



ANEJOS

RECOMENDACIONES DE OBRAS MARÍTIMAS 1.1

*Anejos de especificaciones técnicas generales para el
proyecto*

Puertos del Estado

Borrador 8.0, abril de 2018

Ponente: Miguel Á. Losada

Con la colaboración del Grupo de Dinámica de Flujos Ambientales,
IISTA, Universidad de Granada

ÍNDICE GENERAL

Índice general	5
Índice de figuras	6
Índice de tablas	8
Anejo A. Índice general de contenidos de un Proyecto de Construcción de un dique de abrigo	11
A.1. Documento N°1 - Memoria	13
A.2. Documento N°2 - Planos	14
A.3. Documento N°3 - Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares	15
A.4. Documento N°4 - Presupuesto	15
Anejo B. Especificaciones sobre materiales de cantera para la construcción de diques de abrigo	17
B.1. Ámbito de aplicación	19
B.2. Marco Normativo: UNE-EN 13383	20
B.3. Fuentes de suministro	22
B.3.1. Consideraciones económicas	22
B.3.2. Máximo tamaño posible	27
B.4. Funciones en la estructura y exposición	29
B.4.1. Generación de volumen	29
B.4.2. Filtro	32
B.4.3. Resistencia a la acción mecánica del oleaje y corrientes	33
B.4.4. Posición: seca, sumergida y en carrera de marea	34
B.5. Propiedades	36
B.5.1. Propiedades intrínsecas	37
B.5.2. Propiedades inducidas por la explotación de la cantera	41
B.5.3. Propiedades inducidas por la puesta en obra	45
B.6. Durabilidad	50
B.6.1. Cualidades de durabilidad de las rocas: evaluación cualitativa	51
B.6.2. Alternativas para escolleras de baja durabilidad	55
B.7. Costes de explotación de canteras	55
Referencias	55
Anejo C. Especificaciones técnicas para el dragado del lecho marino y el vertido	57
Referencias	59

Anejo D. Soluciones de detalles constructivos para diques de abrigo	61
D.1. Ejemplos de soluciones técnicas en diques en talud	63
D.1.1. Berma de pie	63
D.1.2. Anchura y cota de la plataforma de avance	64
D.1.3. Transición entre tramos	65
D.1.4. Muros y espaldones	73
D.2. Ejemplos de soluciones técnicas en diques verticales	73
D.2.1. Bloque de guarda	73
D.2.2. Espaldón de hormigón armado	74
D.2.3. Espaldón de hormigón en masa	76
D.2.4. Junta entre cajones	76
D.2.5. Viga cantil	77
D.2.6. Transición entre cotas de cimentación	78
D.3. Ejemplo de solución de junta entre cajones de máxima fricción	80
Anejo E. Catálogo de unidades de obra y costes	83
E.1. Observatorio de obras portuarias	85
E.1.1. Descripción de unidades de obra	85
Anejo F. Caracterización de las condiciones excepcionales de sismo y maremoto	99
F.1. Recomendaciones de diseño	101
F.2. Índice de contenidos del informe “Costas españolas: peligrosidad frente a maremotos”	102
Referencias	103
Anejo G. Especificaciones para la verificación experimental en canal y tanque de oleaje	105
G.1. Condicionantes para la realización de un modelo físico	107
G.2. Fundamentos	107
G.2.1. Principios de similitud	107
G.2.2. Efectos de escala	108
G.2.3. Tipos de ensayos	109
G.2.4. El laboratorio de ingeniería marítima	109
G.3. Ensayos de diques de abrigo	111
G.3.1. Objetivos	111
G.3.2. Selección de la instalación	112
G.3.3. Selección de la escala	112
G.3.4. Configuración del modelo	113
G.3.5. Oleaje	114
G.3.6. Limitaciones	120
G.4. Análisis de datos	120
G.4.1. Análisis estadístico y espectral	120
G.4.2. Separación del oleaje incidente y reflejado	121
G.4.3. Análisis del daño	123
Referencias	124
Anejo H. Especificaciones para la verificación numérica y aplicación de códigos numéricos	127

H.1.	.....	128
H.2.	.....	128
H.3.	.....	128
H.4.	.....	128
Anejo I. Especificaciones para la realización de campañas de campo		129
I.1.	.....	130
I.2.	.....	130
I.3.	.....	130
I.4.	.....	130

ÍNDICE DE FIGURAS

B.1.	Relación aproximada entre la producción y la utilización del material de cantera	24
B.2.	Relaciones volumétricas de las muestras de roca	37
B.3.	Tamaños de referencia de granulometría EN-UNE 13383-1:2002	43
B.4.	Perfilado de manto de escollera con retroexcavador	48
B.5.	Indicadores habituales de calidad y durabilidad. *Di80: tamaño del bloque in situ correspondiente al pasante del 80%. ** Bn: índice de rotura, puede ser estimado visualmente. Se calcula como el número de piezas con pérdidas de masa mayores del 10% en relación con el número totales de piezas de la muestra.	53
B.6.	Indicadores habituales de calidad y durabilidad. *** Si el ensayo de absorción de agua da como resultado <0.5% la escollera es resistente a la cristalización de sales (sulfato magnésico) y al hielo-deshielo, por lo que no son precisas estas comprobaciones. **** Se preferirá siempre el ensayo Micro-Deval al Ensayo Los Ángeles. ***** Cuando sea necesario en función de las condiciones de exposición.	54
C.1.	Portada de las Directrices para la caracterización del material dragado y su reubicación en aguas del dominio público marítimo-terrestre	59
D.1.	Berma de pie para un manto monocapa. Detalle de la disposición de una berma de pie de escollera sobre las capas de escollera para asegurar la condición de filtro con el terreno natural. En terrenos arenosos la capa de escollera bajo el pie permite también evitar la socavación, siendo en esos casos necesario prolongar la anchura de las capas inferiores con respecto a las superiores	63
D.2.	Berma de pie para un manto bicapa. Detalle de la disposición de la berma de escollera sobre una capa de escollera	64
D.3.	Berma de pie enterrada. El espesor de la berma dependerá de la erosión esperada, debiendo ser máxima (2 piezas) para erosiones elevadas. La anchura inferior debe ser al menos de dos veces la altura de ola de diseño	64
D.4.	Anchura en coronación del dique de 7.50 m para permitir el paso de maquinaria	65
D.5.	Secciones S12 (talud 3H:2V) -imagen superior- y S11 (2H:1V) –imagen inferior- .	66
D.6.	Transición por cambio de talud, de una talud más vertical (3H:2V) a uno más tendido (2H:1V). La transición se hace gradualmente a lo largo de 73 m, en todas las capas del dique: núcleo, filtro y manto	66
D.7.	Sección tipo con manto de escollera (5 Tn)	67
D.8.	Sección de transición con filtro de mayor espesor y manto de escollera (5 Tn) . .	67
D.9.	Sección tipo con manto de acrópodos	67
D.10.	Detalle del morro de un dique. En el lado mar hay un cambio en el tamaño de las piezas del manto entre el tronco (bloques de 25 Tn) y el morro (bloques de 50 Tn)	68

D.11.	Sección tipo en el tronco (ST5, ver Figura 10): bloques de 150 Tn, talud 2H:1V . . .	69
D.12.	Sección tipo en el morro, transición (bloques de 150 Tn, talud 1.875H:1V)	69
D.13.	Sección tipo en el morro (bloques de 178 Tn, talud 1.75H:1V)	69
D.14.	Sección tipo en el morro (bloques de 195 Tn, talud 1.75H:1V)	70
D.15.	Sección tipo del tronco, con manto monocapa	70
D.16.	Sección tipo del morro, manto bicapa. Tanto la sección del manto como el espesor de las capas de filtro han de ser reducidos para hacer la transición desde la sección monocapa a la bicapa, y compensar así el incremento de espesor del manto bicapa (de 2.2 a 5.4 m) para hacer coincidir el perfil exterior	71
D.17.	Esquema en planta de la secuencia de avance de las capas (la numeración indica el orden de la ejecución). (1): Manto del tronco, (2): transición gradual del filtro, (3 y 4): filtro y manto de una cuña del morro, (5): incremento del filtro en la cuña de transición hasta para crear apoyo a las piezas del manto monocapa en la transición y (6): manto monocapa en la transición	72
D.18.	Sección tipo de espaldón de hormigón en masa con tacón y enrase de grava . . .	73
D.19.	Sección tipo de un dique vertical de cajones con bloque de guarda sobre la escollera de protección de la banqueta	73
D.20.	Sección tipo de un dique vertical de cajones con bloques de guarda con cota inferior a la cota de banqueta	74
D.21.	Espaldón de hormigón armado, con galería central. Sección tipo geometría y armado	75
D.22.	Espaldón de hormigón armado. Detalle de armadura vertical pasante de conexión del espaldón con la pared exterior del cajón	75
D.23.	Espaldón de hormigón en masa sobre un dique vertical de cajones	76
D.24.	Detalle de junta entre cajones y del tubo	77
D.25.	Detalle de viga cantil en dique atracable, en un dique de cajones con cámaras antirreflejantes	77
D.26.	Detalle de viga cantil en dique atracable, con tapón de hormigón en la celda exterior en aquellas en las que coincida la posición de una defensa	78
D.27.	Dique vertical con varios cambios de cota de cimentación de los cajones (-21,-22,-24 y -26)	78
D.28.	Sección tipo A (cota de cimentación del cajón, -21)	79
D.29.	Sección tipo C (cota de cimentación del cajón, -26)	79
D.30.	Planta del dique norte del Puerto de Gijón	80
D.31.	Detalles de las juntas entre cajones del dique norte del Puerto de Gijón	81
F.1.	Elevación máxima que podría alcanzarse en la costa española por efecto de un tsunami. Fuente: Dirección General de Protección Civil y Emergencias, 2017 . .	102
G.1.	Esquema de variables empleadas en el estudio de onda larga	118
G.2.	Ondas generadas por una pala pistón	119
G.3.	Disposición en estrella para separación de oleaje incidente y reflejado en ensayos con incidencia oblicua	122

ÍNDICE DE TABLAS

B.1.	Proporciones de volúmenes relativos al total de la sección del dique (%)	28
B.2.	Zona de exposición y condiciones (Anexo C de la UNE EN 13383). *En la clasificación Mediterránea no es necesario considerar las condiciones de congelación, **Zonas con heladas	35
B.3.	Condiciones medioambientales (Anexo C de la UNE EN 13383). *Sólo zonas con heladas, **La clasificación mediterránea implica que no necesitan considerarse las condiciones heladas	36
B.4.	Clasificación de las granulometrías de escollera	42
B.5.	Tipos de escollera	43
B.6.	Distribuciones de tamaños normalizadas	43
B.7.	Rangos de valores para escolleras. Los distintos valores dentro de un mismo rango son debidos al procedimiento de inspección	47
B.8.	Parámetros principales ideales de calidad	54
E.1.	Precios unitarios	97
G.1.	Escalas de las magnitudes derivadas empleando Semejanza de Froude	108

PREÁMBULO

Los “Anejos de especificaciones técnicas generales para el proyecto” han sido redactados por diferentes expertos y los miembros del Grupo de Dinámica de Flujos Ambientales de la Universidad de Granada. El listado de Anejos y sus contenidos quedan abiertos a cualquier modificación y/o aportación que se estime conveniente realizar en coordinación con el Grupo de Dinámica de Flujos Ambientales de la Universidad de Granada.



ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS DE UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN DIQUE DE ABRIGO

Preámbulo

El objetivo del anejo *Índice general de contenidos de un Proyecto de Construcción de un dique de abrigo* es especificar los contenidos que conforman los proyectos de construcción de diques de abrigo. Este anejo ha sido redactado por María Antonia Pérez Hernando (Universidad de Cantabria).

12 | Anejo A. Índice general de contenidos de un Proyecto de Construcción de un dique de abrigo

A.1. Documento N°1 - Memoria	13
A.2. Documento N°2 - Planos	14
A.3. Documento N°3 - Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares	15
A.4. Documento N°4 - Presupuesto	15

A.1 Documento N°1 - Memoria

1.1. Memoria

1.1.1. Antecedentes

1.1.2. Marco socio-económico

1.1.3. Objeto del proyecto

1.1.4. Descripción del presente proyecto

1.1.5. Justificación de la solución adoptada

1.1.6. Análisis medioambiental

1.1.7. Justificación de precios

1.1.8. Planos

1.1.9. Pliego de prescripciones técnicas particulares

1.1.10. Expropiaciones y servicios afectados

1.1.11. Presupuesto para el conocimiento de la administración

1.1.12. Plazo de ejecución

1.1.13. Plazo de garantía

1.1.14. Revisión de precios

1.1.15. Clasificación del contratista

1.1.16. Documentos que integran el proyecto

1.1.17. Equipo redactor del proyecto

1.1.18. Definición de obra completa

1.1.19. Conclusiones

1.2. Anejos a la memoria

Anejo N°1: Antecedentes administrativos

Anejo N°2: Antecedentes históricos

Anejo N°3: Estudio socio-económico

14 | Anejo A. Índice general de contenidos de un Proyecto de Construcción de un dique de abrigo

- Anejo N°4: Anejo fotográfico
- Anejo N°5: Geología y geotecnia
- Anejo N°6: Batimetría y fondos marinos
- Anejo N°7: Análisis de sedimentos
- Anejo N°8: Climatología
- Anejo N°9: Dinámica marina
- Anejo N°10: Dinámica litoral
- Anejo N°11: Estudio de alternativas y definición de la solución
- Anejo N°12: Cálculo estructural
- Anejo N°13: Justificación de precios
- Anejo N°14: Revisión de precios
- Anejo N°15: Presupuesto para el conocimiento de la administración
- Anejo N°16: Afección al dominio público marítimo-terrestre
- Anejo N°17: Programa de trabajos
- Anejo N°18: Clasificación del contratista
- Anejo N°19: Anejo de replanteo
- Anejo N°20: Estudio de impacto ambiental
- Anejo N°21: Gestión de residuos de la construcción
- Anejo N°22: Estudio de seguridad y salud

A.2 Documento N°2 - Planos

- 2.1.1. Plano de situación
- 2.1.2. Plano de localización
- 2.1.3. Plano de ubicación
- 2.2.1. Replanteo
- 2.2.2. Perfiles longitudinal
- 2.2.2. Planta dique

A.3. Documento N°3 - Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares | 15

2.3.1. Sección tipo

2.3.2. Perfiles transversales

A.3 Documento N°3 - Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares

3.1. Disposiciones preliminares

3.2. Descripción de las obras

3.3. Condiciones que deben reunir los materiales

3.4. Ejecución de las obras

3.5. Medición y abono de las unidades de obra

3.6. Disposiciones finales

A.4 Documento N°4 - Presupuesto

4.1. Mediciones

4.1.1. Mediciones auxiliares

4.1.2. Mediciones por capítulos

4.2. Cuadro de precios N°1

4.3. Cuadro de precios N°2

4.4. Presupuesto

4.4.1. Presupuesto por capítulos

4.4.2. Resumen del presupuesto

A
N
E
J
O



ESPECIFICACIONES SOBRE MATERIALES DE CANTERA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE DIQUES DE ABRIGO

Preámbulo

El objetivo del anejo *Especificaciones sobre materiales de cantera para la construcción de diques de abrigo* es proporcionar información sobre las fuentes de suministro, funciones en la estructura, propiedades, durabilidad y costes de explotación de las escolleras naturales y el todo uno de cantera que se emplea en los mantos de los diques de abrigo en talud, en las banquetas de cimentación y sus mantos de protección en diques verticales o mixtos, y en las protecciones contra la socavación. Este anejo ha sido redactado por Francisco Esteban Lefler (FCC), Noelia González Patiño (Dragados) y Miguel Vázquez Romero (Dragados).

18 | Anejo B. Especificaciones sobre materiales de cantera para la construcción de diques de abrigo

B.1. Ámbito de aplicación	19
B.2. Marco Normativo: UNE-EN 13383	20
B.3. Fuentes de suministro	22
B.3.1. Consideraciones económicas	22
B.3.2. Máximo tamaño posible	27
B.4. Funciones en la estructura y exposición	29
B.4.1. Generación de volumen	29
B.4.2. Filtro	32
B.4.3. Resistencia a la acción mecánica del oleaje y corrientes	33
B.4.4. Posición: seca, sumergida y en carrera de marea	34
B.5. Propiedades	36
B.5.1. Propiedades intrínsecas	37
B.5.2. Propiedades inducidas por la explotación de la cantera	41
B.5.3. Propiedades inducidas por la puesta en obra	45
B.6. Durabilidad	50
B.6.1. Cualidades de durabilidad de las rocas: evaluación cualitativa	51
B.6.2. Alternativas para escolleras de baja durabilidad	55
B.7. Costes de explotación de canteras	55
Referencias	55

B.1 **Ámbito de aplicación**

El presente Anejo es de aplicación a las escolleras naturales, clasificadas o no, y al todo uno de cantera que se emplea en los diferentes mantos de los diques de abrigo en talud, en las banquetas de cimentación y sus mantos de protección en diques verticales o mixtos, y en las protecciones contra la socavación. Es decir, con carácter general, a las obras que constituyen el objeto de la presente ROM 1.1

Las condiciones de filtro entre diferentes capas y de estabilidad frente a la erosión interna se tratan en el Manual que forma parte de esta ROM 1.1.

Las escolleras y todo uno objeto del presente Anejo son las que se utilizan para:

- Diques en talud:
 - Núcleo
 - Protecciones contra la socavación
 - Filtros y capas intermedias
 - Capas exteriores de bermas de pie
 - Mantos de protección:
 - Principal a sotamar del dique
 - De coronación
 - Interior en el lado más abrigado
- Diques verticales o mixtos:
 - Núcleo de la banqueta de cimentación
 - Mantos de protección de la banqueta
 - Protecciones contra la socavación

Se excluyen del ámbito de aplicación la grava y el balasto para capa de enrase y los áridos para hormigones y mezclas asfálticas.

No se incluyen soluciones alternativas, como las escolleras de árido siderúrgico, recicladas o el empleo de geotextiles y similares para contener arenas o materiales más finos para las capas anteriormente mencionadas. Debe tenerse en cuenta que estas soluciones requieren la modificación de las ecuaciones de verificación habitualmente empleadas, por implicar alteraciones fundamentales en sus bases de partida, tanto implícitas como explícitas.

Es decir, el presente Anejo se aplica a los materiales de cantera considerados tradicionales en la construcción de diques de abrigo.

Las propiedades y cualidades que se tratan en el presente anejo están íntimamente ligadas a las ecuaciones y procedimientos numéricos y experimentales de verificación de los diques de abrigo, por lo que su coherencia con las bases de partida debe ser contrastada.

20 | Anejo B. Especificaciones sobre materiales de cantera para la construcción de diques de abrigo

Las escolleras y los materiales de cantera en general se obtienen a un coste relativamente reducido, que se incrementa de manera importante con la distancia de transporte. Con carácter general las obras de abrigo demandan la utilización de grandes cantidades de materiales de cantera, cuya disponibilidad condiciona su propia viabilidad. De esta manera, las especificaciones y las bases de partida del diseño deben tener en cuenta las propiedades de los materiales de cantera disponibles a distancia económica del dique.

La disponibilidad de fuentes de suministro de escollera a distancia económica es fundamental para la viabilidad del proyecto. La falta de estudios de canteras apropiados que verifiquen la disponibilidad de materiales para las obras y permitan evaluar sus costes con aproximación es necesaria para evitar sobrecostes de importancia.

B.2 Marco Normativo: UNE-EN 13383

La Norma Europea EN 13383 fue aprobada por CEN (Comité Europeo de Normalización) en 2002 y recibe el rango de norma nacional mediante la publicación de la UNE-EN 13383 ese mismo año. De forma que todas las normas nacionales anteriores que puedan resultar técnicamente divergentes quedan anuladas.

Debe tenerse en cuenta que se trata de una norma que principalmente fija requisitos, pero cuyo objeto intrínseco es la evaluación de la conformidad de escolleras mediante una designación normalizada, que pueda dar lugar a un marcado o etiquetado del producto. Por lo que no debe ser considerada necesariamente como una norma de calidad.

La serie de Normas Europeas EN 13383 fue elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 154. Áridos, cuya Secretaría fue desempeñada por la BSI (British Standard Institution). Las normas correspondientes españolas contienen las siguientes partes:

- EN 13383-1:2002 (Marzo 2003) –Escolleras. Parte 1: Especificaciones. Esta norma especifica las características de los áridos naturales, artificiales o reciclados y mezclas de estos materiales para su uso como escolleras, proporcionando además los procedimientos para la evaluación de la conformidad para su empleo.

Esta norma también indica que habitualmente en estructuras hidráulicas se utilizan áridos menores que los aquí especificados, debiendo aplicarse en estos casos normas europeas para otros usos finales de los áridos.

- EN 13383-1/AC (Octubre 2004) –Escolleras. Parte 1: Especificaciones (Erratum). En el caso de áridos reciclados, se incluyen en las normas existiendo normas de métodos de ensayo específicas para aquéllos que se encuentran en avanzado estado de elaboración. Para materiales de origen nuevo o no habitual, sin embargo, el trabajo de normalización no se encuentra tan avanzado, por lo que en esta norma se especifica que, cuando estos materiales se pongan en el mercado como áridos, deben cumplir totalmente con esta norma y, además, con la reglamentación nacional sobre sustancias peligrosas (Anexo ZA de esta norma) dependiendo de su uso específico previsto, el cual definirá las características y requisitos exigibles.
- EN 13383-2:2002 (Junio 2003) – Escolleras. Parte 2: Métodos de ensayo. Esta norma especifica los métodos de ensayo para áridos naturales, artificiales y reciclados para su uso

como escollera.

Por otra parte, los requisitos para otros usos finales de los áridos no incluidos en el objeto del presente Anejo están especificados en las siguientes normas europeas:

- prEN 12620 – Áridos para hormigón
- prEN 13043 – Áridos para mezclas bituminosas y revestimientos superficiales para carreteras
- EN 13055 – Áridos ligeros
- prEN 13139 – Áridos para mortero
- prEN 13242 – Áridos para materiales no ligados e hidráulicamente ligados para uso en obras de ingeniería civil y construcción de carreteras
- prEN 13450 – Áridos para balasto

Mientras que los procedimientos de ensayo para otras propiedades de áridos están cubiertos por partes de las normas europeas siguientes:

- EN 932 - Ensayos para determinar las propiedades generales de los áridos
- EN 933 - Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos
- EN 1097 - Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos
- EN 1367 - Ensayos para determinar las propiedades térmicas y de alteración de los áridos
- EN 1744 - Ensayos para determinar las propiedades químicas de los áridos
- EN 13179 - Ensayos de los áridos fillers empleados en las mezclas bituminosas

La Norma UNE-EN 13383-1 incluye los siguientes anexos:

- Anexo A (Informativo): Límites de granulometría gruesa, ligera y pesada
- Anexo B (Informativo): Guía sobre la integridad de los bloques
- Anexo C (Informativo): Guía sobre la resistencia de la escollera al hielo-deshielo y a la cristalización de sales
- Anexo D (Normativo): Control de producción en fábrica
- Anexo E (Informativo): Propiedades e información que incluye la descripción de la escollera
- Anexo F (Informativo): Capítulos de esta Norma Europea relativos a los requisitos esenciales de la Directiva UE “Productos de Construcción”.

La Norma UNE-EN 13383-2 incluye los siguientes anexos:

- Anexo A (Informativo): Ejemplo de un informe de muestreo

22 | Anejo B. Especificaciones sobre materiales de cantera para la construcción de diques de abrigo

- Anexo B (Informativo): Ejemplo de una distribución de tamaños de partículas de una granulometría gruesa
- Anexo C (Informativo): Ejemplo de una distribución de masas (método de referencia)
- Anexo D (Informativo): Ejemplo de una distribución de masas (método alternativo)
- Anexo E (Informativo): Densidad del agua
- Anexo F (Informativo): Precisión para la determinación de densidad de partículas y absorción de agua – Repetibilidad, r, y Reproducibilidad, R
- Anexo G (Informativo): Orientaciones sobre muestreo para ensayos

B.3 Fuentes de suministro

La primera decisión, que se ha de tomar en fase de proyecto, debe ser la de abrir una cantera propia para la obra, o suministrar a través de canteras comerciales ya existentes.

Para la elección de las fuentes de suministro (canteras) será preferible, a igualdad de otras condiciones, las que estén sancionadas por la práctica, entendiéndose como tal el empleo de escolleras en diques y protecciones cercanas, sometidas a condiciones similares y que hayan demostrado un adecuado comportamiento a lo largo del tiempo.

En este sentido, debe analizarse la adecuación de los diferentes materiales a las funciones estructurales específicas que le van a ser exigidas durante su vida útil.

Cuando se dispongan en la estructura del dique dos materiales contiguos provenientes de fuentes de suministro distintos y con diferentes características, deberá evaluarse la compatibilidad entre ellas.

B.3.1 Consideraciones económicas

De acuerdo con la ROM 1.1 ha de plantearse la evaluación del coste a lo largo de la toda la vida útil de la estructura, teniendo en cuenta el coste de construcción pero también el de las fases de explotación (conservación y reparación) y, en su caso, desmantelamiento.

En el proceso de diseño debe tenerse en cuenta la complejidad constructiva en la potencial reparación de algunos elementos del dique, teniendo en cuenta la posible clausura y restauración de canteras que puede poner en riesgo la disponibilidad de materiales para la reparación.

La potencial reutilización del material constituyente al final de la vida útil cuando se trata de diques de abrigo es una opción que ha de ser considerarse en todo caso, a pesar de ser poco habitual en diques de abrigo.

Por lo general, la fase que supone un considerable mayor coste es la de construcción (disponibilidad de material + puesta en obra), salvo que proyecto del dique se base en frecuentes reparaciones.

El coste de explotación de una cantera depende del volumen de producción. Las labores de clasificación, transportes intermedios y acopios suponen un porcentaje importante en dichos costes.

Por lo general, casi unas dos terceras partes del coste corresponden a movilización de la maquinaria.

De manera general, la distribución en los costes de maquinaria para las distintas fases del proceso de producción puede considerarse la siguiente:

- 20-30% para la retirada de montera, perforación y voladuras
- 30-40% para la clasificación y carga en el frente
- 20% para el transporte a acopio
- 10% para la clasificación y separación en acopio
- 10% para la carga previa al transporte

El factor principal que determina el coste de producción es el ajuste de la distribución de tamaños que se obtienen con las demandas específicas de la obra. Una gradación de proyecto que presente grandes discontinuidades y no se ajuste a la gradación producida inicialmente, requerirá de un tratamiento posterior que puede llegar a afectar significativamente al coste. Debe tenerse en cuenta que un aprovechamiento del 60-70% del total del material extraído puede considerarse un éxito.

En el caso de que se esté explotando una cantera propia para la obra y se requiera una sobremedición de un determinado tamaño de material por encima de la producción que le corresponde de acuerdo a la curva de distribución de dicha cantera, ese aumento supondrá a su vez un incremento en la producción de cantera del resto de tamaños, que deben ser considerados como sobrantes. En esos casos debe analizarse si, para la obtención de dicho volumen extra de un determinado tamaño, es más económico recurrir a canteras comerciales (Figura B.1).

24 | Anejo B. Especificaciones sobre materiales de cantera para la construcción de diques de abrigo

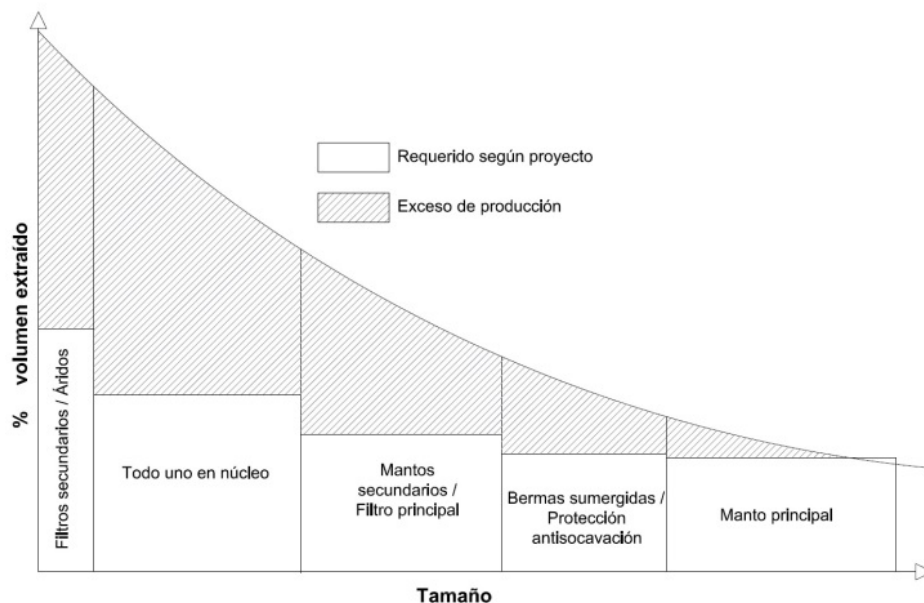


Figura B.1: Relación aproximada entre la producción y la utilización del material de cantera

Estos aspectos deben ser tenidos en cuenta en la fase de proyecto, pues diseños alternativos que impliquen un mejor ajuste a la curva de producción de la cantera pueden suponer importantes ahorros económicos. Por lo general, el ajuste viene condicionado por el volumen requerido para las escolleras de mayor tamaño.

Otros factores secundarios son el ajuste de los ritmos de producción a las necesidades de la obra, la necesidad de realizar movimientos y acopios intermedios en la cantera, necesidad de sucesivas movilizaciones y puestas en marcha de la explotación debido a un mal encaje con el programa de la obra, etc.

La clasificación de escolleras de más tamaño es más lenta que para los tamaños inferiores. Sin embargo para estos últimos el coste puede incrementarse mucho debido a las operaciones intermedias necesarias para los procesos de clasificación y acopio.

Debe evaluarse la necesidad y rentabilidad económica de la instalación de una planta de machaqueo y clasificación, o bien de otros equipos mecánicos de clasificación teniendo en cuenta su coste de instalación y conservación, ritmos de producción y valor residual al final de la obra.

Tipos de coste

- Costes fijos: están muy relacionados con el tipo de cantera y la explotación requerida. Incluyen: la apertura y cierre de canteras; movilizaciones y desmovilizaciones de equipos; accesos; estudios y campañas de caracterización.
- Costes variables:
 - Costes o tasas variables en función del tiempo: mantenimiento de la actividad de la explotación y de instalaciones fijas; conservación de accesos; inspecciones; monitorización.

- Costes o tasas variables en función de la calidad del material: investigaciones específicas; actuaciones y equipos auxiliares derivados de la calidad del material (excavaciones auxiliares, tratamiento de estabilización de bancos, elementos de seguridad adicional, etc.)
- Costes o tasas variables en función del volumen de material a poner en obra

El coste de total de material de cantera (escolleras) puede plantearse como:

$$C = Q(t)u(\text{€/t}) + nC_F + (n - x)C_0 \quad (\text{B.1})$$

donde Q es la producción necesaria, u el coste directo unitario de producción, n el número de días naturales, x el número de días de parada, C_F los costes fijos y C_0 los costes de operación.

Estimación del coste

La evaluación del coste debe centrarse sobre las unidades que suponen un mayor importe y sobre aquéllas que presentan unas mayores incertidumbres.

Suelen ser unidades de coste unitario reducido pero con una gran repercusión en el coste total de una obra debido a su elevada medición y, por tanto, de un elevado riesgo.

La estimación del coste debe llevarse a cabo en diferentes niveles y fases del proyecto, teniendo en cuenta las posibles incidencias más frecuentes. El nivel de incertidumbre va disminuyendo en las sucesivas revisiones de la estimación. Pueden realizarse análisis probabilísticos en los términos indicados en la presente ROM 1.1.

Las estimaciones de costes de construcción suelen ser más fiables que las de costes de conservación y reparación por las incertidumbres durante la vida útil, si bien la ROM 1.1 proporciona herramientas para abordar estas estimaciones en función de los criterios de actuación que se adopten en proyecto.

Deben tenerse en cuenta los factores específicos y particulares del emplazamiento que influyen en los costes.

La magnitud de coste es el peso, pues es medible en camiones o en gánguiles.

El coste de disponibilidad de material, de construcción y de conservación

Puede distinguirse entre los costes de disponibilidad del material, los costes constructivos propiamente dichos y los de conservación/reparación (y eventual desmantelamiento). No obstante, están fuertemente relacionados entre sí. Por lo tanto, incluyen los costes de producción, clasificación y acopios, transporte y puesta en obra.

La disponibilidad de materiales de cantera para su uso como escolleras para los volúmenes requeridos y a un coste razonable debe estar garantizada. Las incertidumbres inherentes a la estimación inicial del coste deben estar evaluadas.

En relación a esto, deben valorarse inicialmente los siguientes aspectos:

26 | Anejo B. Especificaciones sobre materiales de cantera para la construcción de diques de abrigo

- Si existen canteras próximas a la obra susceptibles de ser empleadas por disponer de material adecuado (en calidad y durabilidad) y cubrir las puntas de producción máximas esperables (cantidad).
- Las estimaciones de coste de construcción y de conservación deben realizarse sobre la base de la calidad y durabilidad del material que realmente vaya a ser empleado en la construcción.
- Debe conocerse “a priori” si la cantera va ser explotada con medios propios o si el material va a proceder de canteras comerciales de la zona. Igualmente si existen las instalaciones adecuadas de clasificación y machaqueo en cantera o es necesaria su instalación en obra.
- Disponibilidad, para las canteras a emplear, de los correspondientes permisos medioambientales para su explotación en las condiciones que requiera la ejecución de la obra.
 - A este respecto deben tenerse en cuenta las puntas de producción previsibles en función de la planificación de la obra, las cuales no deben exceder los ritmos máximos definidos en los permisos ambientales en vigor.
- Ajuste adecuado entre los volúmenes requeridos para los diferentes tamaños de escolleras según proyecto y los que puedan extraerse mediante una explotación racional de la cantera, incluyendo los volúmenes pre-existentes acopiados y aptos para su uso. A este respecto deben tenerse en cuenta que los volúmenes deducidos a partir de los perfiles de los planos de las secciones definitivas no tienen en cuenta:
 - las pérdidas esperables en los procesos habituales de extracción, clasificación, transporte y puesta en obra
 - las penetraciones
 - los asientos
 - las socavaciones en fases provisionales
- De las consideraciones anteriores debiera garantizarse la disponibilidad de los volúmenes requeridos con un volumen de sobrantes mínimo. En este sentido, el proyectista debiera comprobar si las relaciones entre tamaños que se derivan de su diseño cumplen aproximadamente las relaciones entre los distintos tamaños para una explotación habitual y si, por tanto, los volúmenes sobrantes son razonables.
- Viabilidad y coste del transporte de la cantera a la obra: accesos, transporte vía terrestre o marítima, capacidades de los medios de transporte, horarios permitidos, condiciones ambientales.
- El coste de construcción depende también de los procedimientos y medios que se empleen. Conviene contemplar detalladamente el proceso constructivo en la fase del diseño del dique de acuerdo con la presente ROM 1.1, pues en algunos casos diseños que impliquen más volumen de material pueden resultar más económicos al simplificar los procesos y medios de construcción. Un ejemplo de esta circunstancia es la determinación de la anchura mínima del dique en coronación durante la fase constructiva para permitir el cruce de camiones y el posicionamiento de la grúa de colocación del manto a una cota suficientemente segura.

- Debe analizarse la complejidad de puesta en obra de los diferentes tipos de material. Diseños demasiado complejos pueden resultar antieconómicos, pudiendo ser susceptibles de alternativas optimizadas.
- El análisis del coste debe tener en cuenta los niveles de daño previsibles en función del riesgo asumible. Por ejemplo, un sobredimensionamiento de las piezas de manto puede no repercutir significativamente en el coste, pues supone un menor número de operaciones de colocación.
- Conviene hacer el análisis anterior igualmente para las fases constructivas provisionales, teniendo en cuenta la programación de la obra y los ritmos de suministro de materiales de cantera así como la disposición de sistemas de predicción de clima marítimo implantados en obra, estimación de pérdidas en caso de temporal, etc.

Durante la fase de servicio los costes están asociados a las labores de toma de perfiles (control de ejecución), evaluación del funcionamiento de la estructura y eventuales repuestos o reparaciones, y están íntimamente ligadas al diseño de la estructura.

Finalmente, debe tenerse en cuenta si la estructura o parte de ella debe ser desmantelada al final de la vida útil, siendo el material reutilizable o no.

B.3.2 Máximo tamaño posible

El tamaño máximo definido en proyecto es un parámetro crítico para la evaluación de la viabilidad de la solución. Un peso por encima de los máximos disponibles en las canteras de la zona puede poner en cuestión el diseño en su conjunto.

Como regla general, tamaños mayores que los que pueden obtenerse en canteras próximas a la obra en cantidad suficiente deben ser sustituidos por piezas prefabricadas. No obstante, puede haber excepciones a esta regla, resultando en ocasiones más conveniente el suministro de escolleras desde canteras lejanas.

De acuerdo a lo comentado en el apartado anterior, debe evaluarse igualmente si la obtención de los volúmenes requeridos en las canteras elegidas es a costa de una sobre-producción de materiales finos que supongan elevados sobrantes no aprovechables en la obra.

En ocasiones muy específicas, la inviabilidad de obtención de elevados pesos de escolleras obliga a adaptar el diseño: empleo de bermas, diques en talud dinámicamente estables, mayores espesores de capa o taludes más tendidos.

De manera general y como primera aproximación, debe tenerse en cuenta las proporciones de volúmenes indicadas en la tabla B.1 para distintos tipos de diques, según establece el Rock Manual (CIRIA, CUR, CETMEF. 2007).

El máximo tamaño de escollera que puede obtenerse en una determinada cantera con un aprovechamiento comercial depende de varios factores:

- Marco geológico / Naturaleza de la roca
- Presencia de fallas o líneas de discontinuidad estratigráfica generalizadas

28 | Anejo B. Especificaciones sobre materiales de cantera para la construcción de diques de abrigo

Material	Dique con manto de doble capa (%)	Dique con manto de una sola capa (%)
Manto principal	10-30	5-15
Mantos secundarios y filtros	5-20	5-20
Bermas y protección anti-socavación	0-10	0-10
Núcleo	40-70	50-80

Tabla B.1: Proporciones de volúmenes relativos al total de la sección del dique (%)

- Grado de fracturación y microfracturación general del macizo rocoso
- Grado de meteorización

Las escolleras de mayores tamaños suelen ser empleadas:

- En diques en talud, como piezas:
 - del manto principal de protección
 - del filtro más externo en contacto directo con las piezas prefabricadas del manto exterior
 - de las bermas y pies de apoyo del manto principal
 - del manto interior
- En diques verticales, como piezas:
 - del manto de protección de los taludes exteriores de la banqueteta
 - del filtro más externo en contacto directo con las piezas prefabricadas del manto exterior de la banqueteta

En piezas grandes, la estimación de peso puede ser visual si el operador es experimentado y, especialmente, si cuenta con muestras patrón de los diferentes tamaños nominales a pie de tajo.

Las recomendaciones del Rock Manual para la obtención de tamaños grandes de escollera son las siguientes:

- Baja carga específica (0.11-0.25 kg/m³) y baja velocidad de detonación (m/s), siendo crítica la precisión en el barrenado
- La relación entre distancia entre barrenos y la piedra (distancia de la primera fila de barrenos al frente) ha de ser menor o igual a 1, siendo además la piedra mayor que la distancia entre discontinuidades del macizo rocoso
- Elegir correctamente la altura del banco, siendo recomendable de dos a tres veces el tamaño de la piedra
- Limitar el diámetro del barreno a menos de 100 mm

- La zona de la que se obtienen mayores cantos es la correspondiente a la zona superior del barreno (zona retacada). Por lo tanto conviene adoptar una longitud de retacado suficiente de acuerdo al tamaño de cantos a obtener
- Es preferible una sola fila de barrenos en lugar de varias. Además, es recomendable la detonación simultánea, pues los retardos provocan mayores vibraciones y nivel de fracturación
- Concentración elevada en la carga de fondo
- Cargas desacopladas a lo largo de la altura de barreno, y estratificada (con aire o áridos) para romper la continuidad

Por otra parte, en los casos en que las discontinuidades del macizo rocoso estén muy espaciadas, debe adaptarse la malla de barrenos y la carga para evitar la producción de piezas demasiado grandes. Además deberá tenerse en cuenta la capacidad de los medios de manejo de dichos bloques, así como la disminución en el rendimiento de carga y clasificación por parte de la maquinaria (excavadoras, palas cargadoras, . . .) a medida que es mayor el porcentaje de piezas de gran tamaño que resultan en cada detonación. Por ejemplo, para piezas mayores de 500 kg la clasificación ha de ser individual pieza a pieza.

B.4 Funciones en la estructura y exposición

Una vez puesto en obra, al material proveniente de cantera se le exige que cumpla una serie de funciones, las cuales dependen del elemento del que formen parte.

De una manera global y con objeto de abarcar una generalidad de tipologías, las funciones principales típicas que pueden ser exigibles a estos materiales como partes constituyentes de una sección son: generación de volumen, filtro y resistencia a la acción del oleaje y corrientes.

Cada una de ellas, a su vez, puede tener un tipo de exposición diferente en relación con el nivel de mar, y así habrá que distinguir entre posición seca, sumergida y en carrera de marea. En cada una de ellas, las propiedades requeridas para el cumplimiento de las funciones que les son exigibles son diferentes.

B.4.1 Generación de volumen

Las mediciones que se deducen del proyecto (por perfiles o por modelos volumétricos digitales) dan como resultado el volumen teórico de proyecto. Por su parte, el volumen real del material puesto en obra se ve afectado por las porosidades de cada una de las capas o mantos donde se dispone. En este sentido, rangos habituales de porosidades de los materiales puestos en obra pueden considerarse (PIANC, 2008):

- Todo uno: 15-20%
- Escollera: 35-40%
- Media: 30-35%

A este respecto debe tenerse en cuenta que el procedimiento de puesta en obra del material (además de otros factores) tiene una influencia significativa en las porosidades resultantes.

30 | Anejo B. Especificaciones sobre materiales de cantera para la construcción de diques de abrigo

Para la estimación de los volúmenes de material en banco que deben ser explotados en cantera, deben añadirse las pérdidas producidas en los diversos procesos constructivos: voladura, clasificación, acopio, transporte, puesta en obra, penetraciones en los fondos y acción del mar y las corrientes en fases provisionales.

En obra se realiza el control volumétrico del material dispuesto realmente en las secciones correspondientes, de acuerdo al espaciamiento y a los tramos de verificación establecidos en el PPTP del proyecto, debiendo verificarse que se cumplen los criterios establecidos tanto en peso de las piezas como en densidades. Previamente a la ejecución de las unidades de obra se recomienda la realización de un tramo de pruebas en seco, que permita verificar las hipótesis de proyecto en cuanto a porosidades, densidades de puesta en obra y espesores de capa.

Debe llevarse un contraste regular entre el resultado de las mediciones del material puesto en obra frente a los volúmenes extraídos en banco y los volúmenes deducidos por el pesaje de los camiones (si el transporte es vía terrestre) o por el calado de los gánguiles (si es por vía marítima), y comprobar si las estimaciones asumidas (factor de esponjamiento, porcentajes de pérdidas del material a lo largo de las líneas de producción durante la construcción) pueden considerarse suficientemente fiables.

En el caso de que la obtención de los volúmenes requeridos de los distintos tipos de materiales sea demasiado costosa, el proyectista debe adaptar la geometría de algunas de sus partes o, incluso, plantearse diseños alternativos de las secciones tipo del dique.

Todo uno de cantera

El material a emplear como núcleo en los diques suele ser todo uno de cantera, al cual no se le exigen requisitos específicos más allá de:

- Limitación de tamaños máximos y por debajo de un determinado umbral (limitación en el contenido de finos y en los tamaños más gruesos, aptos para escolleras clasificadas)
- Propiedades:
 - Resistencia al corte
 - Porosidad
 - Permeabilidad

Existen diversas clases de todo uno para su uso en material de núcleo:

- Sin control granulométrico específico
- De machaqueo: controlando el tamaño máximo que pasa por la machacadora principal
- Todo uno que pasa por la carrilera: el principal problema es que no dispone de control de finos, con riesgo de retener una fracción arcillosa suficiente para alterar la resistencia al corte
- Cribado con retirada de finos (entendiendo en ocasiones por finos a los tamaños hasta 1 kg): este procedimiento es costoso y requiere un control especial, pero otorga una alta permeabilidad al material resultante

En general, la limitación del porcentaje de finos supone los siguientes efectos:

- Incremento de permeabilidad/porosidad, lo que se puede traducir en una mayor transmisión aunque redundante de forma positiva en la estabilidad hidráulica de los mantos exteriores
- Aumento en el porcentaje de estériles en la explotación de la cantera
- Mejora en las condiciones de estabilidad geotécnica por aumento de la resistencia al corte

No obstante debe evaluarse desde un punto de vista realista la eficacia de los procedimientos de eliminación de finos cuando se lleven a cabo.

En función de la decisión que se tome en cuanto a la retirada o no de finos, y la eficacia de las medidas al respecto, deberá estimarse la porosidad y, a partir de ahí, el volumen de cantera a explotar.

Materiales granulares alternativos

En algunas ocasiones pueden emplearse materiales alternativos no provenientes de canteras. Estos materiales se describen someramente a continuación, pero no forman parte del objeto del presente Anejo ni, en general, de los procesos que integran la ROM 1.1.

El origen de estos materiales puede ser variado pero normalmente pueden considerarse dos grupos: material proveniente del dragado (del tipo gravas) y materiales alternativos a partir de estériles de procesos industriales o de reciclado de otras estructuras.

En cualquiera de estos casos debe haber sido garantizado previamente la idoneidad ambiental de este tipo de materiales para su empleo. En este sentido, es conveniente documentar el comportamiento de este tipo de materiales en experiencias similares previas.

Posibles empleos de estos materiales pueden darse como núcleo de diques, filtros o protección de taludes o pies de manto.

Puede ser también necesario el confinamiento de estos materiales en láminas de geotextil, geomembranas u otras soluciones similares, incluso mediante el empleo de conglomerantes que impidan la fuga de finos (bituminosos o cementosos, limitando o eliminando el potencial de lixiviación). El empleo de estos conglomerantes puede impedir la salida de finos contaminantes bien al quedar atrapados en la matriz resultante, bien al reaccionar químicamente entre ambos. En todo caso, el empleo de estos métodos reduce la porosidad y dificulta la entrada y salida del agua al núcleo del dique.

Los propios procesos de selección de material deben incluir las medidas oportunas para la eliminación de las partículas que puedan resultar contaminantes, lo cual no difiere del caso de emplear materiales de cantera tradicionales.

Una relación posible de fuentes de suministro de materiales granulares alternativos es la siguiente (algunos como materiales granulares, otros como aglomerantes):

- Materiales procedentes del dragado
- Materiales de desechos de construcción y demoliciones. Hormigón reciclado

32 | Anejo B. Especificaciones sobre materiales de cantera para la construcción de diques de abrigo

- Residuos de incineradoras urbanas
- Neumáticos usados
- Escorias de altos hornos
- Arenas de fundición
- Residuos mineros
- Cenizas volantes
- Fosfoyesos

Poco puede decirse de manera general sobre las propiedades mecánicas de estos materiales alternativos, pues dependen del proceso que se haya adoptado para su obtención. No obstante, puede decirse que las texturas equivalentes varían en el rango de las arenas a las gravas.

Previamente al empleo de materiales alternativos debe evaluarse el comportamiento frente a:

- Meteorización (debido a disgregación física, química o ambos tipos)
- Corrosión por cloruros
- Hinchamiento
- Acción del hielo y deshielo

En definitiva los riesgos asociados a las propiedades de los materiales estériles de procesos industriales y reciclados vienen recogidos en la Directiva 91/689/ECC.

Otras posibles soluciones alternativas bien para la generación de volumen o incluso con el objeto de obtener resistencia mecánica son:

- Gaviones
- Materiales granulares estabilizados con grout u otros aglomerantes
- Geotextiles y geomembranas

En todo caso, el empleo de materiales alternativos requiere su consideración específica en lo que se refiere a la afección a la validez de los procedimientos de verificación del diseño de los diques.

B.4.2 Filtro

Las capas de filtro se colocan entre los mantos de protección y los materiales de núcleo (o material base). El diseño de los filtros (o mantos secundarios) debe hacerse para permitir el paso de agua evitando la fuga de finos de los materiales del núcleo. Los filtros se tratan de manera específica en el Manual de la presente ROM 1.1 al que se remite este anejo.

De igual manera, cuando se dispone una capa de protección contra la socavación del fondo natural al pie del dique, o bien como capa de apoyo al pie del manto principal y en contacto directo

con el suelo (que haría las veces de material base en este caso), deben cumplirse las condiciones de filtro para evitar la fuga de las partículas finas del suelo.

Al modo de fallo por pérdida de finos (migración) a través de los poros de las capas de filtro se denomina “Inestabilidad de filtro”, debiendo distinguir tres tipos:

- Erosión interna: ocurre cuando, en filtros con granulometrías continuas, las partículas finas de la propia capa de filtro migran a través de los huecos que dejan los granos mayores
- Inestabilidad en la interfaz con filtros granulares: cuando migran los finos del núcleo (o del suelo) sobre el que apoya la capa de filtro a través de los huecos de la capa de filtro
- Inestabilidad en la interfaz con filtros geotextiles: idéntico al anterior, pero a través de los poros de la lámina de geotextil

B.4.3 Resistencia a la acción mecánica del oleaje y corrientes

Las escolleras que deben soportar la acción del oleaje y corrientes son las que se disponen en las siguientes partes de diques en talud, espigones y protecciones de ribera:

- Mantos exteriores
- Bermas de apoyo o pies de los mantos exteriores
- Bermas superiores del manto
- Mantos de protección de taludes interiores

O bien:

- En diques verticales, como mantos de protección de la banqueta de cimentación de la estructura de gravedad
- En muelles, como mantos de protección de la banqueta frente a la socavación producida por las hélices de los barcos
- En muelles de pilotes, como mantos de protección del talud frente a la socavación producida por las hélices de los barcos

Es evidente que el funcionamiento hidráulico de cada una de estas partes está influido por la tipología en particular de que se trate. Por ejemplo, al tratar de estructuras en talud, deberá considerarse si ésta es rebasable o no.

Para cada tipología y cada elemento de la estructura se cuenta con un conjunto de procedimientos de verificación particulares que permite definir el peso mínimo necesario para resistir la acción del oleaje y corrientes. Estos procedimientos consideran por lo general, entre sus variables de entrada, el nivel de daño admisible, definido de acuerdo con las bases de partida del proyecto según los procedimientos definidos en la ROM 1.1.

Para las fases constructivas del dique, se redactará un procedimiento de protección de la obra en ejecución coherente con los criterios de averías y reparación definidos en fase de proyecto para

34 | Anejo B. Especificaciones sobre materiales de cantera para la construcción de diques de abrigo

hacer frente a los ciclos de sollicitación esperables. Los criterios de reparación deben definir los acopios necesarios en obra.

Para la protección contra la socavación producida por las hélices de los barcos deben emplearse sus procedimientos de verificación específicos. En algunos casos, en lugar de escolleras es conveniente el empleo de otras soluciones, como bolsas o mantas rellenas de grout, piezas prefabricadas, etc., debido a que proporcionan protección con un espesor menor.

En todo caso, las escolleras de manto de protección suelen disponerse en doble capa, con lo que el manto tendrá un espesor de $2 \cdot kt \cdot Dn50$, siendo kt un coeficiente que depende de la forma de las escolleras, de sus curvas granulométricas y del método de colocación.

En relación con la durabilidad de las escolleras a la acción del oleaje, además de las consideraciones incluidas en el apartado 6 de este Anejo, debe tenerse en cuenta que su empleo puede ser preferible al de piezas prefabricadas de hormigón cuando se requieren vidas útiles largas. Materiales provenientes de rocas de naturaleza ígnea y metamórfica y algunas calizas compactas presentan una absorción de agua muy baja, buena integridad y una gran dureza, características que los convierten en preferibles al empleo de piezas prefabricadas.

B.4.4 Posición: seca, sumergida y en carrera de marea

En los climas cálidos, la posición de la escollera en relación con el nivel del agua (posición seca, sumergida o en carrera de marea) influye en la susceptibilidad al deterioro por cristalización de sales.

En climas fríos, la escollera es susceptible de deterioro por las presiones inducidas por los ciclos de hielo-deshielo.

El primer fenómeno sucede a partir de la precipitación de sales producida por la sucesión de ciclos de mojado/secado en agua salada. Esta precipitación de sales provoca la aparición de esfuerzos cíclicos internos que puede afectar a la integridad de la escollera.

No obstante, esta susceptibilidad de la escollera a la descomposición por este mecanismo depende de otros factores además de su posición relativa: grado de alteración original de la roca madre por agentes atmosféricos, condiciones del clima, tipo petrográfico, procedimientos de extracción, presencia de minerales inestables, tamaños de los poros, abertura de las fisuras.

La severidad de los daños descritos anteriormente (debido a la cristalización de sales por los ciclos secado/mojado o a los ciclos hielo/deshielo) están relacionados con la frecuencia de dichos ciclos y con el clima:

- Daño por cristalización de sales: por el régimen de temperaturas, la humedad y salinidad del agua
- Daño por hielo/deshielo: por el régimen de temperaturas extremas, la humedad y el grado de saturación de la escollera

Para ambos mecanismos, la escollera es más susceptible al daño cuando se sitúa en zonas expuestas a una importante variación en el grado de saturación. Esta circunstancia se produce

B.4. Funciones en la estructura y exposición | 35

en la zona en carrera de marea y en las zonas afectadas por las salpicaduras.

En la tabla B.2 (extraída del Anexo C de la UNE-EN 13383) se muestra la severidad de las condiciones que produce la descomposición de la escollera en función del clima:

Zonas de exposición y condiciones	Clima	
	Mediterráneo*	Atlántico y continental
Zonas permanentemente sumergidas (incluye zonas en climas de hielo sumergidas por debajo de la posible profundidad de congelación)	Suave	Suave
Saturación parcial o completa con agua dulce	Suave	Severa
Saturación parcial o completa con agua salada	Suave	Severa

Tabla B.2: Zona de exposición y condiciones (Anexo C de la UNE EN 13383). *En la clasificación Mediterránea no es necesario considerar las condiciones de congelación, **Zonas con heladas

Por otra parte determinados tipos de roca tienen unos rangos de valores característicos de algunas de sus propiedades que permiten, para un experto, reconocer su susceptibilidad particular de alteración física o química a agentes externos. Un examen petrográfico y una adecuada clasificación del tipo de roca a menudo pueden permitir conocer la resistencia al deterioro frente a estos mecanismos. Del mismo modo que ciertos signos de alteración geológica pueden servir de base para suponer una baja resistencia a la alteración por agentes atmosféricos a medio y largo plazo.

En cuanto a los ensayos y requisitos exigidos a la escollera para asegurar la resistencia adecuada a estos mecanismos de deterioro (cristalización de sales, deterioro por ciclos hielo/deshielo), caben las siguientes posibilidades:

- Registro de servicios: cuando se dispone de experiencia de empleo de los materiales procedentes de fuentes homogéneas y similares a las que son objeto de estudio, y que han tenido un comportamiento satisfactorio a largo plazo en estructuras en servicio no suelen ser necesarios nuevos requisitos de ensayo.
- Examen petrográfico: de acuerdo al procedimiento especificado en la Norma UNE-EN 932.3, que proporciona información sobre los principales componentes mineralógicos de la roca, textura, porosidad, anisotropía y grado de alteración geológica. Escolleras con escasa resistencia a estos mecanismos de deterioro, derivadas de rocas muy meteorizadas o de algunos conglomerados, suelen contener algunos o varios de los siguientes elementos: esquistos, micaesquistos, filita, greda, marga, pizarra y rocas flojamente cementadas por minerales arcillosos.
- Ensayos de absorción de agua, congelación-descongelación y de sulfato de magnesio: si el examen petrográfico presenta resultados no concluyentes, es necesario considerar las tablas B.2 y B.3 para poder determinar qué nuevos ensayos son pertinentes.

Si la absorción de agua de acuerdo a la Norma EN 13383-2 no es mayor que el 0.5%, la escollera puede considerarse resistente al hielo-deshielo y a la cristalización de sales, y no se necesita ningún otro ensayo.

36 | Anejo B. Especificaciones sobre materiales de cantera para la construcción de diques de abrigo

	Condiciones medioambientales	
	Suaves	Severas
Ensayo de hielo-deshielo (7.4) aplicable a las condiciones atlánticas y continentales*	Categoría NR	Categoría A
Ensayo de sulfato de magnesio (7.5) aplicable a las condiciones mediterráneas**	Categoría NR	Categoría A

Tabla B.3: Condiciones medioambientales (Anexo C de la UNE EN 13383). *Sólo zonas con heladas, **La clasificación mediterránea implica que no necesitan considerarse las condiciones heladas

Sin embargo, algunas escolleras pueden ser adecuadas incluso teniendo valores de absorción bastante superiores a 0.5%. Estas escolleras deben evaluarse por el ensayo de heladicidad según Norma UNE-EN 13383-2:2002 o por el ensayo de sulfato de magnesio según Norma UNE-EN 1367-2, si bien para estos últimos casos los tamaños de las partículas sometidas a ensayo suelen influir, en gran medida, sobre los resultados. En caso de resultados de ensayos en casos límites, la resistencia de la escollera puede contrastarse con otros procedimientos:

- Empleo de clases granulométricas superiores y más amplias (p.e. 63 mm a 125 mm)
- Repetición del ensayo con sulfato sódico de acuerdo a la Norma EUNE-N 12370

Si la escollera está permanentemente sumergida, no debiera ser necesario ningún ensayo de calidad de la roca frente a la degradación por cristalización de sales o helada.

B.5 Propiedades

Las propiedades de la escollera se clasifican en:

- Propiedades intrínsecas, propias del macizo rocoso en la naturaleza.
- Propiedades consecuencia de la explotación de la cantera (procesos de voladura, clasificación, acopios intermedios y carga), transporte y acopio a pie de obra.
- Propiedades consecuencia de la puesta en obra, determinadas por los procedimientos de colocación.

Las propiedades intrínsecas se estudian mediante estudio geológico en campo y análisis químico, físico y mecánico. Las propiedades consecuencia de la explotación de cantera y puesta en obra han de asegurarse a partir del control de calidad y de ejecución.

Este conjunto de propiedades, que se definen progresivamente desde el estado natural de la roca hasta la finalización de la obra determinan su durabilidad y su capacidad de respuesta a los requisitos resistentes y funcionales del dique, que han de ser coherentes con el proceso de diseño seguido y sus bases de partida, tanto las explícitas como las implícitas en los procedimientos de verificación seguidos.

B.5.1 Propiedades intrínsecas

Densidad, absorción de agua y definiciones

Esquemáticamente la relación volumétrica de una muestra de roca puede representarse de manera expuesta en la figura B.2, donde se observa el cuerpo del esqueleto mineral (V_M), y los huecos (poros) que parcialmente estarán saturados con agua (V_w), denominándose al grado de saturación (S_r).

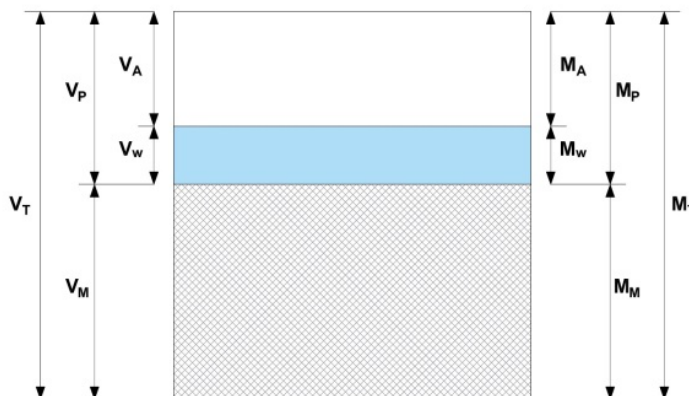


Figura B.2: Relaciones volumétricas de las muestras de roca

Inicialmente conviene definir con precisión los diferentes tipos de densidad (todas ellas pudiéndose medir en kg/m^3 ó en t/m^3), siendo la densidad aparente (ρ_{ap}) la magnitud que se emplea en el diseño (a introducir en las formulaciones).

La densidad real (ρ_{real}) está gobernada por la naturaleza petrográfica de la roca y no se emplea para el diseño.

La densidad aparente (ρ_{ap}) representa la relación entre la masa de una muestra y su volumen teniendo en cuenta la presencia de poros que, a su vez, pueden estar parcialmente saturados de agua. Es decir, aunque esté gobernada por la densidad real y el porcentaje de poros, también está influida por el grado de saturación. Por su parte, en la determinación de la densidad en ensayos en laboratorio (ρ_{roca}) la humedad es nula, no siendo ésta la humedad que debe ser tenida en cuenta en el diseño.

Por su parte, el coeficiente relativo de pesos específicos (adimensional) se define como:

$$\Delta = \frac{\rho_{ap}}{\rho_w} - 1 \quad (\text{B.2})$$

Este parámetro es el empleado habitualmente en muchas formulaciones de estabilidad hidráulica de las piezas de manto.

La porosidad de la roca, $p(-)$, es la relación entre el volumen de poros y el volumen total, $p = V_P/V_T$. No debe confundirse esta porosidad de la roca definida anteriormente con la porosidad

38 | Anejo B. Especificaciones sobre materiales de cantera para la construcción de diques de abrigo

de un conjunto granular, como puede ser un manto de escolleras. Para este último caso y con objeto de evitar malentendidos nos referiremos a ella como nv.

La densidad de partículas de la escollera se debe determinar con el ensayo según UNE-EN 13383-2 apartado 8, a partir de la relación de masa a volumen de un componente de escollera o parte de la misma.

La absorción de agua (WA) de una roca es la relación entre la máxima masa de agua que puede absorber una roca con la masa seca del material:

$$WA = \frac{\rho_w}{\rho_{roca}} \cdot p \quad (B.3)$$

Ensayo según UNE-EN 13383-2 apartado 8. Se determina la absorción de agua pesando la porción de ensayo en la condición de secado superficial y saturación y de nuevo en la condición de secado en estufa.

El grado de saturación S_r es la relación entre el volumen de agua contenida en los poros del material y el volumen de poros total: $S_r = V_w/V_p$.

De donde resulta la siguiente relación:

$$\rho_{ap} = \rho_{roca} + \rho_w \cdot p \cdot S_r \quad (B.4)$$

El epígrafe “3.3.3.3. Degree of saturation in stability calculations” del Rock Manual (CIRIA y col., 2007) muestra la variación en la densidad aparente que hay que tener en cuenta para diversas porosidades y grados de saturación.

Este aspecto puede tener cierta importancia (sobre todo cuando se emplean rocas porosas) en el cálculo de la estabilidad de unas mismas escolleras dispuestas en distintas partes de la estructura (zonas intermareales o permanentemente sumergidas). Por lo general, puede asumirse un valor de $S_r = 0,25$ para escolleras que no están permanentemente en contacto con el agua, mientras que para las que están permanentemente sumergidas puede considerarse $S_r = 0,5$.

Por su parte en el epígrafe “3.5.2 Effect of rock density on design parameters” se analiza la influencia que la variación en la densidad de las escolleras puede tener en su estabilidad frente a la acción del oleaje.

La densidad de la roca está relacionada generalmente con el color de sus componentes mineralógicos (mayor peso a mayor oscuridad), disminuyendo con la porosidad y grado de meteorización.

Escolleras provenientes de una misma cantera pueden presentar densidades diferentes, siendo esta variación un buen indicador de la calidad del material a extraer. Variaciones grandes en una misma cantera pueden ser indicativas de presencia de distintos tipos de roca o de presencia de zonas con altos grados de meteorización.

Resistencia a compresión simple

La resistencia a compresión simple es uno de los indicadores principales para determinar la durabilidad de las escolleras, así como su potencial deterioro frente a roturas derivadas del manejo de las escolleras en las fases de producción, transporte y puesta en obra, o roturas producidas durante la fase de servicio.

Estas roturas pueden ser mayores (determinan la integridad de la escollera) o menores (están gobernadas por la resistencia a la rotura).

La integridad puede considerarse una propiedad esencial del tipo de roca.

Por su parte la resistencia a la rotura queda determinada, principalmente, mediante la resistencia a compresión simple (de acuerdo a la metodología de ensayo en el Anexo A de la Norma EN 1926:1999, el cual es muy similar a los ensayos convencionales de Resistencia a Compresión Simple, RCS). En el Capítulo 6 de este Anejo se muestran los rangos de valores recomendados, si bien de manera general puede resumirse que es recomendable alcanzar una resistencia de al menos 80 MPa para evitar excesivas roturas cuando se trata de escolleras de manto, y de 60 MPa cuando se trata de capas de filtro e intermedias.

Resistencia a carga puntual

La resistencia frente a cargas puntuales puede determinarse de manera sencilla mediante el ensayo de carga puntual (ISRM, 1985). Los resultados de estos ensayos deben ser posteriormente corregidos para obtener su equivalencia para testigos de 50 mm, expresando la resistencia mediante el índice I_s , que se relaciona de manera aceptable con el valor de la RCS mediante la relación $RCS \approx 2 \cdot I_s$ (EN 1926, Anejo B). Este ensayo, debido a su facilidad de ejecución, es recomendable para una rápida evaluación de la calidad del material de la cantera y como herramienta para el control de calidad en obra.

Por su parte, las pruebas de impacto Schmidt (ISRM, 1988) y de velocidad sónica (EN 14579:2004) son ensayos no destructivos que proporcionan información sobre la presencia de grietas.

Resistencia al desgaste

Las escolleras que por su tamaño pueden ser manejadas “a granel” (materiales de núcleo o de filtros con pesos menores de 300 kg), pueden sufrir un proceso de desgaste no sólo una vez puestas en obra, sino también en el propio proceso de producción hasta su puesta en obra.

La resistencia a la abrasión en fase de servicio es principalmente necesaria en aquellas escolleras que tengan que hacer frente a la acción erosiva del oleaje con arenas o gravas en suspensión o bien en secciones dinámicamente estables.

En ríos, canales y torrentes, o bien en zonas susceptibles de socavación por corrientes elevadas localizadas, la acción erosiva puede ser muy significativa y la resistencia a la abrasión de las escolleras debe estar garantizada.

La resistencia al desgaste se determina de acuerdo al capítulo de la Norma UNE-EN 1097-1:1996.

Patrón y distancia entre discontinuidades

El patrón de discontinuidades en una matriz rocosa en estado natural es uno de los factores que influyen en la distribución de tamaños de las escolleras que pueden obtenerse, así como en otras características básicas como su forma.

No sólo tiene importancia la distancia entre discontinuidades sino también la regularidad y el posición relativa entre los planos de fracturas (ortogonales o no).

Este patrón debe determinar el diseño de las voladuras (dimensionamiento de la malla).

La naturaleza de la roca determina los patrones habituales de espaciamientos de discontinuidades y la distribución de tamaños esperable. De manera general, cuando se trata de obtener escolleras para su empleo como piezas de manto:

- Una estratificación cuasi horizontal de rocas sedimentarias suele producir piezas de gran tamaño. Lo mismo puede decirse de rocas graníticas cuando presentan un conjunto regular de juntas sub-horizontales.
- El patrón de discontinuidad en rocas ígneas no suele ser tan regular.
- En rocas basálticas suelen aparecer juntas verticales, las cuales pueden dar lugar a la producción de bloques de gran tamaño si su espaciamiento está en consonancia con los tamaños requeridos.
- Igualmente suelen producirse bloques grandes cuando son apreciables discontinuidades bien definidas en rocas metamórficas (foliación) producidas por una alineación predominante en la distribución o segregación mineral (por ejemplo, en gneises).

Existen también en ciertos lugares canteras donde se producen escolleras de tamaño especial y forma casi cúbica, que son extraídas directamente mediante corte o mediante cuñas neumáticas.

En otros casos, una distribución irregular y muy poco ortogonal de las discontinuidades produce piezas grandes no susceptibles de otros usos. Habitualmente estos grandes bloques han de ser demolidos en la propia cantera para su manejo, siendo las piezas resultantes aptas para su empleo como material de manto de protección de diques.

En canteras de nueva explotación, con objeto de tener un adecuado conocimiento del patrón de discontinuidades del macizo y de las distribuciones esperables al respecto, conviene llevar a cabo un reconocimiento 3D, si bien hay otras técnicas indirectas que permiten identificar la posición de dichas discontinuidades y relacionarlos con la distribución de tamaños esperable: estudio de los porcentajes de testigos extraídos en sondeos, reconocimientos sísmicos y medidas de ondas sónicas durante la perforación, etc.

En reconocimientos mediante sondeos, la orientación relativa de éstos respecto a los planos de las discontinuidades principales es crítica. Desde un punto de vista práctico los sondeos verticales son los únicos posibles. Debe planificarse esta campaña de reconocimiento determinando un número adecuado de sondeos, pues un sobre coste en esta fase suele conllevar importantes ahorros durante la explotación.

Palmström (2001) presenta un resumen de métodos para evaluar el grado de discontinuidades del macizo y su conversión en el volumen de bloques de escollera in situ, mientras que en la actualidad existen varios software que, a partir de la información obtenida en los reconocimientos iniciales descritos y mediante el empleo de diversos métodos estandarizados, proporcionan un mapeo 3D de las discontinuidades principales con un alto grado de fiabilidad.

B.5.2 Propiedades inducidas por la explotación de la cantera

Son las propiedades que se derivan de los procesos de voladura, clasificación, carga, transporte y acopios, tanto intermedios como finales.

Integridad de los cantos

Es la capacidad de que las piezas conserven su integridad como bloque. Viene definida por la resistencia a la rotura por discontinuidades o fisuras naturales o inducidas por los procesos de construcción, normalmente por la voladura. Es muy relevante en todas las escolleras, ya que el tamaño es determinante para casi todas las funciones que han de desempeñar las escolleras (mantos exteriores, capas de filtro...).

Se aborda en el Anexo B (informativo) a la UNE-EN 13383-1:2002.

Puede estudiarse de manera muy indirecta a través de ensayos de resistencia a compresión simple según UNE 1926, que no proporciona excesiva información. También pueden hacerse ensayos de rotura por caída (ensayo destructivo), aunque lo más frecuente es recurrir a la inspección visual, evidentemente subjetiva.

En Francia y los Países Bajos hay normalizados ensayos no destructivos.

Forma

La forma de los cantos tiene gran influencia en la estabilidad de los mantos sometidos a la acción del oleaje.

El criterio habitual es la relación longitud/espesor. Suele caracterizarse por el porcentaje de cantos que tiene una relación longitud/espesor mayor de 3. Se determina de acuerdo con el capítulo 7 de la UNE-EN 13383-2:2002.

A veces se evalúa la forma por otros parámetros: coeficiente de bloque, cubicidad, redondez, etc., que son mucho menos frecuentes.

Granulometría

La granulometría es una característica fundamental, que incide en:

- La porosidad de los mantos, relevante en la respuesta hidráulica y para el propio consumo de material
- La estabilidad interna de las capas y el cumplimiento de las condiciones de filtro con las adyacentes

Adicionalmente, las granulometrías excesivamente amplias presentan riesgo de segregación

42 | Anejo B. Especificaciones sobre materiales de cantera para la construcción de diques de abrigo

del material durante la manipulación inherente a los procesos de carga, transporte, acopio y colocación.

Una correcta definición de las granulometrías, aseguradas las condiciones de filtro y la estabilidad interna, es fundamental para la explotación racional de la cantera y la evitación de sobrantes que se traducen en sobrecoste de explotación. Granulometrías muy estrechas implican mayor coste de clasificación y mayores volúmenes de estériles.

El CIRIA y col. (2007) clasifica las granulometrías de escollera como se muestra en la tabla B.4.

	D_{85}/D_{15}
Granulometría estrecha	< 1,5
Granulometría ancha	1.5 a 2.5
Granulometría muy ancha (todo uno)	2.5 a 10

Tabla B.4: Clasificación de las granulometrías de escollera

De acuerdo con el Anejo A de la UNE-EN 13383-1:2002 (informativo) los tamaños de referencia que se determinan a nivel normativo son:

- ELL: límite inferior extremo
- NLL: límite inferior nominal a
- NUL: límite superior nominal b
- EUL: límite superior extremo

Por debajo del ELL queda lo que se denomina “fragmentos”.

La norma UNE-EN 13383-1:2002, que no se aplica a granulometría amplia (todo uno para núcleo), sino sólo a escollera clasificada (Figura B.3).

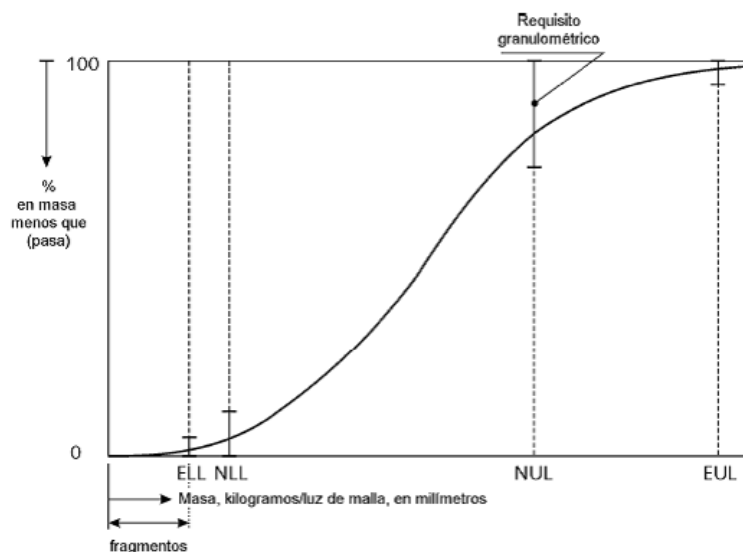


Figura B.3: Tamaños de referencia de granulometría EN-UNE 13383-1:2002

La Norma define tres tipos de escollera (Tabla B.5).

Tipo	Designación	Límites
Gruesa (escollera fina)	a a b (mm)	45 a 250 mm
Ligera (escollera media)	a a b (kg)	5 a 300 kg
Pesada (escollera gruesa)	a a b (kg)	300 a 15000 kg

Tabla B.5: Tipos de escollera

Dentro de estos tipos define un conjunto de distribuciones de tamaños normalizadas basadas en los límites antes expuestos (Tabla B.6).

	Escollera gruesa	Escollera ligera y pesada
ELL	5%	5%
LNL	15% o 20%	10%
NUL	80% o 90%	70%
EUL	98%	97%

Tabla B.6: Distribuciones de tamaños normalizadas

Adicionalmente, en el caso de escolleras ligeras y pesadas se distinguen las granulometrías normalizadas “A” y las “B”, las primeras de las cuales cuentan con intervalo normalizado para la masa media. Estas son las que se han de emplear en los mantos exteriores de los diques de abrigo, por su correspondencia con el resultado del diseño.

- Las granulometrías gruesas normalizadas corresponden a los tamaños 45/125 mm, 63/180 mm, 90/250 mm, 45/180 mm y 90/180 mm

44 | Anejo B. Especificaciones sobre materiales de cantera para la construcción de diques de abrigo

- Las escolleras ligeras normalizadas corresponden a los intervalos de masa: 5 a 40 kg, 10 a 60 kg, 40 a 200 kg, 60 a 300 kg y 15 a 300 kg
- Las escolleras pesadas normalizadas corresponden a los intervalos de masa: 300 a 1000 kg, 1000 a 3000 kg, 3000 a 6000 kg, 6000 a 10000 kg y 10000 a 15000 kg

Se pueden definir husos granulométricos no normalizados siguiendo criterios análogos a los de los normalizados. En CIRIA y col., 2007 se muestran criterios para ello a partir de la masa media.

Materiales para el núcleo

El núcleo no tiene de por sí requerimientos específicos en cuanto a su tamaño medio M50, si bien su granulometría ha de asegurar su estabilidad interna. Su función esencial es “ocupar volumen”, siendo sus propiedades fundamentales:

- La resistencia al corte, caracterizada por su ángulo de rozamiento interno ϕ' .
- Porosidad
- Permeabilidad

La porosidad y permeabilidad son fundamentales desde el punto de vista del diseño del dique. Determinan la capacidad de disipación de sobrepresiones intersticiales del oleaje en el cuerpo del dique, que tiene influencia en su estabilidad geotécnica.

Interviene de manera fundamental en el balance entre los fenómenos que disipan la energía del oleaje: fricción turbulenta en el manto principal, reflexión, disipación en el cuerpo del dique y rebase. Resultan determinantes en la transmisión si el dique es muy permeable, y en la estabilidad del manto principal ya que si el núcleo es poco permeable y poco poroso reflejará parte de la energía del oleaje, con un efecto negativo en la estabilidad del manto principal.

Desde este punto de vista es fundamental que la especificación, y la posterior construcción del núcleo, estén de acuerdo con las bases, tanto explícitas como implícitas, de los procedimientos de verificación empleados en el diseño.

Materiales para la banqueta de cimentación de diques verticales y mixtos

Los materiales de banqueta de cimentación de diques verticales se protegen del oleaje mediante mantos exteriores de escollera a los que han de exigirse las mismas características que a las escolleras del manto principal de los diques en talud cuando están permanentemente sumergidas.

Entre la propia banqueta y las capas exteriores se han de cumplir las condiciones de filtro.

En cuanto a los husos granulométricos puede emplearse todo uno de cantera o bien escolleras clasificadas de huso estrecho y tamaño máximo limitado. En la parte superior la masa media de los cantos no debe superar los 50 kg para permitir su enrase con grava o balasto.

Las propiedades relevantes son:

- La resistencia al corte, caracterizada por su ángulo de rozamiento interno ϕ' .

- Porosidad
- Permeabilidad

Como las presiones de contacto del dique con la banqueta de cimentación pueden ser relativamente elevadas, la ROM 0.5-05 establece resistencia a compresión mínima de la roca en función de la presión de pico sobre el cimiento.

La porosidad y permeabilidad tienen gran influencia en las fuerzas del oleaje sobre la propia banqueta por percolación, y en la subpresión dinámica sobre la base del dique.

Los procedimientos de verificación suelen suponer que la distribución de presiones en la base sigue una ley triangular a partir de un valor de pico en el vértice exterior del cajón, anulándose en el lado más abrigado. En que la distribución de presiones se aproxime a la teórica o se aparte de ella influye:

- Posibles variaciones locales en la distribución granulométrica del material de banqueta.
- Acabado irregular del enrase que deje huecos entre cajón y banqueta.
- Turbulencia y concentración del flujo en las esquinas del cajón

B.5.3 Propiedades inducidas por la puesta en obra

Las propiedades asociadas al proceso de puesta en obra están determinadas de manera explícita o implícita en los procedimientos de cálculo y en el diseño de la solución en fase de proyecto. Estas propiedades son:

- Densidad, porosidad y espesor real de capa
- Trabazón entre los cantos
- Ángulo de rozamiento interno

De manera que la definición de los procedimientos de puesta en obra de estos materiales debe basarse en un buen conocimiento del proyecto y de las bases donde se apoyan los cálculos y el diseño.

Porosidad y espesor de capa

El volumen total de material a ser puesto en obra depende de las secciones constructivas pero también de la porosidad resultante de los distintos materiales una vez conformadas dichas secciones. De manera habitual, el proyecto obtiene las mediciones de los distintos materiales a partir del volumen obtenido de los distintos perfiles, facilitando así una medición por volúmenes y no por pesos.

Por otra parte, la porosidad depende del procedimiento de puesta en obra, así como del espesor de diseño de las capas en cuestión. De manera general, el espesor de diseño de una determinada capa está definido en función del valor de D_{n50} de la curva granulométrica del material.

La estabilidad hidráulica de las diversas capas depende de la densidad del propio material, pero también de la porosidad de la capa resultante en función de su puesta en obra, del volumen

46 | Anejo B. Especificaciones sobre materiales de cantera para la construcción de diques de abrigo

de huecos que pueden ser rellenados por otros materiales más finos, de la forma de las piezas y de su rugosidad entre ellas (además, claro está, de la pendiente del talud resultante).

Así, cuando el objetivo de un manto de protección sea conseguir la estabilidad a la acción del oleaje o las corrientes, las piezas deben colocarse de manera que se consiga cierta porosidad y evitando un acabado plano, es decir, “sin carear”, de forma coherente con los procedimientos seguidos para la verificación.

Principalmente pueden considerarse los siguientes procedimientos de colocación:

- Aleatoria
- Estándar
- Densa
- Especial

La puesta en obra mediante vertido directo puede considerarse como colocación aleatoria.

La densidad resultante (densidad bruta o densidad aparente, ρ_b) de un manto de protección puede establecerse como:

$$\rho_b = (1 - n_v) \cdot \rho_{ap} \quad (\text{B.5})$$

siendo n_v la porosidad de la capa. De manera similar, la relación entre el volumen de roca (V_r) y el volumen bruto (volumen bruto, V_b) de la correspondiente capa es:

$$V_r = (1 - p) \cdot V_b \quad (\text{B.6})$$

El espesor teórico (t_d) se expresa como:

$$t_d = n \cdot k_t \cdot D_{n50} \quad (\text{B.7})$$

donde k_t es el coeficiente de capa y n el número de capas.

Y finalmente el número total de piezas puede estimarse de la siguiente forma:

$$N_a = n \cdot A \cdot k_t \cdot (1 - n_v) \cdot D_{n50}^2 \quad (\text{B.8})$$

No obstante todo lo anterior, debe tenerse en cuenta que el término porosidad de capa (n_v), debe considerarse limitada a tramos relativamente homogéneos en cuanto a las condiciones de contorno. En zonas de transición, cambios de alineación o en otros lugares singulares donde se requiera un cambio en el procedimiento de colocación, el valor de n_v puede cambiar.

Así pues, una adecuada estimación de la porosidad de capa es necesaria para llevar a cabo:

- La estimación de volumen de roca requerido
- La comprobación de que se encuentra en el rango previsto en los procedimientos de verificación de la estabilidad hidráulica del manto

Se ha comprobado la existencia de diferencias significativas tanto para los valores de k_t como de n_v en función de las siguientes variables principales:

- Procedimiento de colocación (aleatoria, especial, etc.)
- Forma de las escolleras, descritas mediante:
 - el coeficiente de forma BL_c , que es la relación entre el volumen de material de una pieza y el volumen total del paralelepípedo mínimo que puede englobarlo
 - aspecto o relación entre longitud y anchura de las piezas, LT
- Distribución granulométrica

Algunos rangos de valores para escolleras en manto recomendados por el CIRIA y col. (2007) se resumen en la tabla B.7, en las cuales en todos los casos se considera un valor de $LT=2.0$.

Número de capas	Tipo de colocación	Parámetro	Bloque regular ($BL_c = 0,65$)	Bloque irregular ($BL_c = 0,5$)
Una capa	Densa	k_t	0.84-0.89	0.77-0.82
		$n_v(\%)$	32-36	35-40
Doble capa	Estándar	k_t	0.91-0.96	0.87-0.92
		$n_v(\%)$	32-36	35-40
Doble capa	Densa	k_t	0.91-0.96	0.87-0.92
		$n_v(\%)$	31-35	32-36

Tabla B.7: Rangos de valores para escolleras. Los distintos valores dentro de un mismo rango son debidos al procedimiento de inspección

Se recomienda que todo diseño que se sustente en ensayos en modelo físico, traten de reproducir en la medida de lo posible las anteriores variables, principalmente el procedimiento de colocación y la forma de las escolleras.

El CIRIA y col. (2007) presenta algunos métodos gráficos o simplificados para la estimación de los parámetros k_t y n_v para ciertos casos.

Las tolerancias de colocación deben venir definida en el PPTP del Proyecto. En cada tramo de avance deben realizarse las comprobaciones geométricas correspondientes mediante perfiles transversales después de terminar cada una de las capas y antes de iniciar la colocación de la siguiente. La tolerancia en las capas de escolleras se sitúa alrededor de $\pm 0,5$ veces la longitud de la diagonal de la cara del cubo equivalente, si bien ello constituye una simplificación ya que la tolerancia debe establecerse en función de:

- Tamaño de las piezas
- Forma de colocación (a granel o pieza a pieza)

48 | Anejo B. Especificaciones sobre materiales de cantera para la construcción de diques de abrigo

- Profundidad de colocación

El CIRIA y col. (2007) proporciona un cuadro de tolerancias indicativas para la colocación de materiales de cantera.

Es norma de buena práctica, una vez concluido un tramo de dique, colocar hitos y referenciarlos topográficamente, así como realizar un reportaje fotográfico, con el fin de controlar los movimientos de las piezas de manto que pueden producirse tras los temporales.

Por su parte, la colocación de las capas subyacentes de filtro requiere una mayor precisión. En función de la profundidad del dique caben diversas alternativas para su ejecución, siendo los dos procedimientos más comunes:

- Vertido directo con perfilado posterior, el cual puede realizarse con retroexcavadora para diques poco profundos (Figura B.4), o bien con un prolongador acoplado al brazo de la retro
- Colocación con grúa y bandeja



Figura B.4: Perfilado de manto de escollera con retroexcavador

Rugosidad y trabazón

La densidad de capa resultante, bien sea para un filtro o un manto de protección, está directamente relacionada con la porosidad y, conjuntamente con las formas de las piezas y su distribución granulométrica, determina la trabazón entre partículas y, por lo tanto, la resistencia al corte de la capa así como de la interfaz con otras capas.

En el caso de los filtros, el empleo de escolleras suficientemente grandes (además de proporcionar una mayor permeabilidad y, por tanto, estabilidad a la capa de manto) presentan la ventaja de proporcionar una superficie de contacto con la capa de manto más rugosa, lo cual puede ser especialmente beneficioso si dicho manto se compone de piezas artificiales de hormigón.

En el caso de los mantos principales, su diseño asume una trabazón mínima entre sus elementos, la cual debe estar garantizada en función de:

- Unas determinadas condiciones de la escollera:
 - Relacionadas con su distribución granulométrica
 - Relacionadas con el valor de su factor de forma y del parámetro LT
- La precisión requerida en la colocación

La porosidad, la densidad aparente y la trabazón forman frecuentemente parte de las bases de partida implícitas en los procedimientos de verificación.

Garantizar una mayor trabazón entre las piezas de una capa puede ser una adecuada estrategia para garantizar la estabilidad mínima para aquellas escolleras en las que pueda haber dudas de su durabilidad por disponer de escasa resistencia al desgaste. Hay que recordar que la durabilidad de unas escolleras está relacionada, fundamentalmente, con su capacidad para mantener la masa de sus piezas individuales y la capacidad de encaje entre ellas a lo largo del tiempo.

Un mayor valor del factor de forma (BLc) implica una mayor facilidad de conseguir interfaces subparalelas, una mayor densidad de capa, un mayor número de puntos de contacto entre piezas y, por tanto, una mayor rugosidad y trabazón.

Por otra parte, limitar la proporción de piezas con valor de LT >3,0 (es decir, piezas alargadas o “escamas”) es una buena manera de asegurar una razonable trabazón, además de ser una buena práctica para reducir el porcentaje de piezas dañadas durante su manipulación previa a su puesta en obra.

En los casos en que se empleen bolos o cantos rodados, es necesario definir el porcentaje de caras rotas con objeto de asegurar un encaje mecánico adecuado.

Respecto a la colocación, un método de puesta en obra cuidadosa (no aleatoria) y el empleo de pinzas especiales puede ser beneficioso para mejorar la trabazón de escolleras de gran tamaño. No obstante estos criterios dependen de la destreza del gruista, factor muy difícil de controlar y prever. Por lo tanto, para asegurar una correcta trabazón resulta más adecuado garantizar unas determinadas condiciones de granulometría y forma de las escolleras.

En localización donde la obra pueda estar sometida a la acción del hielo, la trabazón entre piezas es fundamental para asegurar una estabilidad frente a cuñas de deslizamiento locales en aquellas zonas específicas del talud sometidas a la acción del hielo. Estos fenómenos requieren métodos de análisis particulares al ser modos de fallo muy específicos.

Finalmente debe tenerse en cuenta que las anteriores consideraciones hacen referencia a la trabazón en capas de escollera natural (filtros o mantos), las cuales se disponen en doble capa. El empleo de piezas artificiales de hormigón está sujeto a otras consideraciones específicas de cada tipo de bloque, así como su empleo en monocapa o doble capa.

B.6 Durabilidad

Se entiende por durabilidad la capacidad del material para continuar comportándose de forma adecuada en un ambiente específico.

La durabilidad se cuantifica por la pérdida de capacidad de respuesta a lo largo del tiempo que conduce a la superación de Estados Límite Últimos y/o de Servicio.

La durabilidad es función de:

- La composición mineralógica de la matriz rocosa
- La resistencia del material
- La agresividad de los agentes (físicos, químicos o ambientales) en fase de servicio, la cual a su vez depende de la ubicación en la que se encuentre en la sección

Al igual que las propiedades resistentes y de funcionalidad, la durabilidad de las escolleras depende de sus propiedades:

- Intrínsecas
- Resultantes de la producción en cantera
- Inducidas por el proceso de puesta en obra

Desde el punto de vista de los requisitos exigibles a las escolleras en cuanto a su durabilidad conviene tener en cuenta la ubicación en la que se encuentra dentro de la sección. Igualmente los requisitos exigibles a las escolleras pueden ser muy diferentes en función de la agresividad del medio en el que se encuentren.

Así en diques sometidos a la acción del oleaje:

- Las zonas más vulnerables son las que están en carrera de marea en secciones dinámicamente estables a la acción del oleaje.
- Zonas permanentemente sumergidas con reducidos flujos de agua a través suyo presentan tasas de degradación muy bajas o insignificantes. Una excepción a esto puede darse en aguas con un pH sustancialmente más ácido que el del agua de mar, que pueden provocar disolución de los carbonatos de la escollera y asientos del conjunto.
- Las escolleras del manto principal son las que pueden estar sometidas a procesos de meteorización por ciclos seco-mojado, cristalización de sales, ciclos de hielo-deshielo y oscilaciones térmicas.
- Las escolleras de filtro y núcleo deben ser física y químicamente estables:
 - Las escolleras de filtro tienen menor riesgo de meteorización que los mantos. La durabilidad de estas escolleras está relacionada casi exclusivamente con la permanencia de las condiciones de filtro de estas capas.

- El núcleo es la zona menos crítica. No obstante, principalmente en zonas de agua dulce, debe estar exento de sales solubles cuya disolución, además de afectar al mantenimiento del volumen de la sección, puede dañar el medioambiente.

B.6.1 Cualidades de durabilidad de las rocas: evaluación cualitativa

Los requisitos en cuanto a durabilidad que son exigibles a las escolleras y que sirven de base a su evaluación son los siguientes:

- Absorción de agua: de acuerdo a la tabla 12 de la UNE-EN 13383-1, si la absorción de agua es menor que el 0.5% en masa, la escollera puede considerarse resistente al hielo-deshielo y a la cristalización de sales. No obstante, valores hasta 1% pueden denotar igualmente buena durabilidad. Si presenta absorción de agua mayor, deberá determinarse su estructura de poros mediante los ensayos específicos.
- Resistencia a los ciclos hielo-deshielo: a determinar de acuerdo al Capítulo 9 de la Norma UNE-EN 13383-2:2002 y al Anexo C UNE-EN 13383-1:2002.
- Resistencia a la cristalización de sales: a determinar de acuerdo al Capítulo 8 de la Norma UNE-EN 1367-2:1998 y al Anexo C UNE-EN 13383-1:2002.
- Presencia de signos de Sonnenbrand: en la escollera de origen volcánico, de acuerdo al Capítulo 10 de la Norma UNE-EN 13383-2:2002.

Además de los anteriores, materiales procedentes de procesos siderúrgicos de alto horno y de acería contienen componentes específicos que afectan a la durabilidad y deben ser evaluados.

Los ensayos a realizar en relación con la determinación de los parámetros que evalúan la durabilidad y otros ensayos de meteorización acelerada están descritos en la Norma UNE-EN 13383-2:2002 así como en el epígrafe “3.8.6. Durability and accelerated weathering tests” de “The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering (2nd Edition)” (CIRIA y col., 2007).

En general, pueden considerarse indicadores de baja durabilidad aquellas escolleras que:

- De cuyo examen petrográfico se deduzca que se trata de:
 - Rocas meteorizadas, brechas o conglomerados
 - Esquistos, filitas, cretas y margas
 - Escollera con contenido de arcillas u otros materiales cementantes
 - Basaltos jóvenes (susceptibles de presentar efecto Sonnenbrand)
 - Piritas
- Tengan una baja densidad que denota una baja durabilidad debido principalmente a su alta porosidad. La norma europea EN 13383 especifica una densidad mayor que 2.30 t/m³ para asegurar una mínima durabilidad. Escolleras con densidades por debajo de este valor no deben emplearse en obras nacionales.

El Rock Manual presenta en su Tabla 3.12 (Figuras B.5 y B.6) una evaluación de la calidad del material en base a la siguiente clasificación:

52 | Anejo B. Especificaciones sobre materiales de cantera para la construcción de diques de abrigo

- Excelente: comportamiento ideal, sin riesgo de degradación.
- Buena – calidad mayor que la media: no son necesarias medidas específicas en situaciones normales, presentando tasas de degradación habituales a lo largo de la vida útil
- Marginal – calidad menor que la media: sin medidas específicas, son esperables tasas de degradación significativas, por lo que los procesos de diseño, producción, construcción y conservación deben adaptarse a este hecho.
- Pobre (mala) – calidad mucho menor que la media: debe evitarse el empleo de estos materiales en la medida de lo posible cuando la clase de la exposición en la que se encuentre pueda suponer una rápida degradación de sus capacidades. En todo caso, son necesarias medidas intensivas de conservación a lo largo de su vida útil.

La tabla proporciona directrices para la evaluación cualitativa de los materiales que provengan de una cantera y permite obtener valoraciones cuantitativas para ser empleadas con fines de comparación entre distintas fuentes o como datos de entrada de modelos de degradación de propiedades.

En todo caso la información de la tabla no debe ser tenida en cuenta a efectos de establecer especificaciones.

Se trata de una guía que puede ser adaptada en el número de categorías de acuerdo a los niveles de control a implantar en la explotación de la cantera.

A los efectos de la presente ROM 1.1 los criterios para una evaluación preliminar del material, con carácter fundamentalmente orientativo y no como base rigurosa para especificaciones pueden resumirse en las figuras B.5 y B.6.

Indicadores habituales de calidad y durabilidad					
Criterio	Referencia	Valoración			
		Excelente	Bueno	Marginal	Mala
Clasificación litológica	EN 932-3	Rocas ígneas y metamórficas sanas, cuarcitas y areniscas silíceas muy cementadas, calizas compactas	Dolomías, calizas poco compactas y areniscas moderadamente cementadas	Calizas arcillosas, areniscas poco cementadas, dolomías de arrecife con oquedades	Calizas esquistosas, brechas de arrecife, esquistos, limonitas, pizarras, tizas, carbonatos de yeso
Estado tensional in situ de la matriz rocosa	Lienhart (1998)	Tensiones bajas, sin presencia de pliegues ni fallas	Tensiones medias, posible presencia de pliegues	Tensiones elevadas, con posible presencia de fracturas paralelas a la superficie	Estado tensional muy elevado. Posible presencia de fallas en superficie. Posible presencia de detritus en el suelo
Grado de meteorización	BS 5930:1999	IA – Sana, no meteorizada	IB – Débilmente meteorizada (marcas visibles en superficie)	II – Ligeramente meteorizada (descomposición extendida a una parte relevante del macizo)	III – Moderadamente meteorizada (menos de la mitad del macizo se encuentra descompuesto)
Discontinuidades (IBSD)	Wang et al (1990)	$D_{180} > 2m$ *	$D_{180} = 1,5 - 2,0 m$ *	$D_{180} = 1,0 - 1,5m$ *	$D_{180} < 1,0 m$ *
Forma y grado de meteorización	Lienhart (1998)	Menos del 5% de las escolleras con $LT > 3$. 95% de las escolleras con Grado IA, libre de cavidades y de extremadamente alta resistencia	5-10% de las escolleras con $LT > 3$. 95% de las escolleras con Grado IB o mejor, denso, muy alta resistencia	10-15% de las escolleras con $LT > 3$. 95% de las escolleras son al menos Grado II, bien con micro poros o con cavidades no rellenas. Alta resistencia	Más del 15% de las escolleras con $LT > 3$. 95% de las escolleras son al menos Grado III, arcillosos o micáceos
Análisis visual de la integridad	Lienhart (1998)	Tras dos meses en acopio, más del 95% de las escolleras están libres de fracturas incipientes, defectos o grietas debidas a liberación de tensiones, por manipulación o por exceso de voladuras.	90-95% de las escolleras están libres de fracturas tras dos meses en acopio	85-90% de las escolleras están libres de fracturas tras dos meses en acopio	Menos del 85% de las escolleras están libres de fracturas tras dos meses en acopio
Integridad del bloque (ensayo de caída)	CIRIA – Rock Manual. Sección 3.8.5.	$I_{M50} < 2\%$ $B_n < 5\%$ **	$I_{M50} = 2-5\%$ $B_n = 5-10\%$ **	$I_{M50} = 5-15\%$ $B_n = 10-35\%$ **	$I_{M50} > 15\%$ $B_n > 35\%$ **
Integridad del bloque (velocidad sónica: I_c y D_f)	Tourent et al (1971)	$I_c > 80$ $D_f < 20$	$I_c = 70 - 80$ $D_f < 20$	$I_c = 50 - 70$ $D_f < 20$	$I_c < 50$ $D_f \geq 20$
Densidad, ρ_{roca} (t/m^3)	EN 13383-2:2002	$> 2,7$	2,5 – 2,7	2,3 – 2,5	$< 2,3$

Figura B.5: Indicadores habituales de calidad y durabilidad. *Di80: tamaño del bloque in situ correspondiente al pasante del 80%. ** Bn: índice de rotura, puede ser estimado visualmente. Se calcula como el número de piezas con pérdidas de masa mayores del 10% en relación con el número totales de piezas de la muestra.

54 | Anejo B. Especificaciones sobre materiales de cantera para la construcción de diques de abrigo

Indicadores habituales de calidad y durabilidad					
Criterio	Referencia	Valoración			
		Excelente	Bueno	Marginal	Mala
Absorción de agua (%)***	EN 13383-2:2002	< 0,5	0,5 – 2,0	2,0 – 6,0	> 6,0
Resistencia a compresión (MPa)	EN 1926:1999	> 120	80 - 120	60 - 80	< 60
Índice de rebote con el martillo Schmidt (%)	ISRM (1988)	<60	50-60	40-50	<40
Velocidad sónica (km/s)	EN 14579:2004	>6	4,5 - 6	3-4,5	<3
Resistencia a carga puntual (MPa)	ISRM (1985)	>8	4 - 8	1,5 - 4	<1,5
Tenacidad a la fractura (MPa·m ^{1/2})	ISRM (1988)	>1,7	1,0 – 1,7	0,6 – 1,0	< 0,6
Resistencia a la tracción indirecta (ensayo Brasileño)	ASTM D3967-95a (2004) ISRM (1978)	>10	5 - 10	2 - 5	<2
Los Ángeles (% de pérdida)	EN 1097-2:1998	<15	15 - 25	25 - 35	>35
Micro-Deval (% de pérdida)****	EN 1097-1:1996	<10	10-20	20-30	>30
Estabilidad frente a disoluciones de MgSO ₄ (% de pérdida)	EN 1367	< 2	2-10	10-30	>30
Pérdida frente al hielo-deshielo *****	EN 13383-2:2002	<0,5	0,1 - 1	1 - 2	>2

Figura B.6: Indicadores habituales de calidad y durabilidad. *** Si el ensayo de absorción de agua da como resultado <0.5 % la escollera es resistente a la cristalización de sales (sulfato magnésico) y al hielo-deshielo, por lo que no son precisas estas comprobaciones. **** Se preferirá siempre el ensayo Micro-Deval al Ensayo Los Ángeles. ***** Cuando sea necesario en función de las condiciones de exposición.

A partir de los datos anteriores y como resumen, pueden considerarse como parámetros principales ideales de calidad a emplear típicamente en las diferentes partes de estructuras marítimas los mostrados en la tabla B.8.

Parámetro	Piezas de manto exterior	Capas intermedias y filtros	Núcleos
Grado de meteorización	I-II	I-II	I-II
Espaciamiento de discontinuidades	1 m +	0.5 m +	0.2 m +
RQD (%)	80-100	75-100	55-100
Porosidad (%)	0-5	0-10	0-10
Absorción de agua (%)	<2	<2.5	<3
Resistencia a compresión simple (MPa)	>100	>100	>50
Densidad (kg/m ³)	>2600	>2600	>2000

Tabla B.8: Parámetros principales ideales de calidad

Respecto a la degradación de las propiedades de las escolleras, existen algunos modelos de estimación de su evolución, descritos en el epígrafe 3.6.5 y 3.6.6 del Rock Manual: Método Micro-Deval (MDE) y Método de designación de la calidad de las escolleras (AQD), así como métodos que tienen en cuenta la influencia de la fracturación parcial de las piezas de escollera, o el redondeo de sus aristas en caso de movimiento durante tormentas.

A la hora de aplicar estos métodos resulta de especial importancia considerar si se trata de secciones estáticas (donde los modelos generales de degradación son recomendados), o bien de secciones dinámicamente estables, en los que los mecanismos de degradación son más complejos por el propio movimiento de las piezas y las posibles fracturas. En todo caso, la aplicación de estos modelos de degradación debe llevarse a cabo con cautela, siendo recomendable llevar a cabo análisis de sensibilidad.

B.6.2 Alternativas para escolleras de baja durabilidad

De manera general, cuanto mayor sea la posibilidad de una pieza situada en una estructura marítima de sufrir desplazamientos en fase de servicio, mayores requisitos de durabilidad le serán exigidos al material. Por el contrario, materiales de baja durabilidad deben ser dispuestos en zonas menos susceptibles al movimiento (zonas más protegidas de las acciones exteriores).

El empleo de materiales de baja durabilidad puede estar justificado en los siguientes casos:

- Cuando haya registros de un buen funcionamiento con el paso del tiempo del mismo tipo de material en obras similares en la zona
- Cuando la agresividad del ambiente es moderada
- Cuando están programadas campañas de mantenimiento regulares y con alta frecuencia a lo largo de toda la vida útil
- En las piezas de manto, que pueden ser sobredimensionadas para tener en cuenta el efecto de la degradación con el paso del tiempo
- Tendiendo los taludes de manera que se reduzca la posibilidad de movimientos de material en casos de temporal
- Cuando se defina una colocación especial de las piezas de manto, de manera que se garantice una mayor trabazón entre ellas
- Cuando no existen alternativas a un coste razonable y pueda asumirse vidas útiles más cortas para la estructura

B.7 Costes de explotación de canteras

Los costes de explotación de canteras se detallan en el capítulo “Evaluación de costes de construcción y de reparación de un dique de abrigo” del Manual de apoyo para la puesta en práctica del articulado.

Referencias

CIRIA, CUR y CETMEF (2007). *The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering*. Second edition. London: CIRIA (véanse páginas 38, 42, 44, 47, 48, 51).

PIANC (2008). *Final report of the 3rd International Commission for the Study of Waves*. Bruselas (véase página 29).



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DRAGADO DEL LECHO MARINO Y EL VERTIDO

Preámbulo

El objetivo del anejo *Especificaciones técnicas para el dragado del lecho marino y el vertido* es presentar los contenidos de las “Directrices para la caracterización del material dragado y su reubicación en aguas del dominio público marítimo-terrestre”. El anejo ha sido redactado el Grupo de Dinámica de Flujos Ambientales de la Universidad de Granada.

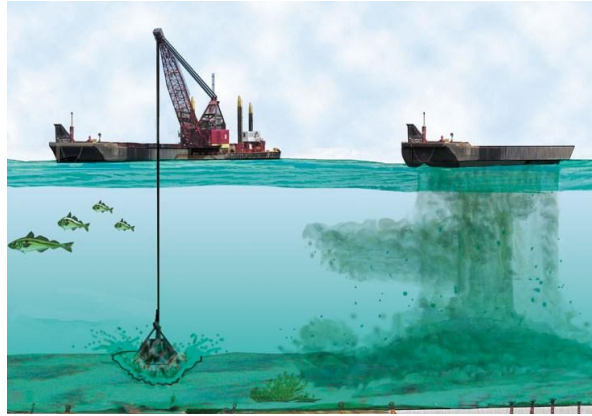
58 | Anejo C. Especificaciones técnicas para el dragado del lecho marino y el vertido

El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), Puertos del Estado, el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) y el Instituto Español de Oceanografía (IEO) publicaron las “Directrices para la caracterización del material dragado y su reubicación en aguas del dominio público marítimo-terrestre” (Comisión Interministerial de Estrategias Marinas, 2015), cuya portada se muestra en la figura C.1 y cuyo índice de contenidos se detalla a continuación:

- Capítulo I: Normas generales
- Capítulo II: El dragado y la zona a dragar
- Capítulo III: Toma de muestras de los materiales a dragar
- Capítulo IV: Caracterización de los materiales
- Capítulo V: Clasificación del material dragado
- Capítulo VI: Medidas preventivas y evaluación de las opciones de gestión
- Capítulo VII: Reubicación del material dragado en el mar
- Capítulo VIII: Permisos y autorizaciones
- Capítulo IX: Vigilancia ambiental

ANEJOS

1. Diagrama para la clasificación y gestión del material a dragar
2. Toma de muestras de los materiales a dragar
3. Caracterización bionómica
4. Metodología analítica
5. Medidas preventivas y uso de las mejores prácticas ambientales
6. Guía para la realización del estudio de usos productivos.



Directrices para la caracterización del material dragado y su reubicación en aguas del dominio público marítimo-terrestre



Puertos del Estado



COMISIÓN INTERMINISTERIAL DE ESTRATEGIAS MARINAS

2015

Figura C.1: Portada de las Directrices para la caracterización del material dragado y su reubicación en aguas del dominio público marítimo-terrestre

Referencias

Comisión Interministerial de Estrategias Marinas (2015). *Directrices para la caracterización del material dragado y su reubicación en aguas del dominio público marítimo-terrestre*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (véase página 58).



SOLUCIONES DE DETALLES CONSTRUCTIVOS PARA DIQUES DE ABRIGO

Preámbulo

El objetivo del anejo *Soluciones de detalles constructivos para diques de abrigo* es presentar soluciones técnicas en la construcción de diques de abrigo. El anejo ha sido redactado por José Manuel González Herrero (Acciona Ingeniería). La información de la solución de junta entre cajones de máxima fricción fue proporcionada por la Dirección de Infraestructuras y Conservación de la Autoridad Portuaria de Gijón.

62 | Anejo D. Soluciones de detalles constructivos para diques de abrigo

D.1. Ejemplos de soluciones técnicas en diques en talud	63
D.1.1. Berma de pie	63
D.1.2. Anchura y cota de la plataforma de avance	64
D.1.3. Transición entre tramos	65
D.1.4. Muros y espaldones	73
D.2. Ejemplos de soluciones técnicas en diques verticales	73
D.2.1. Bloque de guarda	73
D.2.2. Espaldón de hormigón armado	74
D.2.3. Espaldón de hormigón en masa	76
D.2.4. Junta entre cajones	76
D.2.5. Viga cantil	77
D.2.6. Transición entre cotas de cimentación	78
D.3. Ejemplo de solución de junta entre cajones de máxima fricción	80

D.1 Ejemplos de soluciones técnicas en diques en talud

D.1.1 Berma de pie

Ejemplo 1. Unión de la berma de pie con el manto

Las Figuras D.1 y D.2 muestran cómo realizar la berma de apoyo de las piezas del manto principal monocapa y bicapa.

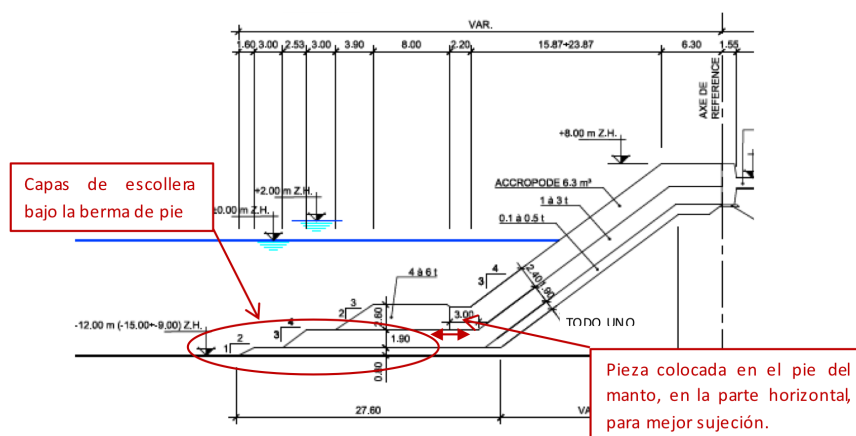


Figura D.1: Berma de pie para un manto monocapa. Detalle de la disposición de una berma de pie de escollera sobre las capas de escollera para asegurar la condición de filtro con el terreno natural. En terrenos arenosos la capa de escollera bajo el pie permite también evitar la socavación, siendo en esos casos necesario prolongar la anchura de las capas inferiores con respecto a las superiores

Además de los factores de diseño propiamente dichos que determinan la cota y anchura de la berma, así como el tamaño de las piezas, existen factores constructivos y económicos. En caso de emplear medios terrestres la cota y anchura de la berma pueden verse limitadas por los medios disponibles (alcance de la grúa). En caso de emplear medios marítimos con vertido por fondo, la cota de la berma está limitada por las dimensiones y calado del gánguil, lo cual suele ser una profundidad de unos 3-5 metros, por encima de la cual no se podrá efectuar el vertido.

64 | Anejo D. Soluciones de detalles constructivos para diques de abrigo

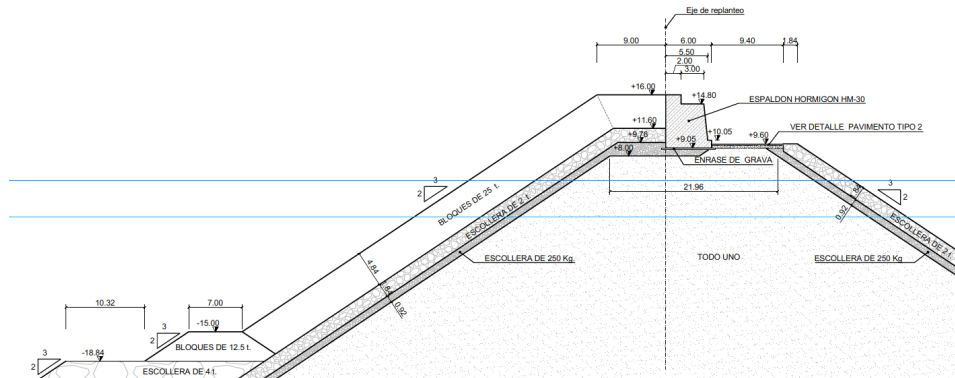


Figura D.2: Berma de pie para un manto bicapa. Detalle de la disposición de la berma de escollera sobre una capa de escollera

En grandes profundidades, elevar la cota de la berma permite reducir las piezas del manto de protección. Las piezas de la berma deberán ser dimensionadas convenientemente según el oleaje correspondiente a la profundidad a la que se encuentren.

Ejemplo 2. Berma de pie enterrada

Cuando hay riesgo de socavación en el pie del dique, es conveniente adoptar soluciones que retengan el movimiento de las piezas de la berma de pie, ya que el fallo del pie puede ocasionar el fallo del manto (Figura D.3).

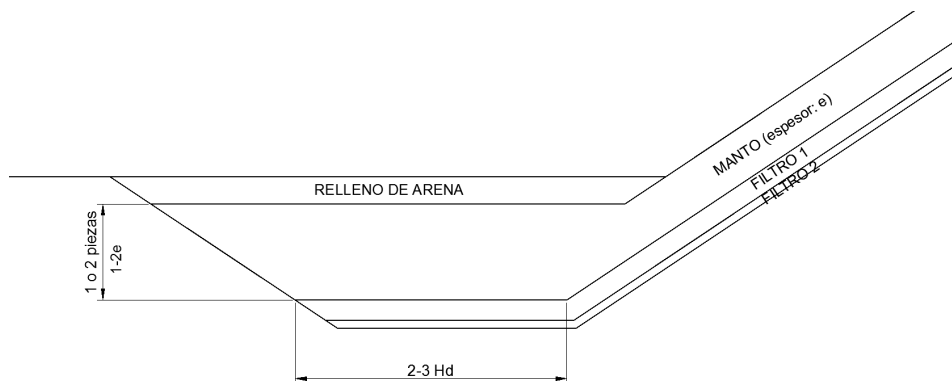


Figura D.3: Berma de pie enterrada. El espesor de la berma dependerá de la erosión esperada, debiendo ser máxima (2 piezas) para erosiones elevadas. La anchura inferior debe ser al menos de dos veces la altura de ola de diseño

D.1.2 Anchura y cota de la plataforma de avance

La anchura mínima en coronación viene condicionada por los medios constructivos, en caso de que sean terrestres. En tal caso, la anchura mínima en coronación del núcleo ha de permitir el paso de la maquinaria, que será acorde al plan de obra y los medios utilizados (Figura D.4).

D.1. Ejemplos de soluciones técnicas en diques en talud | 65

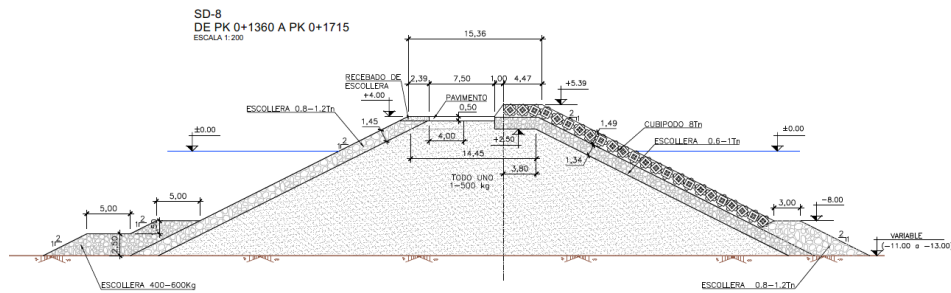


Figura D.4: Anchura en coronación del dique de 7.50 m para permitir el paso de maquinaria

En caso de emplear medios terrestres, cota de coronación del núcleo deberá situarse a una cota que permita ejecutar las tareas con seguridad. Dicha cota se determinará en base a un estudio adecuado de probabilidad del run-up que depende, entre otros, del nivel de mar, de las condiciones climáticas en la época de trabajo, de la duración de la obra, la rebasabilidad del dique, su permeabilidad, etc.

D.1.3 Transición entre tramos

Cuando entre dos tramos contiguos las secciones tipo sufren cambios de geometría es necesario realizar una transición gradual. Dicha transición deberá realizarse cuando se modifique:

- El espesor de las capas de un tramo al siguiente, tanto por cambio en el número de capas, como en el tamaño y/o tipo de las piezas.
- La cota y/o anchura en las bermas de pie de un tramo al siguiente.
- El talud de un tramo al siguiente.

Ejemplo 1. Cambio de talud

Cambio de talud de la sección completa (sección S-12 con 3H:2V a sección S-11 con 2H:1V) en un tramo de 70 m en planta (Figuras D.5 y D.6).

66 | Anejo D. Soluciones de detalles constructivos para diques de abrigo

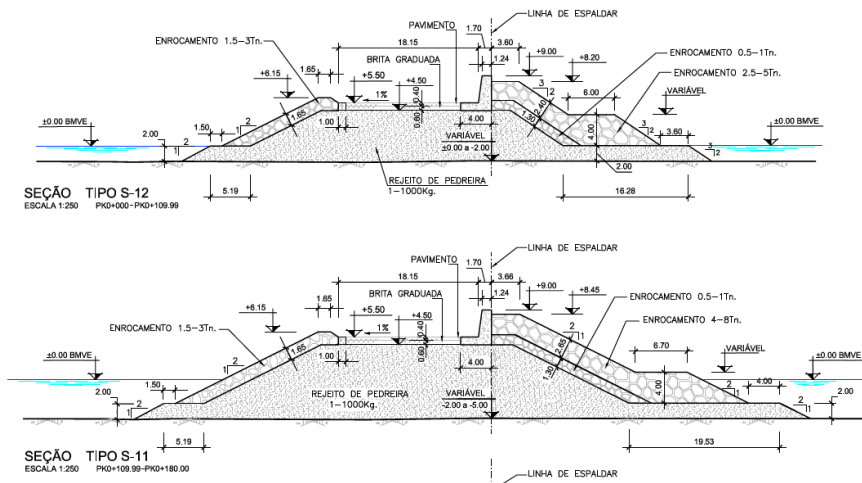


Figura D.5: Secciones S12 (talud 3H:2V) -imagen superior- y S11 (2H:1V) -imagen inferior-

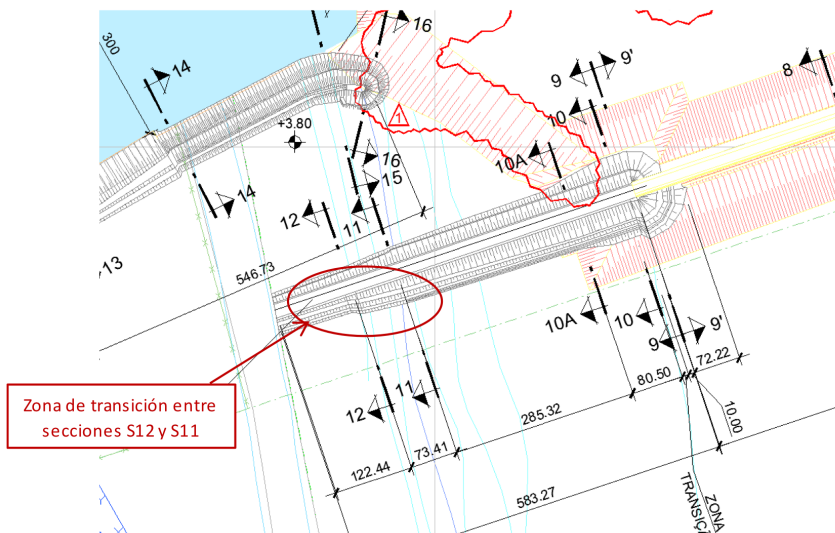


Figura D.6: Transición por cambio de talud, de una talud más vertical (3H:2V) a uno más tendido (2H:1V). La transición se hace gradualmente a lo largo de 73 m, en todas las capas del dique: núcleo, filtro y manto

Ejemplo 2. Cambio del tipo de pieza

Para el cambio del tipo de pieza pasando de un manto de escollera de 5 Tn a un manto de piezas especiales tipo acrópodos de 8 m^3 , la transición se realiza en unos 20 m, incrementando el espesor de la capa de filtro (de 1.15 m en la sección tipo hasta 3.11 m) de modo que coincida el contorno exterior del manto tanto del tramo de escollera con el del tramo de acrópodos (Figuras

D.1. Ejemplos de soluciones técnicas en diques en talud | 67

D.7, D.8 y D.9).

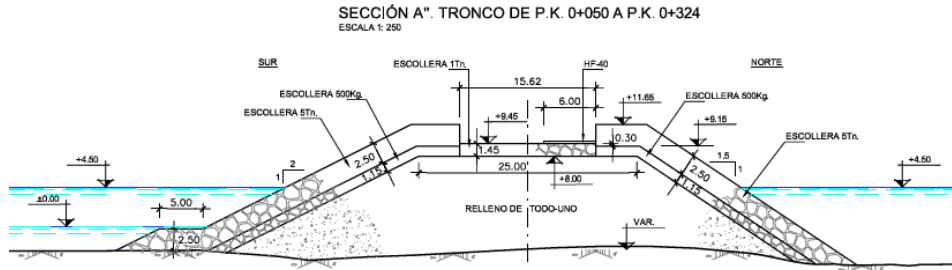


Figura D.7: Sección tipo con manto de escollera (5 Tn)

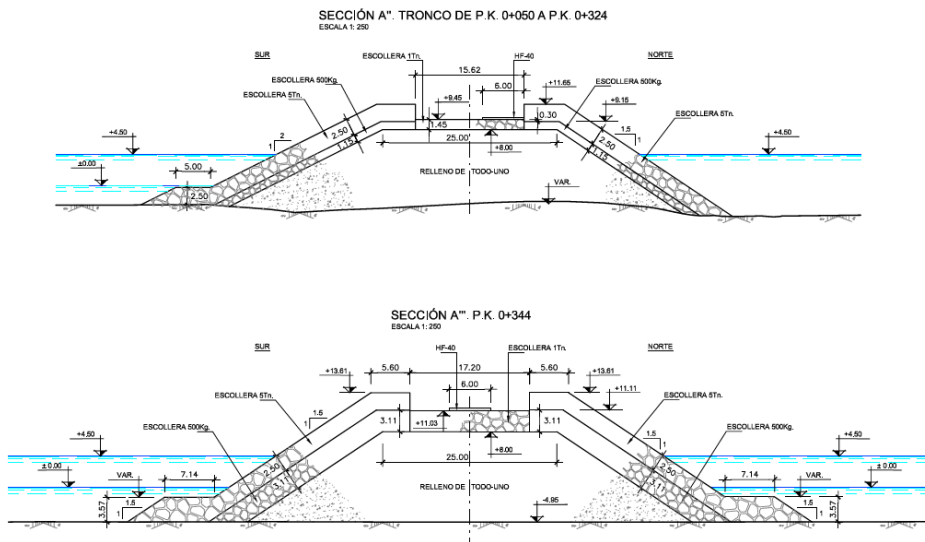


Figura D.8: Sección de transición con filtro de mayor espesor y manto de escollera (5 Tn)

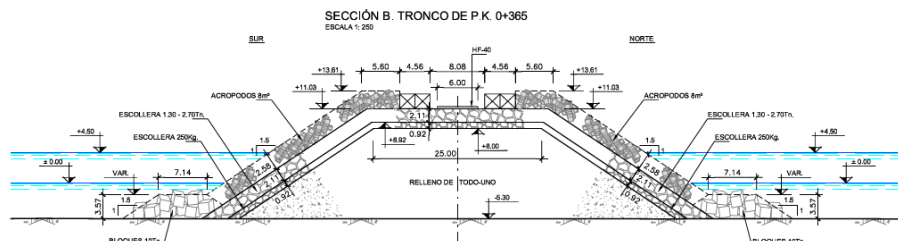


Figura D.9: Sección tipo con manto de acrópodos

En el siguiente tramo del dique los acrópodos son de mayor tamaño y la transición se resuelve reduciendo el espesor del filtro de manera que los acrópodos de mayores dimensiones queden

completamente apoyados sobre los menores.

Ejemplo 3. Transición del tronco al morro

En la construcción del morro casi siempre es necesario realizar transiciones ya sea por un cambio de piezas, del número de capas, del talud, etc. (Figuras D.10, D.11, D.12, D.13 y D.14).

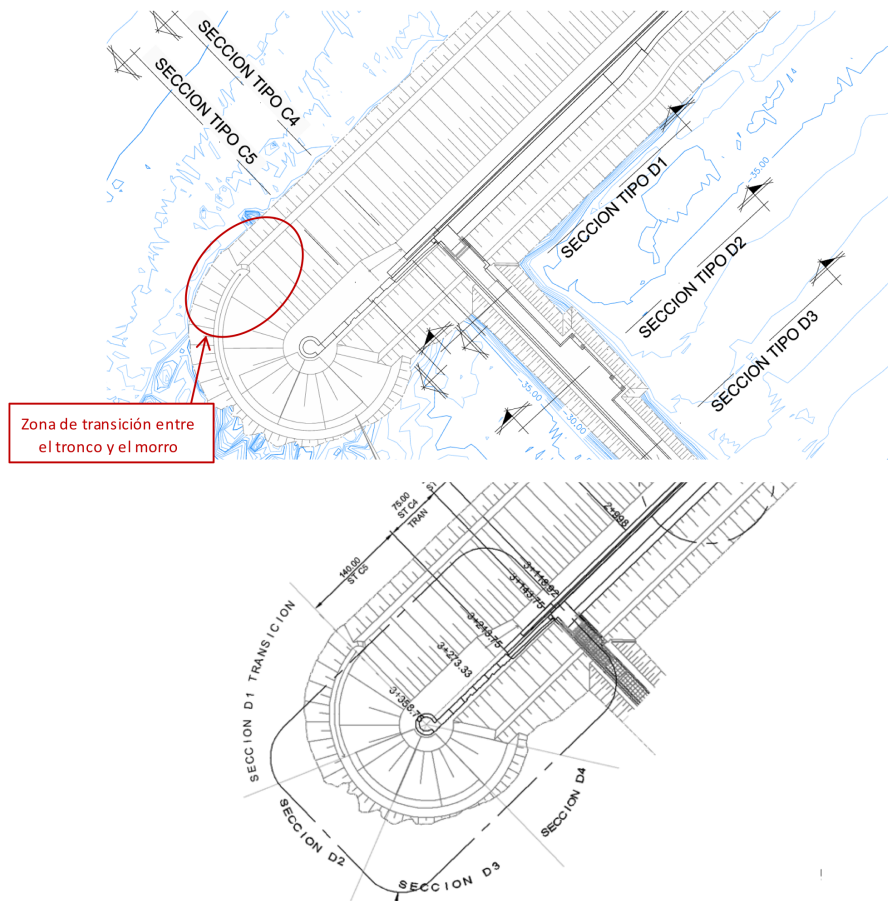


Figura D.10: Detalle del morro de un dique. En el lado mar hay un cambio en el tamaño de las piezas del manto entre el tronco (bloques de 25 Tn) y el morro (bloques de 50 Tn)

D.1. Ejemplos de soluciones técnicas en diques en talud | 69

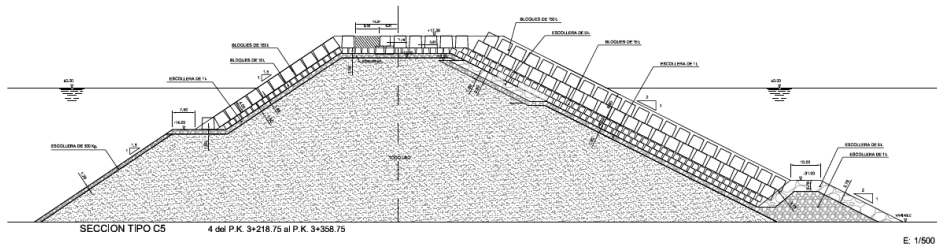


Figura D.11: Sección tipo en el tronco (ST5, ver Figura 10): bloques de 150 Tn, talud 2H:1V

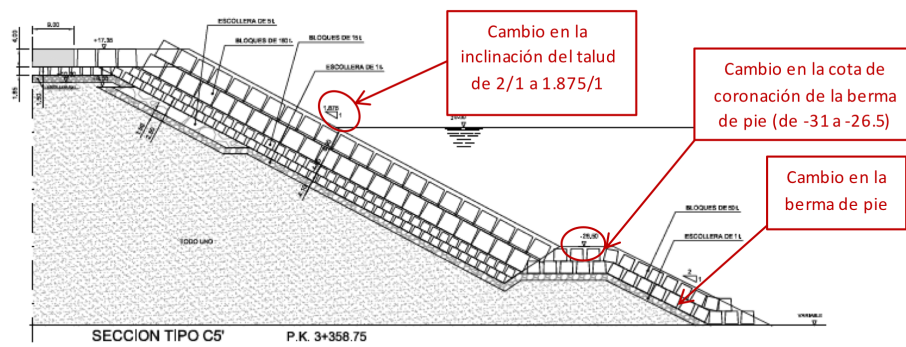


Figura D.12: Sección tipo en el morro, transición (bloques de 150 Tn, talud 1.875H:1V)

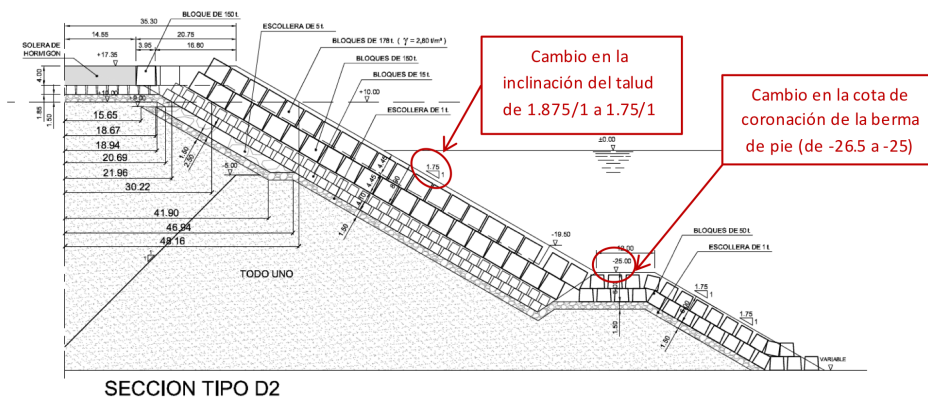


Figura D.13: Sección tipo en el morro (bloques de 178 Tn, talud 1.75H:1V)

70 | Anejo D. Soluciones de detalles constructivos para diques de abrigo

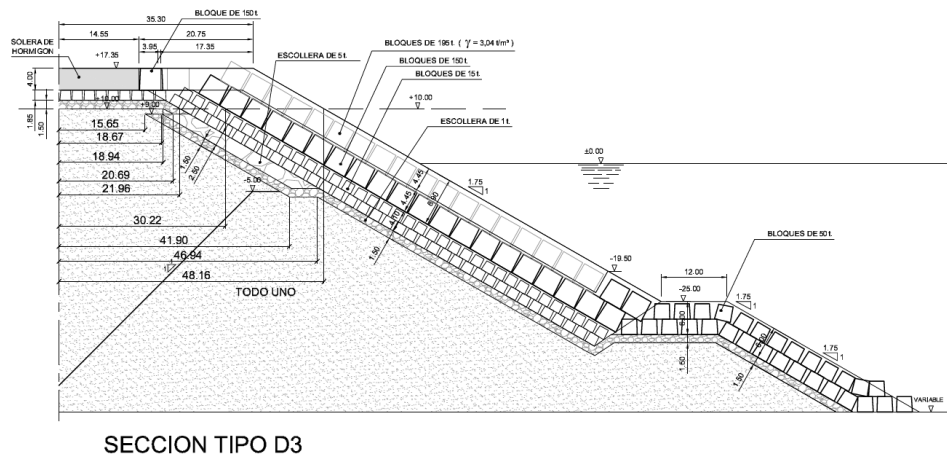


Figura D.14: Sección tipo en el morro (bloques de 195 Tn, talud 1.75H:1V)

Ejemplo 4. Cambio en el número de capas en el manto principal

En el caso de cambios en el manto principal que impliquen incremento en el número de capas del manto, ya sea con el mismo tamaño de piezas como con piezas distintas, es necesario resolver la transición de modo que se absorba la diferencia de espesor. El criterio, al igual que en los ejemplos anteriores, es mantener constante el perfil exterior del manto de modo que no se creen discontinuidades o escalones que puedan propiciar el movimiento de unas piezas sobre otras. Para ello, hay que:

- Modificar los espesores de las capas de filtro y/o núcleo.
- Dejar una cuña en la zona de transición, en la que no se colocan piezas, para poder modificar el espesor del filtro una vez que se han colocado las piezas en el tramo con mayor número de capas, y así, apoyar las piezas del tramo de menor número de capas.

En las figuras D.15, D.16 y D.17 se muestra un ejemplo de una transición de un manto monocapa a uno bicapa.

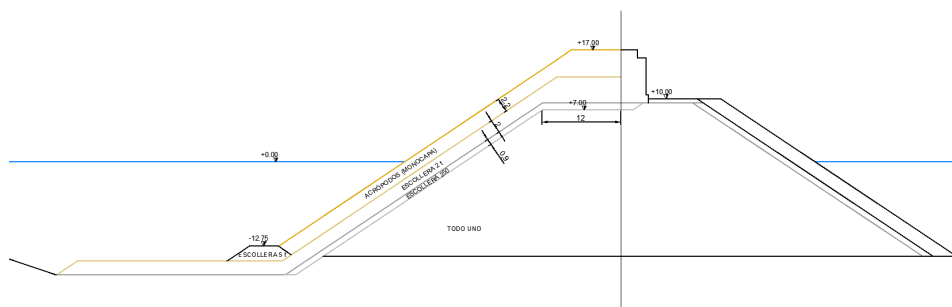


Figura D.15: Sección tipo del tronco, con manto monocapa

D.1. Ejemplos de soluciones técnicas en diques en talud | 71

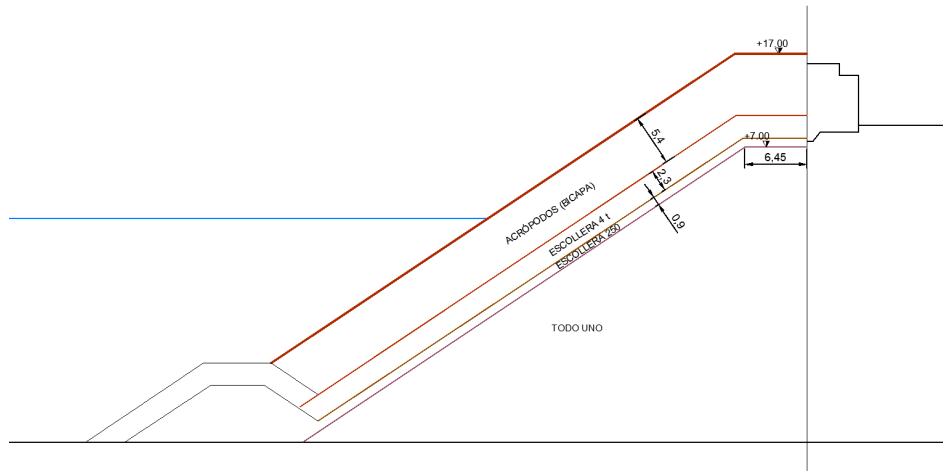


Figura D.16: Sección tipo del morro, manto bicapa. Tanto la sección del manto como el espesor de las capas de filtro han de ser reducidos para hacer la transición desde la sección monocapa a la bicapa, y compensar así el incremento de espesor del manto bicapa (de 2.2 a 5.4 m) para hacer coincidir el perfil exterior

72 | Anejo D. Soluciones de detalles constructivos para diques de abrigo

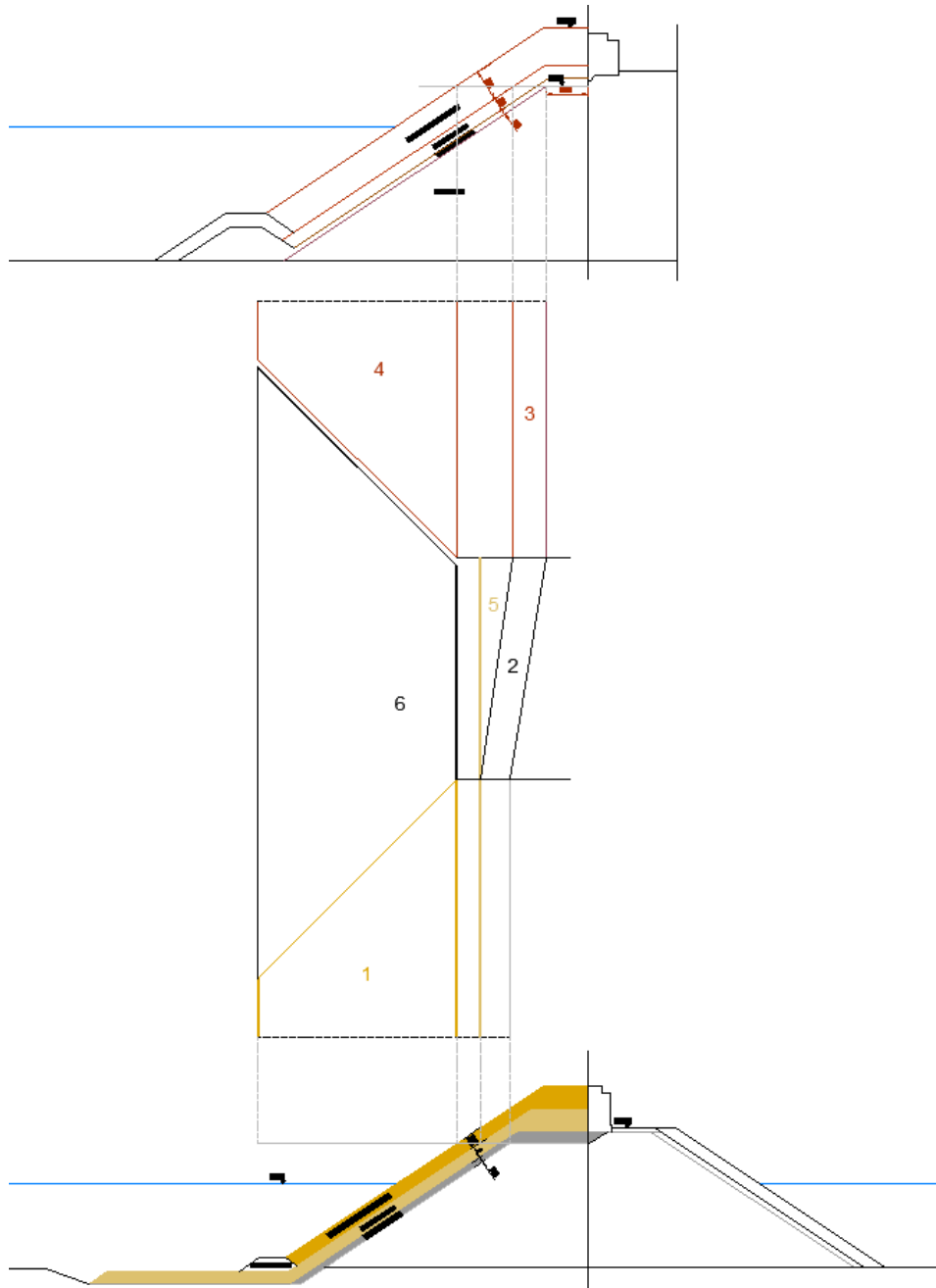


Figura D.17: Esquema en planta de la secuencia de avance de las capas (la numeración indica el orden de la ejecución). (1): Manto del tronco, (2): transición gradual del filtro, (3 y 4): filtro y manto de una cuña del morro, (5): incremento del filtro en la cuña de transición hasta para crear apoyo a las piezas del manto monocapa en la transición y (6): manto monocapa en la transición

Para poder hacer la transición y que no se creen discontinuidades en el manto, es necesario interrumpir el avance en la zona del manto monocapa y proceder a la colocación del manto bicapa (acorde con la sección tipo) de tal forma que se deje entre ambos avances una cuña sin manto. Una vez colocada esta cuña de manto bicapa se incrementará progresivamente el espesor del filtro en

74 | Anejo D. Soluciones de detalles constructivos para diques de abrigo

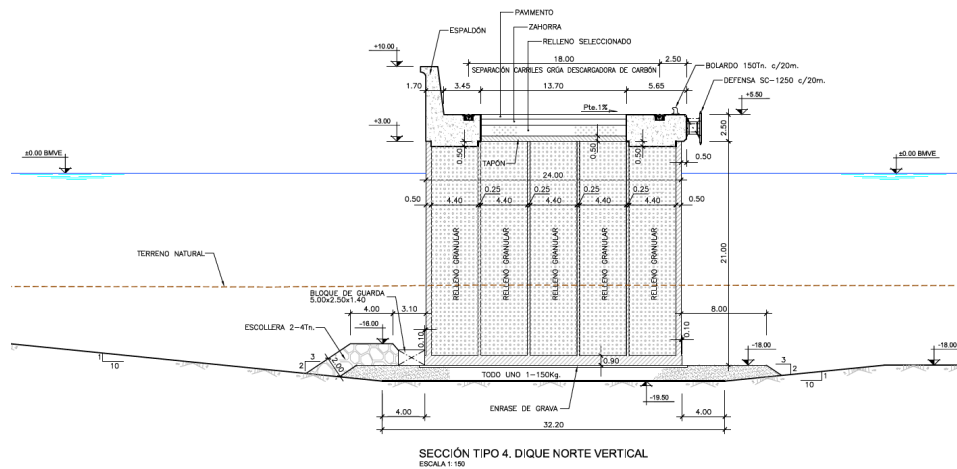


Figura D.20: Sección tipo de un dique vertical de cajones con bloques de guarda con cota inferior a la cota de banqueta

D.2.2 Espaldón de hormigón armado

En general, los espaldones de hormigón armado no resisten por peso, por lo que es necesario empotrarlos en la estructura del dique. En los cajones, empotrados en las paredes o encastrados en las celdas (Figuras D.21 y D.22).

D.2. Ejemplos de soluciones técnicas en diques verticales | 75

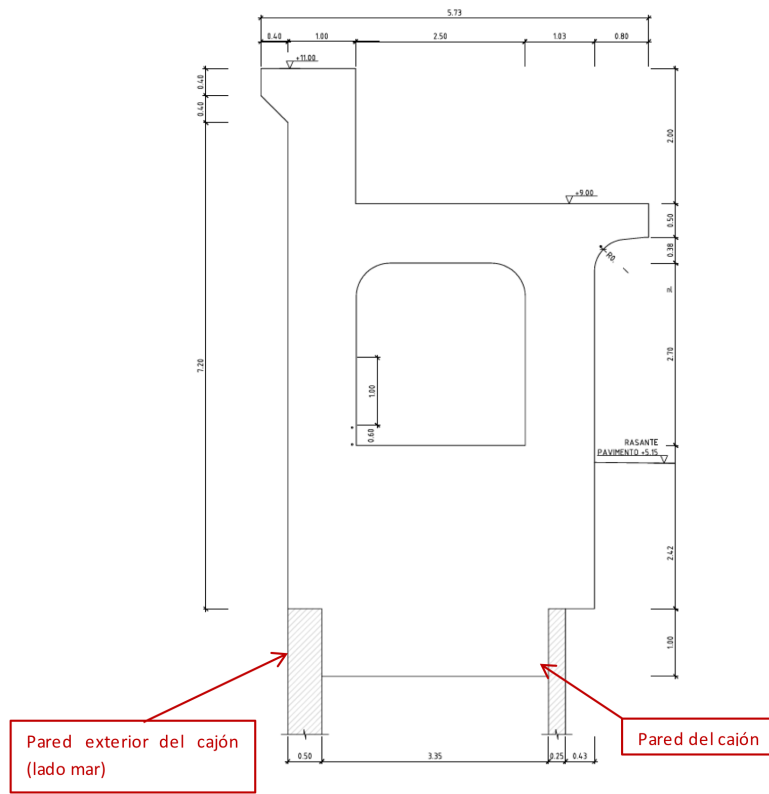


Figura D.21: Espaldón de hormigón armado, con galería central. Sección tipo geometría y armado

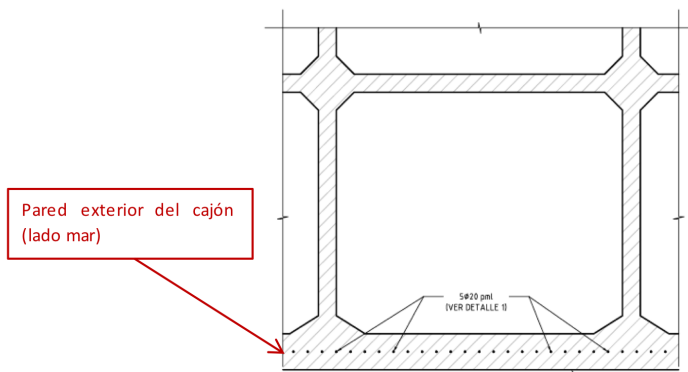


Figura D.22: Espaldón de hormigón armado. Detalle de armadura vertical pasante de conexión del espaldón con la pared exterior del cajón

D.2. Ejemplos de soluciones técnicas en diques verticales | 77

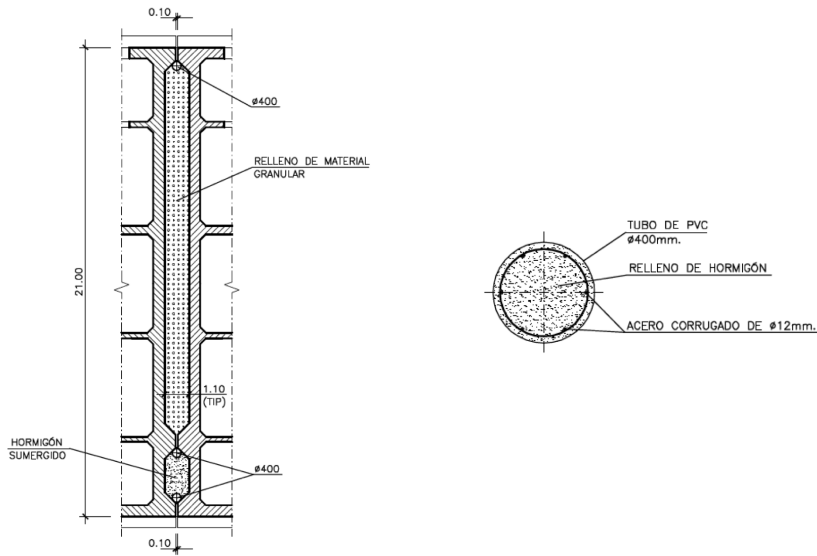


Figura D.24: Detalle de junta entre cajones y del tubo

D.2.5 Viga cantil

La viga cantil se diseña para resistir por peso o empotrada en el cajón (Figura D.25). Cuando la posición de la defensa está por debajo de la viga cantil, se maciza la celda correspondiente rellenándola de hormigón (Figura D.26).

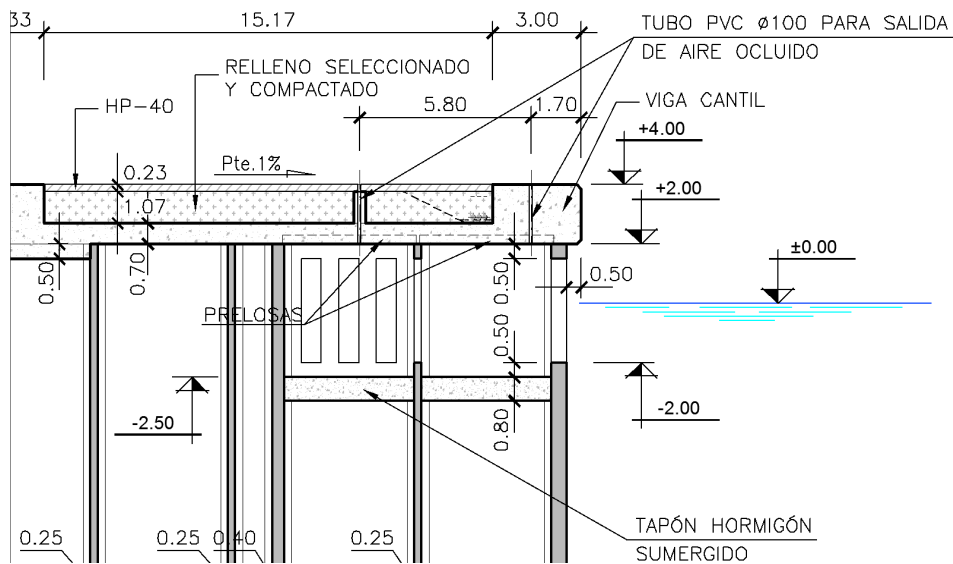


Figura D.25: Detalle de viga cantil en dique atracable, en un dique de cajones con cámaras antirreflejantes

78 | Anejo D. Soluciones de detalles constructivos para diques de abrigo

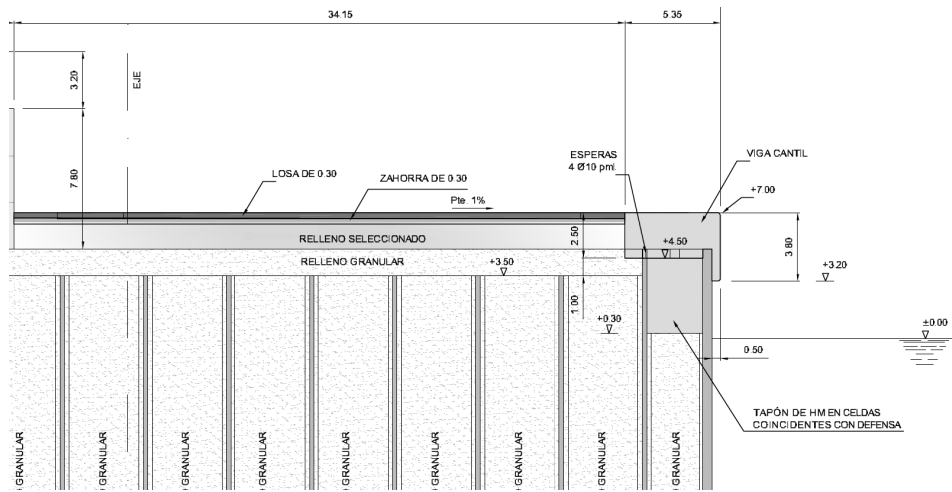


Figura D.26: Detalle de viga cantil en dique atracable, con tapón de hormigón en la celda exterior en aquellas en las que coincida la posición de una defensa

D.2.6 Transición entre cotas de cimentación

Los escalones en la cota de la banqueta implican que el vertido de la misma deba realizarse por tramos, comenzando por la banqueta correspondiente a los cajones cuya cota de cimentación se encuentra a mayor profundidad. Comenzando por el extremo del dique correspondiente a la sección C, se realiza el vertido de la banqueta a la cota -26, prolongándola durante parte del siguiente tramo. Una vez colocado el cajón 1, se continúa con el vertido de la banqueta hasta la cota -24 para los siguientes cajones 2 a 5. La ejecución del siguiente escalón sería análoga (Figuras D.27, D.28 y D.29).

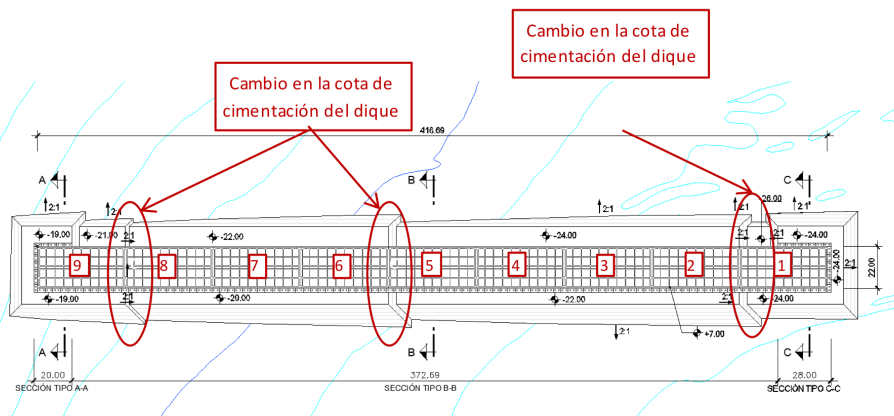


Figura D.27: Dique vertical con varios cambios de cota de cimentación de los cajones (-21, -22, -24 y -26)

D.2. Ejemplos de soluciones técnicas en diques verticales | 79

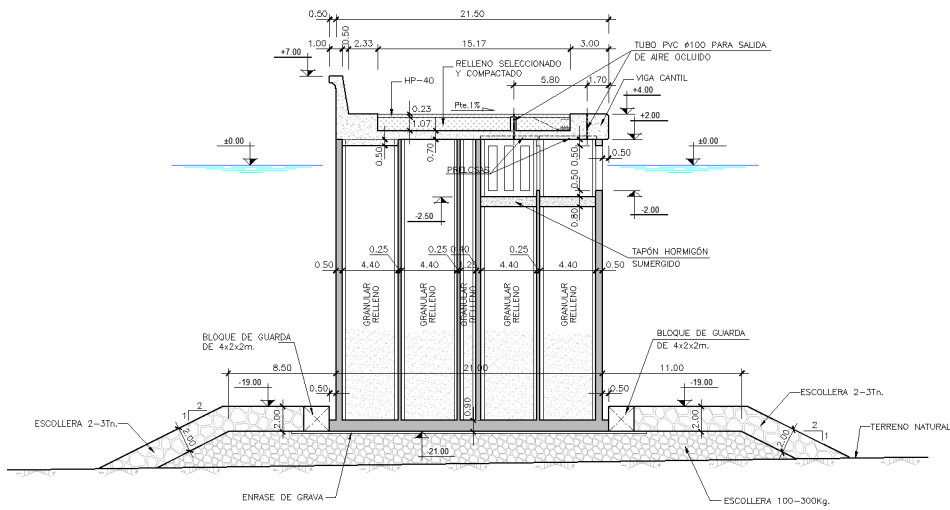


Figura D.28: Sección tipo A (cota de cimentación del cajón, -21)

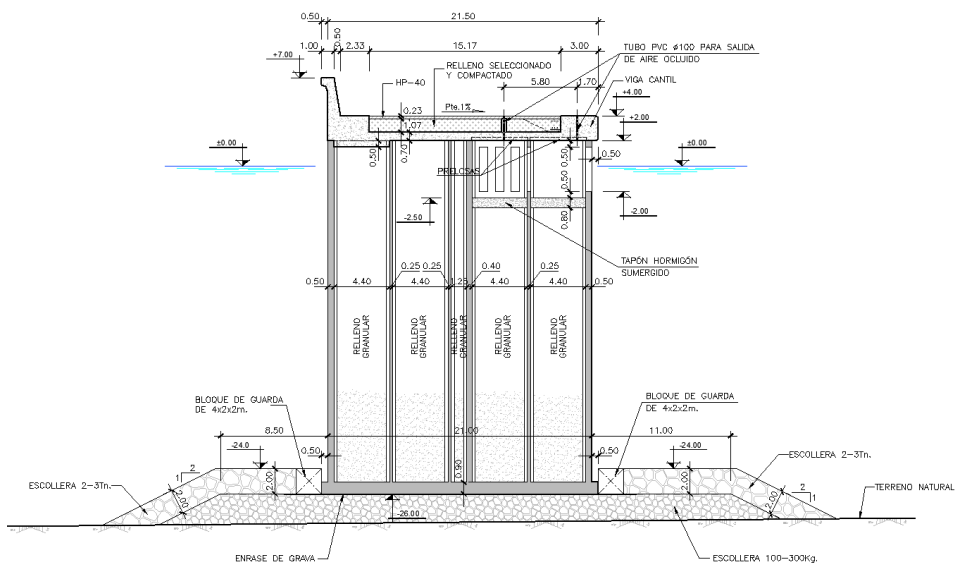


Figura D.29: Sección tipo C (cota de cimentación del cajón, -26)

D.3 Ejemplo de solución de junta entre cajones de máxima fricción

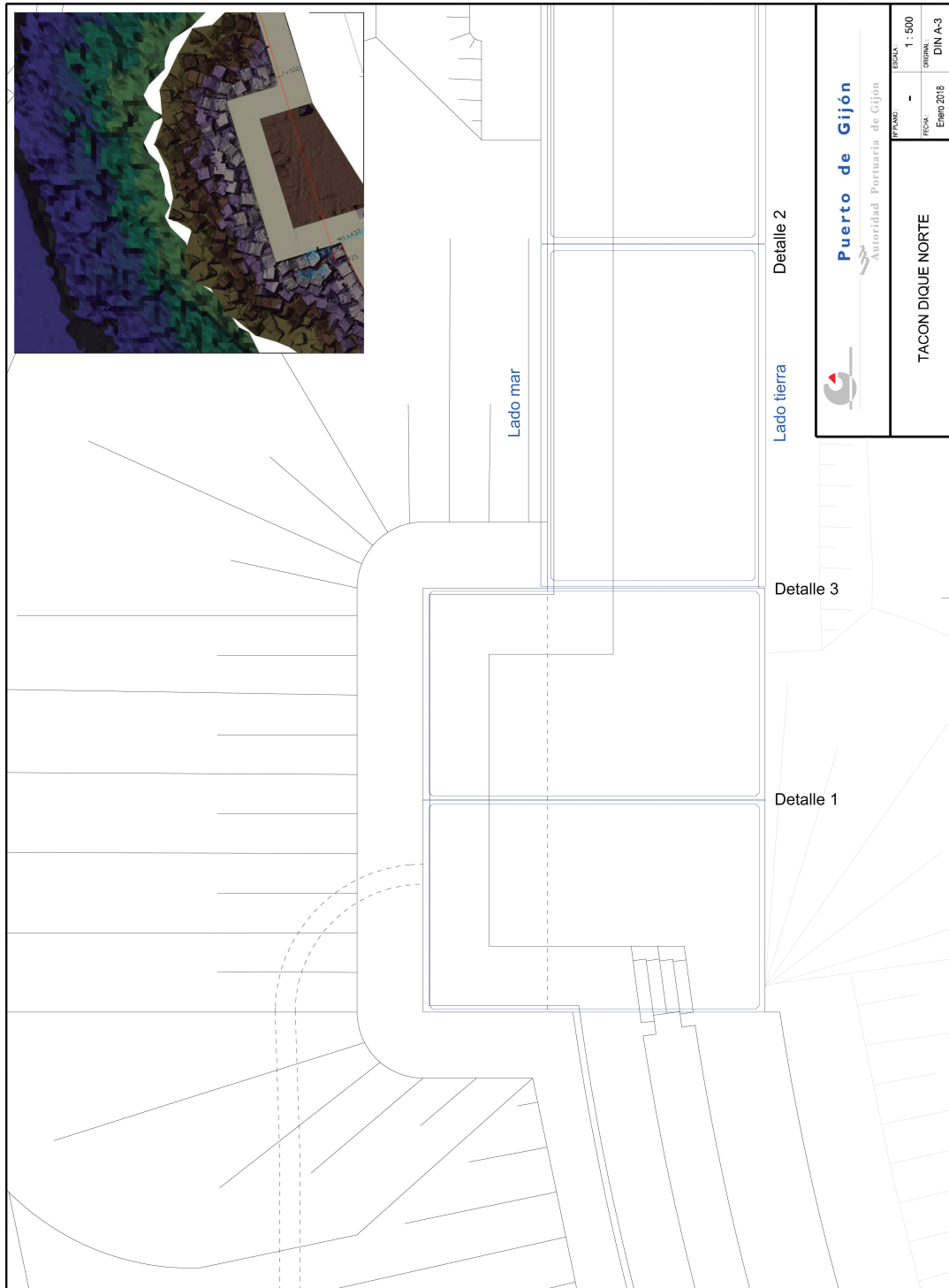
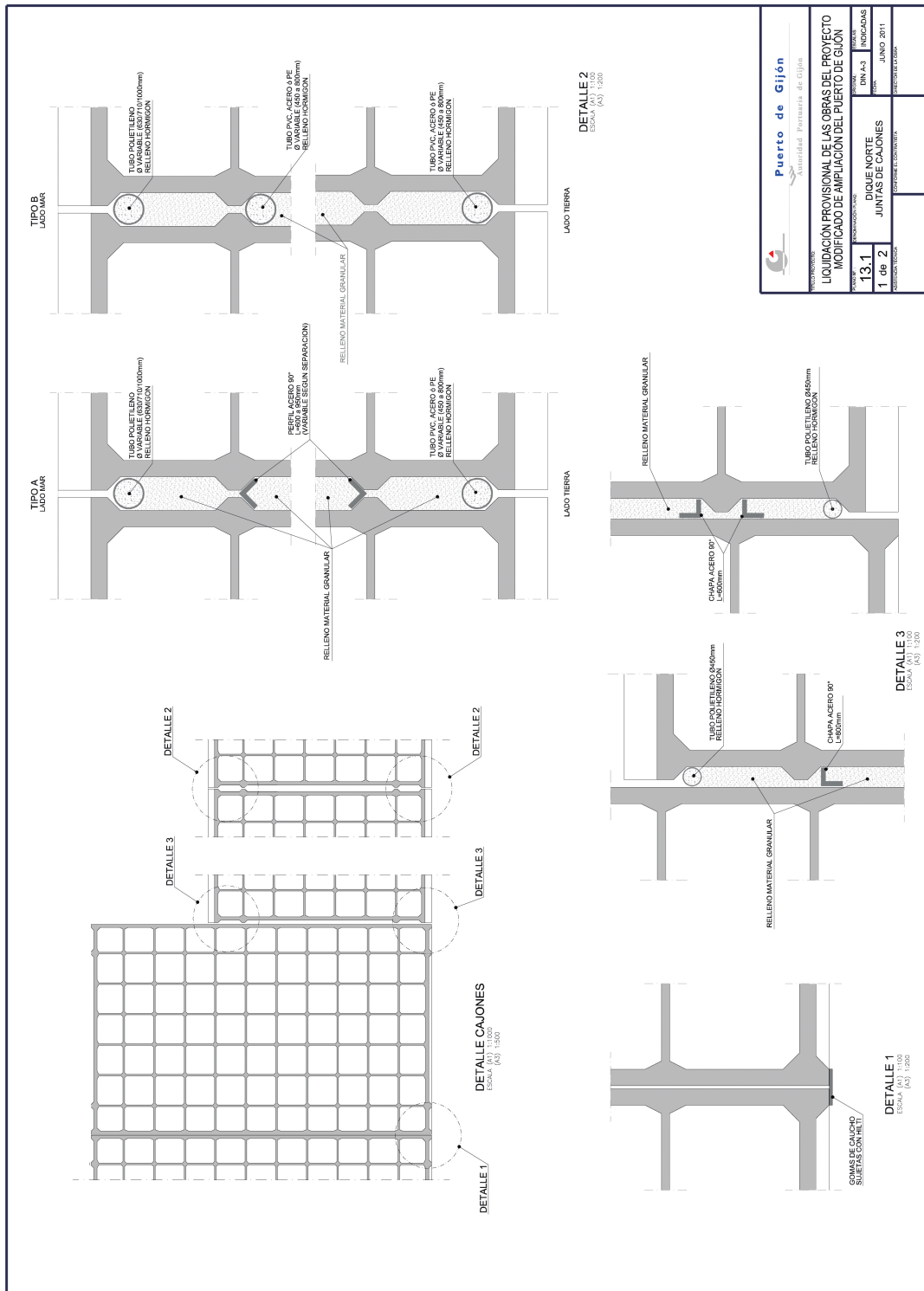


Figura D.30: Planta del dique norte del Puerto de Gijón

D.3. Ejemplo de solución de junta entre cajones de máxima fricción



		Autoridad Portuaria de Gijón	
LIQUIDACIÓN PROVISIONAL DE LAS OBRAS DEL PROYECTO MODIFICADO DE AMPLIACIÓN DEL PUERTO DE GIJÓN			
PLAN Nº 13.1	DESCRIPCIÓN DIQUE NORTE	INDICACIONES JUNTA DE CAJONES	FECHA JUNIO 2011
VOLUMEN Nº 1 de 2	AUTORIZADO COORDINADOR GENERAL	DISEÑADO COORDINADOR GENERAL	APROBADO COORDINADOR GENERAL
PUERTO DE GIJÓN S.A.		PUERTO DE GIJÓN S.A.	

Figura D.31: Detalles de las juntas entre cajones del dique norte del Puerto de Gijón



CATÁLOGO DE UNIDADES DE OBRA Y COSTES

Preámbulo

El objetivo del anejo *Catálogo de unidades de obra y costes* es presentar una descripción de las distintas bases de datos de ejecución de obras portuarias que proporciona Puertos del Estado. El anejo ha sido redactado por el Grupo de Dinámica de Flujos Ambientales de la Universidad de Granada.

84 | Anejo E. Catálogo de unidades de obra y costes

E.1. Observatorio de obras portuarias	85
E.1.1. Descripción de unidades de obra	85

E.1 Observatorio de obras portuarias

Esta base de datos ha sido confeccionadas a partir de El Observatorio de Obras Portuarias de Puertos del Estado. Este observatorio pretende sistematizar y hacer accesible el conocimiento sobre los costes de las unidades más empleadas en obra marítimas, a través de una extensa recopilación de costes unitarios utilizados en distintos proyectos y de su tratamiento estadístico al objeto de construir una base de datos de precios unitarios medios.

Los proyectos analizados en el documento de memoria del Observatorio (actualización julio 2013) han sido redactados en el periodo transcurrido desde enero de 2006 a febrero de 2013, actualizando así el primer Observatorio de Obras Portuarias realizado en Enero de 2006.

E.1.1 Descripción de unidades de obra

Esta base de datos aporta para cada unidad de obra relacionada con las obras marítimas: su código (para poder ser llamada en la herramienta), su descripción detallada de todo lo que incluye la unidad de obra y las unidades. Se muestran a continuación el desglose de las unidades de obra contenidas en la base de datos.

Código	Unidad	Descripción
01-001	m ³	Dragado general en terreno suelto, carga, transporte y vertido.
01-002	m ³	Dragado en terreno suelto, en zanja de cimentación, carga, transporte y vertido.
01-003	m ³	Dragado en roca o material distinto de suelos blandos o medios, carga, transporte y vertido.
02-001	m ³	Escollera clasificada de peso <=100 kg, suministro, transporte y colocación en manto y/o filtros por medios marítimos o terrestres.
02-002	m ³	Escollera clasificada de peso entre 100-250 kg, suministro, transporte y colocación en manto y/o filtros por medios marítimos o terrestres.
02-003	m ³	Escollera clasificada de peso entre 250-500 kg, suministro, transporte y colocación en manto y/o filtros por medios marítimos.
02-004	m ³	Escollera clasificada de peso entre 250-500 kg, suministro, transporte y colocación en manto y/o filtros por medios terrestres.
02-005	m ³	Escollera clasificada de peso entre 500-1000 kg, suministro, transporte y colocación en manto y/o filtros por medios marítimos.
02-006	m ³	Escollera clasificada de peso entre 500-1000 kg, suministro, transporte y colocación en manto y/o filtros por medios terrestres.

Continúa en la siguiente página

86 | Anejo E. Catálogo de unidades de obra y costes

Código	Unidad	Descripción
02-007	m ³	Escollera clasificada de peso entre 1000-2000 kg, suministro, transporte y colocación en manto y/o filtros por medios marítimos o terrestres.
02-008	m ³	Escollera clasificada de peso entre 2000-3000 kg, suministro, transporte y colocación en manto y/o filtros por medios marítimos o terrestres.
02-009	m ³	Escollera clasificada de peso entre 3000-5000 kg, suministro, transporte y colocación en manto de dique y/o filtros por medios marítimos o terrestres.
02-010	m ³	Escollera clasificada de peso entre 5000-7500 kg, suministro, transporte y colocación en manto de dique y/o filtros por medios marítimos o terrestres.
02-011	m ³	Escollera clasificada de peso <=100 kg, suministro, transporte y colocación en núcleo o manto de banqueteta de cimentación de cajones por medios marítimos o terrestres.
02-012	m ³	Escollera clasificada de peso entre 100-500 kg, suministro, transporte y colocación en núcleo o manto de banqueteta de cimentación de cajones por medios marítimos o terrestres.
02-013	m ³	Escollera clasificada de peso entre 500-1000 kg, suministro, transporte y colocación en núcleo o manto de banqueteta de cimentación de cajones por medios marítimos o terrestres.
02-014	m ³	Escollera clasificada de peso entre 1000-2000 kg, suministro, transporte y colocación en núcleo o manto de banqueteta de cimentación de cajones por medios marítimos o terrestres.
02-015	m ³	Escollera clasificada de peso >2000 kg, suministro, transporte y colocación en núcleo o manto de banqueteta de cimentación de cajones por medios marítimos o terrestres.
03-001	m ³	Todo uno de cantera, colocado en formación del núcleo del dique ejecutado por medios marítimos.
03-002	m ³	Todo uno de cantera, colocado en formación del núcleo del dique ejecutado por medios terrestres.
03-003	m ³	Todo uno de cantera, colocado en formación de coronación de explanada ejecutado por medios terrestres.
03-004	m ³	Todo uno de cantera, colocado en formación de núcleo de banqueteta de cimentación, medido en báscula y ejecutado por medios marítimos.
04-001	m ³	Relleno general de la explanada procedente de dragado.
04-002	m ³	Relleno general de la explanada de procedencia terrestre.
04-003	m ³	Relleno tolerable adecuado en coronación de explanada, extendido y compactado de procedencia terrestre.
04-004	m ³	Relleno seleccionado en coronación de explanada, extendido y compactado de procedencia terrestre.

Continúa en la siguiente página

Código	Unidad	Descripción
04-005	m ³	Relleno seleccionado en coronación de cajones, extendido y compactado de procedencia terrestre.
04-006	m ³	Relleno granular en celdas de cajones, incluso suministros, transporte y vertido, totalmente acabado procedente de dragado.
04-007	m ³	Relleno granular en celdas de cajones, incluso suministros, transporte y vertido, totalmente acabado de procedencia terrestre.
05-001	m ³	Pedraplén colocado en trasdós de cajones o muelle de bloques o tablestacas ejecutado por medios terrestres.
05-002	m ³	Pedraplén colocado en trasdós de cajones o muelle de bloques o tablestacas ejecutado por medios marítimo.
06-001	m ²	Enrase con grava en banquetta de cimentación de cajones o muros de muelle por medios marítimos.
06-002	m ²	Enrase con grava en cimentación de espaldón o muros por medios terrestres.
07-001	m	Columna de grava de 25 y 60 mm, con un D=0,80 m para mejora del terreno, realizado con un equipo de vibroflotación sobre pontona, incluidos grúa y pontona auxiliar.
07-002	m	Columna de grava de 10 y 60 mm, con un D=1,00 m para mejora del terreno, realizado con un equipo de vibroflotación sobre pontona.
07-003	m	Columna de grava mediante vibroflotación o vibrosustitución ejecutada desde tierra.
07-004	m	Micropilote de D-150 mm totalmente terminado.
07-005	m	Micropilote de D-180 mm totalmente terminado.
07-006	m	Micropilote de D-200 mm totalmente terminado.
07-007	m	Micropilote TIPO Inyección única (IU) de D-225 mm ejecutado a través de paramento de muelle de hormigón, incluso perforación en cualquier clase de terreno, suministro y manipulación armadura, totalmente terminado con tubo de acero y lechada de cemento.
07-008	m	Micropilote TIPO Inyección única (IU) de D-225 mm ejecutado a través de zona de relleno, incluso perforación en cualquier clase de terreno, suministro y manipulación armadura, totalmente terminado con tubo de acero y lechada de cemento.
07-009	m	Micropilote de D-200 mm armado con tubo de acero, totalmente terminado.
07-010	m	Micropilote de D-250 mm armado con tubo de acero, totalmente terminado.
07-011	m	Columna de super jet-groting de D-1,20 m, ejecutada por medios terrestres.

Continúa en la siguiente página

88 | Anejo E. Catálogo de unidades de obra y costes

Código	Unidad	Descripción
07-012	m	Columna de super jet-groting de D-2,00 m, ejecutada por medios terrestres.
07-013	m	Columna de super jet-groting de D-2,60 m, ejecutada por medios terrestres.
07-014	m	Columna de super jet-groting de D-3,00 m, ejecutada por medios terrestres.
07-015	m	Columna de super jet-groting de D-4,00 m, ejecutada por medios terrestres.
07-016	m	Pilote fabricado “in situ” de D-45 cm completamente terminado.
07-017	m	Pilote fabricado “in situ” de D-55 cm completamente terminado.
07-018	m	Pilote fabricado “in situ” de D-60 cm completamente terminado.
07-019	m	Pilote fabricado “in situ” de D-65 cm completamente terminado.
07-020	m	Pilote fabricado “in situ” de D-85 cm completamente terminado.
07-021	m	Pilote fabricado “in situ” de sección cuadrada 40x40 cm completamente terminado.
07-022	m	Mejora de los rellenos mediante compactación dinámica incluso regulación superficie explanada, control topográfico y realización de ensayos en áreas de prueba.
07-023	m ³	Grava para ejecutar pilotes de columnas de grava, incluso adquisición, carga, transporte y colocación.
07-024	m ³	Grava colocada en base de banquetta de cimentación de cajones, para regularización de la superficie y como protección de cabeza de columnas de grava, incluso adquisición, carga, transporte, vertido con gánguil y nivelación, con ayuda de buzos.
08-001	m ²	Geotextil de separación entre relleno y escollera o en juntas.
09-001	m ³	Suelo adecuado en formación de precarga, incluso material, carga, transporte y vertido, totalmente terminado.
09-002	m ³	Movimiento de carga, transporte y vertido de materiales para formación de rellenos precarga.
09-003	m ³	Material granular drenante con diámetro entre 5 y 25 mm en base de terraplén de precarga, incluso extendido en capa de 20 cm de espesor, totalmente terminado.
09-004	m	Dren prefabricado de 10 cm de anchura, completamente terminado.
09-005	m	Dren prefabricado de 12 cm de anchura, completamente terminado.

Continúa en la siguiente página

Código	Unidad	Descripción
09-006	m	Dren prefabricado de 25 cm de anchura, completamente terminado.
09-007	Ud	Punto de control para toma de datos para asiento en superficie de precarga formado por chapa con tubería soldada a la placa, alojamiento para tubo de PVC, desde la cota de relleno hasta la cota de coronación, totalmente colocada.
09-008	Ud	Mes de toma de datos topográficos para control de evolución de precarga.
10-001	m ³	Excavación en terreno suelto en zona de explanada, incluso acopio intermedio para su utilización en obra.
11-001	m ³	Demolición de hormigón en masa en muros, incluso carga, transporte y vertido como materiales de relleno en la obra o transporte a lugar autorizado.
11-002	m ³	Demolición de obras de fábrica existentes, incluso carga, transporte y vertido como materiales de relleno en la obra o transporte a lugar autorizado.
11-003	m ³	Retirada de escollera colocada en núcleo o talud.
11-004	m ³	Retirada de escollera de hasta 3000 kg colocada en manto de protección del dique.
11-005	m ³	Retirada de escollera de 3000-10000 kg colocada en manto de protección del dique.
11-006	m ³	Retirada de escollera de >10000 kg colocada en manto de protección del dique.
11-007	m ²	Retirada y/o demolición pavimento de hormigón de hasta 35 cm, incluso carga, transporte y vertido a lugar autorizado.
11-008	m ²	Demolición de pavimento de mezcla bituminosa, incluidas cargas, transporte y canon.
12-001	m ³	Hormigón en bloques de peso <15 Tn, fabricación, transporte y colocación por medio marítimo.
12-002	m ³	Hormigón en bloques de peso <15 Tn, fabricación, transporte y colocación por medio terrestre.
12-003	m ³	Hormigón en bloques de peso entre 15-30 Tn, transporte y colocación por medios terrestres.
12-004	m ³	Hormigón en bloques de peso entre 30-60 Tn, transporte y colocación por medios terrestres.
12-005	m ³	Hormigón en bloques de peso entre 60-100 Tn, transporte y colocación por medios terrestres.
12-006	m ³	Hormigón en bloques de peso entre 100-150 Tn, transporte y colocación por medios terrestres.
12-007	m ³	Hormigón en bloques de peso entre 150-200 Tn, transporte y colocación por medios terrestres.
12-008	m ³	Hormigón en bloques perforados de peso 52,17 Tn, transporte y colocación por medios terrestres.

Continúa en la siguiente página

Código	Unidad	Descripción
12-009	m ³	Hormigón de alta densidad ($g=2,8 \text{ Tn/m}^3$) en bloques de peso 178 Tn, transporte y colocación por medios terrestres.
12-010	m ³	Hormigón de alta densidad ($g=3,04 \text{ Tn/m}^3$) en bloques de peso 195 Tn, transporte y colocación por medios terrestres.
12-011	m ³	Hormigón en bloques para la formación o cierre de muelle, transporte y colocación.
12-012	m ³	Hormigón en bloques de guarda de hormigón, transporte y colocación.
13-001	m ³	Hormigón para armar HA-30 colocado en cajones, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado.
13-002	m ³	Hormigón para armar HA-35 colocado en cajones, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado.
13-003	m ³	Hormigón para armar HA-25 colocado en superestructura, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado.
13-004	m ³	Hormigón para armar HA-30 colocado en superestructura, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado.
13-005	m ³	Hormigón para armar HA-35 colocado en superestructura, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado.
13-006	m ³	Hormigón para armar HA-30 colocado en alzados o espaldones, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado.
13-007	m ³	Hormigón para armar HA-35 colocado en alzados o espaldones, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado.
13-008	m ³	Hormigón para armar HA-25 colocado en losas o cimientos, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado.
13-009	m ³	Hormigón para armar HA-30 colocado en losas o cimientos, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado.
13-010	m ³	Hormigón para armar HA-35 colocado en losas o cimientos, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado.
13-011	m ³	Hormigón para armar HA-40 colocado en losas o cimientos, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado.
14-001	m ³	Hormigón HM-15 para limpieza, nivelación o enrase.
14-002	m ³	Hormigón HM-20 para limpieza, nivelación o enrase.
14-003	m ³	Hormigón en masa HM-20 colocado en superestructura, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado.
14-004	m ³	Hormigón en masa HM-30 colocado en superestructura, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado.
14-005	m ³	Hormigón en masa HM-30 colocado en alzados o espaldones, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado.
14-006	m ³	Hormigón en masa HM-30 colocado en losas o cimientos, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado.
14-007	m ³	Hormigón en masa HM-30 en bloques de guarda.
14-008	m ³	Hormigón en masa HM-30 en bloques prefabricados.

Continúa en la siguiente página

Código	Unidad	Descripción
14-009	m ³	Hormigón en masa HM-30 en bloques para formación de muelle.
14-010	m ³	Hormigón en tapón de celdas de cajones, incluido el hormigón de limpieza de las celdas aligeradas.
15-001	m ³	Hormigón sumergido HM-30.
15-002	m ³	Hormigón sumergido con una dosificación mínima de 400 kg/m ³ de cemento tipo CEM-I-R, incluso encofrado.
16-001	kg	Aceros en redondos B400S para armado de cajones de hormigón, incluso cortado, doblado, p.p. de recortes y ataduras.
16-002	kg	Aceros en redondos B500S para armado de cajones de hormigón, incluso cortado, doblado, p.p. de recortes y ataduras.
16-003	kg	Aceros en redondos B500S para armado en superestructura, incluso cortado, doblado, p.p. de recortes y ataduras.
16-004	kg	Aceros en redondos B500S para armado en pilotes, incluso cortado, doblado, p.p. de recortes y ataduras.
16-005	kg	Aceros en redondos B500S para armado en espaldones y losas, incluso cortado, doblado, p.p. de recortes y ataduras.
17-001	Ud	Botadura, transporte y fondeo de cajones, incluso fondeos intermedios provisionales.
17-002	Ud	Junta entre cajones, incluyendo tubo de PVC, relleno de hormigón del tubo y relleno de material granular de la junta. (Puntal entre 10-14m).
17-003	Ud	Junta entre cajones, incluyendo tubo de PVC, relleno de hormigón del tubo y relleno de material granular de la junta. (Puntal entre 14-25m).
18-001	m	Pilote fabricado "in situ" d= 0,8 m, incluyendo excavación y hormigonado excluida armadura, por medios terrestres.
18-002	m	Pilote fabricado "in situ" d= 1,0 m, incluyendo excavación y hormigonado excluida armadura, por medios terrestres.
18-003	m	Pilote fabricado "in situ" d= 1,0 m, incluyendo excavación y hormigonado excluida armadura, por medios marítimos.
18-004	m	Pilote fabricado "in situ" d= 1,2 m, incluyendo excavación y hormigonado excluida armadura, por medios terrestres.
18-005	m	Pilote fabricado "in situ" d= 1,2 m, incluyendo excavación y hormigonado excluida armadura, por medios marítimos.
18-006	m	Pilote fabricado "in situ" d= 1,5 m, incluyendo excavación y hormigonado excluida armadura, por medios terrestres.
18-007	m	Pilote fabricado "in situ" d= 1,5 m, incluyendo excavación y hormigonado excluida armadura, por medios marítimos.
18-008	m	Pilote fabricado "in situ" d= 1,65 m, incluyendo excavación y hormigonado excluida armadura, por medios terrestres.
18-009	m	Pilote fabricado "in situ" d= 1,8 m, incluyendo excavación y hormigonado excluida armadura, por medios terrestres.

Continúa en la siguiente página

Código	Unidad	Descripción
18-010	m	Pilote fabricado "in situ" d= 1,8 m, incluyendo excavación y hormigonado excluida armadura, por medios marítimos.
18-011	m	Pilote fabricado "in situ" d= 2,0 m, incluyendo excavación y hormigonado excluida armadura, por medios terrestres.
18-012	kg	Camisa perdida de acero laminado.
19-001	kg	Acero S-355 JO en tablestacado totalmente colocado según planos, incluso suministro, pintura, hinca, preparación del fondo, manipulación de tablestacas, replanteo, guías y corte del perfil.
19-002	kg	Acero S-355 JO o similar en perfiles laminados en correa de atado en pantallas de tablestacas, incluso p.p. tornillos y tuercas, totalmente colocado en obra según planos y P.P.T.P.
19-003	m ²	Pintura para la protección de tablestaca metálica.
19-004	Ud	Tirante de acero S-460 N de 3,5 pulgadas de diámetro y 24,51 m de longitud para una carga de servicio de 948 kN incluido pp de manguitos de unión roscados, con junta y tope central, pintura de protección, elementos de anclaje, tuercas, arandelas y placas de apoyo.
19-005	Ud	Tirante de acero S-355 JO de 3,75 pulgadas de diámetro y 26,60 m de longitud para una carga de servicio de 839 kN incluido pp de manguitos de unión roscados, con junta y tope central, pintura de protección, pasatubos, elementos de anclaje, tuercas, arandelas y placas de apoyo.
20-001	m ³	Zahorra artificial en formación de base, extendida y compactada.
20-002	m ³	Zahorra natural en formación de sub-base, extendida y compactada.
20-003	m ³	Pedraplén seleccionado en frente de cantera, en formación de sub-base, extendido y compactado.
20-004	m ²	Macadam (60x40) extendido y compactado, consolidado incluso recebado.
20-005	m ³	Suelo cemento, fabricado en central, incluye materiales, transporte, extendido, compactación, preparación de la superficie totalmente terminado.
20-006	m ³	Suelo estabilizado in situ con cemento, tipo SEST1, incluye materiales, transporte, extendido, compactación, preparación de la superficie totalmente terminado.
20-007	m ³	Suelo estabilizado in situ con cemento, tipo SEST3, incluye materiales, transporte, extendido, compactación, preparación de la superficie totalmente terminado.
20-008	m ³	Pavimento de HM-20, incluyendo fabricación, transporte, encofrados, puesta en obra y curado.

Continúa en la siguiente página

Código	Unidad	Descripción
20-009	m ³	Pavimento de HM-35, incluyendo fabricación, transporte, encofrados, puesta en obra y curado.
20-010	m ³	Pavimento de hormigón HA-30/B/20 IIIa+Qa, en explanada, incluso p.p de juntas cada 5,0x5,0 m y sellado bituminoso, incluso mallazos de 15x15 cm y D=5 y 8 mm en cara superior e inferior.
20-011	m ³	Pavimento de hormigón HA-30 con dosificación de fibras de acero de 32kg/m ³ .
20-012	m ³	Pavimento de hormigón HA-35 incluido vertido, extendido, vibrado, curado, encofrado y juntas de construcción.
20-013	m ³	Pavimento de hormigón HF-4,0 para tráfico pesado (denominación anterior HP-40), tamaño de árido de 40 mm, resistencia característica a flexión >= 4 Mpa., incluso adquisición, transporte, vertido, extendido, vibrado mecánico, encofrado, curado, desencofrado, juntas de construcción efectuadas mediante fresno, replanteo y nivelación de la superficie acabada.
20-014	m ³	Pavimento de hormigón HF-4,5 de resistencia a flexotracción (denominación anterior HP-45), incluso adquisición, transporte, vertido, extendido, vibrado mecánico, encofrado, curado, desencofrado, juntas de construcción efectuadas mediante fresno, replanteo y nivelación de la superficie acabada.
20-015	m ³	Suministro y puesta en obra de M.B.C. tipo AC 22 BASE G, según denominación UNE-EN 13108 (denominación anterior G-20), en capa base, incluido fabricación, preparación de superficie, extendido y compactación, filler de aportación y betún asfáltico. Completamente terminado.
20-016	m ³	Suministro y puesta en obra de M.B.C. tipo AC 32 BASE G, según denominación UNE-EN 13108 (denominación anterior G-25), en capa base, extendida y compactada, incluido riego asfáltico, filler de aportación y betún. Completamente terminado.
20-017	m ³	Suministro y puesta en obra de M.B.C. tipo AC 22 BIN S, según denominación UNE-EN 13108 (denominación anterior S-20), en capa intermedia, incluido fabricación, preparación de superficie, extendido y compactación, filler de aportación y betún asfáltico. Completamente terminado.
20-018	m ³	Suministro y puesta en obra de M.B.C. tipo AC 22 BIN D, según denominación UNE-EN 13108 (denominación anterior D-20), en capa intermedia, incluido fabricación, preparación de superficie, extendido y compactación, filler de aportación y betún asfáltico. Completamente terminado.

Continúa en la siguiente página

94 | Anejo E. Catálogo de unidades de obra y costes

Código	Unidad	Descripción
20-019	m ³	Suministro y puesta en obra de M.B.C. tipo AC 16 SURF S, según denominación UNE-EN 13108 (denominación anterior S-12), en capa de rodadura, incluido fabricación, preparación de superficie, extendido y compactación, filler de aportación y betún asfáltico. Completamente terminado.
20-020	m ³	Suministro y puesta en obra de M.B.C. tipo AC 16 SURF D, según denominación UNE-EN 13108 (denominación anterior D-12) en capa de rodadura, incluido fabricación, preparación de superficie, extendido y compactación, filler de aportación y betún asfáltico. Completamente terminado.
20-021	m ³	Suministro y puesta en obra de M.B.C. tipo BBTM8B, según denominación UNE-EN 13108 (denominación anterior M-8) en capa base o intermedia, extendida y compactada, incluido riego asfáltico, filler de aportación y betún. Completamente terminado.
20-022	m ²	Riegos de adherencia: emulsión bituminosa ECR-1, incluso barrido y preparación de la superficie.
20-023	m ²	Riegos de adherencia: emulsión bituminosa ECR-0, incluso barrido y preparación de la superficie.
20-024	m ²	Riegos de imprimación: emulsión bituminosa ECI, incluso barrido y preparación de la superficie.
20-025	m ²	Riegos de imprimación: emulsión bituminosa ECL-1, incluso barrido y preparación de la superficie.
20-026	m ²	Riegos de imprimación: emulsión bituminosa EAL, incluso barrido y preparación de la superficie.
20-027	m ³	Fresado de firme de mezcla bituminosa en caliente, incluso carga, barrido y transporte a lugar de empleo.
20-028	m ²	Pavimento de adoquín 12x12x6 totalmente colocado.
20-029	m ²	Pavimento de adoquín 20x20x8 totalmente colocado.
20-030	m ²	Pavimento de adoquín 24x12x6 totalmente colocado.
20-031	m ²	Adoquín de hormigón con forma rectangular de 12 cm de espesor, color gris, colocados en seco, en capa de arena de 4 cm.
20-032	m ²	Pavimento de hormigón impreso de 2-4 cm de espesor, totalmente ejecutado.
20-033	m ²	Pavimento de loseta hidráulica color 30x30 cm, totalmente colocado.
20-034	m ²	Pavimento de loseta hidráulica color gris 20x20 cm, totalmente colocado.
20-035	m	Bordillo prefabricado de hormigón 15x25, colocado incluso rejuntado y hormigón de asiento, totalmente terminado.
20-036	m	Bordillo prefabricado de hormigón 20x30, colocado incluso rejuntado y hormigón de asiento, totalmente terminado.

Continúa en la siguiente página

Código	Unidad	Descripción
21-001	Ud	Bolardo de <50 Tn de tiro nominal totalmente colocado, incluso pernos de anclaje y demás elementos necesarios para su perfecta puesta en servicio.
21-002	Ud	Bolardo de 50-100 Tn de tiro nominal totalmente colocado, incluso pernos de anclaje y demás elementos necesarios para su perfecta puesta en servicio.
21-003	Ud	Bolardo de 100-150 Tn de tiro nominal totalmente colocado, incluso pernos de anclaje y demás elementos necesarios para su perfecta puesta en servicio.
21-004	Ud	Bolardo de 150-200 Tn de tiro nominal totalmente colocado, incluso pernos de anclaje y demás elementos necesarios para su perfecta puesta en servicio.
21-005	Ud	Bolardo de >200 Tn de tiro nominal totalmente colocado, incluso pernos de anclaje y demás elementos necesarios para su perfecta puesta en servicio.
22-001	m	Aristón de acero inoxidable de 8 mm de espesor en protección de cantil, incluso anclaje y colocación.
22-002	m	Aristón de acero inoxidable de 12 mm, para protección de cantil, incluso anclaje y colocación.
22-003	m	Aristón metálico de 8 mm de espesor en protección de cantil, incluso anclaje y colocación.
22-004	m	Aristón metálico de 12 mm, para protección de cantil, incluso anclaje y colocación.
22-005	m	Cantonera metálica de acero galvanizado para protección del cantil, incluso anclajes, suministro y colocación.
22-006	m	Aristón de piezas prefabricadas de hormigón HM30 totalmente colocado.
23-001	Ud	Defensa tipo C entre C-1000 y C-1400, totalmente instalada.
23-002	Ud	Defensa tipo C entre C-1500 y C-1700, totalmente instalada.
23-003	Ud	Defensa tipo C entre C-1800 y C-2000, totalmente instalada.
23-004	Ud	Defensa tipo C >C-2000, totalmente instalada.
23-005	Ud	Defensa tipo SC <SC-1000, totalmente instalada.
23-006	Ud	Defensa tipo SC entre SC-1000 y SC-1450, totalmente instalada.
23-007	Ud	Defensa tipo SC entre SC-1500 y SC-2000, totalmente instalada.
23-008	Ud	Defensa tipo SC >SC-2000, totalmente instalada.
23-009	Ud	Defensa doble tipo SC <SC-1200, totalmente instalada.
23-010	Ud	Defensa doble tipo SC entre SC-1200 y SC-2000, totalmente instalada.
23-011	Ud	Defensa doble tipo SC >SC-2250, totalmente instalada.
24-001	Ud	Escala de acero galvanizado, incluso anclajes y colocación.
24-002	Ud	Escalera de pates metálicos, totalmente colocada.

Continúa en la siguiente página

Código	Unidad	Descripción
24-003	Ud	Escala de gato metálica, incluso anclajes y colocación.
24-004	Ud	Escala de acero inoxidable, incluso anclajes y colocación.
24-005	Ud	Escala de goma tipo EG-200.
24-006	Ud	Escala de goma tipo EG-150H x 2550 mm.
24-007	Ud	Escalera de pates recubierta de polipropileno totalmente colocada.
24-008	Ud	Escala de caucho tipo E 200 H o similar (polietileno), incluso anclajes, adquisición, transporte y colocación.
25-001	m	Suministro y colocación de carril tipo DIN-A-75, incluso chapa de apoyo, anclajes, grapas y tornillos de sujeción, totalmente colocado.
25-002	m	Suministro y montaje de carril de 54 kg/ml, para grúas incluso p.p. de bridas, pernos, tornillos, separadores y demás accesorios, según planos, completamente colocado.
25-003	m	Suministro y colocación de carril tipo A-100, incluso anclajes, grapas y tornillos de sujeción, totalmente colocado.
25-004	m	Carril Grúa tipo A-120 y parte proporcional de grapas de anclaje, platabanda y taladros para anclaje en hormigón de superestructura y recibido con mortero auto-nivelante y hormigonado de carril con hormigón tipo HA-25 en la superestructura del lado mar.
25-005	m	Suministro y colocación de carril tipo A-150, incluso anclajes, grapas y tornillos de sujeción, totalmente colocado.
25-006	kg	Carril de vías para grúa, tipo UIC-54, incluidas grapas y tornillos de sujeción (54,43 kg/ml).
25-007	kg	Acero laminado en perfiles S275 colocado como angular en viga carril.
25-008	Ud	Topera de carril totalmente colocada.
26-001	m ³	Hormigón para armar HA-35 colocado en formación de placa de vía, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado.
26-002	ml	Montaje y colocación de vía en explanada, incluso sujeciones, placas y pernos de anclaje, carriles de replanteo, piquetado vía, colocada sobre placa armada de hormigón, totalmente terminada.
26-003	ml	Montaje y colocación de vía con carril embebido, incluso piquetado vía, cama hormigón armado HA-35, suministro y montaje de carril UIC-54, placa de apoyo y relleno de material elastomérico, así como cuñas y galgas para alineaciones.
26-004	Tn	Suministro de carril UIC 54 incluyendo cargas, descargas, transportes y acopios.
26-005	m	Suministro, montaje y colocación sobre traviesa de carril UIC-54 en barra larga.

Continúa en la siguiente página

Código	Unidad	Descripción
26-006	Ud	Traviesa monobloque postesada de hormigón, para tráfico simultáneo en ancho ibérico, ancho internacional y ancho métrico, con un único carril común y una long.=2,6m y peso aprox.= 360 kg/traviesa, incluso fijación al carril, totalmente colocada.
26-007	Ud	Traviesa polivalente de hormigón pretensado monobloque para dos anchos ferroviarios, incluso fijación al carril, totalmente colocada.
26-008	Ud	Traviesa monobloque MR-93 colocada e obra, incluso suministro, transporte y descarga en obra.
26-009	Ud	Traviesa roble 2,60x0,24x0,14-54-PI-1,673-2C negra con sujeción fija.
26-010	Ud	Soldadura aluminotérmica de carril tipo UIC-54 .
26-011	Ud	Topera de hormigón armado incluso hormigón de limpieza, armadura, encofrado, desencofrado, vertido, vibrado y curado, totalmente terminada.
26-012	Ud	Topera metálica totalmente terminada.
26-013	m ³	Suministro de balasto “tipo 1” de piedra silícea de nueva aportación, incluso transporte, carga y extendido.
26-014	m ³	Suministro de balasto “tipo 2” incluso transporte, carga y extendido.
27-001	m ³	Piezas especiales de hormigón HM30/B/25/I+Qb+E tipo acrópodo de 6 m ³ en formación de manto principal de dique, incluso p.p. de encofrado, vertido , vibrado, curado, desencofrado y todos los medios auxiliares para su correcta colocación por medios marinos o terrestres.
27-002	m ³	Piezas especiales en T de hormigón HM-30 en formación de entronque entre cajones y dique, incluida fabricación y colocación.
27-003	m ³	Cubípodos de 6 Tn de hormigón HM-30 para formación de manto exterior de dique en talud, incluso acopio y todas las operaciones previas para su correcta ejecución, totalmente colocado.
27-004	m ³	Cubípodos de 15 Tn de hormigón HM-30 para formación de manto exterior de dique en talud, incluso acopio y todas las operaciones previas para su correcta ejecución, totalmente colocado.
27-005	m ³	Hormigón en sacos inyectados en protección de pie de estructuras.
27-006	m ²	Colchoneta de Fabriform inyectada con microhormigón, colocada como protección de taludes de banqueta de escollera.

Tabla E.1: Precios unitarios



CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES EXCEPCIONALES DE SISMO Y MAREMOTO

Preámbulo

El objetivo del anejo *Caracterización de las condiciones excepcionales de sismo y maremoto* es proporcionar criterios para decidir cuando se debe considerar el maremoto (tsunami) como un agente de proyecto, o cuando se debe diseñar el dique frente a los modos de fallo. El anejo ha sido redactado por el Grupo de Dinámica de Flujos Ambientales de la Universidad de Granada.

100 | Anejo F. Caracterización de las condiciones excepcionales de sismo y maremoto

F.1. Recomendaciones de diseño	101
F.2. Índice de contenidos del informe “Costas españolas: peligrosidad frente a maremotos”	102
Referencias	103

El objetivo de este anejo es proporcionar criterios para decidir cuando se debe considerar el maremoto (tsunami) como un agente de proyecto, o cuando se debe diseñar el dique frente a los siguientes modos de fallo: erosión del lecho, pérdida de piezas de la berma, pérdida de piezas del manto principal (en su caso), estabilidad del espaldón por presiones impulsivas, rebase, estabilidad del manto a sotamar y estabilidad geotécnica.

F.1 Recomendaciones de diseño

En función de los valores de la altura de ola de cálculo y la elevación máxima que podría alcanzarse por efecto de un tsunami (definida de acuerdo con Dirección General de Protección Civil y Emergencias, 2017, Figura F.1), se distinguirán tres casos:

- Si la elevación máxima es menor que la mitad de la altura de ola de cálculo del dique, no se requerirán comprobaciones adicionales de los modos de fallo frente al maremoto.
- Si la elevación máxima es mayor o igual que la mitad de la altura de ola de cálculo pero menor la altura de ola de cálculo, deberán verificarse los modos de fallo.
- Si la elevación máxima es mayor o igual que la altura de ola de cálculo, se deberá dimensionar el dique frente al agente maremoto a partir del sismo. Para ello, se puede emplear los estudios realizados por Losada y col., 1989 y Álvarez-Gómez y col., 2011 así como los criterios para el diseño del dique presentados por Aniel-Quiroga y col., 2018.

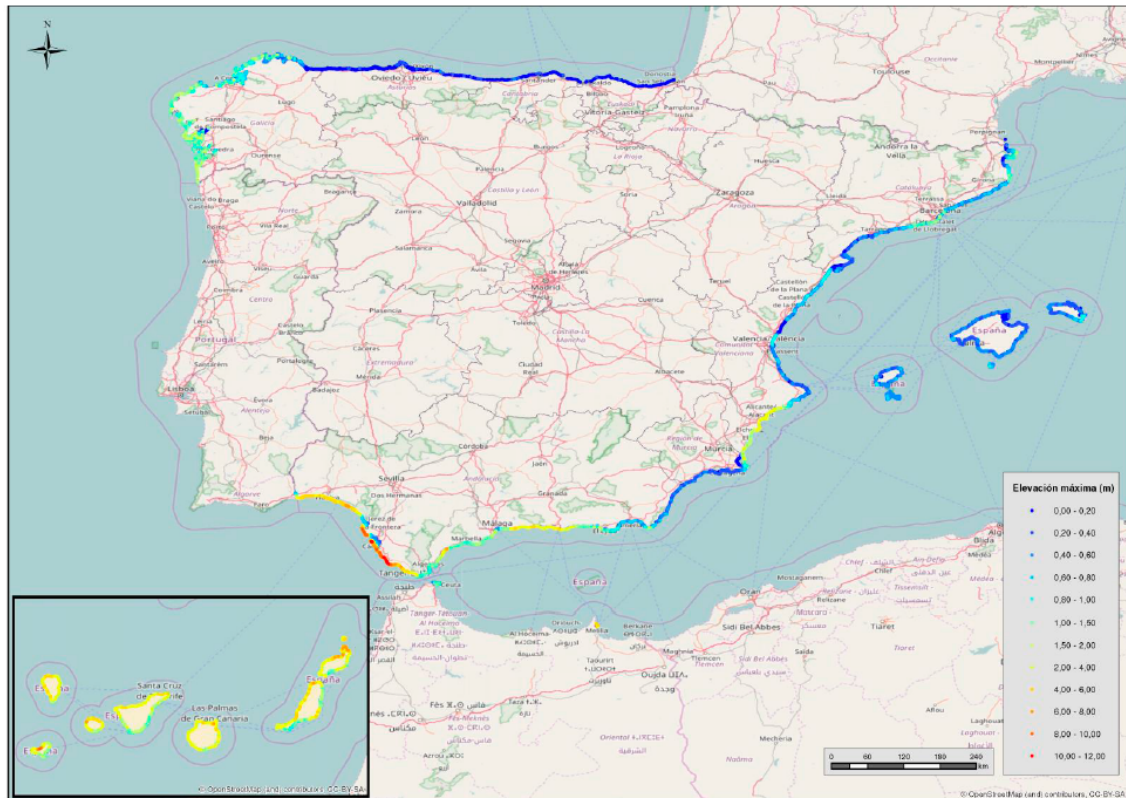


Figura F.1: Elevación máxima que podría alcanzarse en la costa española por efecto de un tsunami.
Fuente: Dirección General de Protección Civil y Emergencias, 2017

F.2 Índice de contenidos del informe “Costas españolas: peligrosidad frente a maremotos”

1. Introducción
2. Metodología
3. Caracterización de fuentes
4. Batimetría y topografía
5. Simulaciones numéricas
6. Resultados
7. Conclusiones y recomendaciones

APÉNDICES

1. Referencias
2. Modelo de propagación DELFT3D
3. Mallas de cálculo
4. Planos a escala 1:25000
5. Evolución del nivel del mar en puntos de interés
6. Tiempos de llegada de la sobreelevación asociada al tsunami

Referencias

- Álvarez-Gómez, J., González, M., Otero, L. y col. (2011). “Tsunami hazard at the Western Mediterranean Spanish coast from seismic sources”. En: *Natural Hazards and Earth System Sciences* 11.1, páginas 227-240 (véase página 101).
- Aniel-Quiroga, Í., Vidal, C., Lara, J. L., González, M. y Sainz, Á. (2018). “Stability of rubble-mound breakwaters under tsunami first impact and overflow based on laboratory experiments”. En: *Coastal Engineering* 135, páginas 39-54 (véase página 101).
- Dirección General de Protección Civil y Emergencias (2017). *Directrices para la caracterización del material dragado y su reubicación en aguas del dominio público marítimo-terrestre*. Ministerio del Interior (véanse páginas 101, 102).
- Losada, M., Vidal, C. y Medina, R. (1989). “Experimental study of the evolution of a solitary wave at an abrupt junction”. En: *Journal of Geophysical Research: Oceans* 94.C10, páginas 14557-14566 (véase página 101).



ESPECIFICACIONES PARA LA VERIFICACIÓN EXPERIMENTAL EN CANAL Y TANQUE DE OLEAJE

Preámbulo

El objetivo del anejo *Especificaciones para la verificación experimental en canal y tanque de oleaje* es proporcionar criterios y normas de buena práctica para el diseño y realización de ensayos de laboratorio en canal y tanque de oleaje. Este anejo ha sido redactado por el Grupo de Dinámica de Flujos Ambientales de la Universidad de Granada. La redacción de este anejo se ha basado principalmente en las recomendaciones incluidas en Benedicto y Losada (2002), Frostick y col. (2011) y Hughes (1993).

G.1. Condicionantes para la realización de un modelo físico	107
G.2. Fundamentos	107
G.2.1. Principios de similitud	107
G.2.2. Efectos de escala	108
G.2.3. Tipos de ensayos	109
G.2.4. El laboratorio de ingeniería marítima	109
G.3. Ensayos de diques de abrigo	111
G.3.1. Objetivos	111
G.3.2. Selección de la instalación	112
G.3.3. Selección de la escala	112
G.3.4. Configuración del modelo	113
G.3.5. Oleaje	114
G.3.6. Limitaciones	120
G.4. Análisis de datos	120
G.4.1. Análisis estadístico y espectral	120
G.4.2. Separación del oleaje incidente y reflejado	121
G.4.3. Análisis del daño	123
Referencias	124

Los modelos físicos, junto con los modelos numéricos y medidas “in situ”, proporcionan al ingeniero herramientas para el diseño de obras marítimas, en particular los diques de abrigo. En el ámbito de la ingeniería marítima, el modelo físico es la reproducción a escala reducida de las magnitudes más representativas del dique a ensayar, conocido como prototipo.

El modelo físico es, por tanto, la reproducción de un prototipo para la realización de medidas sobre él, que después serán transformadas a la escala de prototipo.

G.1 Condicionantes para la realización de un modelo físico

Para el diseño de los diques de abrigo es necesario el conocimiento de su comportamiento hidráulico, para lo cual se emplean métodos analíticos, empíricos o numéricos, que suponen la asunción de una serie de simplificaciones. Si el dique a diseñar difiere mucho de las condiciones ideales para las cuales se han obtenido las fórmulas de diseño, la incertidumbre respecto a la validez de los métodos empleados aumenta. Por tanto, para estructuras alejadas de las situaciones ideales, en geometría o en condiciones de contorno, los ensayos en modelo físico se hacen necesarios para asegurar un conocimiento preciso del comportamiento del dique.

Se recomienda la realización de ensayos en modelo físico cuando se presente alguna de las siguientes situaciones:

- La obra tiene una repercusión económica, social o ambiental media o alta
- La estabilidad de la estructura no está asegurada al aplicar métodos analíticos, formulaciones semi-empíricas o modelo numéricos
- El diseño debe ser optimizado
- El rebase es el modo de fallo principal de la obra
- Se espera la aparición de presiones impulsivas sobre el espaldón y pueden dañar la obra
- Se necesita analizar fenómenos complejos tales como rotura del oleaje
- La batimetría frente a la obra es compleja
- Se requiere estudiar el comportamiento de los entronques entre tramos

G.2 Fundamentos

G.2.1 Principios de similitud

La Teoría de Similitud proporciona las herramientas para planificar los ensayos en modelo físico y extrapolar a escala de prototipo las medidas realizadas a escala de modelo. La teoría de los modelos físicos se basa en que, a partir de las magnitudes fundamentales (longitud L , tiempo t y masa m), las restantes que intervienen en la mecánica de fluidos queden predeterminadas (magnitudes derivadas) y en que en este sistema (L - t - m) las ecuaciones hidrodinámicas del fluido son adimensionales y por lo tanto se mantienen invariantes frente a una transformación del tipo:

$$L_P = \lambda L_M; \quad t_P = \lambda_t t_M; \quad m_P = \lambda_m m_M; \quad (\text{G.1})$$

donde el subíndice M indica magnitud a escala modelo y el subíndice P magnitud a escala prototipo. De esta manera, si se conoce el comportamiento en el modelo de un determinado fenómeno, teóricamente es posible deducir el de dicho fenómeno en el prototipo, sin más que utilizar para cada magnitud el cambio de escala según los valores de los parámetros λ , λ_t y λ_m adoptados en la transformación anterior. A dicha transformación se la conoce como *semejanza*, que puede ser geométrica (semejanza en longitud), cinemática (en tiempo) o dinámica (en masa). La *semejanza geométrica* determina que la relación entre dimensiones homólogas modelo-prototipo es constante, denominándose a dicha relación escala geométrica (λ). En esta semejanza, por tanto, sólo influyen aspectos de forma. La *semejanza cinemática* implica la similitud de movimientos modelo-prototipo, lo que junto a la semejanza geométrica determina que las trayectorias de las partículas homólogas modelo-prototipo sean semejantes. Por último, la *semejanza dinámica* entre dos sistemas geométrica y cinemáticamente semejantes supone la constancia entre la relación de masas y, por tanto, de fuerzas entre elementos homólogos. En la práctica, resulta imposible lograr una similitud dinámica perfecta ya que la relación entre fuerzas que actúan sobre modelo y prototipo no se mantiene constante, ni su importancia en ambos sistemas es la misma. Sin embargo, en ensayos de diques de abrigo es suficiente considerar una semejanza dinámica parcial, basada en las fuerzas predominantes en cada caso.

En la mayoría de ensayos en modelo físico en ingeniería marítima las fuerzas predominantes son las de gravedad y viscosidad, pudiendo despreciarse las fuerzas de tensión superficial o elásticas. Por ello, se adopta el criterio de considerar como fuerza principal la gravedad (semejanza de Froude, escala geométrica λ), obteniéndose las escalas de las magnitudes derivadas que se muestran en la Tabla G.1.

Magnitud	Dimensión	Criterio de semejanza
Tiempo (λ_t)	T	$\lambda^{1/2}$
Masa (λ_m)	M	λ^3
Velocidad	LT^{-1}	$\lambda^{1/2}$
Velocidad angular	T^{-1}	$\lambda^{-1/2}$
Aceleración	LT^{-2}	1
Caudal	L^3T^{-1}	$\lambda^{5/2}$
Fuerza	MLT^{-2}	λ^3
Presión	$ML^{-1}T^{-2}$	λ

Tabla G.1: Escalas de las magnitudes derivadas empleando Semejanza de Froude

G.2.2 Efectos de escala

Como se ha comentado anteriormente, no es posible establecer una similitud perfecta entre modelo y prototipo. En las escalas habitualmente utilizadas, no existen fluidos que, en el modelo reducido, presenten las características necesarias de viscosidad, tensión superficial y módulo de elasticidad. Por tanto, las desviaciones entre el comportamiento y las medidas realizadas en modelo y prototipo son inevitables, lo que se conoce como *efecto escala*. Conocida la existencia del efecto escala en los ensayos en modelo físico reducido, la solución es cuantificar la influencia de los efectos de escala y corregirlos en el proceso de extrapolación a prototipo. En los ensayos sobre diques de abrigo se emplea generalmente la semejanza de Froude. En este caso, las fuerzas

viscosas vendrán falseadas. Es necesario entonces determinar la zona influida por los efectos de escala y asegurar que en el modelo se trabaja con una turbulencia suficiente para asegurar el correcto desarrollo de los fenómenos señalados, o corregir en la extrapolación. Los efectos de escala más importantes aparecerán en las fuerzas de fricción. En general, la solución pasa por utilizar una escala suficientemente grande. En lo que se refiere a las fuerzas de tensión superficial, el efecto escala puede ser importante si la zona de interés es de poca profundidad o entre los fenómenos preponderantes está la rotura del oleaje. En estos casos, es forzoso utilizar una escala lo mayor posible.

Para evitar en la medida de lo posible el efecto escala se puede optar por emplear un diagrama de fricción a través del cual se seleccione el tamaño del material, tanto para el núcleo como para las capas secundarias en los experimentos a escala reducida (Pérez, 2008).

G.2.3 Tipos de ensayos

Comportamiento del dique: comportamiento hidráulico, estabilidad y funcionalidad

Los ensayos de diques de abrigo tienen por finalidad estudiar para la tipología seleccionada su estabilidad, medir esfuerzos, evaluar posibles averías, cuantificar los rebases producidos por el oleaje o conocer la transmisión del oleaje en el caso de obras permeables o rebasables.

Agitación de dársenas

El objeto de los ensayos de agitación es conocer el oleaje que se produce en el puerto o en sus zonas de influencia, para evaluar su diseño en planta a efectos de su operatividad general y de la navegabilidad en sus accesos y, en su caso, proponer cambios en la planta y/o en las estructuras proyectadas. Los ensayos de resonancia de dársenas se realizan para analizar posibles efectos de resonancia de los periodos asociados a las ondas largas coincidentes con los modos de oscilación de las dársenas. Se destaca la dificultad de estos ensayos consecuencia de lo complejo del fenómeno, de la escasez de medidas en la naturaleza y del amplio rango de periodos de estas ondas, por ello las soluciones que se adopten conviene que sean contrastadas con los registros disponibles o, al menos, con observaciones in situ.

G.2.4 El laboratorio de ingeniería marítima

Instalaciones

Las instalaciones empleadas para los ensayos en modelo físico se pueden dividir en: (1) para ensayos 2D (canales de oleaje) y (2) para ensayos 3D (tanques de oleaje).

Canal de oleaje

Son canales largos y estrechos, con superficie libre del agua y un generador de oleaje en uno de sus extremos. Es deseable que los generadores cuenten con sistemas de control de absorción activa de la reflexión. En el otro extremo se ubica un absorbedor pasivo del oleaje, que puede ser sustituido por una segunda pala generadora. En caso de querer simularse también corriente para estudios de ríos pueden incorporar un sistema de bombeo, además de un sistema basculante que les permita inclinarse. Las dimensiones típicas de los canales de oleaje son:

- Anchura: desde 0,3 m hasta 4,0 m

- Profundidad de agua: desde 0,1 m hasta 1 m
- Longitud: desde 10 m hasta 150 m

Los canales de oleaje se emplean para ensayos en 2D, por tanto en todos los casos la incidencia sobre la sección tipo del dique ensayado será normal.

Tanque de oleaje

Son tanques rectangulares en los que se puede modelar un campo de oleaje bidireccional o multidireccional. Suelen tener anchuras mínimas de 20 – 30 m y máximas de 90 m, y profundidades desde 1 m hasta 10 m en tanques de gran escala diseñados para ensayos en profundidades indefinidas.

Los generadores de oleaje pueden estar fijos en uno de sus lados o ser portátiles, de modo que en cada ensayo se puedan ubicar en la zona más adecuada. Es deseable que los generadores cuenten con sistemas de control de absorción activa de la reflexión.

Para reducir las reflexiones no deseadas por las paredes del tanque se ubican absorbedores pasivos, que pueden consistir en playas tendidas de árido, o elementos absorbedores tipo mallas o elementos porosos.

Algunos tanques también cuentan con sistemas de bombeo para el estudio combinado de oleaje y corrientes.

Canal/tanque de oleaje y viento

En algunos ensayos de diques, por ejemplo si se está analizando la transmisión de oscilaciones por rebase, puede ser necesario añadir como agente forzador el viento. En ese caso se recurre a canales o tanques de acción combinada de viento y oleaje, en los que sobre los generadores de oleaje se añaden túneles de viento cuyas turbinas son capaces de generar vientos de la intensidad requerida.

Equipos e instrumentación

La instrumentación más frecuente utilizada en los ensayos es: sensores de medida de superficie libre, sensores de presión, cámaras fotográficas y de video, medidores de perfil, tanques de rebase y dinamómetros.

Los sensores de nivel (superficie libre) miden el ascenso y descenso de la superficie libre, por lo que a partir de dicha medida se pueden obtener las características del oleaje que actúa sobre el dique. En ensayos en 2D, es necesario colocar un mínimo de tres sensores frente al dique para poder realizar la separación del oleaje incidente y el reflejado.

En ocasiones puede ser necesario evaluar la velocidad del flujo en algunos puntos del modelo. Para ello, se puede recurrir a anemómetros de turbina, o bien a métodos más sofisticados como anemometría de hilo caliente o anemometría láser tipo LDV o PIV.

Las cámaras de fotografía y vídeo se emplean para guardar registros visuales de la evolución de la sección. Igualmente, permiten analizar la forma de rotura del oleaje sobre la estructura.

El daño sufrido por un dique en talud se mide usualmente a través de perfiladores (mecánicos, acústicos, láser) o mediante el uso de técnicas de análisis de imagen.

Para la medición de los rebases, se emplea desde el conteo visual (porcentaje de olas que rebasan) hasta dispositivos de detección basados en los mismos principios que las sondas de oleaje. El volumen de rebase se mide mediante recipientes tarados colocados en la cara interna del dique.

Los esfuerzos en los diques verticales se cuantifican habitualmente utilizando dinamómetros. Estos elementos están basados en la aplicación de bandas extensométricas en tres ejes. Constan de un cilindro solidario a una sección del dique, conectado a otro fijo. La conexión entre los dos cilindros se hace mediante las bandas extensométricas. Al recibir el impacto del oleaje, las fuerzas aplicadas en la sección del dique se transmiten de la parte móvil a la fija, y las bandas extensométricas se deforman, registrándose las componentes horizontal y vertical de la fuerza de impacto, así como el momento sobre el cajón. También se utilizan sensores de presión, de los que se colocan varios alineados en el frente del paramento vertical o el espaldón. Estos sensores basan su funcionamiento en el efecto piezoeléctrico, es decir, la variación de las características conductoras con la presión sobre un cristal. La aplicación de este método tiene la ventaja de que permite definir el perfil instantáneo de presiones producidas por el impacto de las olas sobre el paramento. Los esfuerzos totales se obtendrían en este caso por integración de la curva de presiones a lo largo del frente del dique.

G.3 Ensayos de diques de abrigo

G.3.1 Objetivos

El objetivo de estos ensayos es la optimización del diseño de las obras de defensa, tanto si son estructuras en talud como si se trata de cajones con paramento vertical dotados de espaldón. Las formulaciones de diseño existentes permiten elaborar prediseños acertados, pero en ocasiones se hace necesario acudir al laboratorio para evaluar su comportamiento u optimizar el prediseño realizado. En los ensayos de estabilidad puede mantenerse bajo control un gran número de variables de diseño, normalmente superior al que manejan las formulaciones analíticas. Por ello, la realización de ensayos en modelo ofrece ventajas muy importantes con vistas a conocer el comportamiento del dique bajo la acción de las sollicitaciones del mar y mejorar las soluciones iniciales.

El coste de los ensayos representa una fracción ínfima del de la propia obra, y en cambio ofrece una información muy completa acerca de la respuesta de la estructura. La realización de ensayos se traduce en un gran aumento de la seguridad del diseño y puede conllevar importantes ahorros en los costes de construcción, en el caso de que la obra esté sobredimensionada, o en los de conservación, si está infradimensionada.

Los principales ensayos que se realizan y sus aplicaciones más frecuentes son:

- Diques en talud
 - Estabilidad de la estructura
 - Evolución temporal de las averías
 - Balance de energía: reflexión, transmisión, disipación

- Rebase
- Diques verticales
 - Fuerzas y momentos sobre el cajón
 - Estabilidad de berma de pie
 - Balance de energía: reflexión, transmisión, disipación
 - Rebase y diseño de espaldones

G.3.2 Selección de la instalación

En primer lugar, se deben recopilar los datos previos conocidos de la obra, como son: objetivo del ensayo, tipología (secciones tipo), materiales (tamaño de piezas, densidad), batimetría del área de estudio, clima marítimo, modos de fallo a analizar y nivel de daño admitido.

En base a la información disponible, se debe seleccionar la instalación de ensayo y las características fundamentales del mismo (escala, capacidad del sistema de generación, magnitudes básicas de la obra), a partir de las siguientes premisas:

- Los ensayos 2D se emplean fundamentalmente para verificar u optimizar secciones tipo y analizar la interacción oleaje-estructura.
- Los ensayos 3D se realizan cuando es necesario verificar u optimizar cambios de alineación, entronques o morros, analizar efectos de refracción o difracción, cuando el oleaje esperado incide con gran oblicuidad sobre la obra ($\beta > 30^\circ$) o la batimetría frente a la obra es muy irregular.

G.3.3 Selección de la escala

Generalmente se seleccionan escalas de trabajo pequeñas ($< 1 : 10$). Como primer filtro, la escala seleccionada debe evitar la aparición de efectos de escala significativos. Se elegirá la mayor escala posible. No se deben introducir distorsiones en la escala vertical u horizontal de la geometría del modelo. Deben tenerse en cuenta los siguientes criterios de escala:

- Las dimensiones del dique se escalan geoméricamente.
- Los parámetros del oleaje deben mantener el criterio de Froude.
- En caso de existir mantos o bermas de piezas sueltas, las condiciones de flujo turbulento en el poroso deben mantenerse, lo que se cumple de manera general si se cumple que $Re = \sqrt{gH_s}D_n/\nu > 3 \cdot 10^4$, siendo Re el Número de Reynolds en el modelo, g la aceleración de la gravedad, H_s la altura de ola significativa en el modelo, D_n el diámetro característico de las piezas y ν la viscosidad cinemática.

El escalado de mantos principales y bermas de pie cumplirá la similitud geométrica, de tal manera que la estabilidad de las piezas sea la misma en modelo y prototipo. En cambio, para filtros y núcleo si se cumple la similitud geométrica se tendrán efectos de escala viscosos, ya que estas capas serán más impermeables dando como resultado una reflexión diferente del dique y, por tanto, un comportamiento del mismo no correspondiente con la realidad. Es por ello que estas capas se escalan siguiendo una escala de permeabilidad, por ejemplo, mediante el aumento del tamaño de sus piezas.

G.3.4 Configuración del modelo

Disposición

Una vez seleccionada la instalación (2D-canal de oleaje o 3D-tanque de oleaje), el posicionamiento del modelo dentro de la misma debe ser realizado de tal manera que los efectos de contorno se minimicen, y el oleaje incida sobre el dique con las condiciones deseadas (altura, periodo, dirección de incidencia).

Los ensayos en tanque de oleaje (3D) son especialmente susceptibles de arrojar resultados erróneos si las reflexiones provenientes de los contornos se propagan hacia el área de ensayo y medida. Para evitar estas reflexiones se pueden emplear sistemas de absorción del oleaje, que minimizan la reflexión pero no la eliminan completamente. En caso de requerirse el empleo de muros-guía, para reducir los efectos de difracción, éstos deberán ubicarse paralelos a la dirección del oleaje, de tal modo que no produzcan reflexiones indeseadas.

Cuando la batimetría influya significativamente en el comportamiento de la interacción oleaje-estructura (refracción, difracción, asomeramiento, rotura), el modelado de la misma debe realizarse de manera adecuada. Para ello, para distancias frente al dique superiores a 2 longitudes de onda ($x > 2L$), es suficiente modelar las principales líneas batimétricas. En cambio, en el tramo de fondo más cercano al dique ($x < 2L$), donde los efectos de la interacción del oleaje con el fondo pueden ser significativas en la respuesta del dique, el modelado de la batimetría debe realizarse con más detalle. Es posible despreciar el efecto de la batimetría en caso de tener olas muy pequeñas y grandes profundidades, si se cumplen las siguientes condiciones:

- $\tan \beta < 1 : 250 - 1 : 1000$
- $H_s/h < 0,3$
- $h/L_0 > 0,045$

siendo $\tan \beta$ la pendiente del fondo, H_s/h la altura de ola relativa y h/L_0 la profundidad relativa.

La disposición del modelo puede constar de las siguientes zonas: (1) generación, (2) transición, (3) batimetría, (4) dique. Las zonas (2) y (3) sólo aparecerán en el caso de modelarse la batimetría frente al dique. Cada una de las zonas debe tener las siguientes características:

1. La zona de generación debe tener una longitud superior a 3-5 veces la profundidad ($< 3-5h$), de tal manera que se garantice un decrecimiento de los modos evanescentes frente a la pala de generación, así como disponer del espacio suficiente para la colocación de un grupo de sensores para la separación del oleaje incidente y reflejado en la zona de generación. La profundidad de agua en esta zona debe ser tal que se cumpla que $h/H_s > 3$.
2. La zona de transición debe ser lo más tendida posible, con un talud máximo de 1:10, creando una transición suave entre la zona de generación y la batimetría modelada.
3. La batimetría entre la zona de transición y el dique debe tener una longitud mínima de 3 a 5 veces la longitud de onda ($> 3-5L$), para asegurar el modelado adecuado de los procesos de asomeramiento y rotura del oleaje.

Comentario

Como regla general, los ensayos de diques de abrigo suelen realizarse con fondo fijo, al ser despreciable el comportamiento del fondo en el comportamiento general del dique. En cambio, en algunos casos concretos (evaluación de la erosión del fondo, fallo de la berma de pie...) puede ser necesario modelar un fondo móvil (erosionable).

Materiales

Un dique de abrigo puede estar compuesto por elementos sólidos (cajón, espaldón...) o piezas sueltas (escollera, bloques de hormigón, piezas especiales).

Para la construcción de los elementos sólidos se emplea generalmente metal, madera, hormigón o plástico sinterizado. Si son elementos estructurales deben garantizar una rigidez suficiente para resistir las cargas. En el caso de los materiales sueltos, se emplean áridos de cantera tamizados o pesados (en el caso de escolleras) o piezas especiales fabricadas ex profeso para cada ensayo, a la escala correspondiente.

G.3.5 Oleaje**Selección de parámetros de oleaje**

El dique se debe ensayar para un número determinado de estados de mar característicos, para los cuales se definen sus parámetros estadísticos medios, medios cuadráticos, picos o significantes. Para asegurar la fiabilidad estadística de los resultados, la duración mínima del ensayo no debe ser inferior a un número mínimo de olas, generalmente entre 500 y 3000. La simulación de los temporales se suele realizar fijando estados de mar de energía creciente, a partir de un perfil de temporal característico. Respecto al espectro del oleaje, se emplea comúnmente el espectro JONSWAP o Pierson-Moskowitz, caracterizados por una altura significativa (H_s), un período de pico (T_p) y uno o más parámetros de forma.

Al realizarse el ensayo con una profundidad de agua fija, debe tenerse en cuenta el nivel de marea, de tal manera que los estados de marea alta (mayor profundidad) afectan más a las zonas superiores de la estructuras, tales como mantos y espaldones, mientras que los estados de marea baja (menor profundidad) afectan más a la estabilidad del pie del dique.

Generación de oleaje

De manera general, los equipos de generación de oleaje son capaces de generar oleaje regular (monocromático) e irregular (a partir de espectros estándar o definidos por el usuario).

Es frecuente el uso de generación de oleaje de primer orden (teoría lineal). Si se precisa mayor precisión a la hora de simular el oleaje presente en la naturaleza, se puede recurrir a la generación en segundo orden.

En canal de oleaje, y en tanques equipados con sistemas multi-pala, es frecuente que el sistema de generación esté equipado con un sistema de control activo de la reflexión, de tal

manera que el movimiento de la pala se corrige para prevenir las re-reflexiones desde la pala hacia el dique. Por otro lado, al final del canal 2D o alrededor del tanque 3D se ubican absorbedores pasivos del oleaje, consistentes generalmente en un talud de grava o materiales absorbentes sintéticos, en combinación con placas perforadas.

A continuación se hace un estudio teórico de cada uno de estos factores.

Disipador de oleaje

A fin de reducir al máximo posible la reflexión que se produce en la pared opuesta a la pala, se coloca en todos los canales y tanques un disipador de oleaje.

El diseño de una rampa sin reflexión se basa en que el cambio de las propiedades de la onda al propagarse sobre un fondo de profundidad variable debe ser suficientemente suave como para que se mantenga, localmente, la hipótesis en la que se basan las teorías de onda de forma constante, que asumen fondo horizontal. Un parámetro adecuado para medir el grado de suavidad de un fondo con respecto a la onda es la relación entre el incremento de profundidad en una longitud de onda y dicha profundidad. La pendiente será suave si dicho parámetro se mantiene pequeño:

$$\delta = \frac{\Delta h_L}{h} = \frac{|h_x|L}{h} \ll 1$$

Donde h_x es la pendiente del fondo. Investigaciones teóricas de Rosseau (1952) y Yoshida (1959), sugieren que cuando el parámetro δ anterior es del orden de la unidad, la energía reflejada será menor del 0.1%, correspondiente a un coeficiente de reflexión de alrededor del 3%.

La ecuación diferencial anterior puede ser resuelta analíticamente en profundidades reducidas, es decir, cuando $L = T\sqrt{gh}$, con la condición de $h = 0$ para $x = 0$, obteniéndose:

$$h = \frac{\delta^2}{4T^2g}x^2 = Ax^2$$

es decir, es una parábola con tangente horizontal en $x = 0$, $h = 0$.

Como puede verse, la parábola depende del período del oleaje, de manera que, para una profundidad de agua en el canal constante, la distancia x a la que se corta el fondo horizontal del canal aumenta al aumentar el período. Para una profundidad de agua de 0,5 m, la distancia horizontal y la profundidad de agua siguen la ley:

$$x = \frac{2T\sqrt{g}}{\delta}\sqrt{h}$$

Si la rampa es impermeable, el oleaje rompe en voluta o descrestamiento, disipándose en la rampa con una gran efectividad, debido a que la pendiente de la rampa se hace prácticamente horizontal en las proximidades del nivel medio.

Si la rampa es porosa, la disipación debida al flujo en el medio poroso hace que el asomeramiento sobre la rampa porosa sea muy inferior al asomeramiento con fondo impermeable, de manera que se produce una disminución de la altura de ola sobre la misma. Esta disminución de altura de ola por la disipación en el medio poroso puede llegar a ser tal que haga que el oleaje se disipe sin romper. Además, el fondo poroso permite aumentar el valor de δ que determina una reflexión fija.

Otra consideración a tener en cuenta es que la disipación sobre la rampa (tanto por rotura como por disipación en el medio poroso) provoca una sobreelevación del nivel medio, máxima al final de la rampa. Por ello, el origen de la rampa debe situarse ligeramente por encima del nivel medio.

Calibración del oleaje

Si el modelo presenta una disposición o una batimetría compleja, o si es necesario conocer a priori las condiciones de oleaje frente o cerca del dique, se necesita realizar una calibración del oleaje. De esta forma, se evalúa si el sistema de generación tiene un funcionamiento adecuado, comparando los resultados obtenidos con las curvas teóricas de generación, y se analiza la aparición de otro tipo de ondas: transversales, largas y/o secundarias.

Onda transversal

Uno de los problemas que se puede presentar durante la realización de los ensayos es la generación de ondas transversales en el canal, definidas como la oscilación perpendicular al sentido de propagación como consecuencia de la existencia de paredes verticales impermeables. Su presencia se manifiesta por oscilaciones máximas y mínimas alternadas de pared a pared del canal, propagándose desde la pala. Su generación depende de las características geométricas de los canales, de la profundidad de agua que hay en el canal y del periodo del oleaje ensayado.

En el estudio de la propagación de un tren de ondas en un canal de oleaje, para un fluido incompresible y un movimiento irrotacional, el campo de velocidades y presiones se puede expresar en función de un potencial de velocidades, ϕ . Definido el dominio de integración, siendo la profundidad constante en el canal, cumpliéndose la ecuación de Laplace y las condiciones de flujo nulo en el fondo y a través de las paredes laterales del canal, el potencial puede expresarse como:

$$\Phi = \frac{gA}{\sigma} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \sin(k_x x - \sigma t) \cos(k_y y)$$

Donde g es la aceleración de la gravedad, A la amplitud de la onda, σ la frecuencia angular, k el número de onda, k_x y k_y sus componentes según los ejes x e y , respectivamente, y h la profundidad de agua en el canal. El ancho del canal viene dado por $2b$ y los ejes de coordenadas se sitúan:

- eje x : en el centro del canal, con sentido positivo en el sentido de avance del tren de ondas
- eje y : transversal al canal
- eje z : con origen en el nivel medio y sentido positivo hacia arriba

El flujo a través de las paredes laterales a cualquier profundidad y longitud del canal ha de ser nulo, o lo que es lo mismo, ha de cumplirse que:

$$\left. \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right|_{|y|=b} = 0 \rightarrow \frac{\partial \Phi}{\partial y} = \frac{gA}{\sigma} \sin(k_x x - \sigma t) \sin(k_y b) k_y = 0$$

Expresión que ha de ser cierta en cualquier instante de tiempo, por lo que:

$$\sin(k_y b) = 0$$

O, de igual forma:

$$k_y b = n\pi \rightarrow k_y = \frac{n\pi}{b}$$

Por otro lado, el tren de ondas en su propagación cumple la ecuación de la dispersión:

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

donde:

$$k = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}$$

Despejando k_x y sustituyendo la expresión de la componente transversal del número de onda obtenido previamente:

$$k_x = \sqrt{k^2 - \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2}$$

Dado que, para que el tren sea propagante, el valor de k_x ha de ser real:

$$\left(\frac{\sigma^2}{g \tanh(kh)}\right)^2 - \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 > 0$$

Cuando se cumple esta condición, el tren se propaga con una componente transversal del número de onda k_y .

Onda larga

Otro de los problemas asociados a la generación de oleaje en laboratorio es la aparición de ondas largas, que se definen como el conjunto de oscilaciones de la masa de agua contenida en el canal de ensayos.

La onda larga es un fenómeno que tiene lugar si la oscilación generada por una fuerza externa tiene un periodo T cercano o igual al periodo de oscilación natural del sistema (caracterizado por la configuración geométrica de la infraestructura). Se traduce en una amplificación de la amplitud de la onda estacionaria o cuasi-estacionaria desarrollada y suele ser más relevante para el caso de ondas largas (más reflexión y menos disipación en el contorno).

Puede considerarse que la onda larga en un canal de oleaje es cerrada, forzada, 3D y simple o compleja durante la generación de oleaje con absorción de reflexión. Es cerrada, libre, 3D y simple o compleja cuando se detiene la generación de oleaje.

El fenómeno en un canal de oleaje es un caso particular del que tiene lugar en un tanque de oleaje, pudiéndose considerar 2D (cuando las oscilaciones transversales son despreciables frente a las longitudinales) y de contorno simple.

Las ecuaciones que gobiernan el fenómeno son las “ecuaciones del momentum” y la “ecuación de continuidad”, que resultan en un sistema en general no lineal de ecuaciones.

El medio a estudiar puede esquematizarse como se indica en la figura G.1.

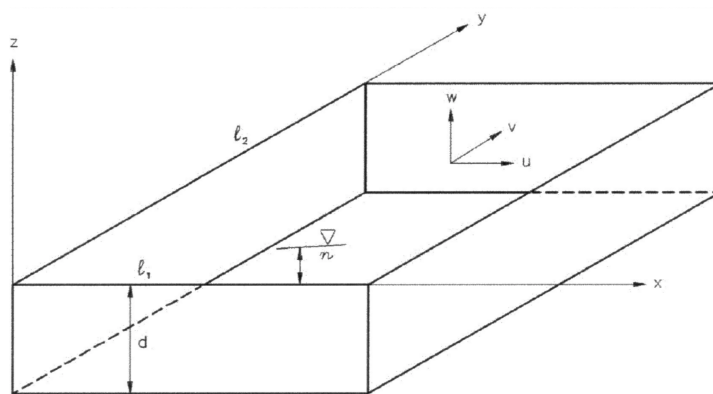


Figura G.1: Esquema de variables empleadas en el estudio de onda larga

Los periodos asociados a esta oscilación, en un tanque de oleaje de profundidad constante d , de lados l_x y l_y y con paredes totalmente reflejantes, pueden expresarse a través de la siguiente ecuación:

$$T_{n,m} = \frac{2}{\sqrt{gd}} \left[\left(\frac{n}{l_x} \right)^2 + \left(\frac{m}{l_y} \right)^2 \right]^{1/2}$$

En el caso simplificado de un canal de oleaje, donde sólo se produjera resonancia longitudinal

($m = 0$, $n = 1, 2, 3, \dots$), la ecuación se reduce a:

$$T_n = \frac{2l_x}{n\sqrt{gd}}$$

Grupos de olas

La generación del oleaje en el laboratorio es mediante el movimiento (giro, traslación o una combinación de ellas) de una pala rígida que se mueve, en general, con las características cinemáticas de la onda lineal. El campo de velocidades de las partículas de agua en contacto con la pala es el de ésta. Sin embargo, el perfil vertical de velocidades del oleaje sigue una función coseno hiperbólico. Este desajuste entre movimientos se compensa con la generación de modos evanescentes que, en general, desaparecen rápidamente (Figura G.2, (ROM 1.0-09, 2009)).

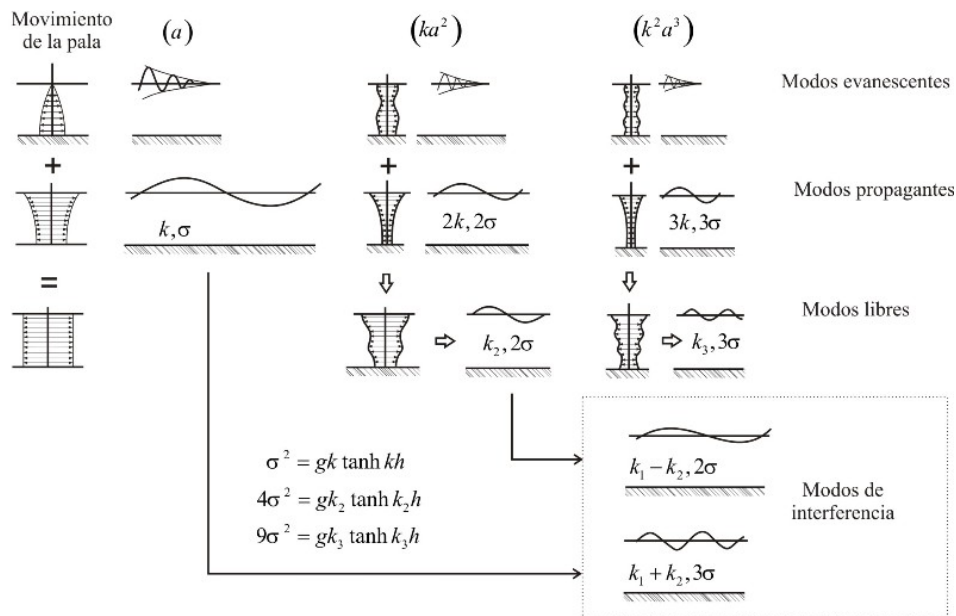


Figura G.2: Ondas generadas por una pala pistón

Además, cuando la generación se realiza en aguas intermedias y reducidas y el perfil de la onda se ajusta a una onda de Stokes II, con contenido energético en las frecuencias f y $2f$, se genera una onda vinculada al tren de ondas y los modos libres necesarios para compensar la falta de ajuste de la onda vinculada con el movimiento de la pala. El resultado es una onda parásita (cresta secundaria) que se propaga por el canal y que provoca una distorsión del perfil de onda, (ROM 1.0-09, 2009). Este efecto es tanto más importante cuanto mayor es el peralte de las olas generadas.

Finalmente, durante la generación de oleaje irregular en aguas someras se produce la interacción entre componentes cercanas que generan ondas largas vinculadas de frecuencia ($f_n - f_m$) que pueden llegar a afectar los resultados experimentales.

Estos efectos son más importantes cuanto mayor sea la altura de ola y más no lineal sea la señal generada. Por todo ello, se recomienda que, especialmente en los casos de los oleajes más severos, la generación del tren, regular o irregular, en el laboratorio incluya un movimiento compensatorio de la señal espúrea (modos libres) que altera el perfil de los trenes, su cinemática y dinámica, o, en su defecto, se realice un análisis de su importancia en los resultados experimentales.

G.3.6 Limitaciones

Los límites máximos de los modelos están marcados por el tamaño de las instalaciones, y los mínimos por los principios de similitud. Así, se debe asegurar un Número de Reynolds ($Re = \sqrt{gH_s}D_n/\nu$) lo suficientemente grande como para asegurar las condiciones de flujo turbulento en el medio poroso del modelo. Se recomienda cumplir los siguientes valores límite:

- Profundidad de agua $h > 5$ cm
- Altura de ola $H > 2 - 3$ cm
- Peralte del oleaje $H/L > 0,14 \tanh(kh)$
- Diámetro de áridos $D_n > 3 - 5$ mm
- Lado de pieza cúbica $D > 25$ mm

Generalmente se consideran escalas adecuadas para el estudio de la estabilidad las comprendidas entre 1:5 y 1:80, y para el estudio de las fuerzas sobre paramentos entre 1:10 y 1:50.

G.4 Análisis de datos

El fin último de la realización de ensayos en modelo físico es la obtención de datos con los que se puedan analizar el comportamiento del dique en estudio y sus modos de fallo. Las medidas se pueden dividir en:

- Medidas de la hidrodinámica.
- Medidas del daño (pérdida de piezas, erosión, fuerzas sobre paramentos, rebase...).

Las medidas hidrodinámicas (registro de la superficie libre o de la velocidad del flujo) se pueden analizar en el dominio del tiempo (análisis estadístico) o de la frecuencia (análisis espectral). Además, es importante realizar el análisis de la separación entre oleaje incidente y reflejado, para poder evaluar el comportamiento de la interacción entre el dique y el oleaje.

G.4.1 Análisis estadístico y espectral

El análisis estadístico permite caracterizar el oleaje a partir del registro temporal de la superficie libre. Realizando un método de pasos por cero, se obtiene un conjunto de alturas de ola y periodos de la muestra de N olas considerada, a través de la cual se definen, entre otros, los siguientes valores característicos:

- \bar{H} Altura de ola media

- H_{rms} Altura de ola media cuadrática
- H_{max} Altura de ola máxima
- H_s o $H_{1/3}$ Altura de ola significativa
- T_z Periodo medio

Por otro lado, el oleaje se puede caracterizar a través de un análisis espectral, en el que se define la energía que contiene cada componente frecuencial de la serie (espectro de energía). Para calcular los valores del espectro se utilizan las series de Fourier, pudiéndose simplificar el procedimiento mediante el empleo de la transformada rápida de Fourier (FFT).

Conocido el espectro se obtienen los parámetros espectrales asociados, que se calculan a partir de los diferentes momentos del espectro (Silva (2005)). Así, se pueden determinar, entre otros:

- H_{m0} Altura de ola de momento de orden cero
- H_{rms} Altura de ola media cuadrática
- T_{01} Periodo medio

Tanto para el análisis estadístico como para el espectral es recomendable que el registro tenga al menos 100 olas y que el intervalo de muestre sea de una décima a una vigésima parte del periodo significativo.

G.4.2 Separación del oleaje incidente y reflejado

Ubicación de sensores para la separación entre oleaje incidente y reflejado

La separación entre oleaje incidente y reflejado puede realizarse siguiendo varios métodos. En estas recomendaciones se recomienda el empleo del Método de Baquerizo (Baquerizo (1995)). Para su empleo, se necesita colocar un grupo de tres sensores de nivel delante de la sección, aunque no muy cerca de ésta para que no se vean afectados por la interacción entre el oleaje y el dique.

La separación entre dichos sensores ha de cumplir ciertas restricciones que dependen del periodo del oleaje ensayado. Debido a esto la separación entre sensores puede no ser constante a lo largo de todo el ensayo. En el caso de laboratorio con fondo variable, se recomienda colocar grupos de tres sensores en cada profundidad.

Para los ensayos en tanque de oleaje, con incidencia oblicua, se deberán disponer los sensores en estrella (véase Figura G.3).

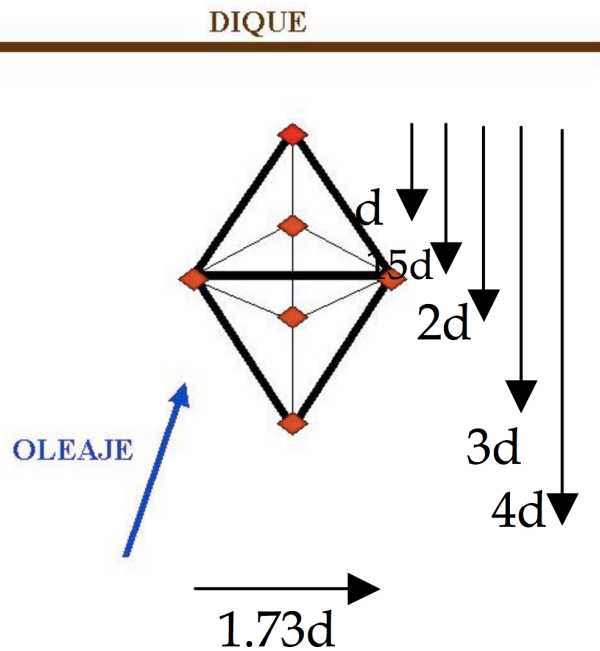


Figura G.3: Disposición en estrella para separación de oleaje incidente y reflejado en ensayos con incidencia oblicua

Análisis de la reflexión

El análisis de la reflexión se realiza aplicando el Método de Baquerizo previamente citado. El método proporciona las amplitudes complejas de las series incidente y reflejada: \overline{z}_I^j y \overline{z}_R^j . La evaluación del cociente entre ambas amplitudes proporciona un número complejo, $K_R(f)$, que contiene:

- el módulo del coeficiente de reflexión, K_R , dado por:

$$K_R = \frac{\sqrt{\left| \overline{z}_I^j \right|^2}}{\sqrt{\left| \overline{z}_R^j \right|^2}} \quad (\text{G.2})$$

- la fase de la reflexión, ϕ_R , de valor:

$$\phi_R = \text{arg} \left(\frac{\left| \overline{z}_I^j \right|}{\left| \overline{z}_R^j \right|} \right) \quad (\text{G.3})$$

Finalmente, sumando las series temporales incidente y reflejada, y regenerando la serie total se comprueba la bondad del método de separación.

Tras este análisis, se obtienen los siguientes resultados:

- Altura de ola total registrada en los sensores H_t
- Altura de ola incidente H_I
- Altura de ola reflejada H_R
- Coeficiente de reflexión: módulo K_R y fase ϕ_R

G.4.3 Análisis del daño

La medida del daño en diques granulares se realiza mediante métodos visuales o bien a partir de perfiladores (mecánicos, acústicos, láser) o bien mediante el uso de técnicas de análisis de imagen.

Medida visual y fotográfica

Para realizar la medida visual se recomienda pintar las piezas de distintos colores. Para que quede constancia de los datos de piezas desplazadas en cada ensayo se realizan fotografías del talud a lo largo del ensayo. El modo más sencillo de que las fotografías realizadas en los distintos ensayos sirvan como elemento objetivo de medida del daño es que aparezca en todas las imágenes un rectángulo de referencia que permita conocer la escala de la fotografía. De esta forma se puede obtener, por contraste entre los colores de las dos capas de manto, el área de daño en cada fotografía, y las distintas fotografías pueden ser ampliadas o reducidas de modo que sean comparables entre sí.

La fotografía se realiza de forma perpendicular al talud, y centrada en el rectángulo de referencia, para que el rectángulo no aparezca deformado en la imagen. La distancia focal es motivo de que el área de la imagen sufra deformaciones. Sin embargo, para fotografías de objetos situados sensiblemente en el mismo plano y distancias focales que no estén por debajo de los 35 mm, la distorsión es despreciable, por lo que se usa un objetivo con una distancia focal superior a los 35 mm.

Para una cámara reflex tradicional con película de 35 mm (el formato habitual de película), la mínima distancia necesaria de la cámara al plano del manto principal es:

$$\frac{f}{35}b$$

siendo b la anchura del rectángulo de referencia y f la distancia focal en milímetros.

El rectángulo de referencia comprende la zona limitada por las cotas $\pm 1,5H$ referidas al nivel medio en reposo, siendo H la altura de ola de inicio de avería. Esto corresponde a una altura del rectángulo de:

$$a = \frac{3H}{\sin \alpha}$$

siendo $cotga$ el talud del manto principal. Dado que la película de 35 mm tiene una relación anchura-altura de 1,5, que es la que suelen tener las cámaras digitales, se obtiene la anchura del rectángulo:

$$b = 1,5a$$

El rectángulo debe estar apoyado directamente sobre el talud y centrado en el nivel de agua en reposo. Este rectángulo puede ser de mayores dimensiones, siempre y cuando se le realicen marcas de referencia en todos los lados, mostrando las mencionadas altura y anchura de referencia, de modo que aparezcan en la imagen las escalas horizontal y vertical. Dichas marcas deben ser equidistantes del punto central en cada lado.

Medida con perfilador

Algunos laboratorios disponen de perfiladores con los que se mide el perfil de la sección cuando ha habido desplazamiento de piezas. Los perfiladores pueden ser acústicos, láser o mecánicos.

En todos los casos, el análisis del daño de los modos de fallo (erosión del lecho, pérdida de piezas de berma y talud, rebase, etcétera) debe incluir un método de evolución del daño siguiendo el modelo potencial propuesto por Castillo y col. (2012), tal y como se describe en el *Articulado*, apartado 2.4.

Referencias

- Baquerizo, A. (1995). “Reflexión del oleaje en playas. Métodos de evaluación y de predicción.” Tesis doctoral. Universidad de Cantabria (véase página 121).
- Benedicto, M. I. y Losada, M. A. (2002). *Influencia de la reflexión en la estabilidad y rebase de los diques en talud*. Informe técnico. Puertos del Estado (véase página 105).
- Castillo, M., Castillo, E., Fernandez-Castelli, A., Molina, R. y Gómez, R. (2012). “Stochastic Model for Damage Accumulation in Rubble-Mound Breakwaters Based on Compatibility Conditions and the Central Limit Theorem”. En: *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* 138.451-463 (véase página 124).
- Frostick, L. E., McLelland, S. J. y Mercer, T. G. (2011). *Users guide to physical modelling and experimentation: Experience of the HYDRALAB network*. CRC Press (véase página 105).
- Hughes, S. A. (1993). *Physical models and laboratory techniques in coastal engineering*. Volumen 7. World Scientific (véase página 105).
- Pérez, D. (2008). “Procesos hidrodinámicos en diques mixtos y efectos de escala”. Tesis doctoral. Universidad de Granada (véase página 109).
- ROM 1.0-09 (2009). *ROM 1.0-09. Recomendaciones del diseño y ejecución de las Obras de Abrigo*. Puertos del Estado. ISBN: 978-84-88975-73-7 (véase página 119).

Silva, R. (2005). *Análisis y descripción estadística del oleaje*. Universidad Nacional Autónoma de México (véase página 121).



**ESPECIFICACIONES PARA LA VERIFICACIÓN NUMÉRICA Y
APLICACIÓN DE CÓDIGOS NUMÉRICOS**

H.1.	.....	128
H.2.	.....	128
H.3.	.....	128
H.4.	.....	128

H.1

H.2

H.3

H.4

A N E J O 

**ESPECIFICACIONES PARA LA REALIZACIÓN DE CAMPAÑAS DE
CAMPO**

I.1.	.....	130
I.2.	.....	130
I.3.	.....	130
I.4.	.....	130

I.1

I.2

I.3

I.4