE
- Dirección dominante del viento: NE
- Porcentaje de calmas: 8.53%



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



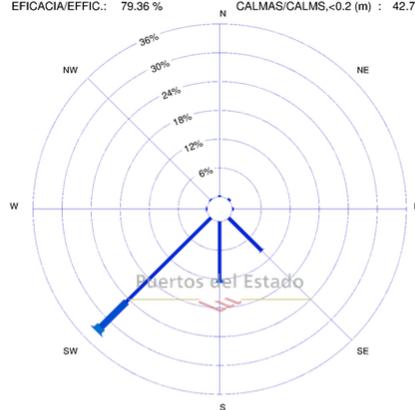
4.4.3. OLEAJE

Los datos han sido aportados por el punto SIMAR 611037012 durante el periodo 2012-2020.

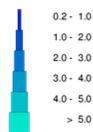
1. Rosa de altura significativa y periodo de pico

ROSA DE ALTURA SIGNIFICATIVA en SIMAR 611037012 en el periodo 2012-2020
SIGNIFICANT HEIGHT ROSE at SIMAR Point 611037012, period 2012-2020

LUGAR/LOCATION: SIMAR 611037012 MUESTREO/SAMPLING: 1Hor.
PERIODO/PERIOD: 2012-2020 INTERVALO/INTERVAL: Global
EFICACIA/EFFIC.: 79.36 % CALMAS/CALMS.<0.2 (m) : 42.75 %



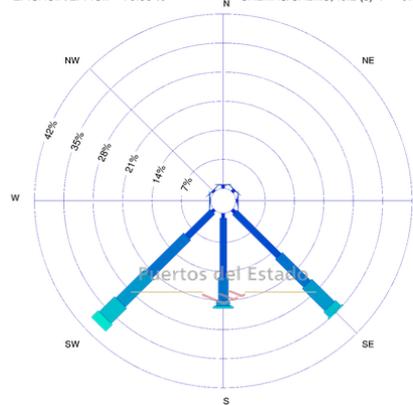
Altura significativa/ Significant height (m)



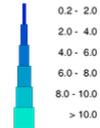
La eficacia del proceso de medida para el periodo seleccionado fue de un 79.36 % de datos validos.
Las Direcciones son Direcciones de Procedencia
Efficiency: 79.36 % of valid data. Angles refer to coming-from directions

ROSA DE PERIODO DE PICO en SIMAR 611037012 en el periodo 2012-2020
PEAK PERIOD ROSE at SIMAR Point 611037012, period 2012-2020

LUGAR/LOCATION: SIMAR 611037012 MUESTREO/SAMPLING: 1Hor.
PERIODO/PERIOD: 2012-2020 INTERVALO/INTERVAL: Global
EFICACIA/EFFIC.: 79.36 % CALMAS/CALMS.<0.2 (s) : 0.00 %



Periodo medio / Mean period (s)



La eficacia del proceso de medida para el periodo seleccionado fue de un 79.36 % de datos validos.
Las Direcciones son Direcciones de Procedencia
Efficiency: 79.36 % of valid data. Angles refer to coming-from directions

De la observación de estas imágenes se obtienen las siguientes conclusiones:

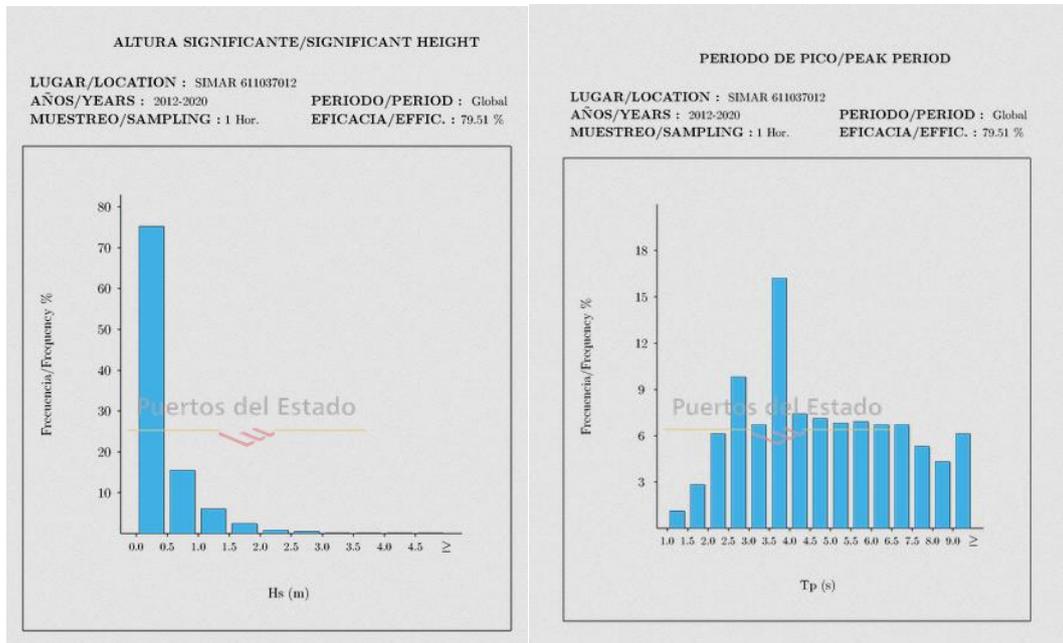
- Altura significativa de olas:
 - Dirección que provoca mayor altura de oleaje: SW
 - Porcentaje de calmas: 42.75 %
- Periodo pico:
 - Dirección que provoca el periodo pico: SW



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



2. Distribución de altura significativa y periodo de pico



3. Tabla dirección del viento VS Altura de ola

EFICACIA 2.7% AÑO/YEAR 2020		Hs (m)											TOTAL		
		<= 0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	> 5.0			
calmas/calms		85.833													85.833
Dir	N	00	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	NE	45	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	E	90	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	SE	135	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	S	180	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	SW	225	13.750	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	13.750
	W	270	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	NW	315	0.417	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.417
TOTAL		14.167+85.833	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100%	



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



4. Análisis estadístico unidimensional de la variable altura de ola significativa:

- Régimen medio
- Régimen extremal

La ROM 0.3.91 establece que el litoral español se zonifica en 10 áreas definidas en base a características climáticas homogéneas, a la configuración de la costa, y al emplazamiento de las fuentes de información disponible.

Dicha zonificación permite aceptar que las características en aguas profundas son aproximadamente las mismas en aquellas partes de cada área que se encuentren afectadas por los mismos oleajes.

TABLA 2.2.1. ZONIFICACION DEL LITORAL ESPAÑOL A EFECTOS DE CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA MARÍTIMO

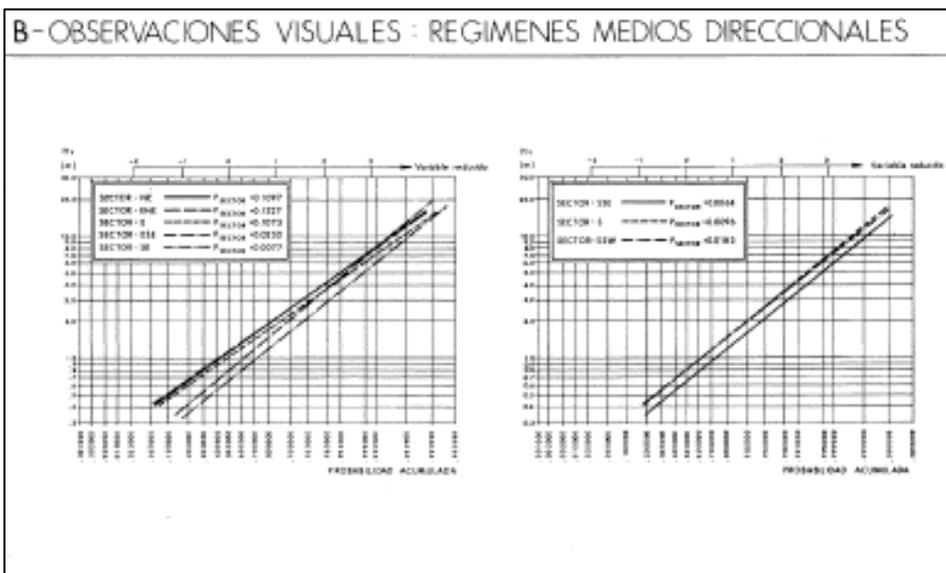
ÁREA	CUADRÍCULA
I	43° N - 45° N 1,5° W - 7° W
II	43,2° N - 45° N 7° W - 11° W
III	41,5° N - 43,2° N 8° W - 11° W
IV	35° N - 37,1° N 5,6° W - 10° W
V	35° N - 37° N 2° W - 5,6° W
VI	35° N - 38° N 2° W - 2° E
VII	37,8° N - 40,5° N 1° W - 2° E
VIII	40,5° N - 42,5° N 0,0° W - 4,5° E
IX	38,3° N - 41° N 0,5° E - 5,5° E
X	26,5° N - 30,5° N 12° W - 20° W



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



INFORMACION ANALIZADA				AREA - VI
REGISTROS INSTRUMENTALES				
BOYA	SITUACION	PROF (m)	PERIODO MEDIDA	LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA INFORMACION ANALIZADA
1- CABO DE PALOS	37° 29' 15" N 0° 38' 18" W	67	1985/1990	
OBSERVACIONES VISUALES				
CUADRICULA : 35°N - 38°N 2°W - 2°E PERIODO DE MEDIDA: 1950 - 1985				



E - REGISTROS INSTRUMENTALES : CORRELACIONES ALTURA DE OLA / PERIODO EN TEMPORALES					F - REGISTROS INSTRUMENTALES : ESTRUCTURA ESPECTRAL ESCALAR BASICA DE TEMPORALES (Hs ≥ 1.50 m)	
BOYA	$\rho = \frac{H_s}{T_p^2}$	T_p / \bar{T}	RELACION FINAL $H_s (m)$ $T_p (s)$	VALORES DE DISEÑO $H_s (m)$ $T_p (s)$		
CABO DE PALOS	0.035 ~ 0.06	~1.20	$T = (39.5) \sqrt{H_s}$	4 6 8	7.5-10 9.5-12.5 11-14.5	

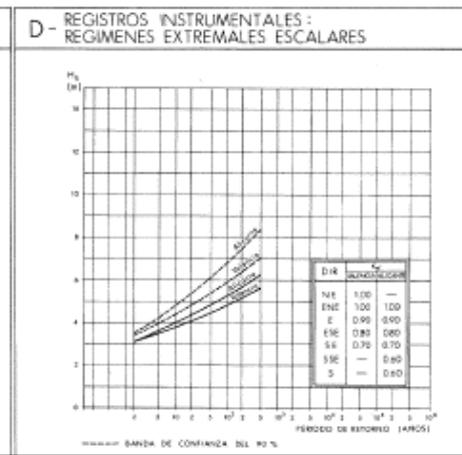
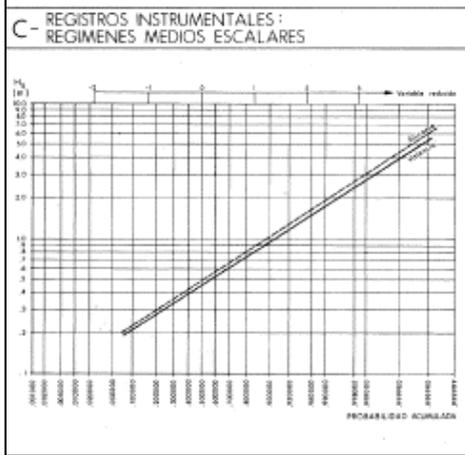
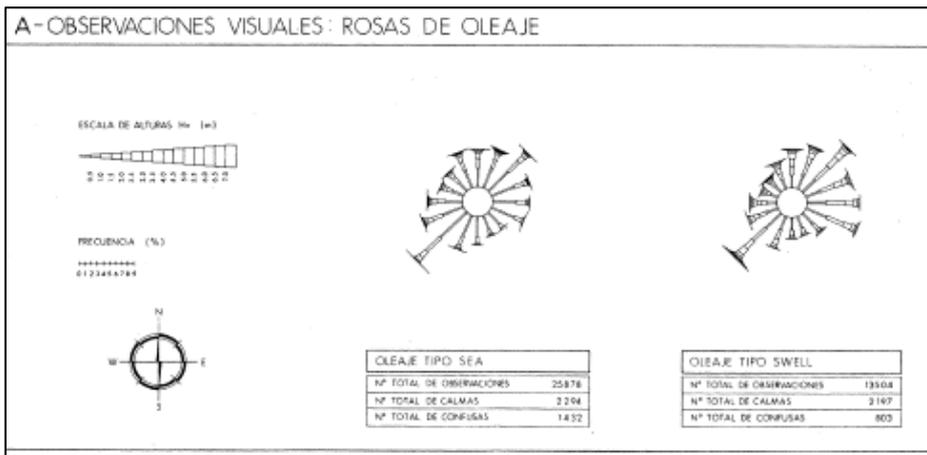
EFFECTO TEORICO JONSWAP AJUSTADO AL ESPECTRO REAL RECONSTRUIDO CORRESPONDIENTE A FIC DE TEMPORALES, CON WIND-SEA BY WAVE PADDING	
$\sigma_p (1/s)$	

ESPECTRO TEORICO JONSWAP							
BOYA	\bar{T}	γ_{max}	γ_{min}	σ_s	σ_p	$\gamma_{max}/\gamma_{min}$	σ_p^*
CABO DE PALOS	3.2	6.3	1.4	1.24	0.13	0.15	0.10

ROM 0.3-91-OLEAJE
ATLAS DE CLIMA MARITIMO EN EL LITORAL ESPAÑOL



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad





Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



Se utilizará para la definición del clima de oleaje la Boya de Cabo de Palos.

Boya de Cabo de Palos	
Conjunto de datos	REDCOS
Boya	Cabo de Palos
Longitud	-0.638º E
Latitud	37.654º N
Profundidad	230 m

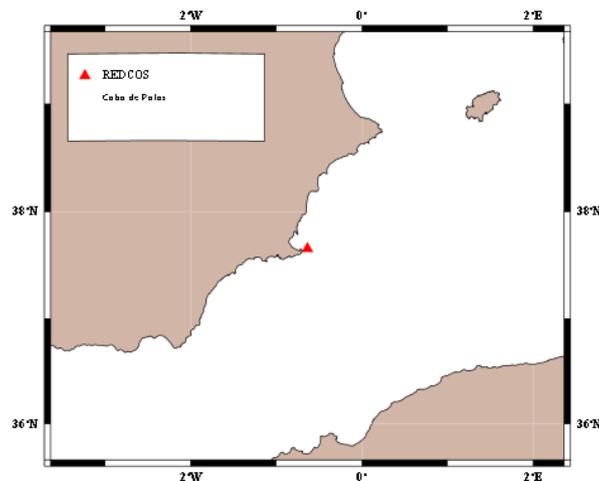


Figura 16. Localización boya de Cabo de Palos.

➤ **Régimen medio**

Se puede definir como régimen medio de una serie temporal al conjunto de estados de oleaje que más probablemente nos podemos encontrar.

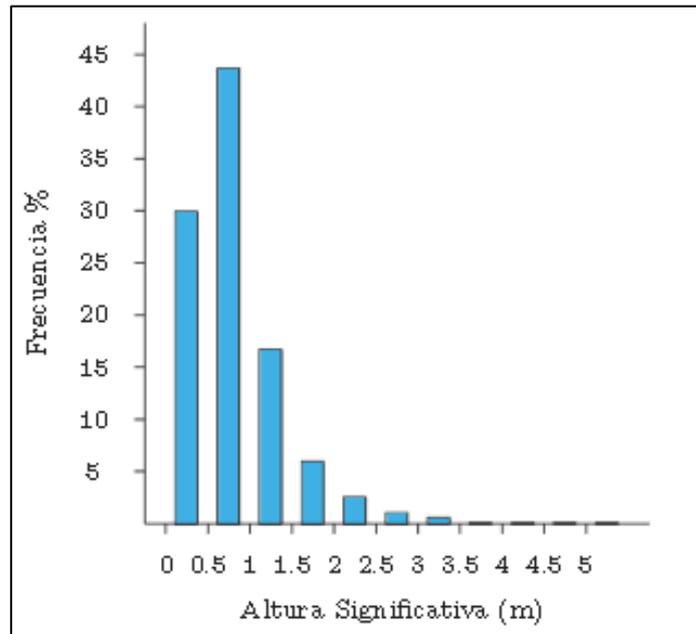
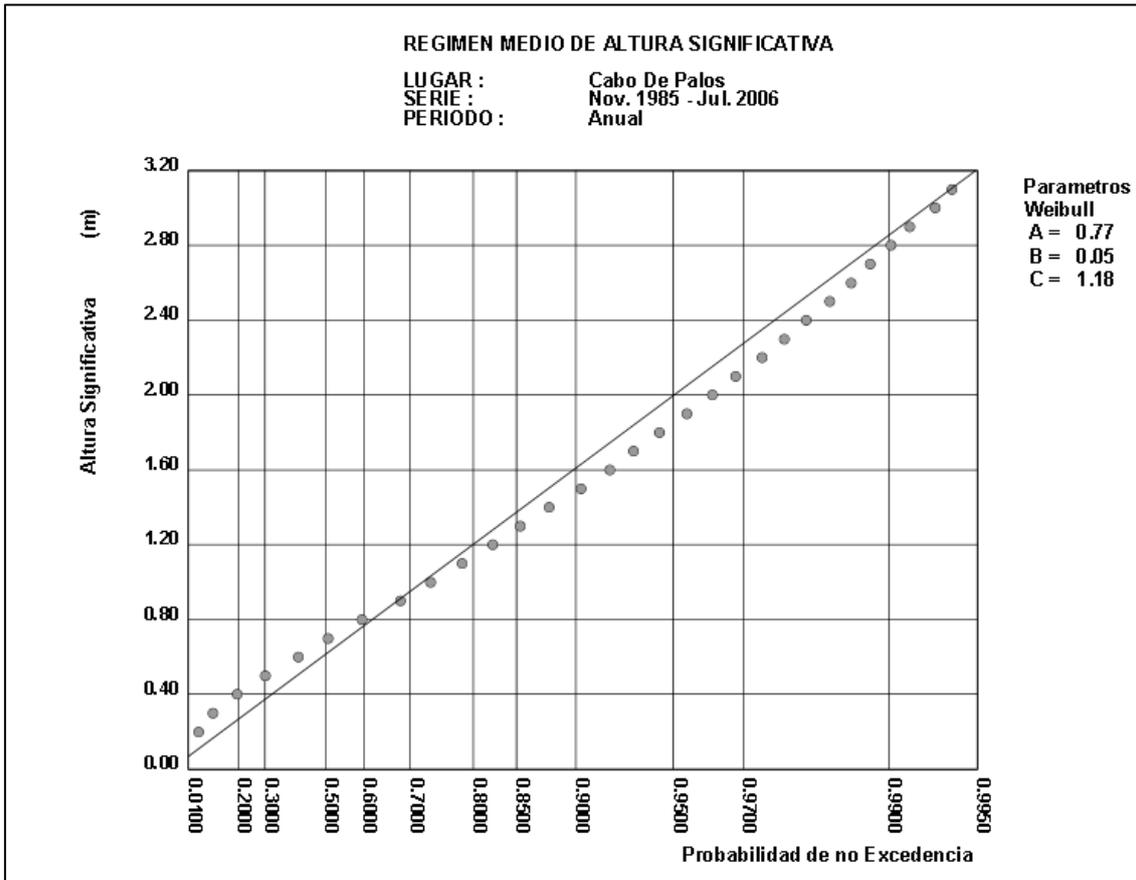
En una representación en forma de histograma no acumulado, el régimen medio vendría definido por aquella banda de datos en la que se contiene la masa de probabilidad que hay entorno al máximo del histograma.

El régimen medio se describe, mediante una distribución teórica que ajusta dicha zona media o central del histograma. La distribución elegida es Weibull, la expresión es la siguiente:

$$F_e(x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x-B}{A}\right)^C\right)$$



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad





➤ **Régimen extremal**

Un régimen extremal de oleaje es un modelo estadístico que describe la probabilidad con la que se puede presentar un temporal de una cierta altura de riesgo.

Con el fin de acotar el riesgo que corre una instalación, debido a la acción del oleaje, es necesario tener una estimación de la frecuencia o probabilidad con lo que se presentan temporales que superen una cierta altura significativa de ola.

- ❖ Se conoce **temporal** como aquella situación durante la cual la altura de ola supera cierto umbral, y el tiempo mínimo que transcurre entre la aparición de dos temporales independientes es de 5 días.
- ❖ **Probabilidad anual de Excedencia:** la probabilidad de que el mayor temporal ocurrido en un año tenga una altura significativa superior a un cierto valor H_a está dada por la siguiente expresión:

$$P_a(x) = 1 - e^{-\lambda(1-F_w(H_a))}$$

Donde:

- λ : número medio de temporales ocurridos en un año
- F_w : distribución Weibull de excedencias, cuya expresión es:

$$F_w(H_a) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{H_a - \alpha}{\beta}\right)^\gamma\right)$$

- ❖ **Periodo de retorno:** número de años que en promedio transcurren entre temporales que superan un cierto valor de altura significativa H_r , se denomina periodo de retorno T asociado a una altura de retorno H_r .

$$T_r = \frac{1}{P_a(H_r)}$$

Donde:

- P_a : probabilidad de excedencia

Si se sustituye P_a por su expresión se obtiene la siguiente relación:

$$H_r = \beta \left(-\ln\left(\frac{1}{\lambda T_r}\right)\right)^{\frac{1}{\gamma}} + \alpha$$

- ❖ **Vida útil y probabilidad de excedencia de la altura de diseño:** para garantizar un cierto nivel de seguridad en una obra expuesta a la acción del oleaje es necesario proyectarla de modo que esté acotada la probabilidad de que, durante un tiempo predeterminado, pueda fallar por excedencia de la altura de diseño. La especificación del grado de seguridad conduce a los siguientes conceptos:



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



- **Altura de diseño:** al proyectar una obra se dimensiona de modo que sea capaz de soportar la acción de temporales con altura menor o igual a la altura de diseño
- **Vida útil:** periodo de tiempo durante el cual es necesario garantizar la permanencia en servicio de una instalación. En el caso de una obra en ejecución la vida útil es el tiempo esperado para el desarrollo de la obra.
- **Probabilidad de excedencia:** la probabilidad de excedencia es la probabilidad de que al menos un temporal supere la altura de diseño dentro del tiempo de vida útil.

La determinación de la altura de diseño, y por tanto, el nivel de seguridad, se realiza especificando el valor admisible de la probabilidad de excedencia de la altura de diseño durante el tiempo de vida útil. A su vez la vida útil y la probabilidad de excedencia admisible se determinan en función de los costos económicos y sociales de un posible fallo.

La **probabilidad de excedencia** P_L de la altura de diseño H_d en una vida útil de L años viene dada por la relación:

$$P_L (H_d) = 1 - (1 - P_a(H_d))^L$$

El periodo de retorno T_r asociado a la altura de diseño H_d está ligado la probabilidad de excedencia de una vida útil de L años a través de la siguiente relación:

$$T_r = - \frac{L}{\ln(1 - P_L)}$$

- ❖ **Altura significativa y periodo pico en situación de temporal:** se supone que la altura significativa caracteriza de modo principal la severidad de un temporal. No obstante, la acción de un temporal sobre una estructura también depende del periodo de oleaje.

Por ello, una vez seleccionados los picos de temporal se establece una relación empírica entre el periodo pico y la altura significativa del oleaje ajustando por mínimos cuadrados una relación del tipo:

$$E(T_p) = \alpha H_s^c$$

Donde:

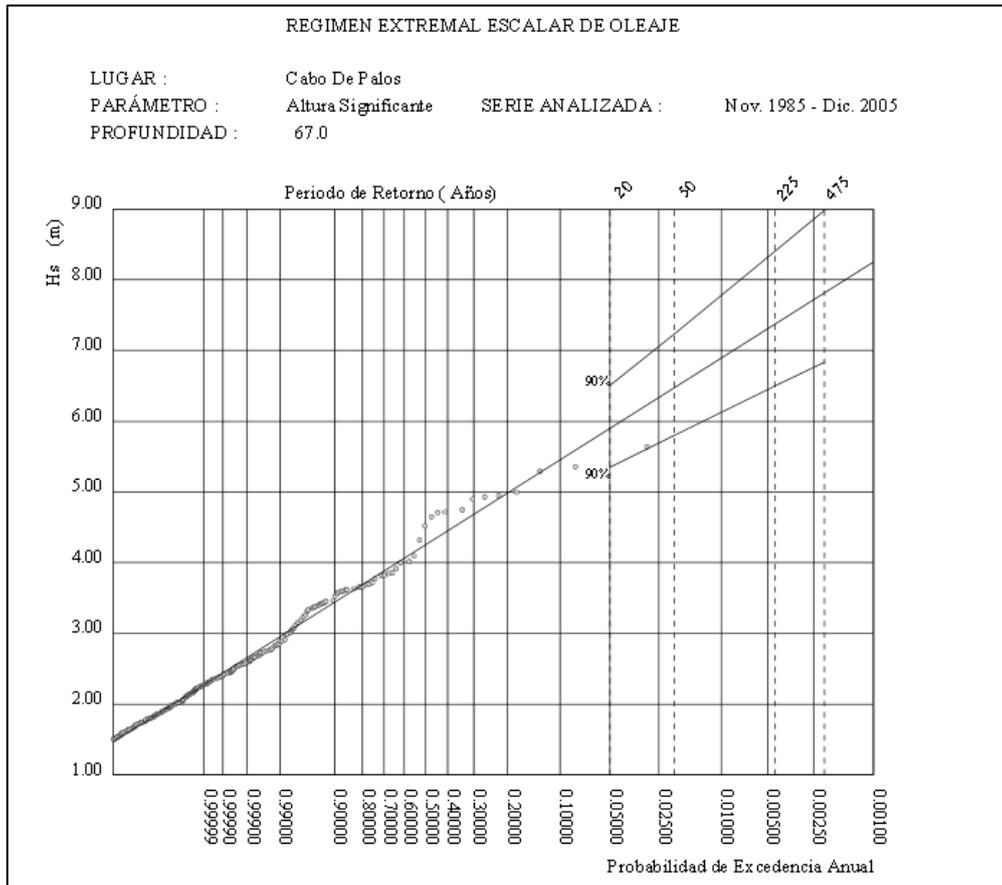
- $E(T_p)$: valor esperado o probable del periodo pico para el pico de un temporal de altura significativa H_s .



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



Por todo esto:



P. de Retorno (Años)	20.00	50.00	225.00	475.00
Estima Central de Hs (m)	5.90	6.47	7.38	7.82
Banda Sup. 90% Hs	6.51	7.23	8.40	8.99
Valor Esperado de Tp (s)	9.72	10.01	10.44	10.64
Prob. de Exc. en 20 Años	0.64	0.33	0.09	0.04
Prob. de Exc. en 50 Años	0.92	0.64	0.20	0.10

Parametros del Ajuste POT de Altura Significante

Umbral de Excedencia	1.50 (m)	Parametros de la	Alfa = 1.46
Num. Min. de Dias Entre Picos	5.00	Distribucion Weibull	Beta = 0.88
Num. Med. Anual de Picos(Lambda)	28.61	de Excedencias	Gamma = 1.14

Relacion entre Altura Significante (m) y Periodo de Pico (s)

$$T_p = 5.48 H_s^{0.32}$$



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



Para un periodo de retorno de 50 años, los datos en régimen extremal son los siguientes:

- Altura de ola significativa: $H_s = 6.47\text{m}$
- Periodo de pico: $T_p = 9.92\text{s}$
- Periodo significativo: $T_s = 0.95T_p = 9.42\text{s}$

A continuación, se determina el coeficiente de refracción-shoaling (propagación) K_r del oleaje, conforme a la Tabla 2.7.1 de la ROM 0.3-91 de Clima Marítimo, medido en la boya de Cabo de Palos, y que depende del periodo significativo asociado a dicha altura de ola:

- $H_s = 6.47\text{m}$
- $T_s = 9.42\text{s}$

TABLA 2.7.1: COEFICIENTES DE REFRACCIÓN-SHOALING (K_r) CORRESPONDIENTES A PROPAGACIONES DE OLEAJES DESDE AGUAS PROFUNDAS HASTA EL EMPLAZAMIENTO DE LOS PUNTOS DE MEDIDA ANALIZADOS

ÁREA	PUNTO DE MEDIDA	DIR ^{T(s)}	7	9	11	13	15	17	19
VI	CABO DE PALOS	NE	—	0,99	0,92	0,85	—	—	—
		ENE	—	0,99	0,95	0,85	—	—	—
		E	—	0,99	0,97	0,96	—	—	—
		ESE	—	0,99	0,97	0,94	—	—	—
		SE	—	0,99	0,96	0,94	—	—	—
		SSE	—	0,99	0,98	0,96	—	—	—
		S	—	0,99	0,98	0,97	—	—	—
		SSW	—	0,99	0,90	0,78	—	—	—

Haciendo la propagación para la dirección SW, se obtiene que la altura de ola de la boya costera de Cabo de Palos en profundidades indefinidas es la siguiente:

$$H_s = 6.47 * (1 / 0.971) = 6.66 \text{ m}$$



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



5. BASES DE PARTIDA



5. BASES DE PARTIDA

Este apartado tiene como objetivo obtener el oleaje de diseño que se utilizará para el diseño de las secciones tipo de diques de abrigo propuestas en este estudio.

➤ **Datos de partida:**

- Líneas batimétricas rectas y paralelas al dique (Hipótesis de Rayleigh)
- Dirección de incidencia del oleaje: SW (22. 5º la llegada perpendicular)
- Hs: 6.66 m
- Tr= 50 años
- Tp= 9.92 s

Los datos de altura de ola proceden de la boya, la cual se encuentra a una profundidad de 230 metros. El presente estudio tiene como objetivo la elección de la tipología de dique más económica en función de la profundidad, luego se necesita conocer la altura de ola que llega en un rango de profundidades de 7.5-60 metros.

El primer paso es clasificar el oleaje según su profundidad y longitud de onda.

d/L	<i>CLASIFICACIÓN</i>	
0 a $1/20$	AGUAS SOMERAS	$d \leq L/20$
$1/20$ a $1/2$	AGUAS INTERMEDIAS	$L/2 > d > L/20$
$1/2$ a ∞	AGUAS PROFUNDAS	$d \geq L/2$

Tabla 6. Clasificación en función de la profundidad y longitud de onda.

Con esta clasificación pueden realizarse las siguientes aproximaciones:



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



	AGUAS SOMERAS* $d \leq L/20$	AGUAS INTERMEDIAS* $L/2 > d > L/20$	AGUAS PROFUNDAS* $d \geq L/2$
Ecuación de la superficie libre	$\eta = a \cdot \text{sen}(k \cdot x - \omega \cdot t)$		
Velocidad de fase (Celeridad) $C =$	$\sqrt{g \cdot d}$	$\frac{g}{\omega} \cdot \text{tgh}(k \cdot d)$	$\frac{g}{\omega}$
Longitud de onda $L =$	$T \cdot \sqrt{g \cdot d}$	$\frac{g T^2}{2\pi} \cdot \text{tgh}\left(\frac{2\pi \cdot d}{L}\right)$	$\frac{g T^2}{2\pi}$
Frecuencia angular $\omega^2 =$	$g \cdot k^2 \cdot d$	$g k \text{tgh}(k \cdot d)$	$g k$
Celeridad de grupo $C_g =$	$\sqrt{g \cdot d}$	$\frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kd}{\text{senh}(2kd)} \right] \cdot C$	$\frac{g}{2\omega} = \frac{1}{2} \cdot C$
Comp. horizontal de velocidad $u =$	$a \sqrt{\frac{g}{d}} \text{sen}(kx - \omega t)$	$\frac{agk}{\omega} \cdot \frac{\cosh[k \cdot (d+z)]}{\cosh(k \cdot d)} \cdot \text{sen}(kx - \omega t)$	$a \cdot \omega \cdot e^{kz} \text{sen}(kx - \omega t)$
Comp. vertical de velocidad $w =$	$a \omega \left(1 + \frac{z}{d} \right) \cos(kx - \omega t)$	$-\frac{agk}{\omega} \cdot \frac{\text{senh}[k \cdot (d+z)]}{\cosh(k \cdot d)} \cdot \cos(kx - \omega t)$	$-a \cdot \omega \cdot e^{kz} \cos(kx - \omega t)$
Desp. horizontal de la partícula $\xi_{\omega} =$	$\frac{a}{\omega} \sqrt{\frac{g}{d}} \cos(kx - \omega t)$	$\frac{agk}{\omega^2} \cdot \frac{\cosh[k \cdot (d+z)]}{\cosh(k \cdot d)} \cdot \cos(kx - \omega t)$	$a \cdot e^{kz} \cos(kx - \omega t)$
Desp. vertical de la partícula $\zeta =$	$a \left(1 + \frac{z}{d} \right) \text{sen}(kx - \omega t)$	$-\frac{agk}{\omega^2} \cdot \frac{\text{senh}[k \cdot (d+z)]}{\cosh(k \cdot d)} \cdot \text{sen}(kx - \omega t)$	$-a \cdot e^{kz} \text{sen}(kx - \omega t)$
Presión (sobre la atmosférica) $\frac{P}{\rho \cdot g} =$	$\eta = -z$	$\eta \cdot \frac{\cosh[k \cdot (d+z)]}{\cosh(k \cdot d)} - z$	$\eta \cdot e^{kz} - z$

Tabla 7. Ecuaciones en función de la clasificación de aguas.

Se realiza el cálculo en **aguas profundas** (profundidades indefinidas):

$$L_0 = \frac{g T^2}{2\pi}$$

Donde:

- L_0 = longitud de onda (m)

Una vez conocido el valor de la longitud de onda, se procede a calcular la profundidad a la cual se produce la entrada a **aguas de transición** (profundidades intermedias)

$$h = \frac{L}{2}$$

En profundidades intermedias, la longitud de onda se obtiene despejando la ecuación de la dispersión:

$$\sigma^2 = gk \tanh(kh)$$

Donde:

- σ : frecuencia angular $\sigma = \frac{2\pi}{T}$
- k : número de onda $k = \frac{2\pi}{L}$



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



La altura de ola se calcula despejando la siguiente fórmula (donde se asume la hipótesis de Rayleigh que considera las líneas batimétricas rectas y paralelas al dique):

$$H_2 = H_1 \sqrt{\frac{C_{g,1}}{C_{g,2}}} \sqrt{\frac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2}}$$

Donde:

- $C_{g,1}$: celeridad de grupo 1 (aguas profundas)
- $C_{g,2}$: celeridad de grupo 2 (aguas intermedias)
- C : celeridad o velocidad de fase $C = \frac{L}{T}$

Al considerar las líneas batimétricas paralelas al dique, sólo se producirá asomeramiento, luego:

$$\sqrt{\frac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2}} = 1$$

A continuación, se muestran los resultados:

Prof.	Lo (a.prof.)	Lo (a.inter.)	Cg,1	Cg,2	Hs
7.5 m	153.6429	91.52 m	7.744	8.042	6.535
15 m	153.6429	107.98 m	7.744	8.863	6.225
20 m	153.6429	119.96 m	7.744	9.212	6.106
25 m	153.6429	128.93 m	7.744	9.289	6.080
30 m	153.6429	135.67 m	7.744	9.207	6.107
35 m	153.6429	140.71 m	7.744	9.042	6.163
40 m	153.6429	144.45 m	7.744	8.843	6.232
45 m	153.6429	147.19 m	7.744	8.642	6.304
50 m	153.6429	149.158 m	7.744	8.456	6.373
55 m	153.6429	150.556 m	7.744	8.295	6.434
60 m	153.6429	151.535 m	7.744	8.162	6.487

El presente estudio tiene como objetivo la elección de la tipología de dique más económica en función de la profundidad, luego se necesita conocer la altura de ola que llega en un rango de profundidades de 7.5-60 metros, para realizar el cálculo de las diferentes tipologías de dique se tomará un valor medio de altura de ola:

- **Hs = 6.275 m**



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



6. DIMENSIONAMIENTO SECCIÓN TIPO- DISEÑO NIVEL I



6. DIMENSIONAMIENTO SECCIÓN TIPO- DISEÑO NIVEL I

6.1. INTRODUCCIÓN

El propósito de este apartado es el dimensionamiento de las tipologías de dique en talud y vertical para las profundidades de 7.5 a 60 metros a partir de los datos obtenidos en el apartado de bases de partida y siguiendo lo descrito en la metodología de cálculo para cada tipología.

6.2. DISEÑO NIVEL I

El **diseño de nivel I**, utiliza valores de cálculo para las acciones de carga y las de resistencia, reglas de diseño para dimensionar los diferentes elementos de la estructura y asume que la obra es segura siempre que el margen de seguridad entre el valor característico de la resistencia y el valor de diseño de la acción sea suficientemente grande para todos los estados límites de todos sus elementos. En este estudio se emplearán los métodos deterministas que la ROM recoge como métodos de Nivel I. Con ello se consigue la definición geométrica y estructural de los elementos del dique.

Antes de comenzar con el cálculo de los diferentes elementos, es necesario definir el carácter general y operativo de la estructura, definido cada uno de ellos por una serie de índices.

6.2.1. CARÁCTER GENERAL

El carácter general de una obra se relaciona con la importancia de esa obra y la repercusión económica, social y ambiental producida en caso de destrucción o pérdida de funcionalidad. Se define mediante dos índices:

- IRE: índice de repercusión económica
- ISA: índice de repercusión social y ambiental

El IRE se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$IRE = \frac{C_{RD} + C_{RI}}{C_O}$$

Donde C_{RD} valora cuantitativamente las repercusiones económicas por la reconstrucción de la obra y C_{RI} , por cese o afección de las actividades económicas relacionadas con ella, en caso de producirse la destrucción o pérdida de la operatividad total. C_O es un parámetro económico de adimensionalización que toma valores de tres millones de euros.

A falta de un estudio de detalle, a continuación, se presenta un cálculo simplificado.

- C_{RD} se considera igual a la inversión inicial
- C_{RI} se estima cualitativamente mediante la siguiente expresión:



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



$$\frac{C_{RI}}{C_{RD}} = C * (A + B)$$

donde, A valora el ámbito del sistema económico y productivo, B la importancia estratégica del sistema económico y productivo, y, C la importancia de la obra para el sistema económico y productivo al que sirve (ROM 0.0-01). Estos coeficientes se han definido como:

- A = 5 (Nacional/Internacional)
- B = 5 (Esencial)
- C = 2 (Esencial)

$$C_{RI} = 3M * [2 * (5+5)] = 60M \text{ €}$$

Se obtiene un IRE de:

$$IRE = \frac{500M+60M}{3M} = 186.7 > 20 \text{ ---} \rightarrow \text{IRE ALTO}$$

El ISA se define como:

$$ISA = \sum_{i=1}^3 ISA_i$$

- ISA_1 : subíndice de posibilidad y alcance de pérdida de vidas de humanas.
- ISA_2 : subíndice de daños en el medio ambiente y en el patrimonio histórico-artístico
- ISA_3 : subíndice de alarma social (ROM0.0-01.)

Se han considera los siguientes valores:

- $ISA_1 = 3$ Bajo: la pérdida de vidas humanas es posible pero poco probable (accidental), afectando a pocas personas.
- $ISA_2 = 8$ Alto: daños irreversibles al ecosistema o pérdidas de unos pocos elementos muy importantes del patrimonio.
- $ISA_3 = 5$ Medio: alarma social mínima asociada a valores de los subíndices ISA_1 E ISA_2 altos.

$ISA = 3 + 8 + 5 = 16$; $5 < 16 < 20 \rightarrow$ Obras con repercusión social y ambiental baja

Una vez calculados los dos índices, se puede definir la vida útil y la probabilidad de fallo de la estructura siguiendo los criterios generales de proyecto de la ROM 0.0-01.

Se define la vida útil mínima en función del valor del IRE:

IRE	≤ 5	6 - 20	> 20
Vida útil en años	15	25	50

Tabla 8. Vida útil mínima en la fase de proyecto servicio (ROM 0.0-01).



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



En este caso, para un IRE tan alto, a la estructura le corresponde una vida útil mínima de 50 años.

Del mismo modo, la probabilidad de fallo de la estructura se determina a partir de la siguiente tabla:

ISA	< 5	5 -19	20 -29	≥ 30
$P_{f,EU}$	0.20	0.10	0.01	0.0001
$\beta_{f,EU}$	0.84	1.28	2.32	3.71

Tabla 9. Máxima probabilidad conjunta en la fase de servicio para los E.L.U (ROM 0.0-01).

El valor de ISA está asociado a una probabilidad de fallo del 10%.

6.2.2. CARÁCTER OPERATIVO

Mediante el carácter operativo de una obra se valoran las repercusiones económicas, sociales y el impacto ambiental producido cuando esta deja de operar o reduce su nivel de operatividad.

El carácter operativo se establece mediante dos índices:

- IREO: Índice de Repercusión Económica Operativo
- ISAO: Índice de Repercusión Ambiental Operativo

El IREO se evalúa mediante la expresión:

$$\text{IREO} = F * (D + E)$$

donde, D, E y F evalúan la simultaneidad, intensidad y adaptabilidad de la demanda a la situación de parada. Se han definido los siguientes valores:

- Coeficiente de simultaneidad: D = 5 (opera todo el año, periodos simultáneos)
- Coeficiente de intensidad: habría que analizar por terminales pero, en conjunto, se le ha dado un valor de E = 3(intensivo)
- Coeficiente de adaptabilidad: F = 1 (adaptabilidad media)

Así, el valor del IREO es:

$$\text{IREO} = 1 * (5 + 3) = 8 \rightarrow \text{Repercusión económica operativa media}$$



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



En cuanto al ISAO, se expresa como:

$$ISAO = \sum_{i=1}^3 ISAO_i$$

donde:

- ISAO₁: subíndice de posibilidad y alcance de pérdida de vidas humanas = 0.
- ISAO₂: subíndice de daños en el medio ambiente y en el patrimonio históricoartístico =4.
- ISAO₃: subíndice de alarma social = 0.

ISAO = 4 < 5 → **Sin repercusión social y ambiental significativa**

Una vez determinados ambos índices, se siguen los criterios de proyecto dependientes del carácter operativo:

IREO	≤ 5	6 - 20	> 20
Operatividad, $r_{f,ELO}$	0.85	0.95	0.99
β_{ELO}	1.04	1.65	2.32

Tabla 10. Operatividad mínima en la fase de servicio (ROM 0.0-01).

ISAO	< 5	5 -19	20 -29	≥ 30
Número	10	5	2	0

Tabla 11. Número medio de paradas operativas en el intervalo de tiempo (ROM 0.0-01)

	ISAO			
IREO	< 5	5 - 19	20 - 29	≥ 20
≤ 5	24	12	6	0
6 - 20	12	6	3	0
≥ 20	6	3	1	0

Tabla 12. Duración máxima probable (horas) (ROM 0.0-01).



6.3. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

El diseño de diques que hagan frente a la acción del oleaje se realiza utilizando formulaciones empíricas y semiempíricas. Algunas de las más usadas en ingeniería son Goda (2000) y Takahashi (1996) para diques verticales y Losada Giménez-Curto (1979) para diques en talud.

6.3.1. DIQUE VERTICAL

A continuación, se va a detallar el cálculo de los diques verticales. Uno de los requisitos esenciales del correcto diseño de los diques verticales es evitar que la ola rompa sobre el dique, se debería formar una onda estacionaria o parcialmente estacionaria. En caso de que la ola rompa, se producen presiones de impacto que producen mayores esfuerzos sobre el dique. Para tener en cuenta ambos efectos se definen diferentes formulaciones que se comentarán más adelante.

Asumiendo que se produce reflexión perfecta sobre el dique, se pueden producir dos situaciones extremas: (1) cresta de la onda estacionaria sobre el paramento vertical y (2) seno de la onda estacionaria sobre el paramento vertical.

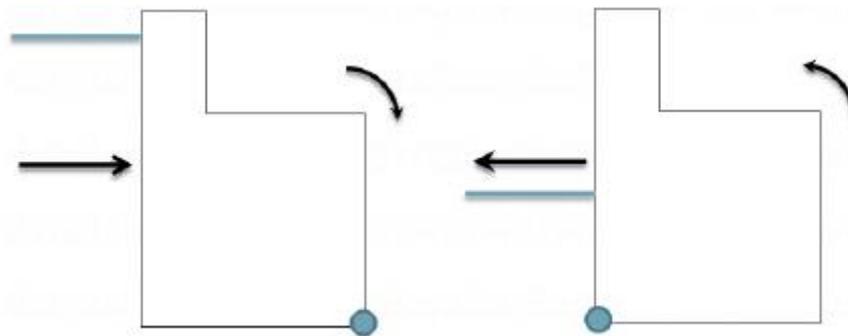


Figura 17. Situaciones extremas para las que debe garantizarse la estabilidad del dique.

En el primer caso se producen unas presiones totales sobre el dique que son superiores a las presiones hidrostáticas, mientras que en el segundo caso las presiones son menores. EL dique debe ser calculado para las dos condiciones extremas, aunque con frecuencia sólo se calcula para la cresta por considerarse que es la situación más desfavorable.



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



Por lo tanto, se dan dos situaciones desfavorables, una asociada a la presencia de la cresta y otra del seno sobre el paramento vertical. Ello proporciona dos esquemas de situaciones desfavorables al vuelco y al deslizamiento que se muestran en los siguientes esquemas:

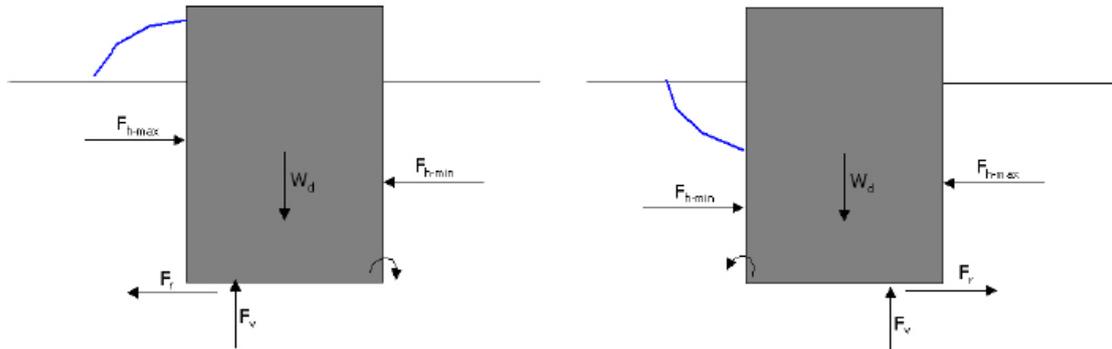


Figura 18. Esquema de fuerzas asociadas a cada una de las situaciones extremas.

Según lo expuesto, es necesario evaluar las distintas fuerzas verticales y horizontales que actúan sobre la sección, a partir de las cuales se estiman asimismo los momentos que ejercen dichas fuerzas sobre la sección respecto al punto más desfavorable. Asimismo, hay que considerar que una parte de la sección pueda estar sumergida.

Con todo esto, se establecen las ecuaciones de verificación (métodos de nivel I) y se evalúan los coeficientes de seguridad al vuelco y al deslizamiento, que se definirá como el cociente entre los términos favorables al no fallo y los desfavorables al no fallo. EL planteamiento es similar para el caso de coeficiente de seguridad al vuelco. En España, se suele imponer un valor de 1.5, aunque a veces con 1.2 es suficiente.

6.3.1.1. MÉTODO DE CÁLCULO

El cálculo de un dique vertical se basa en estimar las presiones y subpresiones que actúan sobre él.

El requisito esencial para el cálculo de esta tipología de dique es evitar que la ola rompa sobre el dique, ya que si rompe se producirían mayores esfuerzos sobre este. Por este motivo, la rotura de ola se convierte en uno de los factores más influyentes, y determinante para la elección del método de cálculo.



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



Se dispone de tres teorías principales:

- Teoría lineal
- Teoría de Goda
- Teoría de Takahashi

La elección de una u otra teoría viene determinada por el tipo de rotura de ola y la influencia de la berma de la estructura.

En este apartado se exponen los criterios para seleccionar el método de cálculo de los diques verticales. Para ello se recomienda seguir los siguientes pasos:

1. Rotura de la ola por fondo

- a) Estructura en profundidades reducidas, el criterio de rotura será el siguiente:

$$\frac{H_1}{h} = 0.69$$

Según el valor del cociente sea mayor o menor, la ola rompe o no rompe.

- b) Estructura en profundidades intermedias, el criterio de rotura será el siguiente:

$$\left(\frac{H_1}{L}\right)_{\max} = 0.11 \tanh(kh)$$

Es decir, se compara el el valor de H_1/L con $0.11 \tanh(kh)$ para la zona de estudio dada, y se tiene:

- Si $H_1/L > 0.11 \tanh(kh)$, la ola rompe.
- Si $H_1/L < 0.11 \tanh(kh)$, la ola no rompe.

Donde:

- H_1 = altura de ola (m)
- L = longitud de onda (m)
- h = profundidad a pie de dique (m)

Como conclusiones se tiene, que, si la ola rompe, se emplea la teoría de Takashaki para el cálculo de presiones sobre el dique. Ello se debe a que si la ola rompe, se producen fuertes presiones de impacto sobre el dique vertical cuyo cálculo preciso se recoge en la formulación de Takahashi. En el caso de que la ola no rompa por fondo, se pasa al siguiente punto: posibilidad de que la ola rompa por influencia de la berma.



2. Influencia de la berma

Los factores que influirán en la posible rotura son la profundidad y anchura relativas de la berma a pie de dique, vendrá dado por el valor de los parámetros $(h-d)/h$ y B_b/L , siendo h la profundidad a pie de dique, d la profundidad sobre la berma, B_b la anchura de berma y L la longitud de onda. Así, se tiene:

- Si $(h-d)/h < 0.3$, no influye la berma en la rotura de la ola
- Si $B_b/L < 0.01$, la ola no rompe

Así pues, para que se produzca la rotura de la ola, deben cumplirse ambos criterios de forma simultánea:

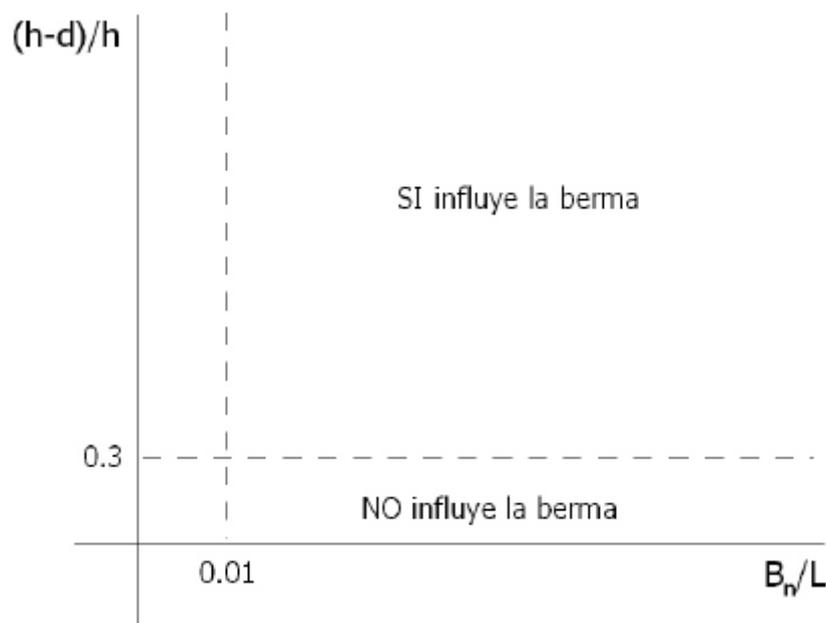


Figura 19. Influencia de la berma en la rotura de ola.

De este análisis se concluye que, si la berma induce la rotura de la ola, se emplea la teoría de Takahashi para el cálculo de las presiones sobre el dique. Los motivos son los mismos, aunque hay una diferencia respecto al caso de que la ola rompa por fondo: en este caso lo que sucede es que la ola está rompiendo justo a la altura del dique, es como si estuviese rompiendo directamente sobre el paramento.

En caso de que no rompa por presencia de la berma, pasamos al siguiente punto.



3. Gráfico general

Si la berma no influye ni induce a la rotura de la ola, en ese caso, se entra en el gráfico del que se obtiene la teoría que se debe emplear. No se puede usar directamente el gráfico porque no incluye el efecto de la berma:

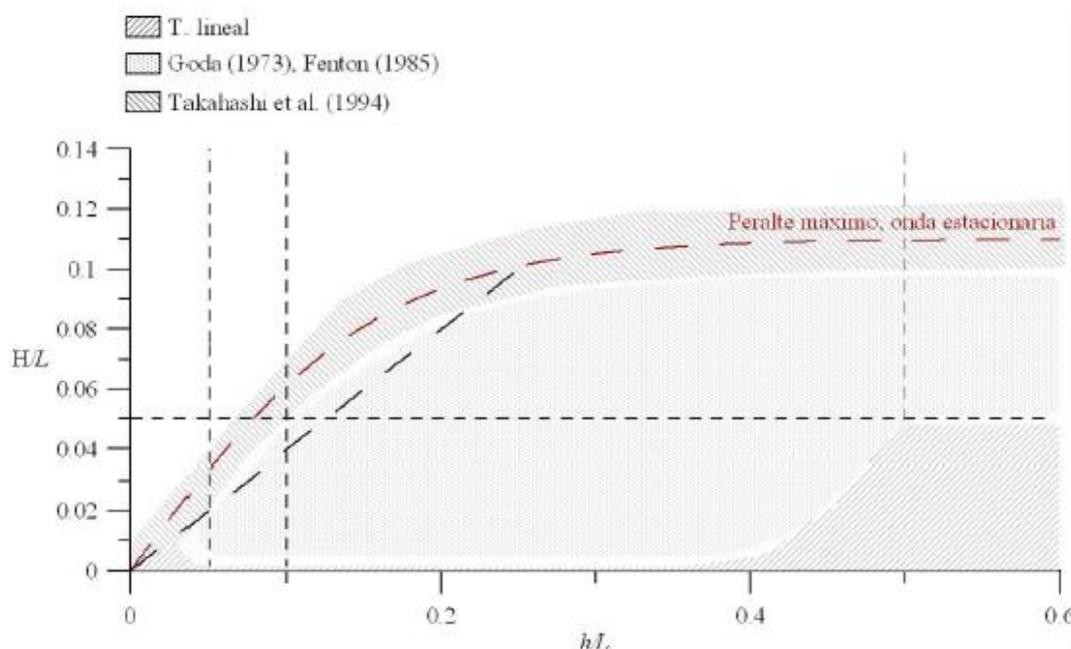


Figura 20. Teorías a emplear en el cálculo de la sección de dique vertical.

A continuación, se describen los pasos que, desde un punto de vista genérico, es necesario seguir para conocer el comportamiento de la ola en su interacción con el dique y seleccionar la teoría para el cálculo.

1. Se parte de conocer unos datos de oleaje en profundidades indefinidas (p.ej. boya de oleaje, datos de Puertos del Estado, etc.).
2. A partir de estos datos se elabora el régimen extremal de oleaje, que permite seleccionar la altura de ola significativa que se corresponde con un cierto periodo de retorno.
3. Dado el periodo de retorno, se selecciona dicha altura de ola, de forma que se sabe que la ola de cálculo vendrá caracterizada por $H = H_{max} = 1.8H_s$ y su periodo y dirección medias asociados.
4. La ola de cálculo (caracterizada por los parámetros anteriores) se propaga hasta la zona de estudio.



5. Se comprueba la rotura de ola por profundidad. Si rompe, se calculará el dique empleando el método de Takahashi et al.(1994). En caso contrario, se analiza si puede romper por presencia de la berma. Si lo hace, se calcula nuevamente con Takahashi et al.(1994). Sino lo hace se calcula con la teoría de Goda.

6.3.1.2. FÓRMULA DE GODA

Se asumen conocidos los valores de altura de ola máxima, periodo y dirección de propagación. Se define el ángulo β como la dirección de propagación ($\beta=15.87^\circ$, dato proporcionado por la boya).

La siguiente figura muestra el esquema de presiones sobre el paramento del dique vertical. Es importante tener claras las distintas distancias a considerar. En concreto, η_* se define como la máxima cota hasta la que actúa la presión dinámica, h se define a pie de dique y h_b se mide a una distancia del dique de 5 veces la altura de ola significativa. En este caso, se considera fondo plano, luego, $h = h_b$.

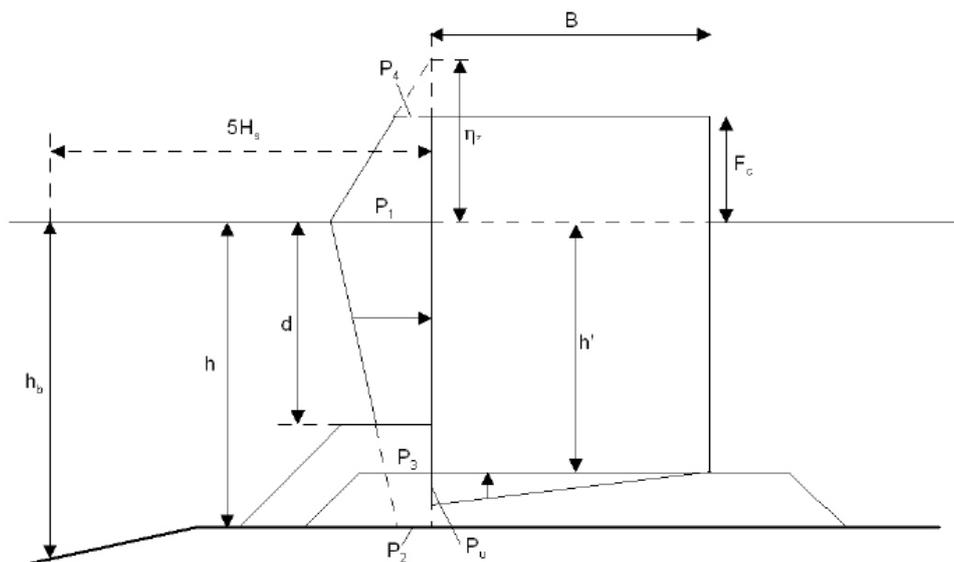


Figura 21. Diagrama de presiones sobre el paramento vertical.

Así pues, teniendo en cuenta lo anterior, el cálculo de las presiones se realiza como:

- Cota a la presión debida a la onda

$$\eta_* = 0.75 (1 + \cos \beta) H_{max}$$



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



- Presiones sobre el paramento vertical

$$p_1 = \frac{1}{2} (1 + \cos\beta) (\alpha_1 + \alpha_2 \cos^2\beta) \gamma_w H_{max}$$

$$p_2 = \frac{p_1}{\cosh kh}$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1$$

$$p_4 = \begin{cases} p_1 \left(1 - \frac{Fc}{\eta_*}\right) & \text{si } \eta_* > Fc \\ 0 & \text{si } \eta_* < Fc \end{cases}$$

$$p_u = \frac{1}{2} (1 + \cos\beta) \alpha_1 \alpha_3 \gamma_w H_{max}$$

Aunque se incluye el valor de p_2 , no es necesario para el cálculo de las fuerzas debidas a la onda. Los valores de los distintos coeficientes α_i son:

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left[\frac{4\pi \frac{h}{L}}{\sinh(4\pi \frac{h}{L})} \right]^2$$

$$\alpha_2 = \min \left\{ \frac{h_b - d}{3h_b} \left(\frac{H_{max}}{d} \right)^2, \frac{2d}{H_{max}} \right\}$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} \left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi \frac{h}{L})} \right]$$

6.3.1.3. FÓRMULA DE TAKAHASHI ET AL.(1994)

La fórmula de Takahashi es similar a la fórmula de Goda, con la diferencia de que presenta más parámetros relacionados con la berma. Se tendría:

- Cota que alcanza la presión debida a la onda

$$\eta_* = 0.75 (1 + \cos \beta) H_{max} \lambda_1$$



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



- Presiones sobre el paramento vertical

$$p_1 = \frac{1}{2} (1 + \cos\beta) (\alpha_1 \lambda_1 + \alpha^* \lambda_2 \cos^2\beta) \gamma_w H_{max}$$

$$p_2 = \frac{p_1}{\cosh kh}$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1$$

$$p_4 = \alpha_4 p_1$$

$$p_u = \frac{1}{2} (1 + \cos\beta) \alpha_1 \alpha_3 \gamma_w H_{max}$$

Los valores de los distintos parámetros son:

- Los valores λ_i dependen de la tipología de dique (ej. Dique vertical liso, dique ranurado, etc.) En este caso, se tomarán $\lambda_i = 1$.
- Los coeficientes α_i , $i = 1, 2, 3, 4$ serán:

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left[\frac{4\pi \frac{h}{L}}{\sinh(4\pi \frac{h}{L})} \right]^2$$

$$\alpha_2 = \min \left\{ \frac{h_b - d}{3h_b} \left(\frac{H_{max}}{d} \right)^2 \right\}, \frac{2d}{H_{max}}$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} \left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi \frac{h}{L})} \right]$$

$$\alpha_4 = 1 - \frac{h^* c}{\eta_*} \quad \text{siendo } h^* c = \min \{ \eta_* ; Fc \}$$

- Quedaría el valor de α^* , que será

$$\alpha^* = \max \{ \alpha_2, \alpha_I \} \quad \text{siendo } \alpha_I = \alpha_{I0} \alpha_{I1}$$



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



$$\alpha_{I0} = \begin{cases} \frac{H_{\max}}{d} & \text{si } H_{\max} \leq 2d \\ 2 & \text{si } H_{\max} > 2d \end{cases}$$

$$\alpha_{I1} = \begin{cases} \frac{\cos \delta_2}{\cosh \delta_1} & \text{si } \delta_2 \leq 0 \\ \frac{1}{\cosh \delta_1 (\cosh \delta_2)^{\frac{1}{2}}} & \text{si } \delta_2 > 0 \end{cases}$$

Siendo:

$$\delta_1 = \begin{cases} 20 \delta_{11} & \text{si } \delta_{11} \leq 0 \\ 15 \delta_{11} & \text{si } \delta_{11} > 0 \end{cases}$$

$$\delta_2 = \begin{cases} 4,9 \delta_{22} & \text{si } \delta_{22} \leq 0 \\ 3 \delta_{22} & \text{si } \delta_{22} > 0 \end{cases}$$

$$\delta_{11} = 0,93 \left(\frac{B_b}{L} - 0,12 \right) + 0,36 \left(\frac{h-d}{h} - 0,6 \right)$$

$$\delta_{22} = -0,36 \left(\frac{B_b}{L} - 0,12 \right) + 0,93 \left(\frac{h-d}{h} - 0,6 \right)$$



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



Para la estimación de α_{I1} se puede emplear directamente la siguiente figura:

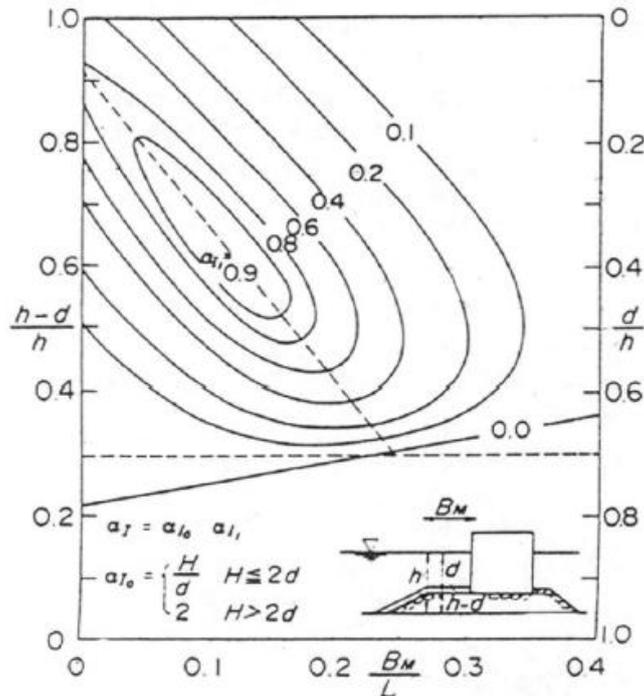


Figura 22. Valor del coeficiente α_{I1}

Se trata de un ábaco en el que entrando con el valor de $(h - d) / h$ y B_M/L , se interpola entre las distintas curvas y se obtiene el valor de α_{I1} . Posteriormente se multiplica por α_{I0} y se obtiene el valor de α_{I1} .

6.3.1.4. COEFICIENTES DE SEGURIDAD

Finalmente, una vez estimadas las presiones se calcularían las fuerzas y momentos (en el punto más desfavorable), a partir de los cuales se pueden calcular los coeficientes de seguridad al vuelco y al deslizamiento.

Deslizamiento:

$$C_s = \frac{\mu (W - F_v)}{F_H} > 1.4$$

Vuelco:

$$C_v = \frac{M_W - M_V}{M_H} > 1.4$$



6.3.1.5. BANQUETA DE APOYO

Las banquetas son la base de la cimentación para las estructuras marítimas de gravedad, están formadas por escolleras y/o todo-uno de cantera.

Las estructuras marítimas de gravedad son muy sensibles a las características de los materiales que forman la banqueta sobre la que apoyan ya que son un elemento estructural. Un material adecuado para construir el núcleo de la banqueta de cimentación es un todo-uno de cantera con las siguientes características:

- Las partículas con tamaño menor de 20 mm quedarán limitadas al 10% del peso del material.
- El peso máximo de las partículas no será superior a 5 kN.
- Las características físico-químicas serán las prescritas en el Pliego de Condiciones.

Los mantos de protección del núcleo de la banqueta de cimentación estarán formados por escolleras (naturales o artificiales), con pesos que les permitan mantener la estabilidad ante la acción del oleaje y/o de la agitación que producen las hélices de los barcos.

La estabilidad de la escollera de protección de la banqueta se comprueba mediante la formulación de Tanimoto et al. Se analiza la situación en la situación de bajamar por ser más desfavorable.

El número de estabilidad para las escolleras resulta:

$$N_s = \max \left\{ 1.8; \left(1.3 \frac{1-K}{K^{\frac{1}{3}}} \frac{h'}{H_{\frac{1}{3}}} + 1.8 \exp \left[-1.5 \frac{(1-K)^2}{K^{\frac{1}{3}}} \frac{h'}{H_{\frac{1}{3}}} \right] \right) \right\}$$

Siendo $K = K_1 K_2$

$$K_1 = \frac{\frac{4\pi h'}{L}}{\sinh \left(\frac{4\pi h'}{L} \right)}$$

$$K_2 = \text{sen}^2 \left(\frac{2\pi B}{L} \right)$$

- h' : profundidad por encima de la cimentación de escollera
- L: longitud de onda correspondiente a la profundidad h.



6.3.1.6. CAJONES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

La tipología de dique vertical escogida en este estudio es el dique de cajón prefabricado de hormigón.

Un cajón está constituido por los siguientes elementos:

- **Solera:** losa maciza de hormigón normalmente de planta rectangular.
- **Fuste:** prisma recto con aligeramiento en toda su altura. En planta la longitud del fuste suele coincidir con la de la solera.
- **Zapatas:** zonas voladas de la solera con respecto al fuste.

Los aligeramientos en el fuste hacen que el sólido resultante tenga una densidad inferior a la del agua y sea susceptible de flotar. Los aligeramientos pueden ser rectangulares, cuadrados y circulares.

Sus principales características dimensionales son las que se indican a continuación:

- Espesor de la solera: 0.40-1.00 m.
- Vuelo de las zapatas: 0.50-1.00 m.
- Espesor de las zapatas: normalmente se mantiene al mismo espesor que en la solera.
- Separación entre paredes interiores: 3.50-4.50 m.
- Espesor de las paredes exteriores: 0.40-0.60 m.
- Espesor de las paredes interiores: 0.20-0.30 m.

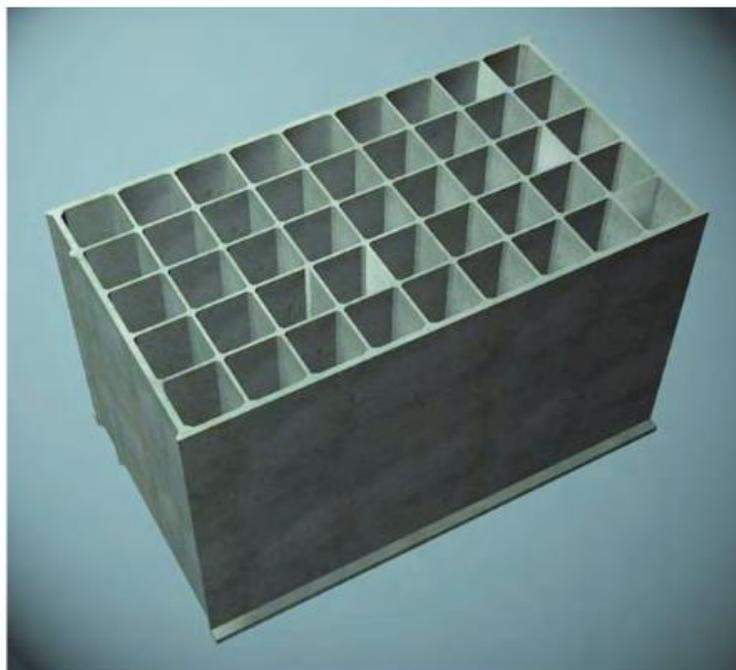


Figura 23. Cajón de celdas rectangulares.



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



▪ **Determinación de las dimensiones**

○ **Anchura o manga del cajón**

La anchura del cajón viene fundamentalmente determinada por las condiciones resistentes exigibles a la estructura, normalmente muelle o dique en que se van a utilizar los cajones. Esta comprobación suele hacerse por metro lineal de estructura y es independiente de la longitud del cajón. En otros casos la anchura del cajón puede fijarse por condiciones de estabilidad naval, calado máximo admisible, o condicionantes de explotación.

En general, como mínimo ha de cumplirse una relación manga/altura de cajón de 0.70.

○ **Longitud o eslora del cajón**

La longitud del cajón depende de los siguientes factores:

- Capacidad del dique flotante o instalación para la fabricación de los cajones.
- Condicionantes marítimos para su remolque y fondeo: corrientes, oleaje, viento, etc.
- Condicionantes impuestos por la posibilidad de asientos diferenciales del cimientó.

No es usual hacer cajones de menos de 25 metros de longitud.

○ **Altura del cajón**

La altura del cajón depende de los siguientes factores:

- Capacidad del dique flotante o instalación para la fabricación de los cajones.
- Estabilidad naval del cajón.
- Calado necesario para la botadura del cajón y calados existentes en su lugar de fabricación.
- Calado existente en su lugar de fondeo, y en la zona de transporte.

Generalmente, la **máxima altura** que puede tener un cajón es **34m**.

En cuanto a la manga y la eslora se tiene que:

$$\text{ESLORA} = (2 \cdot 0.5) + (n \cdot 4.4) + (n-1) \cdot 0.25$$

$$\text{MANGA} = (2 \cdot 0.5) + (m \cdot 4.4) + (m-1) \cdot 0.25$$

Donde:

- n = número de celdas en la eslora.
- m = número de celdas en la manga.

Cota de coronación para permitir unas condiciones de trabajo aceptables tanto en el relleno de sus celdas como en la construcción de la superestructura o espaldón en el caso del dique. A este respecto hay que tener en cuenta los posibles asientos del cajón que pueden ser importantes cuando la banqueta de asiento es de varios metros de espesor. También es importante, en el



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



caso de diques y estructuras expuestas, el oleaje existente en la zona de ubicación de las obras. En aguas abrigadas, se recomiendan las siguientes cotas mínimas de coronación:

- **Mediterráneo:** 1 metro sobre el nivel medio del mar.
- Cantábrico y Atlántico, salvo Canarias: 3-3.50 metros sobre la Bajamar Máxima Viva Equinoccial (B.M.V.E.).
- Canarias: 2-2.50 metros sobre la Bajamar Máxima (B.M.V.E).

Sin perjuicio de los valores mínimos anteriores, siempre que sea posible, los cajones se coronarán por encima de la pleamar, teniendo en cuenta los posibles asientos. La cota de coronación, en cualquier caso, deberá fijarse teniendo en cuenta la superestructura que debe llevar el atraque con el fin de que, tanto la cota de coronación del cajón como la superestructura, sean compatibles.

Para fijar la cota de coronación en aguas parcialmente o no abrigadas, además deberá tenerse en cuenta el régimen medio de oleaje en la zona de ubicación del dique, así como la operatividad admisible durante la fase de construcción asociada a condicionantes de trabajo aceptables.

En cualquier caso, los cajones en aguas parcialmente o no abrigadas deberán coronarse a mayor cota. Además, como precaución adicional, las celdas de los cajones situados en zonas parcialmente o no abrigadas, una vez rellenas, deberán sellarse con una losa de hormigón a modo de tapón para evitar que, en caso de temporales con rebases importantes, se introduzcan sobre las paredes interiores de los cajones, esfuerzos no previstos en el diseño.

6.3.2. DIQUE EN TALUD

El dique en talud se caracteriza por:

- Tener un núcleo central formado por todo-uno de cantera con peso entre 5 y 50-100 Kg, en el que interesa que no haya casi finos.
- Manto principal formado por piezas de escollera u hormigón cuya función principal es disipar la energía del oleaje sin que se produzcan daños estructurales
- Mantos secundarios que actúan como filtro entre el manto principal y el núcleo.

Por lo descrito anteriormente, el objetivo de un diseño de dique en talud es definir y dimensionar cada uno de los parámetros geométricos característicos de la sección:



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



➤ Tipos de piezas

Los mantos tanto principal como secundarios se constituyen por piezas que pueden ser de distintos materiales, pesos y formas. Como material se emplea la escollera (para pesos inferiores a 6 toneladas) y el hormigón. La forma de las piezas de escollera suele ser redondeada y con cantos angulosos mientras que en el caso del hormigón se suelen emplear cubos de hormigón.

Algunas de las piezas de hormigón más empleadas son los dolos y los tetrápodos.

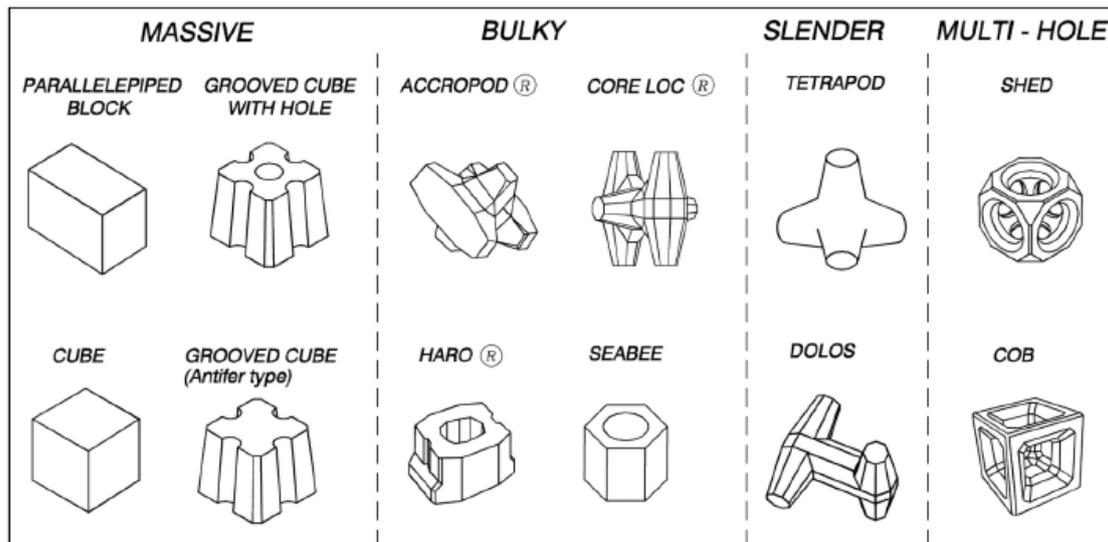


Figura 24. Ejemplo de algunas tipologías de piezas que se emplean para los diques en talud.

➤ Ascenso y descenso de la lámina de agua. Rebase

Cuando la ola rompe sobre el talud se produce ascenso y descenso de la lámina de agua. A este fenómeno se le conoce como run-up y run-down. Conocidos estos valores se sabe cuáles serán las cotas que alcanzará el agua en su ascenso y descenso por el talud (se muestra en la siguiente figura).

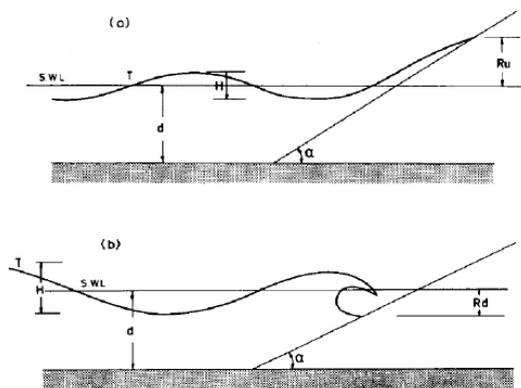


Figura 25. Ascenso (run-up) y descenso (run-down) de la lámina de agua sobre el talud.



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



Losada & Giménez-Curto (1979), propusieron a partir de ajustes de ensayos de laboratorio las siguientes expresiones:

$$\frac{R_u}{H_c} = A_u [1 - \exp(B_u I_r)] \quad \frac{R_d}{H_c} = A_d [1 - \exp(B_d I_r)]$$

Donde:

- $H_c = \min [H_d, \chi]$
- $0.02 = e^{-\left(\frac{\chi}{H_s/\sqrt{2}}\right)^2}$
→ χ : altura media de olas que no rebasan con una probabilidad del 98%
- $A_u B_u A_d B_d$ son coeficientes de ajuste que dependen de la porosidad y, por tanto, del tipo de pieza del manto principal, sus valores se muestran en la siguiente tabla:

Tipo de pieza	A_u	B_u	A_d	B_d
Escollera	1.80	-0.46	-1.10	0.30
Tetrápodos	0.93	-0.75	-0.80	-0.45
Dolos	0.70	-0.82	-0.75	-0.49
Cubos de hormigón	1.05	-0.67	-0.72	-0.42

Tabla 13. Coeficientes de ajuste.

R_u → Altura francobordo para la probabilidad de rebase considerada (2%)

➤ **Diseño manto principal**

Se asumen las siguientes hipótesis:

- La profundidad es suficientemente grande para eliminar la dependencia de la pendiente de fondo
- La colocación de las piezas es aleatoria
- El oleaje es regular y con incidencia normal

La estabilidad del manto principal se calculará considerando como principal modo de fallo la extracción de piezas del manto principal. Las variables que intervienen se describen a continuación:



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



○ **Características del medio:**

Profundidad, h	7.5-60 metros
Peso específico agua, γ_w	1.025 ton/m ³
Aceleración gravedad, g	9.81 m/m ²
Viscosidad dinámica, μ	0.7

○ **Características del oleaje incidente (las de cálculo):**

Altura de ola, Hs	6.275 m
Periodo, T	11 s

○ **Características de la estructura:**

Peso Manto Principal, W	toneladas
Peso específico material, γ_w	2.65 ton/m ³

El dique se construye con la tipología tradicional de diques en talud, luego se acepta que las características inferiores dependen de las de la superior. Se asume también que el tamaño de las piezas viene dado por el lado de cubo equivalente y que el espesor de mantos será proporcional a dicha longitud, tal que así:

$$l = \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} \quad e = 2l$$

A continuación, se resume el procedimiento para calcular el peso de las piezas del manto principal:

- Se define el estado de mar de cálculo, caracterizado por $H_d = 1.6 H_s$
- Se elige el tipo de pieza (para $H_{max} > 6$ se puede elegir directamente hormigón)
- Se elige la avería para la que se va a diseñar (inicio de avería)
- Se define la pendiente del talud (1.5:1 (H:V))
- Se calcula el número de Iribarren:

$$I_r = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H}{L}}}$$



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



- Se estima el valor de la función de estabilidad Ψ , cuyo valor depende del tipo de pieza y del número de Iribarren. La función de estabilidad Ψ se obtiene interpolando en la siguiente tabla:

$$\Psi = (\alpha, H, T, \text{tipo pieza}) = A_w (I_r - I_{r0}) e^{Bw (I_r - I_{r0})}$$

TIPO BLOQUE	axaxa			axax 1.5a			axax 2a		
	1.5	2.0	2.5	1.5	2.0	2.5	1.5	2.0	2.5
Inicio avería	0.060	0.047	0.043	—	—	0.084	0.120	—	0.116
Avería Iribarren	0.033	0.028	0.024	—	—	0.030	0.042	—	0.038
Destrucción	0.027	0.022	0.018	—	—	0.021	0.035	—	0.027

Tabla 14. Valores máximos de la función de estabilidad Ψ para bloques paralelepípedos. De Losada y Desiré (1985)

- Se obtiene el peso del manto principal según Losada & Giménez-Curto:

$$Wp = \gamma_w R \Psi H_d^3$$

- Se obtiene el espesor del manto principal a partir del lado del cubo equivalente, $e = 2 l =$

$$2 * \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3}$$

- $R = 1.06$ (hormigón)

➤ **Diseño mantos secundarios**

El diseño de los mantos secundarios se hace de forma que se garantice su estabilidad, lo que depende esencialmente de que la fricción entre las capas sea la adecuada y se evite el deslizamiento de alguna de ellas.

Así pues, se plantea que, por condición de filtro para que no se escape el material fino entre el más grueso, es suficiente con emplear una relación $Ws1 > Wp/20$, pero para tener la máxima estabilidad frente a deslizamiento de los mantos es recomendable emplear $Ws1=Wp/10$. Por conformidad y buena práctica, se suele emplear la relación $Ws1 = Wp/15$.

Así pues, el procedimiento para obtener los pesos de los diferentes mantos es, una vez calculado el peso del manto principal, se eligen los mantos secundarios de forma que:

$$Ws1 = \frac{Wp}{15} ; \quad Ws2 = \frac{Ws1}{15} ; \dots \text{ Núcleo}$$

➤ **Diseño de la berma de coronación**

Para las dimensiones de la berma se suelen usar los siguientes valores (normas de la buena práctica basadas en la experiencia):

- La cota de coronación se fija en $Ac = \frac{3}{4} Hs$
- La anchura de la berma, Bc es dos veces la longitud equivalente de las piezas del manto principal.



➤ **Estabilidad del espaldón**

En primer lugar, destacar que para el cálculo de la estabilidad del espaldón se seguirá el trabajo de Martín [Martín et al., 1999]. Estos autores presentaron un método diseñado para calcular el empuje sobre el espaldón generado por la acción de olas que no rompen directamente sobre el espaldón, es decir, aquellas que rompen antes de abordar el dique o bien rompen sobre el talud del mismo. Por ello, el método no debe ser usado en los casos en los que se estime que la ola impactará rompiendo sobre el espaldón. Asimismo, tampoco es válido para olas que rompan en voluta o descrestamiento.

Por ello, el espaldón de un dique en talud que se vea solicitado por olas rotas deberá ser capaz de soportarlas y, por tanto, deberá ser calculado a tales efectos. A continuación, se describe cómo realizar dicho cálculo.

▪ **Presiones dinámicas**

El espaldón se verá sometido a unas presiones horizontales y verticales (subpresiones). La ley de presiones horizontal se puede esquematizar por una ley rectangular que toma los siguientes valores:

$$\begin{aligned} P_{so}(z) : & \quad P_{so} \quad A_c < z < F_c \\ & \quad \lambda P_{so} \quad A_e < z < A_c \end{aligned}$$

siendo A_c la cota de la berma, F_c la cota del francobordo y la A_e la cota de cimentación del espaldón. Las subpresiones vendrán dadas por una ley triangular (valor λP_{so} a barlomar, y cero en el otro extremo de la base del espaldón).

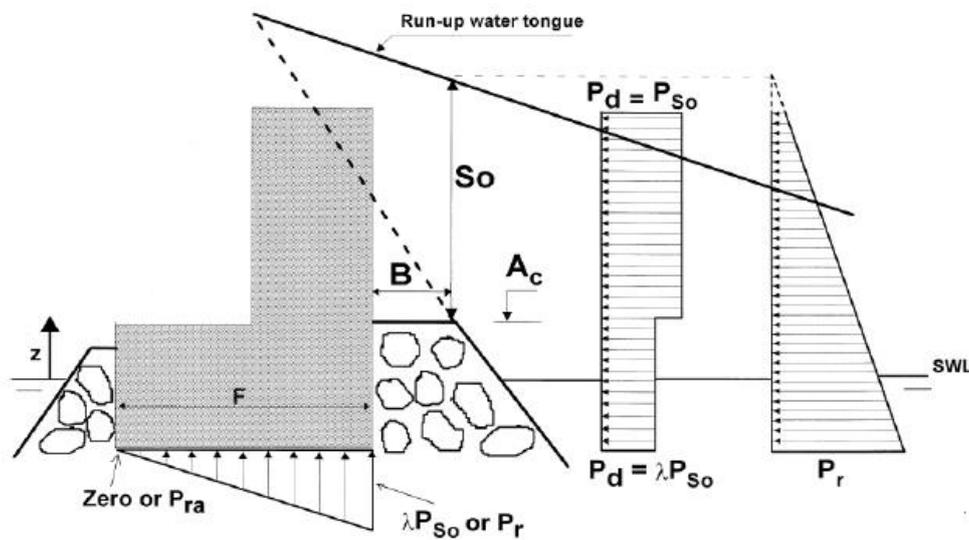


Figura 26. Modelado de los picos de presión que se producen cuando la ola rota impacta sobre el espaldón.

En realidad, se puede producir una cierta propagación del flujo por el medio poroso, en cuyo caso la ley de presiones puede no tomar valor cero en el extremo interior del espaldón. Esta situación no se va a considerar en este análisis.

Conociendo los valores de λ y P_{so} se pueden calcular las presiones y los esfuerzos a que se ve sometido el espaldón, y estimar por tanto la anchura necesaria para que sea estable frente al vuelco y al deslizamiento. Estos valores se obtienen de las siguientes expresiones:

$$P_{so} = \alpha o \gamma_w S_o$$

Donde αo es un parámetro adimensional, ρ es la densidad del agua y S_o es un parámetro geométrico relacionado con la altura de la lámina de agua sobre la berma. El valor de estos parámetros se obtiene de:

$$S_o = H_D \left(1 - \frac{A_c}{R_u}\right) \quad \lambda = 0.8 \exp\left(-10.9 \frac{B_m}{L}\right) \quad \alpha o = 2 C_f \left(\frac{R_u}{H_D} \cos(\alpha_s)\right)^2$$

Donde:

$$C_f = 1.45$$



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



➤ Cálculo de la estabilidad

Conocidas las presiones del pico de presiones dinámicas, el siguiente paso es determinar las fuerzas y momentos favorables y desfavorables al deslizamiento y al vuelco, estableciendo así los coeficientes de seguridad al vuelco y deslizamiento.

Deslizamiento:

$$C_s = \frac{\mu (W - F_v)}{F_H} > 1.4$$

Vuelco:

$$C_v = \frac{M_W - M_V}{M_H} > 1.4$$

6.4. CÁLCULO DEL DIQUE

6.4.1. DIQUE EN VERTICAL

Se asumen conocidos los valores de altura de ola máxima, periodo y dirección de propagación. Se define el ángulo β como la dirección de propagación ($\beta=15.87^\circ$, dato proporcionado por la boya).

Los datos de partida son:

Hd	6.275 m
L	122.3 m
K	0.051375186
h	(7.5-60) m
Fc	9 m
Hmax	11.30 m

Tabla 15. Datos de entrada para el cálculo del dique vertical.

El primer paso es comprobar la rotura de ola y en función de los resultados se seleccionará una formulación u otra (Takahashi o Goda).

Los criterios para seleccionar el método de cálculo de los diques verticales han sido explicados en el apartado de metodología de cálculo. A continuación, se muestran los resultados.



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



1) Rotura de ola por fondo

h(m)	0.11tanhkh	H/L	¿Rompe?	FÓRMULA
7.5	0.040404	0.092355	ROMPE	TAKAHASHI
8	0.042825	0.092355	ROMPE	TAKAHASHI
9	0.047522	0.092355	ROMPE	TAKAHASHI
10	0.052015	0.092355	ROMPE	TAKAHASHI
11	0.056295	0.092355	ROMPE	TAKAHASHI
12	0.060356	0.092355	ROMPE	TAKAHASHI
13	0.064194	0.092355	ROMPE	TAKAHASHI
14	0.067809	0.092355	ROMPE	TAKAHASHI
15	0.071202	0.092355	ROMPE	TAKAHASHI
16	0.074377	0.092355	ROMPE	TAKAHASHI
17	0.07734	0.092355	ROMPE	TAKAHASHI
18	0.080095	0.092355	ROMPE	TAKAHASHI
19	0.082652	0.092355	ROMPE	TAKAHASHI
20	0.08502	0.092355	ROMPE	TAKAHASHI
21	0.087206	0.092355	ROMPE	TAKAHASHI
22	0.089222	0.092355	ROMPE	TAKAHASHI
23	0.091076	0.092355	ROMPE	TAKAHASHI
24	0.092779	0.092355	NO ROMPE	GODA
25	0.094341	0.092355	NO ROMPE	GODA
26	0.095771	0.092355	NO ROMPE	GODA
27	0.097079	0.092355	NO ROMPE	GODA
28	0.098274	0.092355	NO ROMPE	GODA
29	0.099363	0.092355	NO ROMPE	GODA
30	0.100356	0.092355	NO ROMPE	GODA



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



h(m)	0.11tan^{1.5}kh	H/L	¿Rompe?	FÓRMULA
31	0.101261	0.092355	NO ROMPE	GODA
32	0.102083	0.092355	NO ROMPE	GODA
33	0.102831	0.092355	NO ROMPE	GODA
34	0.103511	0.092355	NO ROMPE	GODA
35	0.104127	0.092355	NO ROMPE	GODA
36	0.104687	0.092355	NO ROMPE	GODA
37	0.105194	0.092355	NO ROMPE	GODA
38	0.105654	0.092355	NO ROMPE	GODA
39	0.106071	0.092355	NO ROMPE	GODA
40	0.106449	0.092355	NO ROMPE	GODA
41	0.10679	0.092355	NO ROMPE	GODA
42	0.1071	0.092355	NO ROMPE	GODA
43	0.107379	0.092355	NO ROMPE	GODA
44	0.107633	0.092355	NO ROMPE	GODA
45	0.107862	0.092355	NO ROMPE	GODA
46	0.108069	0.092355	NO ROMPE	GODA
47	0.108256	0.092355	NO ROMPE	GODA
48	0.108425	0.092355	NO ROMPE	GODA
49	0.108578	0.092355	NO ROMPE	GODA
50	0.108716	0.092355	NO ROMPE	GODA
51	0.10884	0.092355	NO ROMPE	GODA
52	0.108953	0.092355	NO ROMPE	GODA
53	0.109055	0.092355	NO ROMPE	GODA
54	0.109147	0.092355	NO ROMPE	GODA
55	0.10923	0.092355	NO ROMPE	GODA
56	0.109305	0.092355	NO ROMPE	GODA
57	0.109372	0.092355	NO ROMPE	GODA
58	0.109434	0.092355	NO ROMPE	GODA
59	0.109489	0.092355	NO ROMPE	GODA
60	0.109539	0.092355	NO ROMPE	GODA

En el caso de que la ola no rompa por fondo, se pasa al siguiente punto, puede ser que la ola rompa por presencia de la berma.



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



2) Influencia de la berma

Los factores que influirán en la posible rotura son la profundidad y las anchuras relativas de la berma a pie de dique.

Se concluye que si $(h-d)/h < 0.3$, no influye la berma en la rotura de ola. Si los valores son superiores, influirá en la rotura y puede llegar a producirla.

A continuación, se muestran los resultados de la influencia de berma para las profundidades consideradas en este estudio.

h(m)	(h-d)/h
7.5	0.996119188
8	0.938110818
9	0.839987009
10	0.759857696
11	0.69293567
12	0.636035321
13	0.586953023
14	0.544113651
15	0.506358992
16	0.47281594
17	0.442811578
18	0.415816906
19	0.391408627
20	0.369242631
21	0.349035249
22	0.330549756
23	0.313586495
24	0.297975534
25	0.283571108
26	0.270247347
27	0.257894943
28	0.246418502
29	0.235734413
30	0.225769111



*Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad*



h(m)	(h-d)/h
31	0.216457639
32	0.207742455
33	0.199572423
34	0.191901964
35	0.184690335
36	0.17790101
37	0.171501157
38	0.193303758
39	0.213988277
40	0.23363857
41	0.252330313
42	0.270131972
43	0.287105647
44	0.303307791
45	0.31878984
46	0.333598757
47	0.347777507
48	0.361365475
49	0.374398833
50	0.386910856
51	0.398932212
52	0.410491208
53	0.421614015
54	0.432324867
55	0.442646233
56	0.452598979
57	0.462202505
58	0.471474876
59	0.480432929
60	0.48909238

Para la mayoría de las profundidades, la berma influye en la rotura de ola, por lo tanto, se emplea la **teoría de Takahashi et al. (1994)** para el cálculo de presiones sobre el dique.



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



En cuanto a los datos necesarios para el cálculo de la sección se asume:

DATOS CAJÓN	
Altura máxima	34 m
Relación mínima teórica manga/altura	0.7
Tamaño celdas	4.4 m
Número de celdas en eslora	9
Espesor interior de celdas	0.25 m

DATOS BANQUETA	
Altura mínima	4 m
Inclinación de talud	2:1 H:V
Berma en coronación	4 m

PESO ESPECÍFICO (kN/m ³)	
Relleno	19.00
Hormigón	26.50
Agua	10.25

Se tendría:

- Cota que alcanza la presión debida a la onda

h(m)	n* (m)
7.5	16.61962
8	16.57795
9	16.53381
10	16.48721
11	16.43817
12	16.38671
13	16.33284
14	16.27657
15	16.21792
16	16.15691
17	16.09357
18	16.0279
19	15.95992
20	15.88967
21	15.81716
22	15.74241



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



h(m)	n
23	15.66544
24	15.58629
25	15.50496
26	15.4215
27	15.33592
28	15.24824
29	15.1585
30	15.06673
31	14.97294
32	14.87718
33	14.77946
34	14.67982
35	14.57829
36	14.4749
37	14.36969
38	14.26267
39	14.15389
40	14.04338
41	13.93117
42	13.8173
43	13.7018
44	13.58471
45	13.46606
46	13.34589
47	13.22424
48	13.10113
49	12.97662
50	12.85073
51	12.72351
52	12.59499
53	12.46522
54	12.33423
55	12.20207
56	12.06877
57	11.93437
58	11.79892
59	11.66245
60	11.52501



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



➤ Presiones sobre el paramento vertical

h(m)	p1	p2	p3	p4	pu
7.5	115.4439	107.3741	111.678	52.92772	10.84431
8	122.5038	112.8384	117.6711	55.99771	10.62779
9	136.6941	123.2796	129.2416	62.28614	10.20166
10	150.5754	132.6774	139.8366	68.37967	9.756161
11	164.1264	141.0045	149.4125	74.26619	9.29939
12	177.3231	148.2469	157.9389	79.9327	8.838665
13	181.9601	147.7615	158.2841	81.69331	8.380382
14	149.4709	117.6929	126.7723	66.82212	7.929932
15	129.4031	98.63627	106.8408	57.59194	7.491679
16	115.9643	85.43738	93.0691	51.36786	7.068991
17	106.3661	75.63739	82.86767	46.88301	6.664318
18	99.14827	67.95922	74.89012	43.47443	6.279288
19	93.49311	61.69273	68.38755	40.77118	5.914819
20	88.91664	56.41951	62.91894	38.55375	5.571243
21	85.11833	51.87996	58.21108	36.6858	5.248422
22	81.90329	47.90515	54.08663	35.07884	4.945852
23	79.13994	44.38012	50.42531	33.67302	4.662766
24	76.73596	41.22332	47.14209	32.42627	4.398215
25	74.62419	38.37461	44.17454	31.30789	4.151137
26	72.75411	35.78811	41.47519	30.29475	3.920413
27	71.08651	33.42781	39.00688	29.36884	3.704913
28	69.59015	31.26471	36.73978	28.51582	3.503525
29	68.23957	29.27503	34.64945	27.72395	3.315179
30	67.0136	27.43894	32.71556	26.98351	3.138863
31	65.89442	25.73972	30.92097	26.28632	2.973632
32	64.86682	24.16316	29.25112	25.62541	2.818615
33	63.91773	22.69705	27.69349	24.99482	2.673009
34	63.03589	21.33084	26.23732	24.38944	2.536085
35	62.21149	20.0554	24.87324	23.80484	2.407179
36	61.43602	18.86277	23.59313	23.23721	2.285692
37	60.7021	17.74596	22.38987	22.68325	2.171082
38	60.08306	16.72104	22.42657	22.16958	2.173447
39	59.4801	15.75467	22.48166	21.65864	2.177791



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



h(m)	p1	p2	p3	p4	pu
40	58.89012	14.84315	22.55137	21.14913	2.183733
41	58.31038	13.98308	22.63231	20.63995	2.19093
42	57.73855	13.17134	22.72146	20.13013	2.199079
43	57.17257	12.40507	22.81612	19.6189	2.207906
44	56.61073	11.68164	22.91391	19.10559	2.21717
45	56.05153	10.99859	23.01271	18.58967	2.226657
46	55.49376	10.35367	23.11065	18.07072	2.236175
47	54.93636	9.744746	23.20608	17.5484	2.245557
48	54.37851	9.169852	23.29756	17.02245	2.254653
49	53.8195	8.627134	23.38383	16.49271	2.263335
50	53.2588	8.114851	23.46379	15.95904	2.271487
51	52.69597	7.631366	23.53652	15.42137	2.279012
52	52.13069	7.175133	23.6012	14.87968	2.285822
53	51.56272	6.744694	23.65716	14.33398	2.291845
54	50.99192	6.338668	23.70382	13.78431	2.297017
55	50.41817	5.955748	23.74072	13.23074	2.301285
56	49.84145	5.594695	23.76747	12.67335	2.304605
57	49.26177	5.254335	23.78378	12.11226	2.306941
58	48.67916	4.933553	23.78942	11.54757	2.308263
59	48.0937	4.631293	23.78422	10.97943	2.308548
60	47.50551	4.346549	23.76808	10.40797	2.30778

Finalmente, una vez estimadas las presiones se calcularían las fuerzas y momentos a partir de los cuales se pueden calcular los coeficientes de seguridad al vuelco y al deslizamiento. Los cálculos de las fuerzas y momentos sobre el dique se incluyen en los anejos.

A continuación, se muestran los resultados de los coeficientes de seguridad.



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



- Coeficiente de seguridad frente a deslizamiento:

DESLIZAMIENTO			
h(m)	μ	Cs	¿Cumple?
7.5	0.7	0.358945	NO CUMPLE
8	0.7	0.344418	NO CUMPLE
9	0.7	0.318119	NO CUMPLE
10	0.7	0.29645	NO CUMPLE
11	0.7	0.521298	NO CUMPLE
12	0.7	0.492655	NO CUMPLE
13	0.7	0.489634	NO CUMPLE
14	0.7	0.607399	NO CUMPLE
15	0.7	0.714511	NO CUMPLE
16	0.7	0.811636	NO CUMPLE
17	0.7	1.31838	CUMPLE
18	0.7	1.438719	CUMPLE
19	0.7	1.551689	CUMPLE
20	0.7	1.658976	CUMPLE
21	0.7	1.761808	CUMPLE
22	0.7	1.861055	CUMPLE
23	0.7	2.577136	CUMPLE
24	0.7	2.700445	CUMPLE
25	0.7	2.820768	CUMPLE
26	0.7	2.938386	CUMPLE
27	0.7	3.053513	CUMPLE
28	0.7	3.166327	CUMPLE
29	0.7	3.27699	CUMPLE
30	0.7	4.199605	CUMPLE
31	0.7	4.33209	CUMPLE
32	0.7	4.462497	CUMPLE
33	0.7	4.591034	CUMPLE
34	0.7	4.717915	CUMPLE
35	0.7	4.843357	CUMPLE
36	0.7	5.930245	CUMPLE
37	0.7	6.077335	CUMPLE
38	0.7	6.132267	CUMPLE
39	0.7	6.185816	CUMPLE
40	0.7	6.238393	CUMPLE



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



DESLIZAMIENTO			
h(m)	μ	Cs	¿Cumple?
40	0.7	6.238393	CUMPLE
41	0.7	6.290385	CUMPLE
42	0.7	6.342146	CUMPLE
43	0.7	6.394009	CUMPLE
44	0.7	6.446278	CUMPLE
45	0.7	6.499235	CUMPLE
46	0.7	6.553142	CUMPLE
47	0.7	6.608238	CUMPLE
48	0.7	6.664749	CUMPLE
49	0.7	6.722881	CUMPLE
50	0.7	6.782831	CUMPLE
51	0.7	6.844782	CUMPLE
52	0.7	6.90891	CUMPLE
53	0.7	6.975381	CUMPLE
54	0.7	7.044357	CUMPLE
55	0.7	7.115994	CUMPLE
56	0.7	7.190448	CUMPLE
57	0.7	7.267872	CUMPLE
58	0.7	7.348418	CUMPLE
59	0.7	7.432241	CUMPLE
60	0.7	7.519498	CUMPLE



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



- Coeficiente de seguridad frente a vuelco:

VUELCO		
h(m)	Cs	¿Cumple?
7.5	0.129359	NO CUMPLE
8	0.115623	NO CUMPLE
9	0.093945	NO CUMPLE
10	0.078239	NO CUMPLE
11	0.237436	NO CUMPLE
12	0.20475	NO CUMPLE
13	0.192422	NO CUMPLE
14	0.25609	NO CUMPLE
15	0.312074	NO CUMPLE

VUELCO		
h(m)	Cs	¿Cumple?
16	0.359696	NO CUMPLE
17	0.859104	NO CUMPLE
18	0.93129	NO CUMPLE
19	0.99247	NO CUMPLE
20	1.044702	NO CUMPLE
21	1.089575	NO CUMPLE
22	1.128297	NO CUMPLE
23	2.015296	CUMPLE
24	2.065324	CUMPLE
25	2.108522	CUMPLE
26	2.145704	CUMPLE
27	2.177565	CUMPLE
28	2.204708	CUMPLE
29	2.227674	CUMPLE
30	3.457828	CUMPLE
31	3.482402	CUMPLE
32	3.502622	CUMPLE
33	3.51906	CUMPLE
34	3.532241	CUMPLE
35	3.542641	CUMPLE
36	5.060578	CUMPLE
37	5.069212	CUMPLE



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



38	5.121434	CUMPLE
39	5.172598	CUMPLE
40	5.223066	CUMPLE
41	5.27318	CUMPLE
42	5.323257	CUMPLE
43	5.373595	CUMPLE
44	5.424471	CUMPLE
45	5.47614	CUMPLE
46	5.528844	CUMPLE
47	5.582806	CUMPLE
48	5.638238	CUMPLE
49	5.695338	CUMPLE
50	5.754296	CUMPLE

VUELCO		
h(m)	Cs	¿Cumple?
51	5.815292	CUMPLE
52	5.878503	CUMPLE
53	5.944096	CUMPLE
54	6.012241	CUMPLE
55	6.083102	CUMPLE
56	6.156844	CUMPLE
57	6.233635	CUMPLE
58	6.313644	CUMPLE
59	6.397045	CUMPLE
60	6.484017	CUMPLE

Para las profundidades 7.5-22 metros los coeficientes de seguridad no superan los límites exigidos, esto se soluciona aumentando la relación manga/ altura de cajón, consiguiendo de esta manera más manga, la cual dotará al cajón de mayor estabilidad.

Una vez aumentada la relación manga/altura para las profundidades 0-22 metros, se obtienen los siguientes resultados de coeficientes de seguridad:



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



DESlizAMIENTO				VUELCO		
h(m)	μ	Cs	¿Cumple?	h(m)	Cs	¿Cumple?
7.5	0.7	1.307887	CUMPLE	7.5	1.805431	CUMPLE
8	0.7	1.253052	CUMPLE	8	1.600688	CUMPLE
9	0.7	1.433343	CUMPLE	9	1.983431	CUMPLE
10	0.7	1.332952	CUMPLE	10	1.634541	CUMPLE
11	0.7	1.492743	CUMPLE	11	1.968565	CUMPLE
12	0.7	1.639167	CUMPLE	12	2.289761	CUMPLE
13	0.7	1.855948	CUMPLE	13	2.790178	CUMPLE
14	0.7	1.454311	CUMPLE	14	1.477595	CUMPLE
15	0.7	1.710223	CUMPLE	15	1.79799	CUMPLE
16	0.7	1.565321	CUMPLE	16	1.343424	CUMPLE
17	0.7	2.154212	CUMPLE	17	2.2981	CUMPLE
18	0.7	1.894673	CUMPLE	18	1.616818	CUMPLE
19	0.7	2.043344	CUMPLE	19	1.722659	CUMPLE
20	0.7	2.184532	CUMPLE	20	1.812978	CUMPLE
21	0.7	2.319854	CUMPLE	21	1.890542	CUMPLE
22	0.7	2.450456	CUMPLE	22	1.957448	CUMPLE

Ahora sí, en todos los casos los coeficientes de seguridad superan los límites exigidos, por lo tanto, no se presentan problemas de estabilidad para las profundidades estudiadas.

Finalmente, el dique asentará sobre una banqueta de apoyo la cual tendrá una altura distinta para cada profundidad, una inclinación de 2:1 (H: V) y estará formada por un núcleo de material todo-uno protegido por un manto de dos capas de escollera de distinto peso y espesor.

Los cálculos de las dimensiones de banqueta, cajón y manto de protección correspondientes a cada profundidad se incluyen en los anejos.

A continuación, se muestra la sección tipo final del dique vertical:



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad

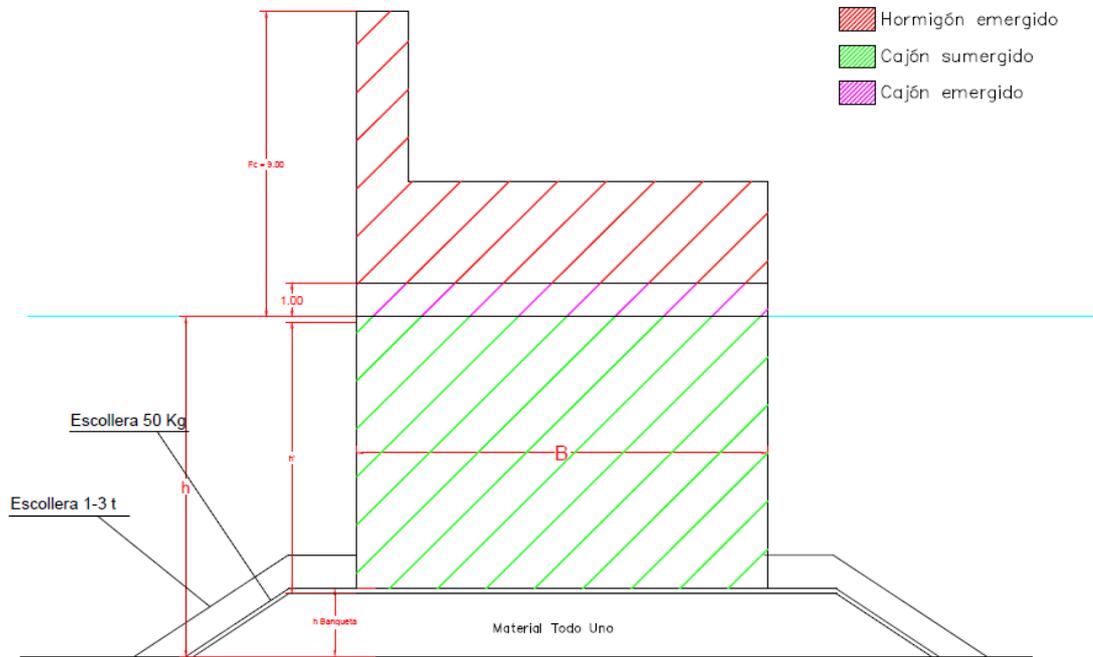


Figura 27. Sección dique vertical.



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



6.4.2. DIQUE EN TALUD

Se procede al cálculo de un dique en talud no rebasable con espaldón, siguiendo la metodología descrita anteriormente. El talud del dique tiene una inclinación de 1.5:1 (H:V) y el manto principal está formado por cubos de hormigón.

Los datos de partida (calculados en apartados anteriores) son los siguientes:

Hs	6.275m
T	11 s
L	123.22 m

Con los datos y la metodología de cálculo descrita anteriormente se diseñan todos los elementos que componen la sección del dique en talud. Los resultados se muestran a continuación:

➤ **Manto principal**

Datos necesarios para el diseño:

Peso específico agua	1.025 ton/m ³
R	1.06
ψ	0.0535
Hd	10.04 m

Resultados:

I_r	5.95095	
I_{ro}	1.769333	
Espesor, e	5.85 m	2 capas de 2.925 m c/u
Peso, W	58.83 ton	

➤ **Mantos secundarios**

Se comprueba la necesidad de manto secundario:

$$\frac{1}{20} < \frac{W_{s1}}{W_p} < \frac{1}{10}$$

Una vez calculado el peso del manto principal, se eligen los mantos secundarios de forma que:

$$W_{s1} = \frac{W_p}{15} ; W_{s2} = \frac{W_{s1}}{15} ; \dots \text{ Núcleo}$$



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



Resultados:

Ws1	3.92 ton
e	2.28 m
l	1.14 m
Ws2	0.261 ton
e	0.924 m
l	0.462 m

En la siguiente figura se esquematiza como queda la disposición de los mantos exteriores del dique:

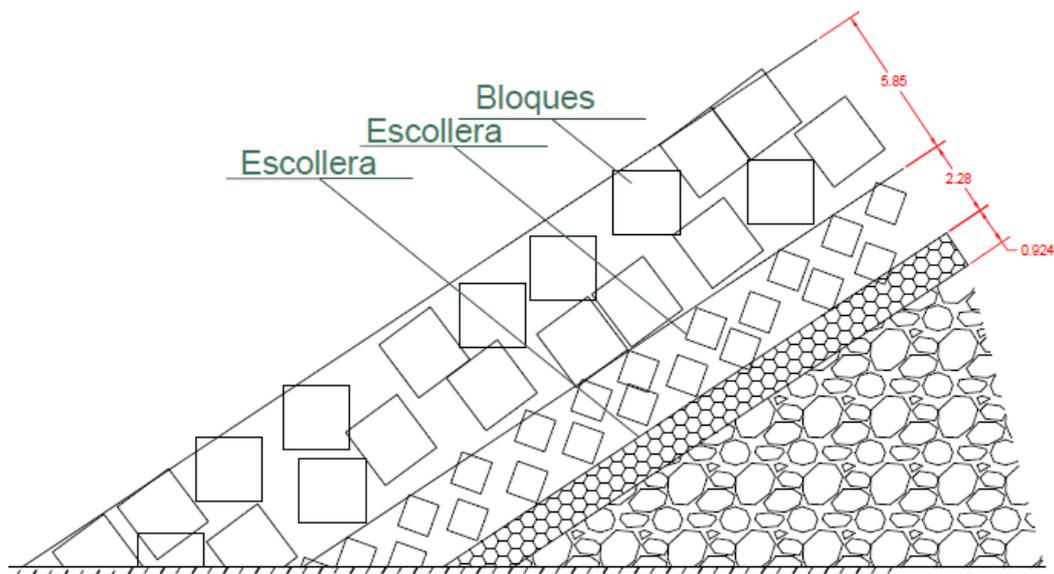


Figura 28. Disposición de los mantos exteriores.



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



➤ **Ascenso y descenso de la lámina de agua. Rebase**

Siguiendo el procedimiento descrito en metodología de cálculo se obtienen los siguientes resultados:

Run Up (Ru)	
A_u	1.05
B_u	-0.67
H_s	6.275 m
H_d	10.04 m
χ	8.776 m
H_c	8.776 m
R_u/H_c	0.867
R_u	8 m

Run Down (Rd)	
A_d	-0.72
B_d	-0.42
Min[Hc,Hd]	8.776057 m
$R_d/\text{Min}[H_c,H_d]$	-0.47921 m
R_d	-4.205 m

➤ **Diseño de la berma de coronación**

Berma de coronación	
A_c	4.7 m
B_c	6 m
l_p	3 m

➤ **Estabilidad del espaldón**

Siguiendo lo descrito en la metodología de cálculo se obtienen los siguientes resultados:

Estabilidad espaldón	
C_f	1.45
λ	0.643
α	1.274
S_o	3.30 m
P_{so}	43.03 kN/m ²
λP_{so}	27.68 kN/m ²

Con los datos calculados hasta ahora se puede dimensionar el espaldón. Para la definición geométrica de este se fijan las alturas de cada parte en función de los espesores de cada manto, por lo tanto, la altura del espaldón por el lado de sotamar coincide con el espesor del manto secundario, y por otro lado, la altura del espaldón en barlomar es la suma de los espesores de manto principal y secundario, más el S_o .



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



La variable de diseño será el ancho total del espaldón tal y como se muestra en la siguiente figura:

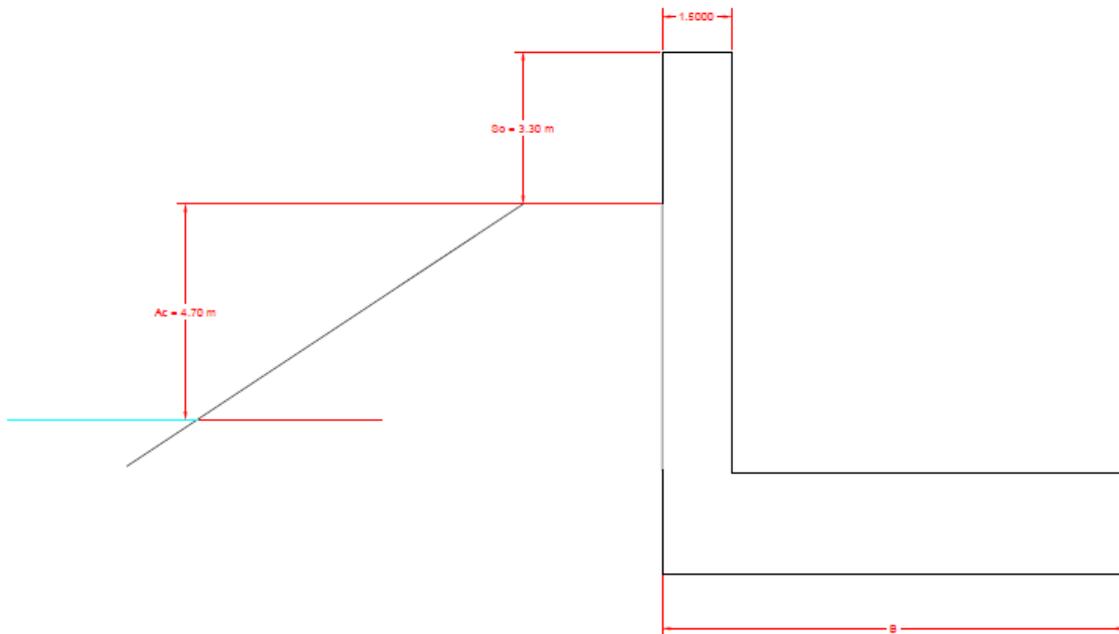


Figura 29. Sección del espaldón.

➤ **Cálculo de la estabilidad**

Una vez definida la geometría del espaldón y la variable de diseño B, se procede a calcular las fuerzas y momentos que actúan sobre él. De las expresiones de los coeficientes de seguridad frente a deslizamiento y vuelco se despejará el valor de B, último parámetro para la definición completa de la sección de este dique en talud. La siguiente figura muestra las fuerzas (cada una de ellas crea un momento) que actúan sobre el dique:

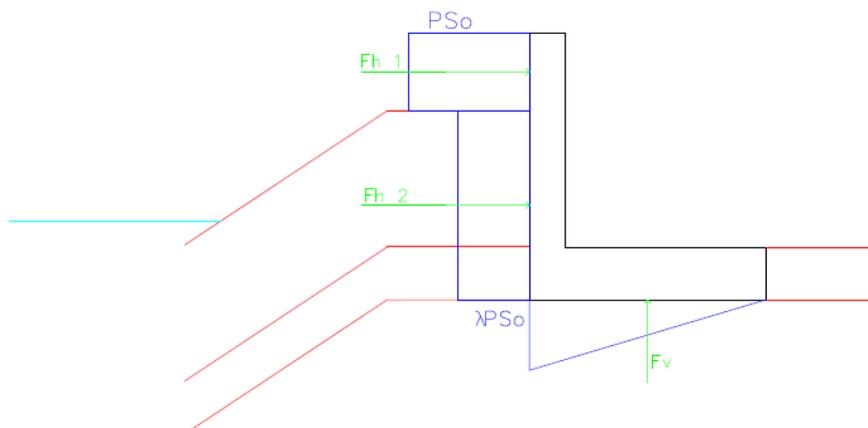


Figura 30. Diagrama de fuerzas sobre el espaldón.



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



A continuación, se muestran los resultados:

Fuerzas (kN/m)		Momentos (kNm)	
Fh	308.183	Mh	1511.47
Fv	13.84*B	Mv	6.92*B ²
W	320.775 + 51.7*B	Mw	25.85*B ² +240.58

De cada expresión (vuelco y deslizamiento) se obtiene un valor de B, el mayor de los dos será el valor elegido quedando de este modo del lado de la seguridad.

Coeficiente Seguridad Deslizamiento		Coeficiente Seguridad Vuelco	
B	7.8 m	B	9.95 m

El valor final elegido será **B = 10 m**.

A continuación, se muestra la sección tipo de este dique en talud:

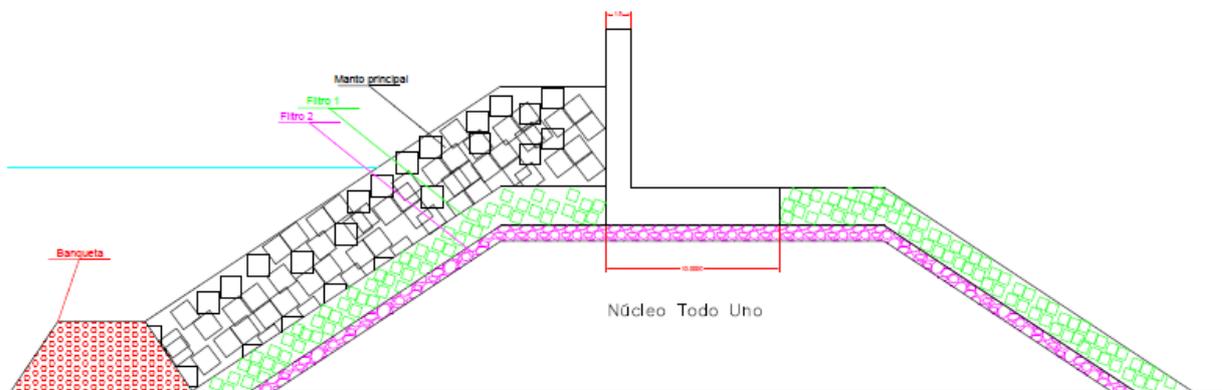


Figura 31. Sección tipo de dique en talud.



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



7. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LAS SECCIONES TIPO



7. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LAS SECCIONES TIPO

En este apartado se evalúan las dos alternativas propuestas en términos económicos. Para ello se presenta un estudio básico donde se detallan los costes estimados de construcción de las diferentes alternativas. Esto permitirá realizar una selección de la alternativa más adecuada en función de la profundidad en la que se ejecute la obra mediante un criterio económico.

Es necesario destacar que estas valoraciones son sólo una valoración inicial aproximada de lo que supondría llevar a cabo las actuaciones descritas en este estudio, además que sólo se tendrá en cuenta el precio de los materiales necesarios para su construcción y el coste final vendrá dado en **€/metro de dique**.

Las mediciones quedan justificadas con las dimensiones correspondientes a cada sección para cada una de las profundidades estudiadas. Estas mediciones se incluyen detalladas en los anejos.

Se han realizado valoraciones para las secciones de cada tipología multiplicando su coste por una longitud de 1 metro, teniendo así el coste final de €/m de dique.

Los precios se corresponden con los precios de mercado actuales y han sido obtenidos de un proyecto real de similares características.

PRECIOS		
Bloques de hormigón Manto Principal	72.00	€/m ³
Escollera protección 50 Kg	21.43	€/m ³
Escollera 1 a 3Ton	15.21	€/m ³
Escollera de 100 a 300 Kg	16.07	€/m ³
Todo uno	8.00	€/m ³
Hormigón Superestructura	86.49	€/m ³
Hormigón para bloques	150.00	€/m ³
Material granular	8.00	€/m ³
Acero	1.14	€/kG

A continuación, se muestra un cuadro resumen donde se presenta el coste de cada sección para las distintas profundidades estudiadas.



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



h(m)	Dique en Vertical	Dique en Talud
7.5	12,206.59 €	9,273.85 €
8	12,720.78 €	9,837.50 €
9	15,936.16 €	10,982.79 €
10	17,141.77 €	12,152.08 €
11	20,920.45 €	13,345.37 €
12	25,077.67 €	14,562.66 €
13	29,613.46 €	15,803.95 €
14	21,879.84 €	17,069.24 €
15	23,047.50 €	18,358.53 €
16	20,662.66 €	19,671.82 €
17	25,368.69 €	21,009.12 €
18	22,591.40 €	22,370.41 €
19	23,551.50 €	23,755.70 €
20	24,509.56 €	25,164.99 €
21	25,466.08 €	26,598.28 €
22	26,421.48 €	28,055.57 €
23	27,376.14 €	29,536.86 €
24	25,477.14 €	31,042.15 €
25	26,431.35 €	32,571.44 €
26	27,385.37 €	34,124.73 €
27	28,339.38 €	35,702.03 €
28	29,293.55 €	37,303.32 €
29	30,248.02 €	38,928.61 €
30	31,202.87 €	40,577.90 €
31	38,148.66 €	42,251.19 €
32	39,297.02 €	43,948.48 €
33	40,446.00 €	45,669.77 €
34	41,595.63 €	47,415.06 €
35	42,745.94 €	49,184.35 €
36	43,896.95 €	50,977.64 €
37	52,194.77 €	52,794.94 €
38	53,539.94 €	54,636.23 €
39	54,143.55 €	56,501.52 €
40	56,154.00 €	58,390.81 €



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



h(m)	Dique en Vertical	Dique en Talud
41	56,821.62 €	60,304.10 €
42	57,521.24 €	62,241.39 €
43	58,252.85 €	64,202.68 €
44	59,016.47 €	66,187.97 €
45	59,812.09 €	68,197.26 €
46	60,639.71 €	70,230.56 €
47	61,499.32 €	72,287.85 €
48	62,390.94 €	74,369.14 €
49	63,314.56 €	76,474.43 €
50	64,270.18 €	78,603.72 €
51	65,257.79 €	80,757.01 €
52	66,277.41 €	82,934.30 €
53	67,329.03 €	85,135.59 €
54	68,412.64 €	87,360.88 €
55	69,528.26 €	89,610.17 €
56	70,675.88 €	91,883.47 €
57	71,855.50 €	94,180.76 €
58	73,067.11 €	96,502.05 €
59	74,310.73 €	98,847.34 €
60	75,586.35 €	101,216.63 €



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



8. ANÁLISIS DE RESULTADOS



8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se presenta una gráfica comparativa para la elección de la tipología más económica en función de la profundidad:

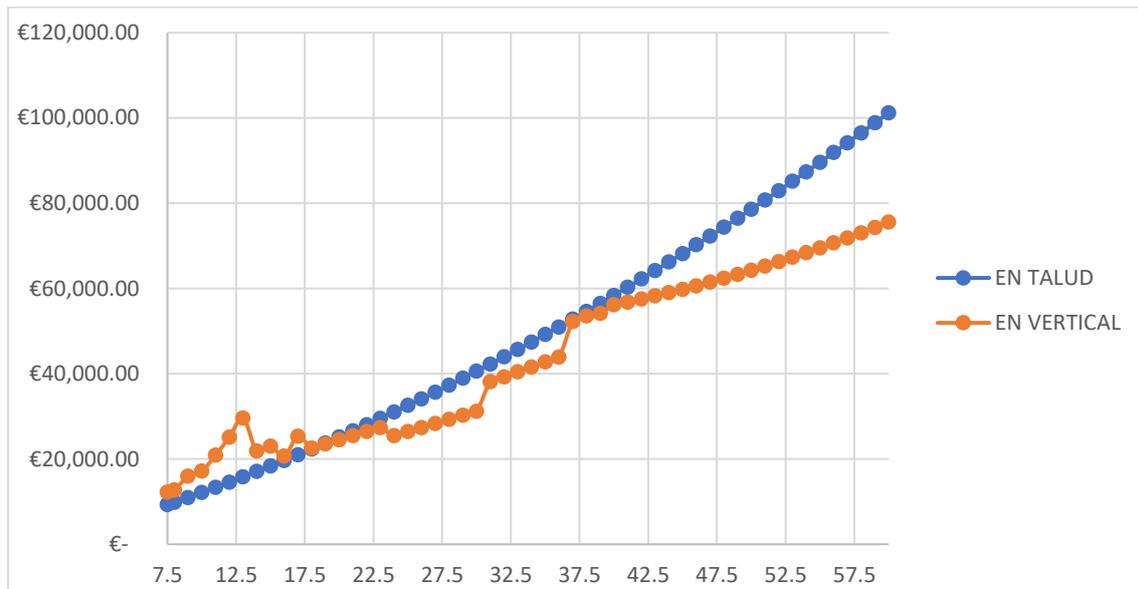


Tabla 16. Gráfica comparativa del coste de cada tipología en función de la profundidad (Valores de mercado).

Se observa que la sección del dique en talud tiene una progresión geométrica creciente. Esto se debe a que su sección siempre es la misma, el espesor de sus mantos se mantiene constante a medida que la profundidad aumenta y es la longitud de estos la que aumenta con cada metro de profundidad, aumentando así el coste final.

Por el contrario, la sección de dique en vertical sigue una progresión aritmética desde los 23 metros de profundidad hasta de 38 metros, momento en el cual el cajón ha alcanzado su máxima altura (34 metros) y pasa a tener la misma progresión que el dique en talud, ya que a partir de esa profundidad sólo aumenta la banqueta. En este caso, el espesor del manto de protección no se mantiene constante y disminuye a medida que la profundidad aumenta.

Entre las profundidades 7.5-22 metros puede observarse una progresión algo aleatoria del coste con subidas y bajadas, esto es debido a que, para estas profundidades, como se vio en el cálculo de la sección, se aumentó la relación manga/altura de cajón para cada profundidad consiguiendo de esta forma que los coeficientes de seguridad cumplieran los límites exigidos. Es a partir de los 23 metros de profundidad cuando la relación manga/ altura se mantiene constante, dando lugar a la progresión aritmética hasta los 38 metros de profundidad, donde se alcanza la máxima altura del cajón, y la progresión pasa a ser geométrica, ya que sólo aumenta la banqueta.



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



En base a todos esto, se tiene que el dique en talud sería competitivo hasta las profundidades alrededor de los 20 metros, profundidades para las que el dique vertical necesita una mayor longitud de manga para ser estable, lo que conlleva a un aumento de material. A partir de estas profundidades se observa que el dique vertical es más económico para todas las profundidades, teniendo un coste muy parecido alrededor de los 38 metros (momento en el que cajón alcanza su máxima altura), en esta situación, el precio de los materiales será el detonante para declinarse hacia una tipología u otra.

Una de las características de la estimación de costes es que son dinámicos, los precios de materiales de construcción sufren variaciones en el tiempo por diversos factores. Es importante tener en cuenta estas fluctuaciones ya que afectan sensiblemente el coste estimado.

Para hacer notable la gran influencia del precio de material a la hora de realizar una buena elección de tipología, se van a realizar algunas combinaciones variando algunos de los precios utilizados para la valoración económica, simulando una posible subida en alguno de los materiales utilizados. De esta manera, se observará el comportamiento de la gráfica antes estas variaciones en varias situaciones hipotéticas, demostrando así la sensibilidad de las variables.

▪ SITUACIÓN 1

En la sección de dique en talud, la escollera que forma el manto principal es la unidad de material con el precio más elevado, esto quiere decir que es la variable que más influye en el coste final de la sección.

Se supone un incremento en el precio de esta unidad del 20% y la gráfica final quedaría de la siguiente forma:

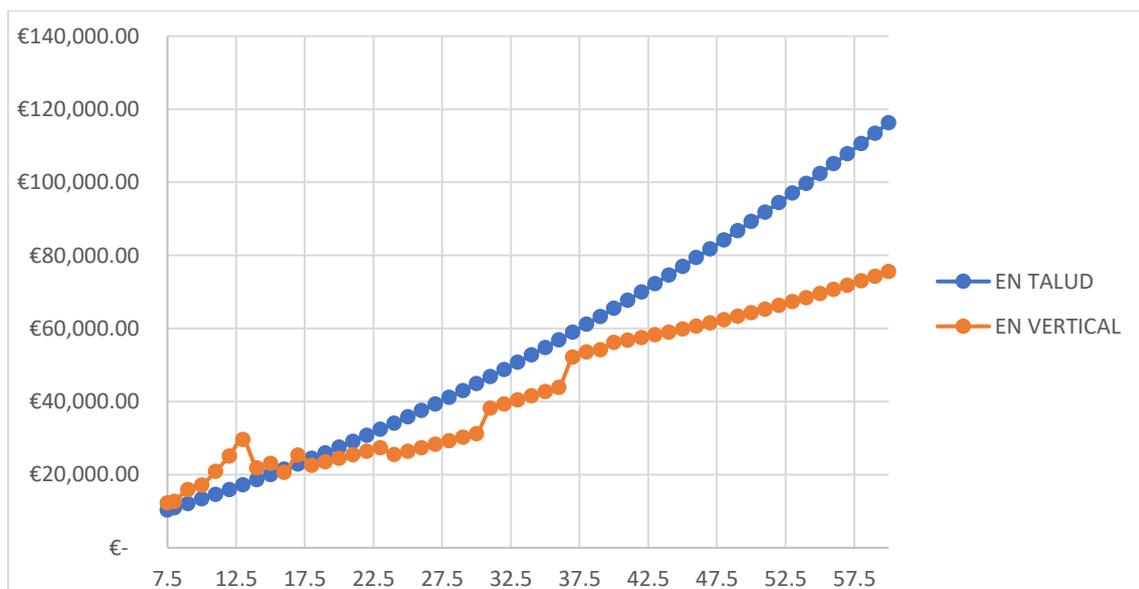


Figura 32. Gráfica comparativa del coste de cada tipología en función de la profundidad (Situación 1).



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



Ante esta hipótesis del incremento en el precio del material que forma el manto principal, se observa que el dique en talud sería competitivo hasta los 20 metros, a partir de ahí, para cualquier profundidad la tipología de la sección en vertical será siempre más económica.

▪ SITUACIÓN 2

Manteniendo los precios de la sección del dique en talud con los correspondientes a los valores actuales de mercado, en esta hipótesis se van a variar unidades correspondientes a la sección del dique en vertical. En la sección del dique en vertical, las unidades determinantes del aumento del coste son aquellas que forman el cajón, es decir, el hormigón y el acero.

Como situación 2 se aumenta un 20% el precio de hormigón utilizado en el cajón manteniéndose las demás unidades con su precio de mercado actual. Se obtiene la siguiente gráfica:

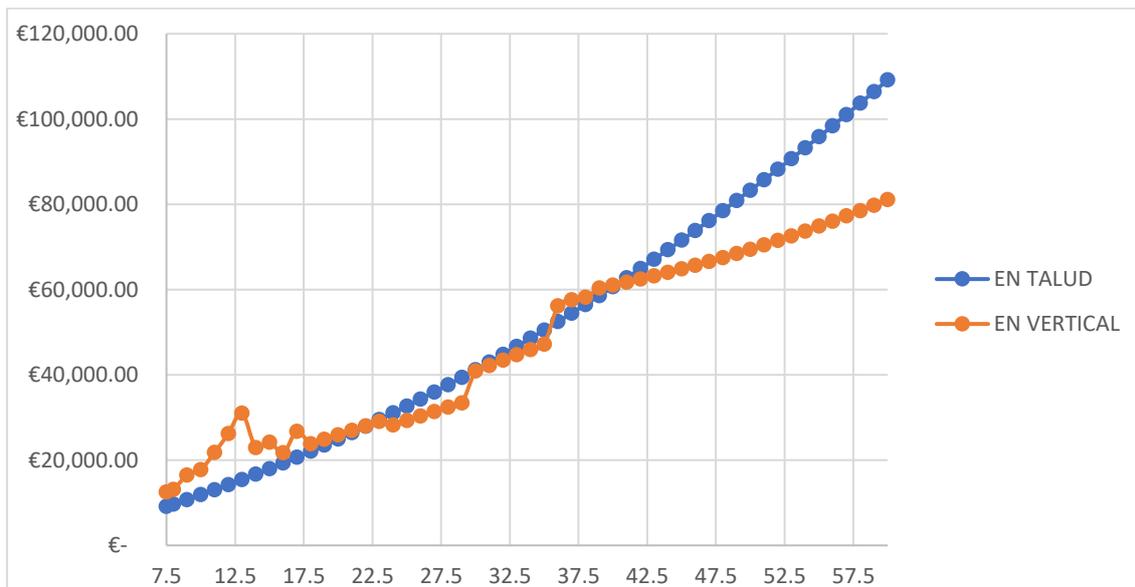


Figura 33. Gráfica comparativa del coste de cada tipología en función de la profundidad (Situación 2).

Al aumentar el precio de la unidad fundamental del dique en vertical, se observa como se eleva su coste, haciendo que el dique en talud sea competitivo hasta profundidades alrededor de los 38 metros, momento en el cuál el cajón ha alcanzado su máxima altura, por lo tanto, la medición de hormigón a partir de esa profundidad se mantiene constante.



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



▪ SITUACIÓN 3

Manteniendo los precios de la sección del dique en talud con los correspondientes a los valores actuales de mercado, en esta hipótesis se van a variar unidades correspondientes a la sección del dique en vertical. En la sección del dique en vertical, las unidades determinantes del aumento del coste son aquellas que forman el cajón, es decir, el hormigón y el acero.

En la situación 3, la única unidad que varía será el acero, aumentando un 20% con respecto a la situación de mercado actual. Se obtiene la siguiente gráfica:

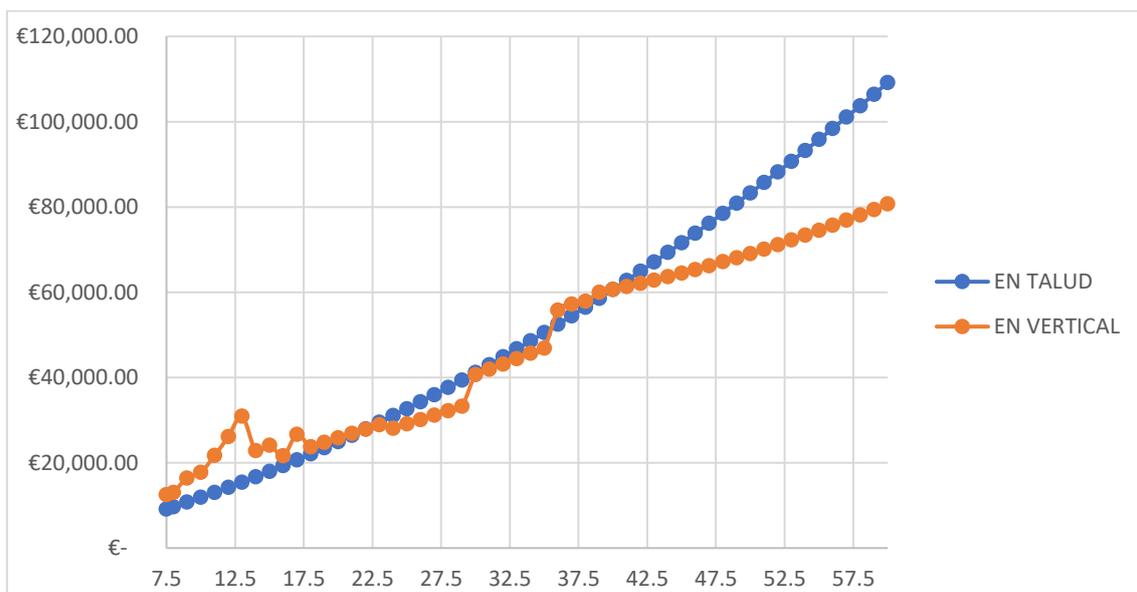


Figura 34. Gráfica comparativa del coste de cada tipología en función de la profundidad (Situación 3).

La evolución del coste y las conclusiones son exactamente iguales que en la situación en la que sólo se eleva el precio del hormigón el cajón.

La sección en vertical pasa a ser siempre más económica una vez que el cajón ha alcanzado su máxima altura y todas sus unidades de medición se mantienen constantes.



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



▪ SITUACIÓN 4

Se eleva un 20% el precio de los materiales principales que forman el cajón en la sección de dique en vertical: acero y hormigón. Los precios correspondientes a las unidades que forman la sección del dique en talud se mantienen constantes.

Se obtiene la siguiente gráfica:

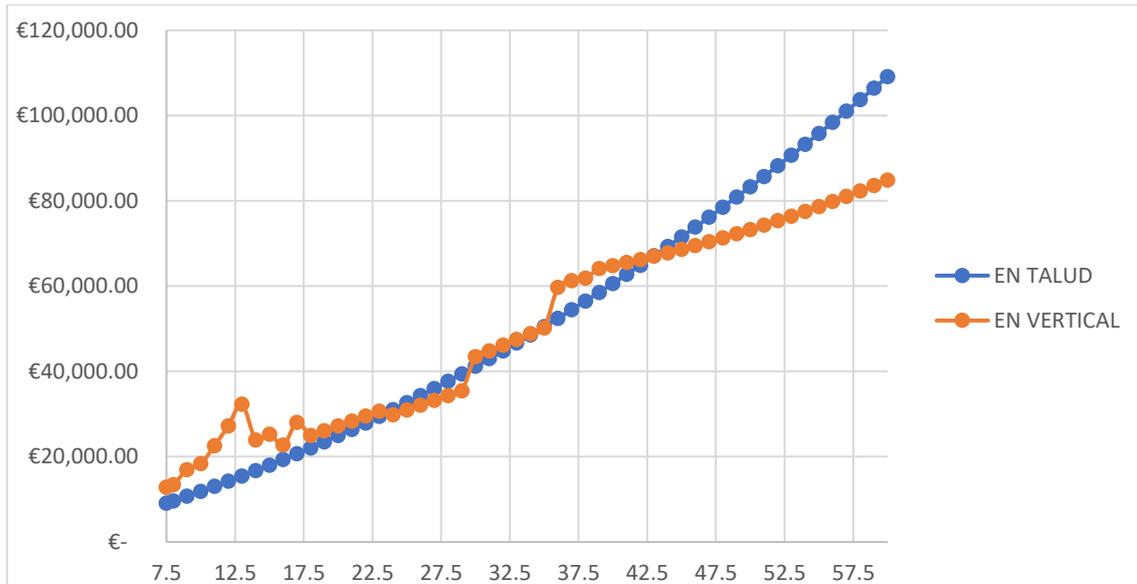


Figura 35. Gráfica comparativa del coste de cada tipología en función de la profundidad (Situación 4).

El dique en talud será competitivo hasta las profundidades a las que el cajón del dique en vertical alcanza su máxima altura.



Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



▪ SITUACIÓN 5

Aumenta un 20% el precio de las tres unidades principales en ambos diques: cubos manto principal en el dique en talud y el acero y hormigón en el cajón del dique vertical. Se obtiene la siguiente gráfica:

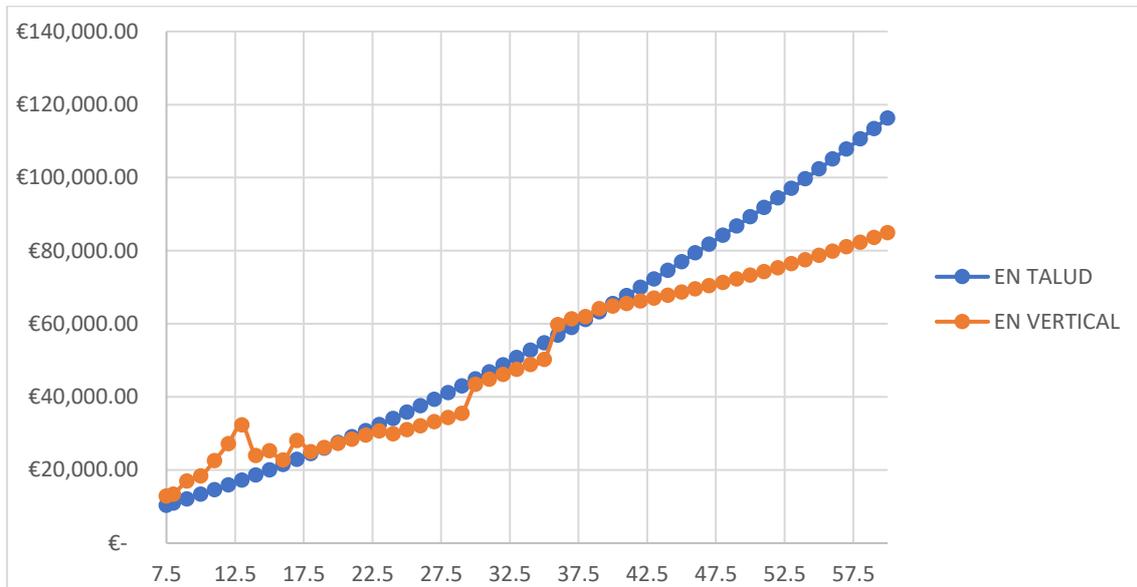


Figura 36. Gráfica comparativa del coste de cada tipología en función de la profundidad (Situación 5).

Hay competitividad entre diques hasta que el cajón alcanza su máxima altura de cajón.



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



9. CONCLUSIONES



9. CONCLUSIONES

En la elección de una u otra tipología de dique, en general, **deberá optarse por la tipología más económica** de entre las posibles. Debido a las severas condiciones ambientales y climáticas en las que se encuentran los diques de abrigo, en general, suele ser mucho **más económico adoptar tipologías estructurales robustas, simples y durables**, que exijan el mínimo mantenimiento durante su vida útil y tengan fáciles procesos constructivos y, en su caso, de reparación.

En este estudio, en la zona elegida para realizarlo y para los precios de mercado actuales, se tiene que el dique en talud sería competitivo hasta las profundidades alrededor de los 20 metros, profundidades para las que el dique vertical necesita una mayor longitud de manga para ser estable, lo que conlleva a un aumento de material. A partir de estas profundidades se observa que el dique vertical es más económico para todas las profundidades, teniendo un coste muy parecido alrededor de los 38 metros (momento en el que cajón alcanza su máxima altura), en esta situación, el precio de los materiales será el detonante para declinarse hacia una tipología u otra.

Los precios de materiales de construcción sufren variaciones en el tiempo por diversos factores. Es importante tener en cuenta estas fluctuaciones ya que afectan sensiblemente el coste estimado. Al realizar varias situaciones hipotéticas simulando subidas en los precios de los materiales determinantes para cada sección, se llega a la conclusión clara que, una vez que el cajón alcanza su máxima altura y las mediciones de sus principales unidades se mantienen constantes, el dique en vertical será siempre la tipología más económica, pero hasta entonces, el precio de los materiales puede ser determinante haciendo competitivo al dique en talud hasta esas profundidades.

En las **situaciones de igualdad de costes**, podrían ser determinantes **aspectos ambientales**, ya que, la combinación de la disponibilidad de espacio en planta, las pendientes del terreno y los calados naturales existentes en la localización de la obra puede condicionar su tipología. Los diques ocupan mucha superficie en planta bien por ellos mismos o bien por la necesidad de disponer grandes banquetas de cimentación, en este sentido los diques verticales ocupan una menor superficie de suelo y serán más adecuados en zonas con limitación de espacio. En general, los diques verticales requieren menor volumen de préstamo cuando la obra de abrigo deba construirse en una zona con calados importantes.

Referente a **optimización de costes**, el dique en talud podría ser objeto de estudio ya que, a partir de determinadas profundidades, la capa de protección no se va a ver tan afectada por la energía del oleaje, esto daría lugar a la posibilidad de una reducción en el peso de la capa de protección.



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



10. BIBLIOGRAFÍA



10. BIBLIOGRAFÍA

1. ROM 0.0-01: Procedimiento general y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias.
2. ROM 0.3-91: Clima marítimo en el Litoral Español.
3. ROM 1.0-09: Recomendaciones del diseño y ejecución de las Obras de Abrigo(Parte 1º. Bases y Factores para el proyecto. Agentes climáticos).
4. ROM 0.2-09: Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias.
5. Guía de Buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas.
6. Manual para el diseño y la ejecución de cajones flotantes de hormigón armado para obras portuarias.
7. Coastal Engineering Manual (2002) U.S.Army Coastal Engineering Research Center.
8. Dean R.G, Dalrymple, R.A (1995) Water wave mechanics for Engineers and Scientist, World Scientific
9. Losada et al, (2005) Apuntes de Puertos y Costas. Parte 1: Fundamentos del movimiento oscilatorio. Grupo de Puertos y Costas. Universidad de Granada.
10. Negro, V; Varela, O; García, J. y Santos, J. (2008) Diseño de diques verticales. Colegio de Caminos, Canales y Puertos.
11. Negro, V y Varela, O. (2008) Diseño de diques rompeolas. Colegio de Caminos, Canales y Puertos.
12. Puertos y Costas. Departamento de Ingeniería e Infraestructura de los transportes. Universidad Politécnica de Valencia.
13. Máster en Ingeniería de Puertos y Costas-Sección II. Cedex, 2004.



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



11. ANEJOS



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



Anejo 1. Dimensiones banqueta de apoyo y cajón en la sección
tipo de dique en vertical



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



DIMENSIONES DE LA BANQUETA DE APOYO DEL DIQUE EN VERTICAL

h(m)	h Banqueta (m)	Talud (H:V)	Berma en coronación (m)	Ancho coronación (m)	Ancho Base (m)
7.5	4	2	4	13.4	29.4
8	4	2	4	13.4	29.4
9	4	2	4	13.4	29.4
10	4	2	4	13.4	29.4
11	4	2	4	18.05	34.05
12	4	2	4	18.05	34.05
13	4	2	4	18.05	34.05
14	4	2	4	18.05	34.05
15	4	2	4	18.05	34.05
16	4	2	4	18.05	34.05
17	4	2	4	22.7	38.7
18	4	2	4	22.7	38.7
19	4	2	4	22.7	38.7
20	4	2	4	22.7	38.7
21	4	2	4	22.7	38.7
22	4	2	4	22.7	38.7
23	4	2	4	27.35	43.35
24	4	2	4	27.35	43.35
25	4	2	4	27.35	43.35
26	4	2	4	27.35	43.35
27	4	2	4	27.35	43.35
28	4	2	4	27.35	43.35
29	4	2	4	27.35	43.35
30	4	2	4	32	48
31	4	2	4	32	48
32	4	2	4	32	48
33	4	2	4	32	48
34	4	2	4	32	48
35	4	2	4	32	48
36	4	2	4	36.65	52.65
37	4	2	4	36.65	52.65
38	5	2	4	36.65	56.65
39	6	2	4	36.65	60.65
40	7	2	4	36.65	64.65



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



h(m)	h Banqueta (m)	Talud (H:V)	Berma en coronación (m)	Ancho coronación (m)	Ancho Base (m)
40	7	2	4	36.65	64.65
41	8	2	4	36.65	68.65
42	9	2	4	36.65	72.65
43	10	2	4	36.65	76.65
44	11	2	4	36.65	80.65
45	12	2	4	36.65	84.65
46	13	2	4	36.65	88.65
47	14	2	4	36.65	92.65
48	15	2	4	36.65	96.65
49	16	2	4	36.65	100.65
50	17	2	4	36.65	104.65
51	18	2	4	36.65	108.65
52	19	2	4	36.65	112.65
53	20	2	4	36.65	116.65
54	21	2	4	36.65	120.65
55	22	2	4	36.65	124.65
56	23	2	4	36.65	128.65
57	24	2	4	36.65	132.65
58	25	2	4	36.65	136.65
59	26	2	4	36.65	140.65
60	27	2	4	36.65	144.65



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



h(m)	DELTA	K	k1	k2	Ns	D50	Espesor Escollera Protección (m)
7.5	1.58536585	0.04075524	0.97876568	0.04163942	4.10530465	1.73544696	3.47089391
8	1.58536585	0.04048982	0.97239142	0.04163942	4.06548878	1.75244327	3.50488654
9	1.58536585	0.03986257	0.95732772	0.04163942	4.00268116	1.77994154	3.55988308
10	1.58536585	0.03911419	0.9393547	0.04163942	3.95964213	1.79928848	3.59857696
11	1.58536585	0.0382547	0.91871352	0.04163942	3.93371807	1.81114618	3.62229237
12	1.58536585	0.03729523	0.89567112	0.04163942	3.92274621	1.81621193	3.63242386
13	1.58536585	0.03624766	0.87051296	0.04163942	3.92494461	1.81519465	3.6303893
14	1.58536585	0.03512434	0.84353573	0.04163942	3.93883015	1.80879555	3.61759111
15	1.58536585	0.03393781	0.81504045	0.04163942	3.9631576	1.79769244	3.59538489
16	1.58536585	0.03270052	0.78532609	0.04163942	3.99687431	1.78252752	3.56505505
17	1.58536585	0.0314246	0.75468383	0.04163942	4.03908662	1.76389841	3.52779682
18	1.58536585	0.03012164	0.72339234	0.04163942	4.08903473	1.74235215	3.4847043
19	1.58536585	0.02880256	0.69171385	0.04163942	4.14607384	1.71838195	3.43676391
20	1.58536585	0.02747749	0.65989117	0.04163942	4.20965947	1.69242631	3.38485263
21	1.58536585	0.02615562	0.62814565	0.04163942	4.2793359	1.66487012	3.32974024
22	1.58536585	0.02484524	0.59667586	0.04163942	4.35472643	1.63604731	3.27209462
23	1.58536585	0.02355363	0.56565712	0.04163942	4.43552499	1.60624469	3.21248938
24	1.58536585	0.02228715	0.53524153	0.04163942	4.52148854	1.57570641	3.15141282
25	1.58536585	0.02105117	0.50555861	0.04163942	4.61242993	1.54463885	3.0892777
26	1.58536585	0.01985019	0.47671626	0.04163942	4.70821136	1.51321551	3.02643102
27	1.58536585	0.01868786	0.4488021	0.04163942	4.80873806	1.48158173	2.96316346
28	1.58536585	0.01756704	0.42188493	0.04163942	4.91395255	1.44985903	2.89971805
29	1.58536585	0.01648989	0.39601644	0.04163942	5.02382932	1.41814899	2.83629798
30	1.58536585	0.01545792	0.37123281	0.04163942	5.13837005	1.38653666	2.77307332
31	1.58536585	0.01447205	0.34755651	0.04163942	5.25759952	1.35509341	2.71018682
32	1.58536585	0.01353272	0.32499792	0.04163942	5.38156201	1.32387928	2.64775857
33	1.58536585	0.01263993	0.30355693	0.04163942	5.51031836	1.29294498	2.58588996
34	1.58536585	0.0117933	0.28322446	0.04163942	5.64394361	1.26233339	2.52466678
35	1.58536585	0.01099214	0.26398388	0.04163942	5.78252508	1.23208086	2.46416172
36	1.58536585	0.01023548	0.24581224	0.04163942	5.92616096	1.20221818	2.40443637
37	1.58536585	0.00952216	0.22868148	0.04163942	6.07495921	1.17277141	2.34554281
38	1.58536585	0.00952216	0.22868148	0.04163942	6.07495921	1.17277141	2.34554281
39	1.58536585	0.00952216	0.22868148	0.04163942	6.07495921	1.17277141	2.34554281
40	1.58536585	0.00952216	0.22868148	0.04163942	6.07495921	1.17277141	2.34554281



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



h(m)	DELTA	K	k1	k2	Ns	D50	Espesor Escollera Protección (m)
41	1.58536585	0.00952216	0.22868148	0.04163942	6.07495921	1.17277141	2.34554281
42	1.58536585	0.00952216	0.22868148	0.04163942	6.07495921	1.17277141	2.34554281
43	1.58536585	0.00952216	0.22868148	0.04163942	6.07495921	1.17277141	2.34554281
44	1.58536585	0.00952216	0.22868148	0.04163942	6.07495921	1.17277141	2.34554281
45	1.58536585	0.00952216	0.22868148	0.04163942	6.07495921	1.17277141	2.34554281
46	1.58536585	0.00952216	0.22868148	0.04163942	6.07495921	1.17277141	2.34554281
47	1.58536585	0.00952216	0.22868148	0.04163942	6.07495921	1.17277141	2.34554281
48	1.58536585	0.00952216	0.22868148	0.04163942	6.07495921	1.17277141	2.34554281
49	1.58536585	0.00952216	0.22868148	0.04163942	6.07495921	1.17277141	2.34554281
50	1.58536585	0.00952216	0.22868148	0.04163942	6.07495921	1.17277141	2.34554281
51	1.58536585	0.00952216	0.22868148	0.04163942	6.07495921	1.17277141	2.34554281
52	1.58536585	0.00952216	0.22868148	0.04163942	6.07495921	1.17277141	2.34554281
53	1.58536585	0.00952216	0.22868148	0.04163942	6.07495921	1.17277141	2.34554281
54	1.58536585	0.00952216	0.22868148	0.04163942	6.07495921	1.17277141	2.34554281
55	1.58536585	0.00952216	0.22868148	0.04163942	6.07495921	1.17277141	2.34554281
56	1.58536585	0.00952216	0.22868148	0.04163942	6.07495921	1.17277141	2.34554281
57	1.58536585	0.00952216	0.22868148	0.04163942	6.07495921	1.17277141	2.34554281
58	1.58536585	0.00952216	0.22868148	0.04163942	6.07495921	1.17277141	2.34554281
59	1.58536585	0.00952216	0.22868148	0.04163942	6.07495921	1.17277141	2.34554281
60	1.58536585	0.00952216	0.22868148	0.04163942	6.07495921	1.17277141	2.34554281



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



DIMENSIONES CAJÓN PREFABRICADO DE HORMIGÓN DEL DIQUE EN VERTICAL

h(m)	Altura del cajón	Relación teórica manga/altura	Eslora de un cajón (m)	Manga teórica del cajón	Celdas teóricas en la manga	Celdas reales en la manga	Manga real (m)	Relación real manga/altura
7.5	3.5	4	42.6	14	3.18181818	4	19.35	5.528571429
8	4	4	42.6	16	3.63636364	4	19.35	4.8375
9	5	4	42.6	20	4.54545455	5	24	4.8
10	6	3.5	42.6	21	4.77272727	5	24	4
11	7	3.5	42.6	24.5	5.56818182	6	28.65	4.092857143
12	8	3.5	42.6	28	6.36363636	7	33.3	4.1625
13	9	3.5	42.6	31.5	7.15909091	8	37.95	4.216666667
14	10	1.8	42.6	18	4.09090909	5	24	2.4
15	11	1.8	42.6	19.8	4.5	5	24	2.181818182
16	12	1.4	42.6	16.8	3.81818182	4	19.35	1.6125
17	13	1.4	42.6	18.2	4.13636364	5	24	1.846153846
18	14	1.2	42.6	16.8	3.81818182	4	19.35	1.382142857
19	15	1	42.6	15	3.40909091	4	19.35	1.29
20	16	1	42.6	16	3.63636364	4	19.35	1.209375
21	17	0.8	42.6	13.6	3.09090909	4	19.35	1.138235294
22	18	0.8	42.6	14.4	3.27272727	4	19.35	1.075
23	19	0.8	42.6	15.2	3.45454545	4	19.35	1.018421053
24	20	0.8	42.6	16	3.63636364	4	19.35	0.9675
25	21	0.8	42.6	16.8	3.81818182	4	19.35	0.921428571
26	22	0.8	42.6	17.6	4	4	19.35	0.879545455
27	23	0.8	42.6	18.4	4.18181818	5	24	1.043478261
28	24	0.7	42.6	14	3.18181818	4	19.35	0.9675
29	25	0.7	42.6	14.7	3.34090909	4	19.35	0.921428571
30	26	0.7	42.6	15.4	3.5	4	19.35	0.879545455
31	27	0.7	42.6	16.1	3.65909091	4	19.35	0.841304348
32	28	0.7	42.6	16.8	3.81818182	4	19.35	0.80625
33	29	0.7	42.6	17.5	3.97727273	4	19.35	0.774
34	30	0.7	42.6	18.2	4.13636364	5	24	0.923076923
35	31	0.7	42.6	18.9	4.29545455	5	24	0.888888889
36	32	0.7	42.6	19.6	4.45454545	5	24	0.857142857
37	33	0.7	42.6	20.3	4.61363636	5	24	0.827586207
38	33	0.7	42.6	21	4.77272727	5	24	0.8
39	34	0.7	42.6	21.7	4.93181818	5	24	0.774193548
40	34	0.7	42.6	22.4	5.09090909	6	28.65	0.8953125



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



h(m)	Altura del cajón	Relación teórica manga/altura	Eslora de un cajón (m)	Manga teórica del cajón	Celdas teóricas en la manga	Celdas reales en la manga	Manga real (m)	Relación real manga/altura
41	34	0.7	42.6	23.1	5.25	6	28.65	0.868181818
42	34	0.7	42.6	23.1	5.25	6	28.65	0.868181818
43	34	0.7	42.6	23.8	5.40909091	6	28.65	0.842647059
44	34	0.7	42.6	23.8	5.40909091	6	28.65	0.842647059
45	34	0.7	42.6	23.8	5.40909091	6	28.65	0.842647059
46	34	0.7	42.6	23.8	5.40909091	6	28.65	0.842647059
47	34	0.7	42.6	23.8	5.40909091	6	28.65	0.842647059
48	34	0.7	42.6	23.8	5.40909091	6	28.65	0.842647059
49	34	0.7	42.6	23.8	5.40909091	6	28.65	0.842647059
50	34	0.7	42.6	23.8	5.40909091	6	28.65	0.842647059
51	34	0.7	42.6	23.8	5.40909091	6	28.65	0.842647059
52	34	0.7	42.6	23.8	5.40909091	6	28.65	0.842647059
53	34	0.7	42.6	23.8	5.40909091	6	28.65	0.842647059
54	34	0.7	42.6	23.8	5.40909091	6	28.65	0.842647059
55	34	0.7	42.6	23.8	5.40909091	6	28.65	0.842647059
56	34	0.7	42.6	23.8	5.40909091	6	28.65	0.842647059
57	34	0.7	42.6	23.8	5.40909091	6	28.65	0.842647059
58	34	0.7	42.6	23.8	5.40909091	6	28.65	0.842647059
59	34	0.7	42.6	23.8	5.40909091	6	28.65	0.842647059
60	34	0.7	42.6	23.8	5.40909091	6	28.65	0.842647059

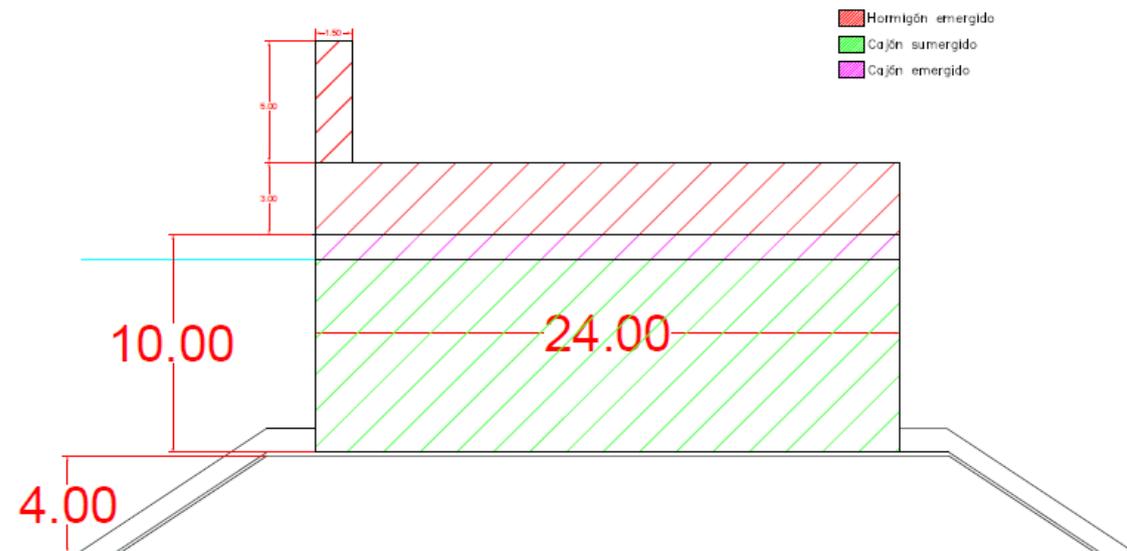


Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



EVOLUCIÓN SECCIÓN TRANSVERSAL CON LA PROFUNDIDAD:

- **Profundidad 13 metros:**
 - H cajón= 10 m
 - H banqueta = 4 m
 - B cajón = 24 m

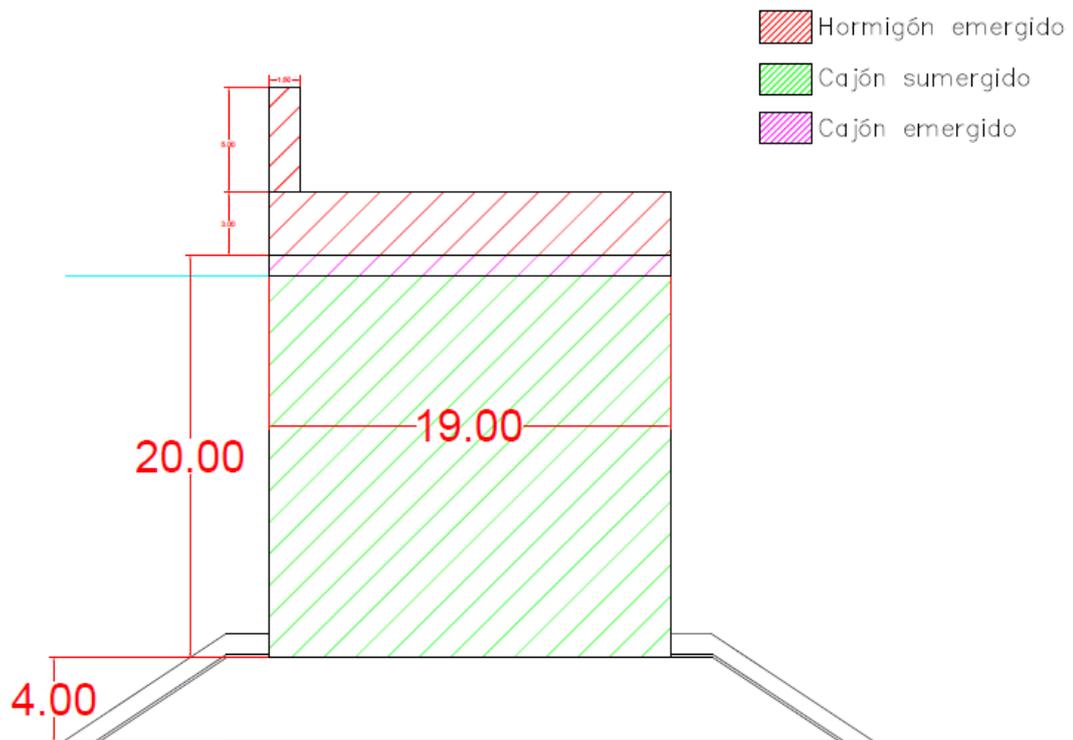




Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



- **Profundidad 23 metros:**
 - **H cajón= 20 m**
 - **H banqueta = 4 m**
 - **B cajón = 19 m**

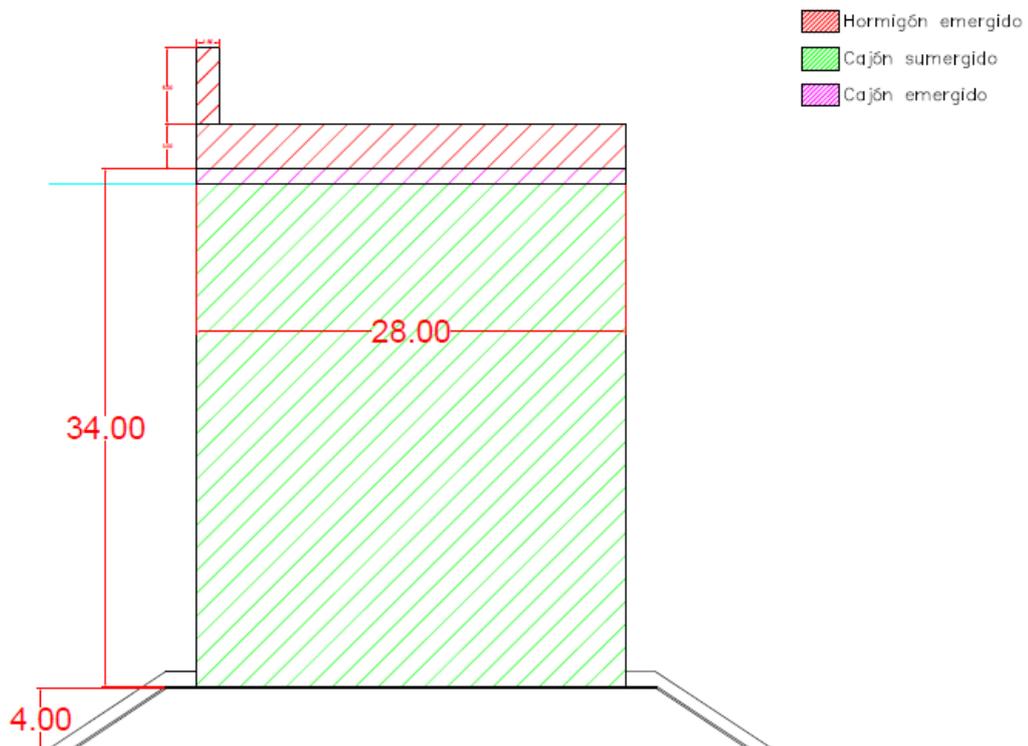




Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



- Profundidad 37 metros:
 - H cajón= 34 m
 - H banqueta = 4 m
 - B cajón = 28 m

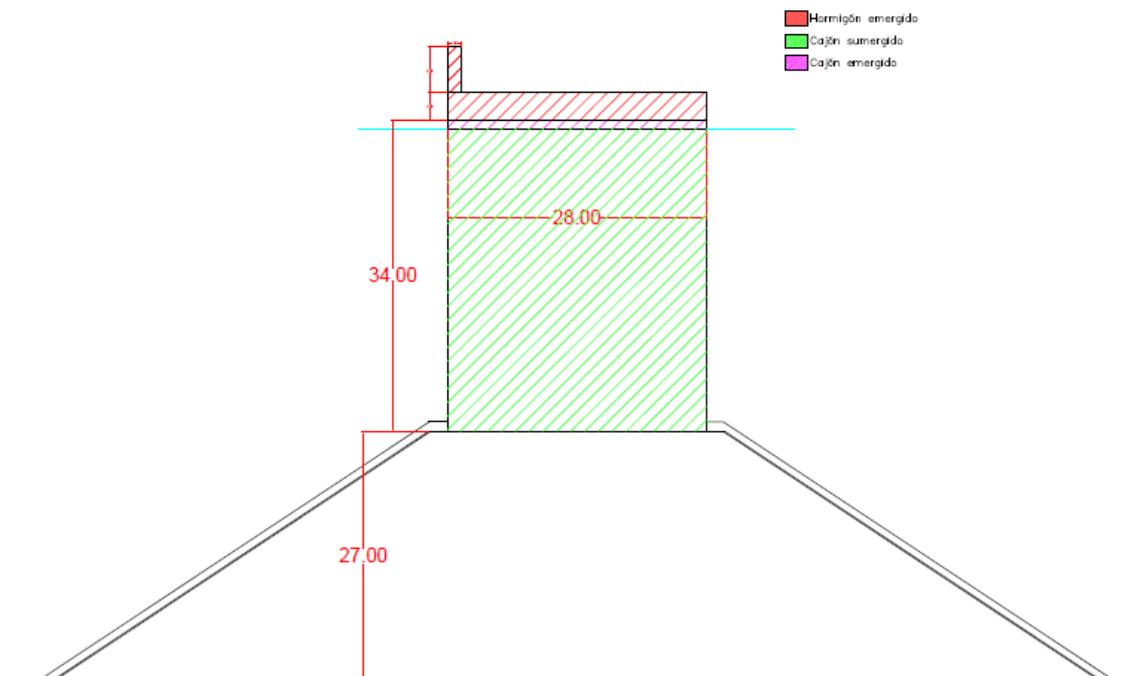




Elección de la tipología de dique de abrigo más económica en función de la profundidad



- **Profundidad 60 metros:**
 - H cajón= 34 m
 - H banqueta = 27 m
 - B cajón = 28 m





**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



Anejo 2. Fuerzas y momentos sobre dique vertical



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



Fórmula de Takahashi

h (m)	Fc	n	beta(º)	beta(rad)
7.5	9	16.61962	15.87	0.276984
8	9	16.57795	16.87	0.294437
9	9	16.53381	17.87	0.31189
10	9	16.48721	18.87	0.329344
11	9	16.43817	19.87	0.346797
12	9	16.38671	20.87	0.36425
13	9	16.33284	21.87	0.381704
14	9	16.27657	22.87	0.399157
15	9	16.21792	23.87	0.41661
16	9	16.15691	24.87	0.434063
17	9	16.09357	25.87	0.451517
18	9	16.0279	26.87	0.46897
19	9	15.95992	27.87	0.486423
20	9	15.88967	28.87	0.503877
21	9	15.81716	29.87	0.52133
22	9	15.74241	30.87	0.538783

Fc	h(m)	n	beta(º)	beta(rad)
9	23	15.66544	31.87	0.556236
9	24	15.58629	32.87	0.57369
9	25	15.50496	33.87	0.591143
9	26	15.4215	34.87	0.608596
9	27	15.33592	35.87	0.62605
9	28	15.24824	36.87	0.643503
9	29	15.1585	37.87	0.660956
9	30	15.06673	38.87	0.678409
9	31	14.97294	39.87	0.695863
9	32	14.87718	40.87	0.713316
9	33	14.77946	41.87	0.730769
9	34	14.67982	42.87	0.748223
9	35	14.57829	43.87	0.765676
9	36	14.4749	44.87	0.783129
9	37	14.36969	45.87	0.800583
9	38	14.26267	46.87	0.818036
9	39	14.15389	47.87	0.835489
9	40	14.04338	48.87	0.852942



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



9	41	13.93117	49.87	0.870396
9	42	13.8173	50.87	0.887849
9	43	13.7018	51.87	0.905302
9	44	13.58471	52.87	0.922756
9	45	13.46606	53.87	0.940209
9	46	13.34589	54.87	0.957662
9	47	13.22424	55.87	0.975115
9	48	13.10113	56.87	0.992569
9	49	12.97662	57.87	1.010022
9	50	12.85073	58.87	1.027475
9	51	12.72351	59.87	1.044929
9	52	12.59499	60.87	1.062382
9	53	12.46522	61.87	1.079835
9	54	12.33423	62.87	1.097289
9	55	12.20207	63.87	1.114742
9	56	12.06877	64.87	1.132195
9	57	11.93437	65.87	1.149648
9	58	11.79892	66.87	1.167102
9	59	11.66245	67.87	1.184555
9	60	11.52501	68.87	1.202008

h(m)	I*	II	II0	II1	sigma11	sigma22	sigma1	sigma2
7.5	1.021565	1.021565	2	0.510783	0.06142	0.399817	0.921299	1.19945
8	1.332834	1.332834	2	0.666417	0.040537	0.345869	0.608054	1.037606
9	1.74462	1.74462	2	0.87231	0.005212	0.254614	0.078185	0.763841
10	1.674778	1.674778	2	0.837389	-0.02363	0.180093	-0.47268	0.54028
11	1.300742	1.300742	2	0.650371	-0.04773	0.117856	-0.95452	0.353568
12	0.950642	0.950642	2	0.475321	-0.06821	0.064939	-1.36421	0.194816
13	0.865703	0.694994	2	0.347497	-0.08588	0.019292	-1.7176	0.057876
14	0.56803	0.456396	1.769708	0.257893	-0.1013	-0.02055	-2.02604	-0.10069
15	0.39274	0.29224	1.5254	0.191583	-0.11489	-0.05566	-2.29788	-0.27274
16	0.282604	0.191301	1.339072	0.142861	-0.12697	-0.08686	-2.53939	-0.42559
17	0.209879	0.127771	1.192436	0.107151	-0.13777	-0.11476	-2.75542	-0.56232
18	0.159923	0.086834	1.07415	0.08084	-0.14749	-0.13986	-2.94978	-0.68534
19	0.124487	0.059867	0.976803	0.061288	-0.15628	-0.16256	-3.12552	-0.79657
20	0.098668	0.04174	0.895352	0.046618	-0.16426	-0.18318	-3.28511	-0.89758
21	0.079427	0.029332	0.826246	0.0355	-0.17153	-0.20197	-3.43061	-0.98966
22	0.064805	0.0207	0.766911	0.026992	-0.17819	-0.21916	-3.5637	-1.0739



***Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad***



h(m)	I*	II	II0	II1	sigma11	sigma22	sigma1	sigma2
23	0.053503	0.014608	0.715439	0.020419	-0.18429	-0.23494	-3.68584	-1.1512
24	0.044638	0.010254	0.670383	0.015296	-0.18991	-0.24946	-3.79824	-1.22234
25	0.037591	0.007108	0.630628	0.011271	-0.1951	-0.26285	-3.90195	-1.28798
26	0.031924	0.004812	0.595302	0.008083	-0.19989	-0.27524	-3.99788	-1.3487
27	0.027317	0.003124	0.563712	0.005542	-0.20434	-0.28673	-4.08682	-1.40499
28	0.023537	0.001874	0.535301	0.003502	-0.20847	-0.29741	-4.16945	-1.45729
29	0.020407	0.000945	0.509617	0.001854	-0.21232	-0.30734	-4.24637	-1.50597
30	0.017796	0.000252	0.486289	0.000517	-0.21591	-0.31661	-4.31812	-1.55138
31	0.015602	-0.00027	0.46501	-0.00057	-0.21926	-0.32527	-4.38516	-1.59382
32	0.013745	-0.00065	0.445523	-0.00147	-0.2224	-0.33337	-4.44791	-1.63353
33	0.012164	-0.00094	0.427612	-0.0022	-0.22534	-0.34097	-4.50674	-1.67076
34	0.01081	-0.00115	0.411096	-0.00281	-0.2281	-0.34811	-4.56197	-1.70572
35	0.009645	-0.00131	0.395818	-0.00331	-0.23069	-0.35481	-4.61389	-1.73858
36	0.008637	-0.00142	0.381645	-0.00373	-0.23314	-0.36113	-4.66277	-1.76952
37	0.007761	-0.0015	0.368462	-0.00407	-0.23544	-0.36708	-4.70885	-1.79868
38	0.008748	-0.001	0.368462	-0.0027	-0.22759	-0.3468	-4.55187	-1.69933
39	0.009684	-0.00031	0.368462	-0.00084	-0.22015	-0.32757	-4.40294	-1.60507
40	0.010573	0.000574	0.368462	0.001558	-0.21307	-0.30929	-4.26146	-1.51552
41	0.011419	0.001664	0.368462	0.004516	-0.20634	-0.29191	-4.12688	-1.43034
42	0.012225	0.002969	0.368462	0.008058	-0.19994	-0.27535	-3.99871	-1.34922
43	0.012993	0.004495	0.368462	0.0122	-0.19382	-0.25957	-3.8765	-1.27187
44	0.013726	0.006246	0.368462	0.016953	-0.18799	-0.2445	-3.75984	-1.19804
45	0.014427	0.008223	0.368462	0.022318	-0.18242	-0.2301	-3.64837	-1.12749
46	0.015097	0.010425	0.368462	0.028294	-0.17709	-0.21633	-3.54175	-1.06
47	0.015739	0.01285	0.368462	0.034873	-0.17198	-0.20314	-3.43966	-0.99539
48	0.016353	0.015491	0.368462	0.042044	-0.16709	-0.1905	-3.34183	-0.93347
49	0.018345	0.018345	0.368462	0.049788	-0.1624	-0.17838	-3.24799	-0.87408
50	0.021403	0.021403	0.368462	0.058087	-0.1579	-0.16675	-3.1579	-0.81706
51	0.024656	0.024656	0.368462	0.066915	-0.15357	-0.15557	-3.07135	-0.76228
52	0.028094	0.028094	0.368462	0.076248	-0.14941	-0.14482	-2.98812	-0.70961
53	0.031708	0.031708	0.368462	0.086056	-0.1454	-0.13447	-2.90804	-0.65892
54	0.035486	0.035486	0.368462	0.096308	-0.14155	-0.12451	-2.83092	-0.61011
55	0.039416	0.039416	0.368462	0.106974	-0.13783	-0.11491	-2.75661	-0.56308
56	0.043485	0.043485	0.368462	0.118018	-0.13425	-0.10566	-2.68495	-0.51772
57	0.047682	0.047682	0.368462	0.129409	-0.13079	-0.09673	-2.6158	-0.47396
58	0.051994	0.051994	0.368462	0.14111	-0.12745	-0.0881	-2.54904	-0.4317
59	0.056407	0.056407	0.368462	0.153088	-0.12423	-0.07977	-2.48454	-0.39088
60	0.060909	0.060909	0.368462	0.165307	-0.12111	-0.07172	-2.42219	-0.35142



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



h(m)	p1	p2	p3	p4	pu
7.5	115.4439	107.3741	111.678	52.92772	10.84431
8	122.5038	112.8384	117.6711	55.99771	10.62779
9	136.6941	123.2796	129.2416	62.28614	10.20166
10	150.5754	132.6774	139.8366	68.37967	9.756161
11	164.1264	141.0045	149.4125	74.26619	9.29939
12	177.3231	148.2469	157.9389	79.9327	8.838665
13	181.9601	147.7615	158.2841	81.69331	8.380382
14	149.4709	117.6929	126.7723	66.82212	7.929932
15	129.4031	98.63627	106.8408	57.59194	7.491679
16	115.9643	85.43738	93.0691	51.36786	7.068991
17	106.3661	75.63739	82.86767	46.88301	6.664318
18	99.14827	67.95922	74.89012	43.47443	6.279288
19	93.49311	61.69273	68.38755	40.77118	5.914819
20	88.91664	56.41951	62.91894	38.55375	5.571243
21	85.11833	51.87996	58.21108	36.6858	5.248422
22	81.90329	47.90515	54.08663	35.07884	4.945852
h(m)	p1	p2	p3	p4	pu
23	79.13994	44.38012	50.42531	33.67302	4.662766
24	76.73596	41.22332	47.14209	32.42627	4.398215
25	74.62419	38.37461	44.17454	31.30789	4.151137
26	72.75411	35.78811	41.47519	30.29475	3.920413
27	71.08651	33.42781	39.00688	29.36884	3.704913
28	69.59015	31.26471	36.73978	28.51582	3.503525
29	68.23957	29.27503	34.64945	27.72395	3.315179
30	67.0136	27.43894	32.71556	26.98351	3.138863
31	65.89442	25.73972	30.92097	26.28632	2.973632
32	64.86682	24.16316	29.25112	25.62541	2.818615
33	63.91773	22.69705	27.69349	24.99482	2.673009
34	63.03589	21.33084	26.23732	24.38944	2.536085
35	62.21149	20.0554	24.87324	23.80484	2.407179
36	61.43602	18.86277	23.59313	23.23721	2.285692
37	60.7021	17.74596	22.38987	22.68325	2.171082
38	60.08306	16.72104	22.42657	22.16958	2.173447
39	59.4801	15.75467	22.48166	21.65864	2.177791
40	58.89012	14.84315	22.55137	21.14913	2.183733
41	58.31038	13.98308	22.63231	20.63995	2.19093
42	57.73855	13.17134	22.72146	20.13013	2.199079

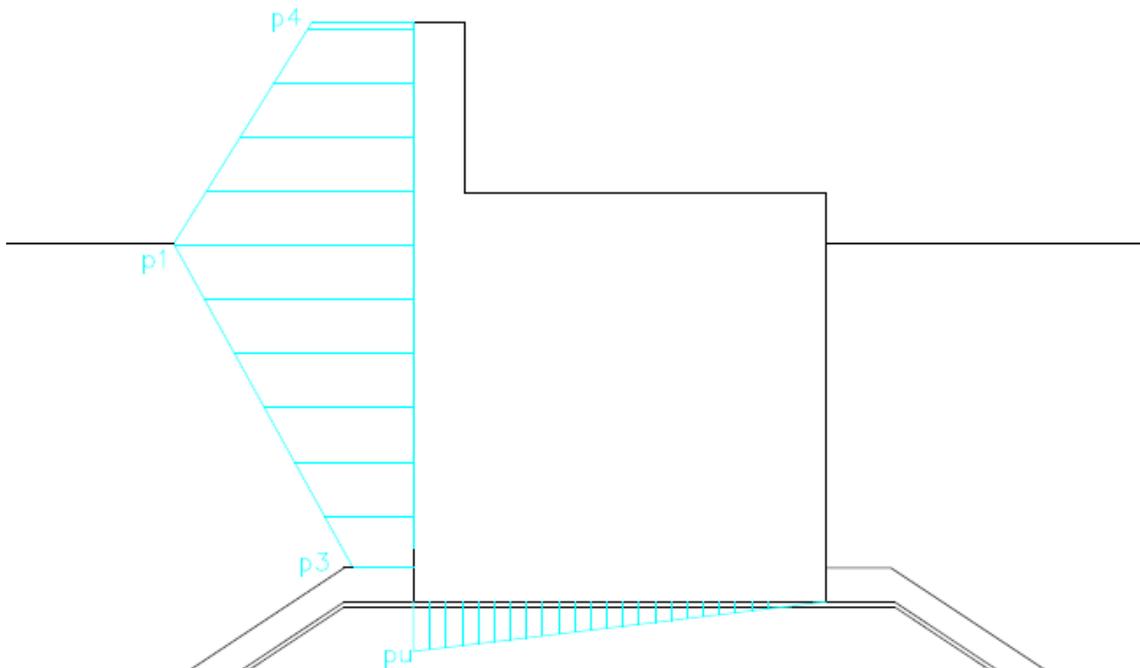


**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



43	57.17257	12.40507	22.81612	19.6189	2.207906
44	56.61073	11.68164	22.91391	19.10559	2.21717
45	56.05153	10.99859	23.01271	18.58967	2.226657
46	55.49376	10.35367	23.11065	18.07072	2.236175
47	54.93636	9.744746	23.20608	17.5484	2.245557
48	54.37851	9.169852	23.29756	17.02245	2.254653
49	53.8195	8.627134	23.38383	16.49271	2.263335
50	53.2588	8.114851	23.46379	15.95904	2.271487
51	52.69597	7.631366	23.53652	15.42137	2.279012
52	52.13069	7.175133	23.6012	14.87968	2.285822
53	51.56272	6.744694	23.65716	14.33398	2.291845
54	50.99192	6.338668	23.70382	13.78431	2.297017
55	50.41817	5.955748	23.74072	13.23074	2.301285
56	49.84145	5.594695	23.76747	12.67335	2.304605
57	49.26177	5.254335	23.78378	12.11226	2.306941
58	48.67916	4.933553	23.78942	11.54757	2.308263
59	48.0937	4.631293	23.78422	10.97943	2.308548
60	47.50551	4.346549	23.76808	10.40797	2.30778

Presiones sobre el paramento vertical:

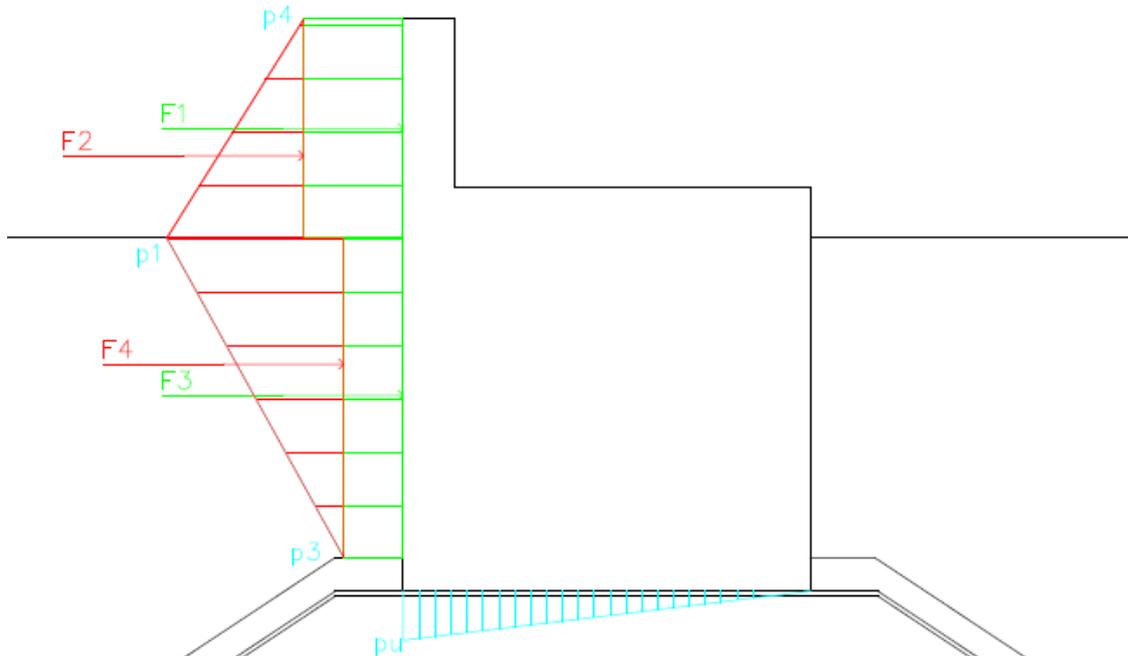




**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



Fuerzas sobre el paramento vertical:



h (m)	F1	F2	F3	F4	FH	FU
7.5	476.349501	31.2581078	390.873029	6.59037665	905.071015	115.762968
8	503.979424	33.2530388	470.684416	9.66537482	1017.58225	113.45167
9	560.57528	37.2039882	646.207915	18.6313389	1262.61852	132.621553
10	615.417003	41.097879	839.019649	32.2164508	1527.75098	126.830095
11	668.395754	44.9300939	1045.88726	51.4987086	1810.71182	142.51315
12	719.394338	48.6951736	1263.51158	77.5364164	2109.13751	156.002431
13	735.239792	50.1333845	1424.55701	106.541853	2316.47204	167.398135
14	601.39912	41.3243731	1267.72339	113.492657	2023.93954	103.089122
15	518.327478	35.9055998	1175.24844	124.093058	1853.57458	97.3918247
16	462.310785	32.2981976	1116.82917	137.370973	1748.80913	75.4614803
17	421.947064	29.7415368	1077.2797	152.739676	1681.70797	86.6361386
18	391.269912	27.8369184	1048.46167	169.807067	1637.37556	67.0313958
19	366.940629	26.3609649	1025.81326	188.291703	1607.40655	63.1406902
20	346.983745	25.1814434	1006.70303	207.981577	1586.84979	59.4730217
21	330.172219	24.2162617	989.588315	228.711609	1572.6884	56.0269002
22	315.709593	23.4122244	973.559276	250.349994	1563.03109	52.7969657
23	303.057224	22.73346	958.080814	272.789069	1556.66057	49.775025
24	291.836415	22.1548474	942.841839	295.938712	1552.77181	46.9509429
25	281.77101	21.6581512	927.665348	319.721347	1550.81586	44.3133848



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



26	272.652713	21.2296801	912.45418	344.068076	1550.40465	41.8504131
27	264.319576	20.8588316	897.158205	368.915706	1551.25232	39.5499511
28	256.642337	20.5371672	881.754601	394.204494	1553.1386	37.4001294
29	249.515537	20.2578097	866.236155	419.876522	1555.88602	35.3895314
30	242.851615	20.0150448	850.604498	445.874583	1559.34574	40.8052135
31	236.57688	19.8040494	834.866314	472.141496	1563.38874	38.6572205
32	230.62869	19.6207032	819.031326	498.619767	1567.90049	36.6419914
33	224.953421	19.461455	803.111276	525.251513	1572.77766	34.7491154
34	219.504961	19.3232235	787.119456	551.978578	1577.92622	32.9691002
35	214.243547	19.2033237	771.070495	578.742786	1583.26015	31.2933284
36	209.13486	19.0994091	754.980243	605.486276	1588.70079	35.0282335
37	204.14928	19.0094253	738.865677	632.151875	1594.17626	33.2718269
38	199.526192	18.9567425	740.076714	621.332164	1579.89181	33.3080704
39	194.927739	18.9107326	741.894858	610.47427	1566.2076	33.3746491
40	190.342191	18.8704922	744.195239	599.589306	1552.99723	33.4657061

h (m)	F1	F2	F3	F4	FH	FU
41	185.759507	18.8352198	746.866187	588.688254	1540.14917	33.5760071
42	181.171175	18.8042087	749.808019	577.782033	1527.56544	33.7008792
43	176.570069	18.7768391	752.931943	566.881514	1515.16037	33.8361568
44	171.950292	18.7525701	756.159064	555.997483	1502.85941	33.9781324
45	167.307038	18.730932	759.419477	545.140586	1490.59803	34.123513
46	162.636465	18.7115193	762.65144	534.321269	1478.32069	34.2693801
47	157.935572	18.6939836	765.800618	523.549698	1465.97987	34.413154
48	153.202086	18.6780273	768.819398	512.835695	1453.53521	34.5525617
49	148.434371	18.6633977	771.666256	502.188677	1440.9527	34.6856071
50	143.631329	18.6498814	774.305182	491.6176	1428.20399	34.8105446
51	138.792331	18.6372996	776.705154	481.130917	1415.2657	34.9258551
52	133.917136	18.6255037	778.839652	470.736546	1402.11884	35.0302238
53	129.00584	18.6143712	780.68622	460.441845	1388.74828	35.1225202
54	124.058816	18.6038021	782.226066	450.253599	1375.14228	35.2017804
55	119.076666	18.5937163	783.443688	440.178015	1361.29208	35.2671905
56	114.060186	18.5840501	784.326543	430.220723	1347.1915	35.3180714
57	109.010324	18.5747544	784.864741	420.386786	1332.83661	35.3538659
58	103.928157	18.5657922	785.050767	410.680713	1318.22543	35.3741258
59	98.8148601	18.5571367	784.879225	401.106475	1303.3577	35.3785014
60	93.6716854	18.5487701	784.34661	391.66753	1288.2346	35.3667311

h (m)	MF1	MF2	MF3	MF4	MH	MU
7.5	3810.79601	4182.05381	684.027802	15.3775455	8692.25516	1787.58447
8	4283.8251	5350.2412	941.368831	25.7743328	10601.2095	1751.89394
9	5325.46516	8199.85715	1615.51979	62.1044629	15202.9466	2462.00012
10	6461.87854	11740.5633	2517.05895	128.865803	20848.3666	2354.48689



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



11	7686.55117	15978.4483	3660.60541	240.327307	27565.9322	3089.63704
12	8992.42923	20898.5333	5054.04631	413.527554	35358.5364	3867.47556
13	9925.73719	24257.1551	6410.50653	639.25112	41232.65	4670.394
14	8720.28725	17875.8686	6338.61697	756.617714	33691.3905	1913.75704
15	8034.0759	14460.9616	6463.86642	910.01576	29868.9197	1807.99182
16	7628.12795	12411.4348	6700.97505	1098.96778	27839.5056	1165.25839
17	7384.07362	11066.6246	7002.31803	1323.74386	26776.7601	1608.32216
18	7238.49337	10118.3642	7339.23167	1584.86596	26280.9551	1035.08301
19	7155.34226	9409.22354	7693.59941	1882.91703	26141.0822	975.003652
20	7113.16676	8852.98151	8053.6242	2218.47015	26238.2426	918.368381
21	7098.70271	8399.71964	8411.50068	2592.0649	26501.9879	865.154185
22	7103.46584	8019.14945	8762.03349	3004.19993	26888.8487	815.278298
23	7121.84476	7692.09969	9101.76774	3455.3282	27371.0404	768.614201
24	7149.99216	7405.93598	9428.41839	3945.84949	27930.196	725.005391
25	7185.16075	7151.99331	9740.48615	4476.09885	28553.7391	684.27684
26	7225.2969	6924.08973	10036.996	5046.33179	29232.7144	646.244212
27	7268.78835	6717.64378	10317.3194	5656.70749	29960.459	610.721021
28	7314.3066	6529.13923	10581.0552	6307.2719	30731.7729	577.52398
29	7360.70833	6355.79432	10827.9519	6997.94203	31542.3966	546.4768
30	7406.97425	6195.35355	11057.8585	7728.49277	32388.679	757.512168
31	7452.17171	6045.95391	11270.6952	8498.54693	33267.3678	717.636606
32	7495.43241	5906.03655	11466.4386	9307.56899	34175.4765	680.225687
33	7535.93961	5774.28684	11645.1135	10154.8626	35110.2025	645.086142
34	7572.92114	5649.59176	11806.7918	11039.5716	36068.8763	612.041757
35	7605.64592	5531.00848	11951.5927	11960.6842	37048.9313	580.932557
36	7633.4224	5417.73993	12079.6839	12917.0406	38047.8868	759.400292
37	7655.59799	5309.11499	12191.2837	13907.3413	39063.3379	721.32199
38	7482.23218	5302.05374	12211.2658	13669.3076	38664.8593	722.107736
39	7309.79021	5300.64595	12241.2652	13430.4339	38282.1353	723.55114
40	7137.83218	5303.83639	12279.2214	13190.9647	37911.8547	725.525226

h (m)	MF1	MF2	MF3	MF4	MH	MU
41	6965.98149	5310.69184	12323.2921	12951.1416	37551.107	727.916514
42	6793.91908	5320.38772	12371.8323	12711.2047	37197.3438	730.6237
43	6621.3776	5332.19635	12423.3771	12471.3933	36848.3443	733.556472
44	6448.13594	5345.47676	12476.6246	12231.9446	36502.1819	736.634456
45	6274.01393	5359.66561	12530.4214	11993.0929	36157.1938	739.786257
46	6098.86745	5374.26917	12583.7488	11755.0679	35811.9533	742.948606
47	5922.58394	5388.85619	12635.7102	11518.0934	35465.2437	746.065576
48	5745.07824	5403.05148	12685.5201	11282.3853	35116.0351	749.087888
49	5566.28891	5416.53021	12732.4932	11048.1509	34763.4632	751.972267
50	5386.17485	5429.0127	12776.0355	10815.5872	34406.8103	754.680872
51	5204.7124	5440.25979	12815.635	10584.8802	34045.4874	757.180765
52	5021.8926	5450.06857	12850.8543	10356.204	33679.0194	759.443442



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



53	4837.71902	5458.2686	12881.3226	10129.7206	33307.0309	761.444397
54	4652.20559	5464.71845	12906.7301	9905.57918	32929.2333	763.162732
55	4465.37498	5469.30252	12926.8208	9683.91633	32545.4147	764.5808
56	4277.25696	5471.92825	12941.388	9464.85591	32155.4291	765.683881
57	4087.88716	5472.5235	12950.2682	9248.5093	31759.1882	766.459893
58	3897.3059	5471.03426	12953.3377	9034.97568	31356.6535	766.899121
59	3705.55725	5467.42253	12950.5072	8824.34245	30947.8294	766.993983
60	3512.6882	5461.66439	12941.7191	8616.68566	30532.7573	766.738807

h (m)	W	Mw
7.5	1806.80625	17480.8505
8	1935	18721.125
9	2718	32616
10	3036	36432
11	4003.8375	57354.9722
12	5094.9	84830.085
13	6309.1875	119716.833
14	4308	51696
15	4626	55512
16	3986.1	38565.5175
17	5262	63144
18	4498.875	43526.6156
19	4755.2625	46007.1647
20	5011.65	48487.7138
21	5268.0375	50968.2628
22	5524.425	53448.8119
23	5780.8125	55929.3609
24	6037.2	58409.91
25	6293.5875	60890.4591
26	6549.975	63371.0081
27	6806.3625	65851.5572
28	7062.75	68332.1063
29	7319.1375	70812.6553
30	9396	112752
31	9714	116568
32	10032	120384
33	10350	124200
34	10668	128016
35	10986	131832
36	13494.15	193303.699
37	13873.7625	198741.648
38	13873.7625	198741.648
39	13873.7625	198741.648



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



40	13873.7625	198741.648
----	------------	------------

h (m)	W	Mw
42	13873.7625	198741.648
43	13873.7625	198741.648
44	13873.7625	198741.648
45	13873.7625	198741.648
46	13873.7625	198741.648
47	13873.7625	198741.648
48	13873.7625	198741.648
49	13873.7625	198741.648
50	13873.7625	198741.648
51	13873.7625	198741.648
52	13873.7625	198741.648
53	13873.7625	198741.648
54	13873.7625	198741.648
55	13873.7625	198741.648
56	13873.7625	198741.648
57	13873.7625	198741.648
58	13873.7625	198741.648
59	13873.7625	198741.648
60	13873.7625	198741.648



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



Anejo 3. Mediciones secciones tipo dique en talud y dique en
vertical



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



DIQUE EN VERTICAL

h (m)	Banqueta (m3)/ metro de dique		
	Todo-Uno	Escollera Exterior	Escollera Interior
7.5	141.40	89.85	10.50
8	141.40	90.73	10.82
9	160.00	92.16	12.50
10	160.00	93.16	12.91
11	178.60	93.77	14.40
12	197.20	94.03	15.75
13	215.80	93.98	16.96
14	160.00	93.65	13.12
15	160.00	93.07	12.88
16	141.40	92.29	11.38
17	160.00	91.32	12.16
18	141.40	90.21	10.63
19	141.40	88.97	10.20
20	141.40	87.62	9.74
21	141.40	86.20	9.27
22	141.40	84.70	8.80
23	141.40	83.16	8.33
24	141.40	83.16	8.33
25	141.40	81.58	7.86
26	141.40	79.97	7.40
27	141.40	78.34	6.96
28	141.40	76.71	6.53
29	141.40	75.06	6.12
30	141.40	73.42	5.73
31	160.00	71.79	5.91
32	160.00	70.16	5.51
33	160.00	68.54	5.14
34	160.00	66.94	4.79
35	160.00	65.35	4.46
36	160.00	63.79	4.14
37	178.60	62.24	4.21
38	178.60	60.72	3.90
39	233.25	71.21	4.23
40	291.9	81.70	4.55



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



h (m)	Banqueta (m3)/ metro de dique		
	Todo-Uno	Escollera Exterior	Escollera Interior
41	354.55	92.19	4.87
42	421.20	102.68	5.19
43	491.85	113.17	5.51
44	566.50	123.66	5.83
45	645.15	134.14	6.15
46	727.80	144.63	6.47
47	814.45	155.12	6.79
48	905.10	165.61	7.11
49	999.75	176.10	7.43
50	1098.40	186.59	7.75
51	1201.05	197.08	8.07
52	1307.70	207.57	8.39
53	1418.35	218.06	8.71
54	1533.00	228.55	9.03
55	1651.65	239.04	9.36
56	1774.30	249.53	9.68
57	1900.95	260.02	10.00
58	2031.60	270.51	10.32
59	2166.25	281.00	10.64
60	2304.90	291.49	10.96

h (m)	Cajón completo					
	Exterior cajón (m3)	Nº Celdas	Hueco celda (m3)	Total celdas (m3)	Total hormigón (m3)	Total Acero (kg)
7.5	2885.08	36.00	67.76	2439.36	445.72	53487.00
8	3297.24	36.00	77.44	2787.84	509.40	61128.00
9	5112.00	45.00	96.80	4356.00	756.00	90720.00
10	6134.40	45.00	116.16	5227.20	907.20	108864.00
11	8543.43	54.00	135.52	7318.08	1225.35	147042.00
12	11348.64	63.00	154.88	9757.44	1591.20	190944.00
13	14550.03	72.00	174.24	12545.28	2004.75	240570.00
14	10224.00	45.00	193.60	8712.00	1512.00	181440.00
15	11246.40	45.00	212.96	9583.20	1663.20	199584.00



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



16	9891.72	36.00	232.32	8363.52	1528.20	183384.00
17	13291.20	45.00	251.68	11325.60	1965.60	235872.00
18	11540.34	36.00	271.04	9757.44	1782.90	213948.00
19	12364.65	36.00	290.40	10454.40	1910.25	229230.00
20	13188.96	36.00	309.76	11151.36	2037.60	244512.00
21	14013.27	36.00	329.12	11848.32	2164.95	259794.00
22	14837.58	36.00	348.48	12545.28	2292.30	275076.00
23	15661.89	36.00	367.84	13242.24	2419.65	290358.00
24	15661.89	36.00	367.84	13242.24	2419.65	290358.00
25	16486.20	36.00	387.20	13939.20	2547.00	305640.00
26	17310.51	36.00	406.56	14636.16	2674.35	320922.00
27	18134.82	36.00	425.92	15333.12	2801.70	336204.00
28	18959.13	36.00	445.28	16030.08	2929.05	351486.00
29	19783.44	36.00	464.64	16727.04	3056.40	366768.00
30	20607.75	36.00	484.00	17424.00	3183.75	382050.00
31	26582.40	45.00	503.36	22651.20	3931.20	471744.00
32	27604.80	45.00	522.72	23522.40	4082.40	489888.00
33	28627.20	45.00	542.08	24393.60	4233.60	508032.00
34	29649.60	45.00	561.44	25264.80	4384.80	526176.00
35	30672.00	45.00	580.80	26136.00	4536.00	544320.00
36	31694.40	45.00	600.16	27007.20	4687.20	562464.00
37	39055.68	54.00	619.52	33454.08	5601.60	672192.00
38	40276.17	54.00	638.88	34499.52	5776.65	693198.00
39	40276.17	54.00	638.88	34499.52	5776.65	693198.00
40	41496.66	54.00	658.24	35544.96	5951.70	714204.00

h (m)	Cajón completo					
	Exterior cajón (m3)	Nº Celdas	Hueco celda (m3)	Total celdas (m3)	Total hormigón (m3)	Total Acero (kg)
41	41496.66	54.00	658.24	35544.96	5951.70	714204.00
42	41496.66	54.00	658.24	35544.96	5951.70	714204.00
43	41496.66	54.00	658.24	35544.96	5951.70	714204.00
44	41496.66	54.00	658.24	35544.96	5951.70	714204.00
45	41496.66	54.00	658.24	35544.96	5951.70	714204.00
46	41496.66	54.00	658.24	35544.96	5951.70	714204.00
47	41496.66	54.00	658.24	35544.96	5951.70	714204.00
48	41496.66	54.00	658.24	35544.96	5951.70	714204.00
49	41496.66	54.00	658.24	35544.96	5951.70	714204.00
50	41496.66	54.00	658.24	35544.96	5951.70	714204.00
51	41496.66	54.00	658.24	35544.96	5951.70	714204.00
52	41496.66	54.00	658.24	35544.96	5951.70	714204.00



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



53	41496.66	54.00	658.24	35544.96	5951.70	714204.00
54	41496.66	54.00	658.24	35544.96	5951.70	714204.00
55	41496.66	54.00	658.24	35544.96	5951.70	714204.00
56	41496.66	54.00	658.24	35544.96	5951.70	714204.00
57	41496.66	54.00	658.24	35544.96	5951.70	714204.00
58	41496.66	54.00	658.24	35544.96	5951.70	714204.00
59	41496.66	54.00	658.24	35544.96	5951.70	714204.00
60	41496.66	54.00	658.24	35544.96	5951.70	714204.00

h (m)	Unidad/metro de dique			
	Relleno (m3)	Hormigón cajón(M3)	KG Acero	Hormigón Superestructura (m3)
7.5	57.26	10.46	1255.56	47.70
8	65.44	11.95	1434.92	47.70
9	102.25	17.74	2129.57	57.00
10	122.70	21.29	2555.49	57.00
11	171.78	28.76	3451.69	66.30
12	229.04	37.35	4482.25	75.60
13	294.49	47.05	5647.18	84.90
14	204.50	35.49	4259.15	57.00
15	224.95	39.04	4685.07	57.00
16	196.32	35.87	4304.78	47.70
17	265.85	46.14	5536.90	57.00
18	229.04	41.85	5022.25	47.70
19	245.40	44.84	5380.98	47.70
20	261.76	47.83	5739.71	47.70
21	278.12	50.82	6098.45	47.70
22	294.49	53.80	6457.18	47.70
23	310.85	56.79	6815.91	47.70
24	310.85	56.79	6815.91	47.70
25	327.21	59.78	7174.64	47.70
26	343.57	62.77	7533.38	47.70
27	359.93	65.76	7892.11	47.70
28	376.29	68.75	8250.84	47.70
29	392.65	71.74	8609.57	47.70
30	409.01	74.73	8968.30	47.70
31	531.71	92.28	11073.80	57.00
32	552.16	95.83	11499.71	57.00
33	572.61	99.38	11925.63	57.00
34	593.07	102.92	12351.54	57.00
35	613.52	106.47	12777.46	57.00
36	633.97	110.02	13203.38	57.00



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



37	785.30	131.49	15779.15	66.30
38	809.84	135.60	16272.25	66.30
39	809.84	135.60	16272.25	66.30
40	834.38	139.71	16765.35	66.30

	Unidad/metro de dique			
h (m)	Relleno (m3)	Hormigón cajón(M3)	KG Acero	Hormigón Superestructura (m3)
41	834.38	139.71	16765.35	66.30
42	834.38	139.71	16765.35	66.30
43	834.38	139.71	16765.35	66.30
44	834.38	139.71	16765.35	66.30
45	834.38	139.71	16765.35	66.30
46	834.38	139.71	16765.35	66.30
47	834.38	139.71	16765.35	66.30
48	834.38	139.71	16765.35	66.30
49	834.38	139.71	16765.35	66.30
50	834.38	139.71	16765.35	66.30
51	834.38	139.71	16765.35	66.30
52	834.38	139.71	16765.35	66.30
53	834.38	139.71	16765.35	66.30
54	834.38	139.71	16765.35	66.30
55	834.38	139.71	16765.35	66.30
56	834.38	139.71	16765.35	66.30
57	834.38	139.71	16765.35	66.30
58	834.38	139.71	16765.35	66.30
59	834.38	139.71	16765.35	66.30
60	834.38	139.71	16765.35	66.30



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



DIQUE EN TALUD

h(m)	Manto Principal(m3)	Manto secundario 1 (m3)	Manto secundario 2 (m3)	Núcleo (m3)
7.5	81.67	67.94	21.40	232.50
8	85.60	71.21	22.43	256.00
9	93.45	77.74	24.49	306.00
10	101.30	84.27	26.55	360.00
11	109.14	90.80	28.60	418.00
12	116.99	97.33	30.66	480.00
13	124.84	103.86	32.72	546.00
14	132.69	110.39	34.78	616.00
15	140.54	116.91	36.83	690.00
16	148.39	123.44	38.89	768.00
17	156.24	129.97	40.95	850.00
18	164.08	136.50	43.00	936.00
19	171.93	143.03	45.06	1026.00
20	179.78	149.56	47.12	1120.00
21	187.63	156.09	49.18	1218.00
22	195.48	162.62	51.23	1320.00
23	203.33	169.15	53.29	1426.00
24	211.18	175.68	55.35	1536.00
25	219.02	182.21	57.40	1650.00
26	226.87	188.74	59.46	1768.00
27	234.72	195.27	61.52	1890.00
28	242.57	201.80	63.58	2016.00
29	250.42	208.33	65.63	2146.00
30	258.27	214.85	67.69	2280.00
31	266.12	221.38	69.75	2418.00
32	273.97	227.91	71.80	2560.00
33	281.81	234.44	73.86	2706.00
34	289.66	240.97	75.92	2856.00
35	297.51	247.50	77.98	3010.00
36	305.36	254.03	80.03	3168.00
37	313.21	260.56	82.09	3330.00
38	321.06	267.09	84.15	3496.00
39	328.91	273.62	86.21	3666.00
40	336.75	280.15	88.26	3840.00



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



h(m)	Manto Principal(m3)	Manto secundario 1 (m3)	Manto secundario 2 (m3)	Núcleo (m3)
41	344.60	286.68	90.32	4018.00
42	352.45	293.21	92.38	4200.00
43	360.30	299.74	94.43	4386.00
44	368.15	306.27	96.49	4576.00
45	376.00	312.79	98.55	4770.00
46	383.85	319.32	100.61	4968.00
47	391.69	325.85	102.66	5170.00
48	399.54	332.38	104.72	5376.00
49	407.39	338.91	106.78	5586.00
50	415.24	345.44	108.83	5800.00
51	423.09	351.97	110.89	6018.00
52	430.94	358.50	112.95	6240.00
53	438.79	365.03	115.01	6466.00
54	446.63	371.56	117.06	6696.00
55	454.48	378.09	119.12	6930.00
56	462.33	384.62	121.18	7168.00
57	470.18	391.15	123.23	7410.00
58	478.03	397.68	125.29	7656.00
59	485.88	404.20	127.35	7906.00
60	493.73	410.73	129.41	8160.00



**Elección de la tipología de dique de abrigo más económica
en función de la profundidad**



Anejo 4. Informe de datos de la boya de Cabo de Palos

Red Costera de Boyas.
Informe de datos de la boya de Cabo de Palos.
Periodo:Dic.2011-Nov.2012

Puertos del Estado



Área de Medio Físico.
Puertos del Estado.
Avenida del Partenón 10, 28042, Madrid

Contenidos

1	Introducción	3
2	Descripción de los instrumentos de medida.	5
2.1	La boya Waverider	5
3	Descripción de los métodos empleados para la representación y el estudio de los datos.	7
3.1	Control de calidad	7
3.2	Métodos empleados para la representación y el estudio de los parámetros de oleaje.	7
3.2.1	Estadística de las series de oleaje.	8
3.3	Posición de fondeo	9

Puertos del Estado



Capítulo 1

Introducción

El objetivo de este informe es presentar los datos medidos y mostrar los resultados de un primer análisis de las series que ayude a conocer las características básicas de las mismas. No pretende, en ningún caso, ser un análisis definitivo de las series ni establecer comparaciones detalladas con las medidas de otros instrumentos o imágenes de satélite. La mayor parte de los resultados que aparecen en este informe son resultado de procedimientos automatizados desarrollados por el Área de Medio Físico de Puertos del Estado.

Este informe está dividido en las siguientes partes:

- Descripción de los instrumentos de medida.
- Descripción de los métodos empleados para la representación y el estudio de los datos.
- Presentación y análisis de los datos medidos para cada instrumento incluido en el informe. Se incluyen los siguientes apartados:
 - Posición del fondeo.
 - Análisis de los datos de oleaje. Se muestran figuras representando las series medidas para el periodo completo y por meses. Se presentan análisis estadísticos escalares básicos (altura-periodo) y, en el caso de que existan datos direccionales, se realizan análisis estadísticos direccionales básicos (rosas de oleaje y tablas de encuentro entre altura y dirección del oleaje).

Puertos del Estado



Capítulo 2

Descripción de los instrumentos de medida.

2.1 La boya Waverider

La boya Waverider (ver figura 2.1; <http://www.datawell.nl>) tiene forma esférica con un diámetro de 0.7 m. El sensor de medida (en el interior del casco de la boya) es un acelerómetro suspendido dentro de una esfera en un líquido con una conductividad concreta. Las medidas instantáneas de diferencias de potencial así obtenidas son convertidas a aceleraciones. Éstas se integran dos veces para, finalmente, obtener las elevaciones que componen la serie temporal de datos brutos. La transmisión a la estación costera se realiza vía radio. La señal analógica es convertida a digital y analizada. De esta forma se dispone, en tiempo real, de los parámetros más representativos del oleaje.



Figura 2.1: Foto de una boya Waverider.

Capítulo 3

Descripción de los métodos empleados para la representación y el estudio de los datos.

3.1 Control de calidad

Las variables de oleaje representadas en el presente informe son parte de los resultados obtenidos de la aplicación, a la serie temporal de elevaciones instantáneas, de un riguroso control de calidad previo al análisis estadístico (corto término) y espectral (FFT). El control de calidad realiza chequeos encaminados a la detección de errores puntuales en la serie (picos, aceleraciones atípicas, periodos anómalos, etc) y de comportamientos globales anómalos (sesgo, kurtosis, etc).

Los parámetros más representativos obtenidos de los análisis son sometidos a diversos criterios de coherencia con el fin de intentar detectar posibles funcionamientos anómalos de los equipos de medida.

Finalmente, los resultados son validados mediante la verificación de los mismos por comparación con otras fuentes disponibles de datos así como por los resultados de la calibración de la boya realizada, posteriormente a su recuperación, en laboratorio.

3.2 Métodos empleados para la representación y el estudio de los parámetros de oleaje.

Las alturas, periodos y dirección (cuando existen datos direccionales) del oleaje se representan, tanto para el periodo completo como por meses.

3.2.1 Estadística de las series de oleaje.

Se incluyen tres tipos de estadísticas: distribuciones conjuntas de altura y periodo y cuando existan datos direccionales, también rosas de oleaje y distribuciones conjuntas de altura y dirección de oleaje.

En las rosas de oleaje se representan la altura y dirección del oleaje asociadas a su probabilidad de ocurrencia. Se han preparado rosas tanto para la serie total como para cada una de las estaciones. Estas figuras incluyen un cabecera con la siguiente información: nombre de la estación, periodo y fechas analizadas, numero de datos medidos, tanto por ciento de valores útiles durante el periodo considerado, altura significativa media y altura significativa máxima.

Las distribuciones conjuntas de altura y periodo de pico muestran, para la serie total y por estaciones, una descripción estadística de la serie que contiene la siguiente información:

- Una cabecera similar a la empleada en las rosas.
- Histograma de altura significativa.
- Histograma de periodo de pico.
- Tabla de encuentro entre alturas y periodos de pico.

Las distribuciones conjuntas de altura y dirección muestran, para la serie total y por estaciones, una descripción estadística de la serie que contiene la siguiente información:

- Una cabecera similar a la empleada en las rosas.
- Histograma de altura significativa.
- Histograma dirección del oleaje.
- Tabla de encuentro entre alturas y direcciones.

3.3 Posición de fondeo

La posición de fondeo se puede observar en la figura 3.1.

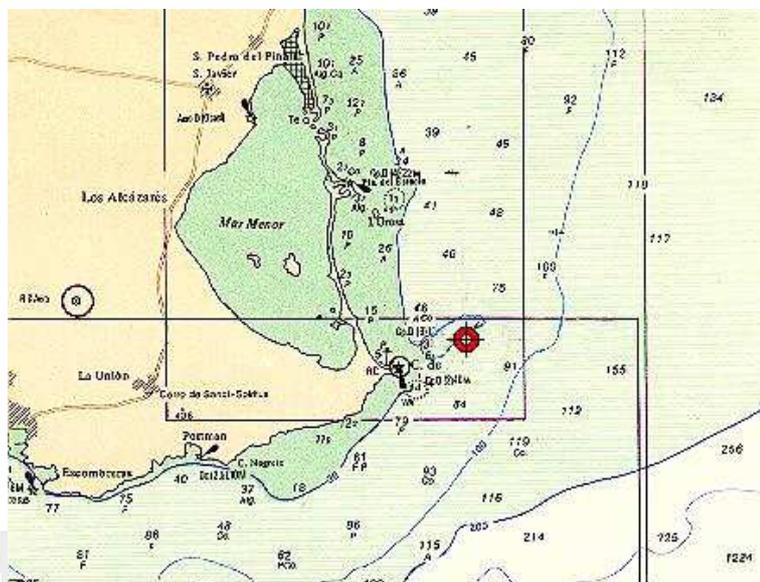


Figura 3.1: Detalle de la carta náutica y posición de la boya de Cabo de Palos.

Las coordenadas son $37^{\circ} 39.25' N$, $0^{\circ} 38.30' W$ y la profundidad en el punto de fondeo es de 67 m.

Esta estación se cerró de forma definitiva el día 18 de de junio de 2012.

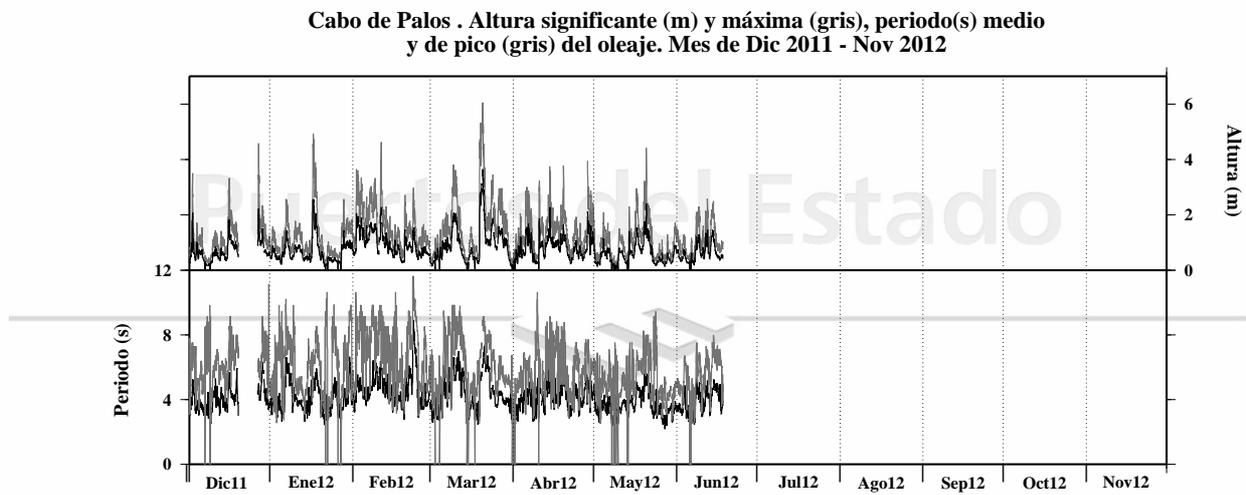


Figura 3.2: Series brutas. Altura y periodo del oleaje.

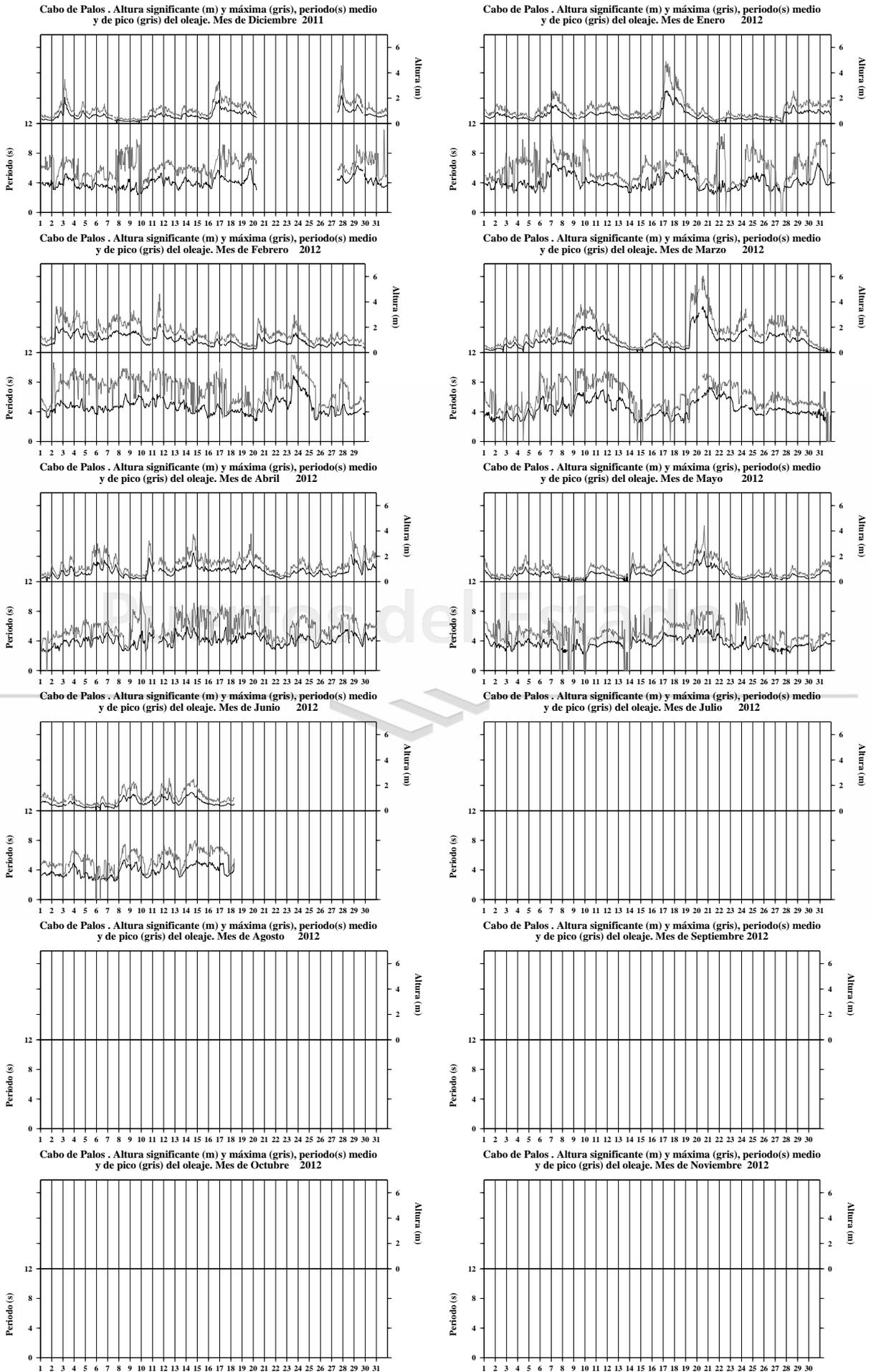


Figura 3.3: Series de altura y periodo del oleaje.

DISTRIBUCIÓN CONJUNTA DE ALTURA Y PERIODO DE PICO DEL OLEAJE

LUGAR : Cabo de Palos

PERIODO : anual

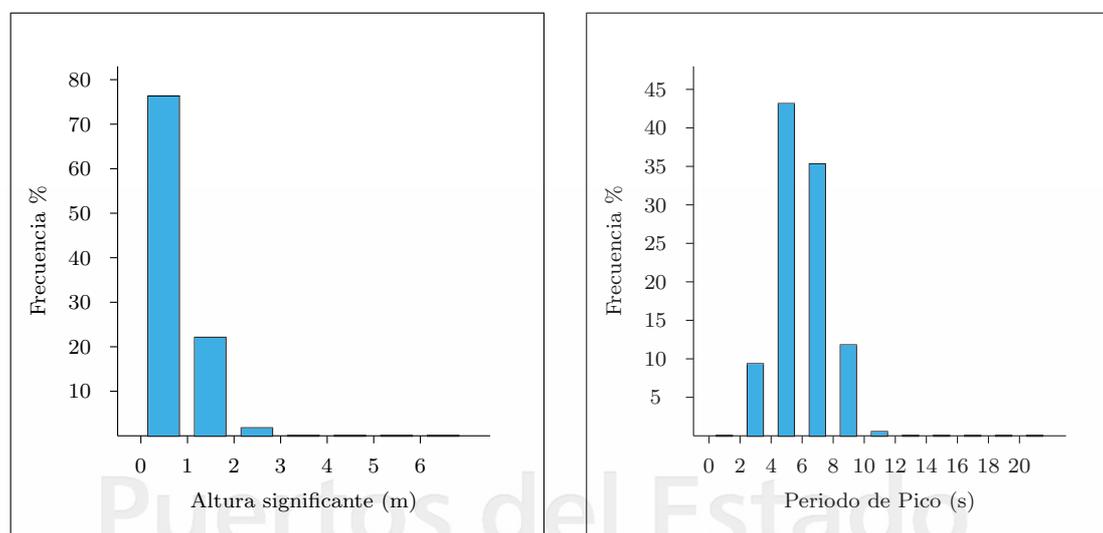
SERIE ANALIZADA : Dic. 2011 - Nov. 2012

NÚMERO DE DATOS : 4611

EFICACIA : 52.50 %

ALTURA SIGNIF. MEDIA : 0.75 (m)

ALTURA SIGNIF. MÁXIMA : 3.65 (m)



Periodo de Pico (s)	Altura significativa (m)							Total
	≤ 01	(01-02]	(02-03]	(03-04]	(04-05]	(05-06]	> 06	
≤ 02	-	-	-	-	-	-	-	-
(02-04]	9.304	.088	-	-	-	-	-	9.392
(04-06]	38.117	5.003	.066	-	-	-	-	43.186
(06-08]	22.998	11.016	.966	.044	-	-	-	35.023
(08-10]	5.925	5.201	.483	.219	-	-	-	11.828
(10-12]	.263	.307	-	-	-	-	-	.571
(12-14]	-	-	-	-	-	-	-	-
(14-16]	-	-	-	-	-	-	-	-
(16-18]	-	-	-	-	-	-	-	-
(18-20]	-	-	-	-	-	-	-	-
> 20	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	76.607	21.615	1.514	.263	-	-	-	100 %

Figura 3.4: Estadística escalar de la serie de oleaje.

DISTRIBUCIÓN CONJUNTA DE ALTURA Y PERIODO DE PICO DEL OLEAJE

LUGAR : Cabo de Palos

PERIODO : Dic. - Feb.

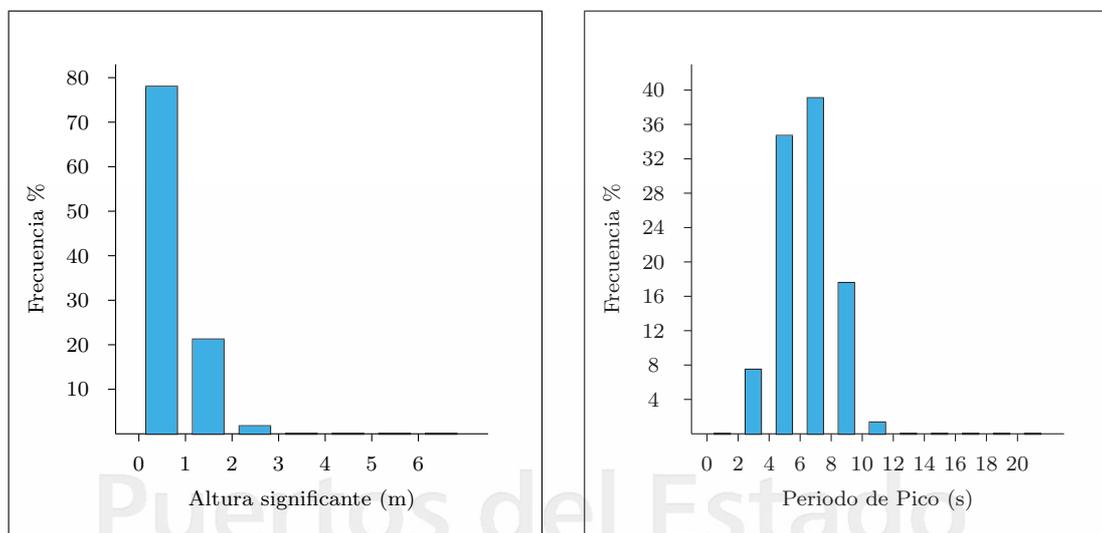
SERIE ANALIZADA : Dic. 2011 - Nov. 2012

NÚMERO DE DATOS : 2005

EFICACIA : 91.80 %

ALTURA SIGNIF. MEDIA : 0.76 (m)

ALTURA SIGNIF. MÁXIMA : 2.56 (m)



Periodo de Pico (s)	Altura significativa (m)							Total
	≤01	(01-02]	(02-03]	(03-04]	(04-05]	(05-06]	> 06	
≤02	-	-	-	-	-	-	-	-
(02-04]	7.422	.050	-	-	-	-	-	7.472
(04-06]	31.444	3.109	.100	-	-	-	-	34.654
(06-08]	29.087	9.027	.903	-	-	-	-	39.017
(08-10]	9.328	8.024	.301	-	-	-	-	17.653
(10-12]	.502	.702	-	-	-	-	-	1.204
(12-14]	-	-	-	-	-	-	-	-
(14-16]	-	-	-	-	-	-	-	-
(16-18]	-	-	-	-	-	-	-	-
(18-20]	-	-	-	-	-	-	-	-
> 20	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	77.783	20.913	1.304	-	-	-	-	100 %

Figura 3.5: Estadística escalar de la serie de oleaje.

DISTRIBUCIÓN CONJUNTA DE ALTURA Y PERIODO DE PICO DEL OLEAJE

LUGAR : Cabo de Palos

PERIODO : Mar. - May.

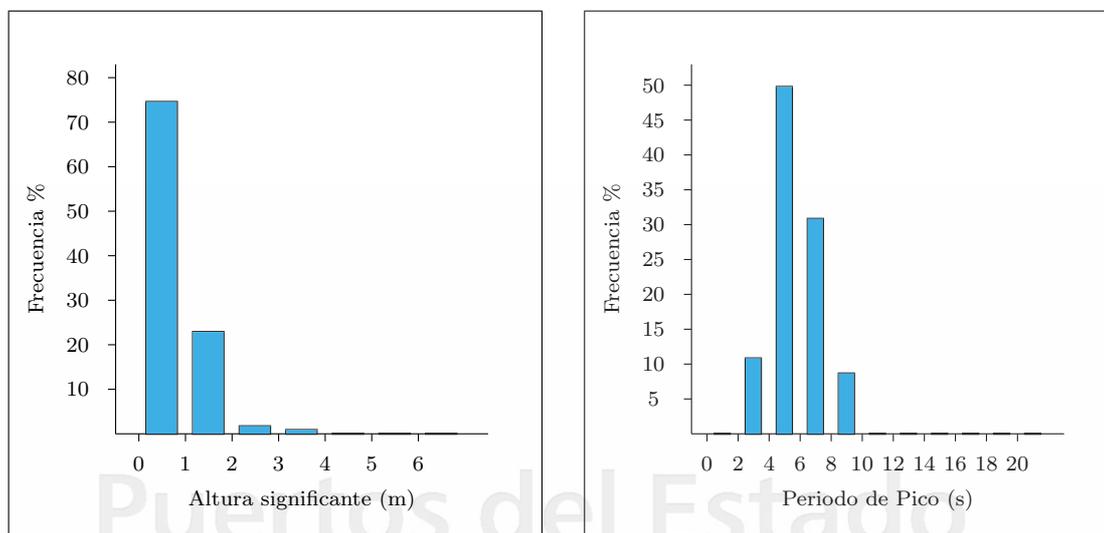
SERIE ANALIZADA : Dic. 2011 - Nov. 2012

NÚMERO DE DATOS : 2192

EFICACIA : 99.28 %

ALTURA SIGNIF. MEDIA : 0.77 (m)

ALTURA SIGNIF. MÁXIMA : 3.65 (m)



Periodo de Pico (s)	Altura significativa (m)							Total
	≤01	(01-02]	(02-03]	(03-04]	(04-05]	(05-06]	> 06	
≤02	-	-	-	-	-	-	-	-
(02-04]	10.460	.139	-	-	-	-	-	10.600
(04-06]	42.771	7.159	.046	-	-	-	-	49.977
(06-08]	16.969	12.366	1.209	.093	-	-	-	30.637
(08-10]	3.905	3.580	.744	.465	-	-	-	8.694
(10-12]	.093	-	-	-	-	-	-	.093
(12-14]	-	-	-	-	-	-	-	-
(14-16]	-	-	-	-	-	-	-	-
(16-18]	-	-	-	-	-	-	-	-
(18-20]	-	-	-	-	-	-	-	-
> 20	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	74.198	23.245	1.999	.558	-	-	-	100 %

Figura 3.6: Estadística escalar de la serie de oleaje.

DISTRIBUCIÓN CONJUNTA DE ALTURA Y PERIODO DE PICO DEL OLEAJE

LUGAR : Cabo de Palos

PERIODO : Jun. - Ago.

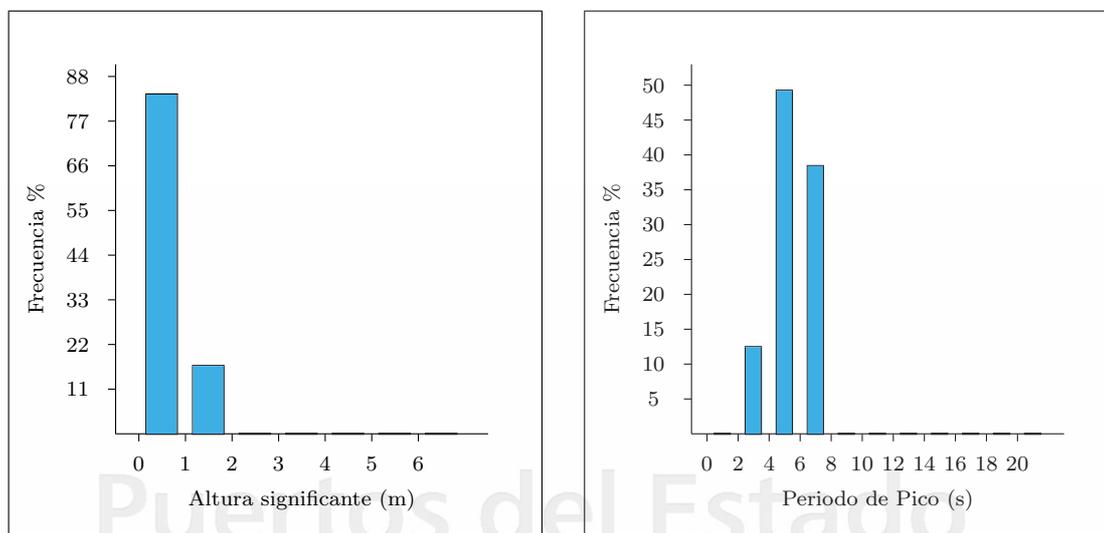
SERIE ANALIZADA : Dic. 2011 - Nov. 2012

NÚMERO DE DATOS : 414

EFICACIA : 18.75 %

ALTURA SIGNIF. MEDIA : 0.63 (m)

ALTURA SIGNIF. MÁXIMA : 1.46 (m)



Periodo de Pico (s)	Altura significativa (m)							Total
	≤01	(01-02]	(02-03]	(03-04]	(04-05]	(05-06]	> 06	
≤02	-	-	-	-	-	-	-	-
(02-04]	12.379	-	-	-	-	-	-	12.379
(04-06]	46.117	2.913	-	-	-	-	-	49.029
(06-08]	25.000	13.592	-	-	-	-	-	38.592
(08-10]	-	-	-	-	-	-	-	-
(10-12]	-	-	-	-	-	-	-	-
(12-14]	-	-	-	-	-	-	-	-
(14-16]	-	-	-	-	-	-	-	-
(16-18]	-	-	-	-	-	-	-	-
(18-20]	-	-	-	-	-	-	-	-
> 20	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	83.495	16.505	-	-	-	-	-	100 %

Figura 3.7: Estadística escalar de la serie de oleaje.

