
Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos Ingeniería de Obras Marítimas

Introducción y Generalidades

Moñino A. & Clavero M.

Dpto. Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica
Universidad de Granada

[www](#)

[inicio](#)

◀◀ ◀ ▶ ▶▶

página 1 de 33

[fullscreen](#)

[salir](#)

Obras Marítimas

Nota 1.

- En función de las respuestas frente a la acción y de la forma de resistir dicha acción: obras marítimas fijas y flotantes. Las obras marítimas fijas pueden ser clasificadas adicionalmente en función de la interferencia en planta, la interferencia en alzado y la permeabilidad.
- En función del servicio que proporcionan: obras marítimas principales y auxiliares.

- Obras marítimas fijas: mantienen su posición fija con respecto al terreno, así como su forma. Se subdividen en:

Obras de gravedad El agente principal que confiere estabilidad a la obra es el peso de la misma.

Obras estructurales Las acciones sobre la obra se transmiten al terreno a través de elementos estructurales.

- Obras marítimas flotantes: cumplen su función encontrándose a flote o fondeadas.

Nota 2.

Las OM podrán ser principales o auxiliares. En el caso de OM principales, podrán ser fijas o flotantes. En el caso de OM principales fijas, podrán ser de gravedad o estructurales.

Clasificación de las obras marítimas principales fijas de gravedad:

- Diques de abrigo: rompeolas de escollera/prefabricados, verticales, mixtos, mixtos especiales.
- Protección y gestión del litoral: muros/revestimientos/taludes, espigones perpendiculares/exentos, paseos marítimos, protecciones de tubería submarina.
- Obras de atraque: muelles.
- Obras de amarre y fondeo: duques de alba.
- Plataformas exteriores: plataformas tipo “Ekofisk”

- Plataforma tipo Ekofisk



[www](#)

[inicio](#)

[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)

[página 5 de 33](#)

[fullscreen](#)

[salir](#)

Obras Marítimas Fijas y su Interferencia con el Oleaje

Nota 3.

El oleaje es el agente predominante sobre OM fijas. En función de las interacciones entre oleaje y obra se establece el régimen de acciones y se determinan las condiciones de fiabilidad, funcionalidad y operatividad de la OM frente al agente.

Interferencia en Planta

Obras de pequeño volumen ($L_{OM}/L \leq 1/7$) La acción del oleaje sobre la estructura induce formación de vórtices y estelas, y variación temporal del campo de velocidad. Por lo demás las obras son invisibles frente al oleaje.

Obras en régimen de difracción ($1/7 < L_{OM}/L < 2/3$) Predominan efectos de reflexión y difracción.

Obras en régimen de Froude–Krylov Se incluyen en el régimen de difracción. En ellas puede despreciarse la reflexión, pero no los efectos de separación del flujo.

Obras exteriores ($L_{OM}/L \geq 1$) En este tipo de obra se tiene como característica principal que las oscilaciones a barlomar y sotamar son independientes.

[www](#)[inicio](#)[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)[página 7 de 33](#)[fullscreen](#)[salir](#)

Ejemplo de acción del oleaje sobre obra de abrigo



[www](#)

[inicio](#)

[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)

[página 8 de 33](#)

[fullscreen](#)

[salir](#)

Interferencia en Alzado

Emergidas: La obra permanece emergida para cualquier condición de oleaje y marea.

Semi-sumergidas: La obra solamente se encuentra emergida para unos niveles de bajamar.

Sumergidas: La obra siempre permanece sumergida. El oleaje romperá o no sobre la misma en función del diseño.

[www](#)[inicio](#)[página 9 de 33](#)[fullscreen](#)[salir](#)

Interferencia por Permeabilidad

La tipología de dique vertical de hormigón se considera impermeable, mientras que la tipología de escollera se considera como parcialmente permeable, en el sentido de que pueden transmitir parte de la energía del oleaje hacia la región de sotamar. Para que la sección sea permeable debe cumplirse:

Transmisión de presiones a través de la sección Relación tamaño de huecos/tamaño de piezas granulares $s/D > 5 \Rightarrow$ la sección se comporta como permeable.

Transmisión de la energía a través de la sección Relación ancho de la sección/longitud de onda incidente $L_{bOM}/L > 1/100 \Rightarrow$ la energía incidente se disipa por fricción en el interior de la sección —supuesta permeable— y no hay transmisión a sotamar.

Obras Marítimas Flotantes

Ejemplo: monoboya de amarre



Ejemplo: pantalán flotante



Obras Marítimas Auxiliares

Ejemplo: cajonero



Infraestructuras Portuarias

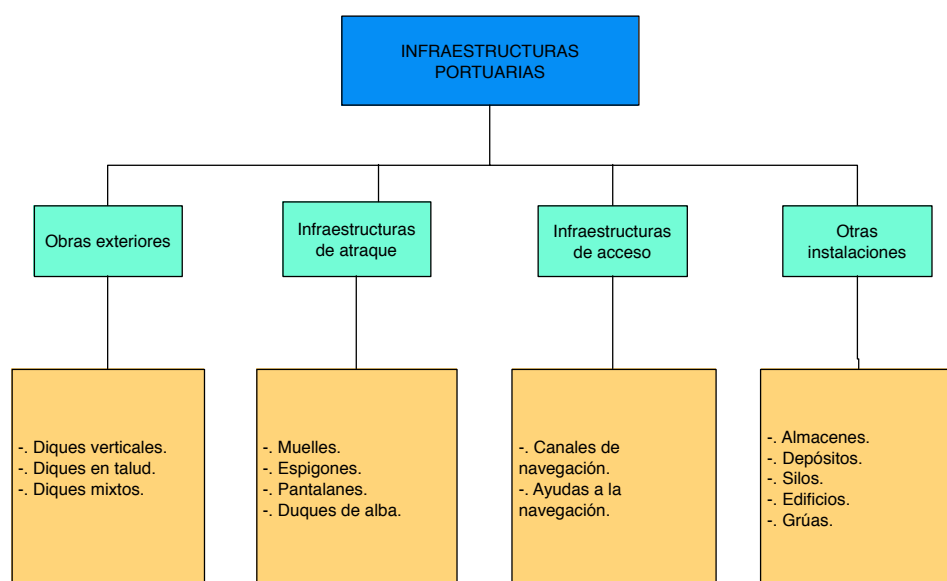
Nota 4.

Conjunto de obras civiles, mecánicas eléctricas y/o electrónicas, fijas o flotantes, construidas o instaladas en los puertos para facilitar el transporte y el intercambio modal.

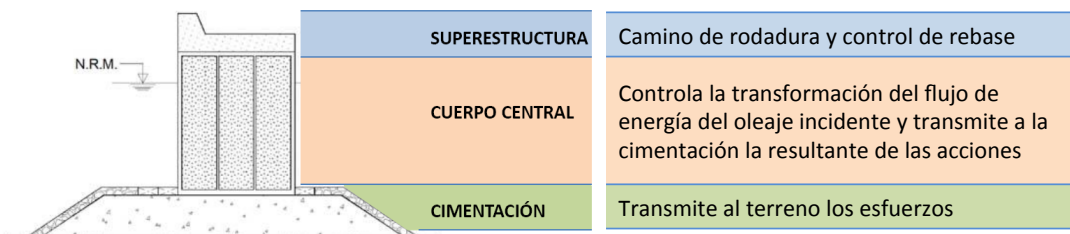
Tres grandes grupos de infraestructuras portuarias:

- Infraestructuras de acceso marítimo.
- Infraestructura de acceso terrestre.
- Infraestructuras para la transferencia de carga y el tránsito de pasajeros.

Clasificación de infraestructuras en instalaciones portuarias



Obras exteriores Proporcionan abrigo a las instalaciones frente a la acción del oleaje: diques en talud, verticales, mixtos.



- Dique de escollera



[www](#)

[inicio](#)

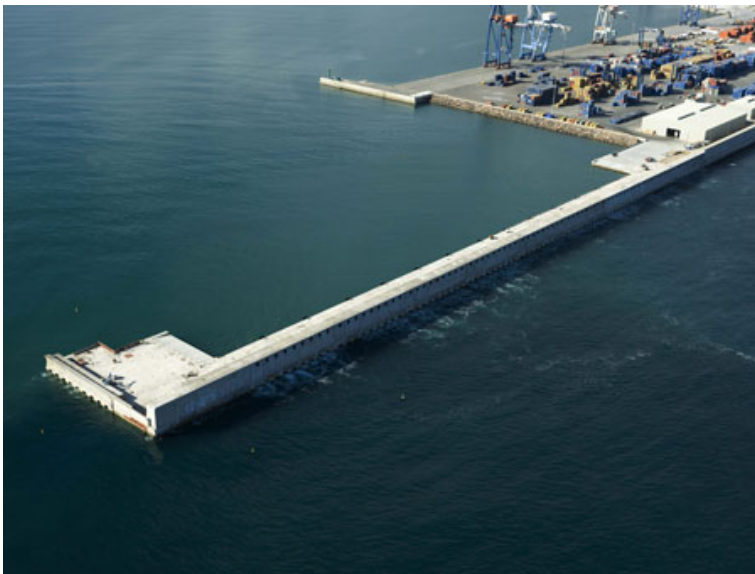
[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)

página 17 de 33

[fullscreen](#)

[salir](#)

- Dique vertical



[www](#)

[inicio](#)

[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)

página 18 de 33

[fullscreen](#)

[salir](#)

- Cajon para dique vertical



Infraestructuras de atraque y amarre Proporcionan al buque la fiabilidad, funcionalidad y operatividad necesarias para la permanencia en el puerto y para la realización de actividades relacionadas:

- Muelle: estructura fija que generalmente excede la eslora del buque amarrado. Se encuentra conectada a tierra total o parcialmente mediante rellenos en el trasdós de la estructura, dando lugar a la creación de explanadas.
- Pantalán: estructura fija o flotante, la cual conforma una línea de atraque continua o discontinua y atracable a uno o ambos lados. Puede estar conectado a tierra mediante prolongación de la estructura misma o mediante pasarelas o puentes.
- Duque de alba: estructuras asiladas, unidas a lo sumo entre ellas y con la costa mediante pasarelas.

- Pantalán en la refinería de Algeciras



[www](#)

[inicio](#)

[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)

página 21 de 33

[fullscreen](#)

[salir](#)

Tinglado o almacén portuario Lugar de la terminal de contenedores donde, tras la desconsolidación de los mismos, se produce el almacenamiento y custodia de las partidas de importación, así como el almacenamiento de las partidas de exportación previo a la consolidación de aquellos.

Depósitos Lugar/recipiente donde se deposita la mercancía. Depósitos francos: las mercancías importadas permanecen libres de derechos aduaneros hasta su exportación. Para el almacenamiento se establecen los contratos de depósito.

Silos Estructura cilíndrica de madera, metal u hormigón equipada con aparejo mecánico en la parte superior. Almacenamiento de grano —ciclo de acopio de la agricultura— y otros materiales a granel, otros usos.

[www](#)[inicio](#)[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)

página 22 de 33

[fullscreen](#)[salir](#)

Áreas Portuarias

Nota 5.

Zona abrigada frente a la acción de la dinámica marina, acondicionada con instalaciones y equipo que permite la acogida de buques, carga, descarga, almacenamiento de mercancías, recepción y entrega de las mismas al transporte terrestre, así como las actividades comerciales ligadas al transporte marítimo.

Funciones de un puerto:

- Comercial.
- Modal: intercambio entre modos de transporte.
- Marítima.
- Desarrollo.

Tipología de Puertos

- Puerto pesquero: se atienden las capturas y cuenta con instalaciones adecuadas a tal fin.
- Puerto deportivo: servicios de amarre para embarcaciones de recreo y actividades relacionadas —clubes, restaurantes, establecimientos comerciales, etc.—.
- Puerto comercial: centro de intercambio entre diferentes medios de transporte, áreas multifuncionales —comerciales e industriales— para tránsito, manipulación, manufactura y distribución de mercancías.

- Puerto pesquero (Cudillero)



[www](#)

[inicio](#)

[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)

página 25 de 33

[fullscreen](#)

[salir](#)

- Puerto deportivo (Seaport Village)



[www](#)

[inicio](#)

[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)

página 26 de 33

[fullscreen](#)

[salir](#)

Puertos Comerciales

Nota 6.

Los puertos comerciales son elementos de intercambio entre los diferentes medios de transporte, constituyendo asimismo áreas multifuncionales comerciales e industriales. En esos casos las mercancías no sólo están en tránsito, sino que son manipuladas, manufacturadas y distribuidas, formando parte de una cadena logística total.

Primera generación Medio de intercambio entre el transporte marítimo y terrestre. Características principales:

- Aguas abrigadas para refugio de buques.
- Operaciones de carga/descarga, almacenamiento, recepción y entrega, embarque/deseembarque de pasaje.
- Muelles, explanadas, depósitos, almacenes, tinglados, accesos terrestres —carretera, ferrocarril—.

[www](#)[inicio](#)[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)[página 28 de 33](#)[fullscreen](#)[salir](#)

- Puerto de Motril



[www](#)

[inicio](#)

[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)

[página 29 de 33](#)

[fullscreen](#)

[salir](#)

Segunda generación Centro de servicios para el transporte, la industria y el comercio. Características principales:

- Superficies portuarias que sirven como asentamiento de industrias.
- La manipulación de mercancías —esencialmente graneles— permite aumentar la producción y reducir costes.
- Requieren gran superficie de suelo.

[www](#)[inicio](#)

página 30 de 33

[fullscreen](#)[salir](#)

- Puerto de Gijón



Tercera generación Son un núcleo dinámico en la red de producción y distribución internacional. Características principales:

- Servicios de consolidación/desconsolidación de contenedores, servicios de distribución, etc.
- El puerto y las empresas asociadas promocionan directamente el comercio y el transporte, generando valor añadido sobre las mercancías.
- Polígonos industriales asociados.

- Puerto de Barcelona



[www](#)

[inicio](#)



página 33 de 33

[fullscreen](#)

[salir](#)

Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos Ingeniería de Obras Marítimas

Tipología de los Diques de Abrigo

Moñino A. & Clavero M.

Dpto. Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica
Universidad de Granada

www

inicio



página 1 de 43

fullscreen

salir

Introducción

Nota 1.

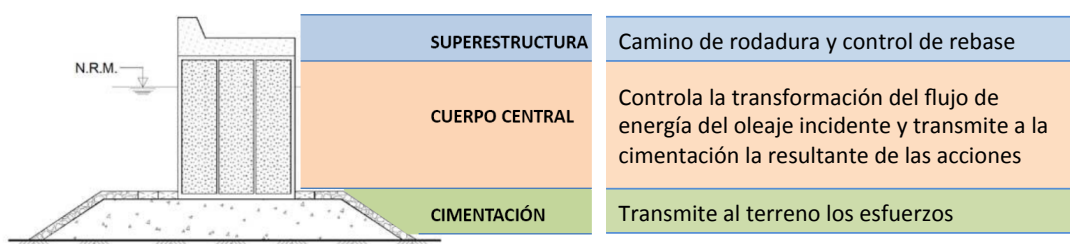
En general las zonas del puerto que deben quedar protegidas frente a la agitación excesiva son: bocana, canal de navegación y fondeadero.

- En el puerto se cuenta en general con un dique principal y un contradique al abrigo de aquel frente al oleaje dominante. Asimismo, la bocana del puerto debe ser tal que asegure anchura y orientación del canal de navegación aptos para permitir la entrada y salida de los mayores buques que atraquen en el puerto.

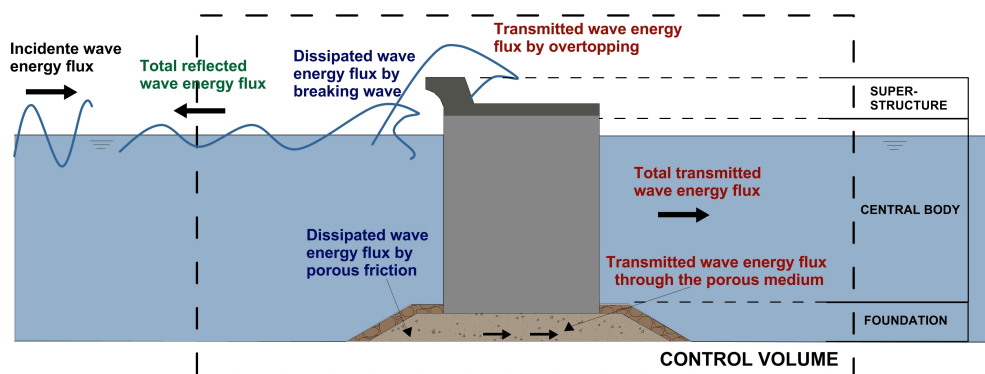
Partes de la Sección

Nota 2.

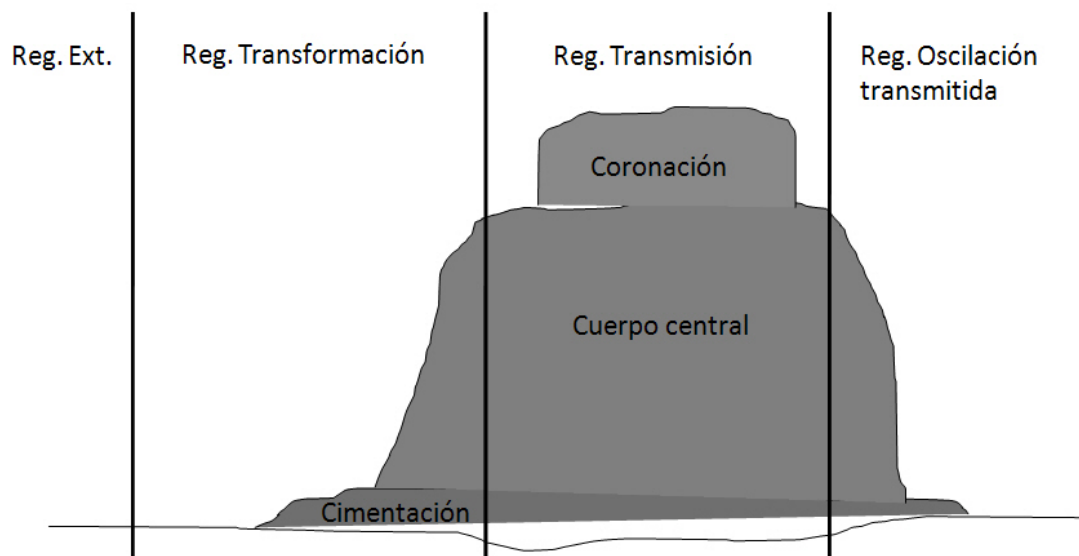
- De forma general la sección se divide en: cimentación, cuerpo central, superestructura.



- Interacción oleaje-dique:



- Regiones de interacción:

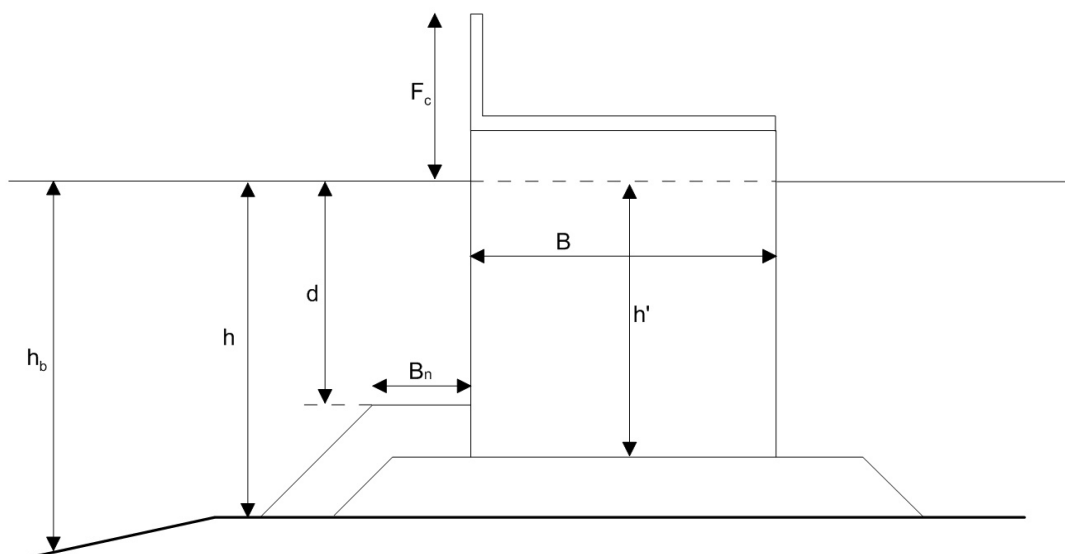


Dique Vertical

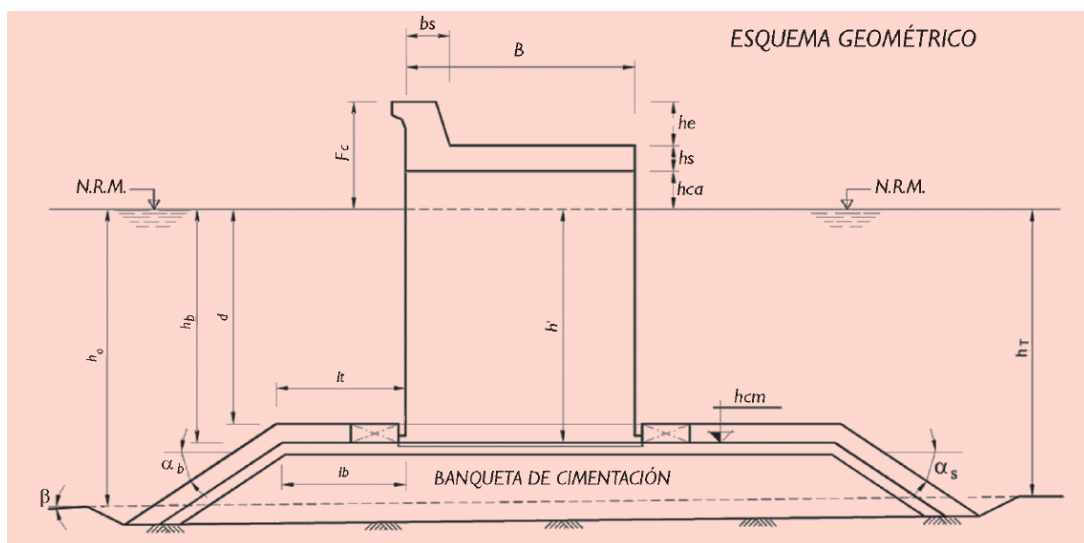
Nota 3.

- Cajeados.
- Cuerpo central.
- Camino de rodadura.
- Botaolas.
- Dique vertical → diseñado para solicitud a oleaje estacionario o parcialmente estacionario sin rotura.

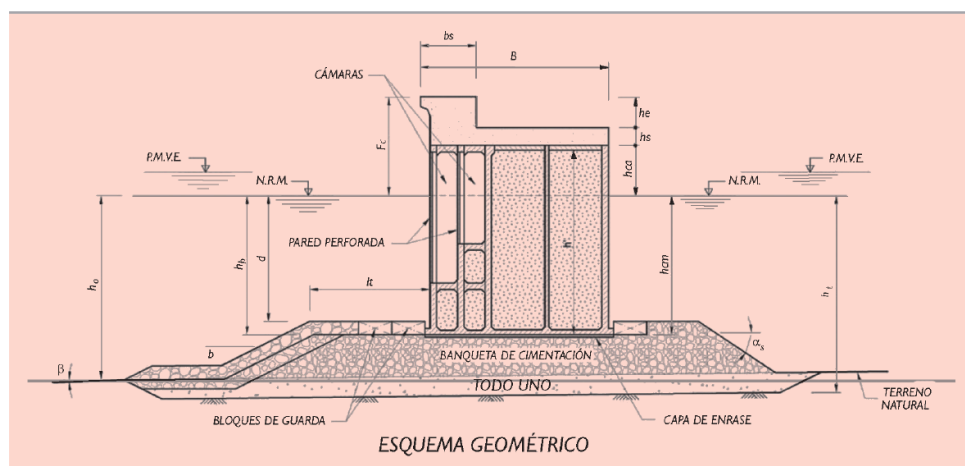
- Parámetros geométricos en dique vertical:



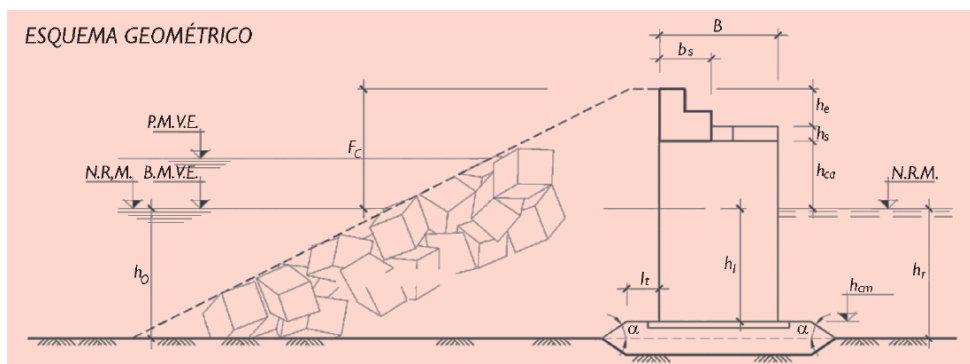
- Esquema de dique vertical, ROM 1.0 (2010):



- Dique vertical con paramento especial, ROM 1.0 (2010):



- Dique vertical con manto de protección, ROM 1.0 (2010):



Requisitos Básicos

Nota 4.

Parámetros geométricos principales: francobordo F_c ; anchura del cajón B ; anchura de berma B_n , profundidad a pie de dique h ; profundidad sobre la berma d ; altura de ola incidente H_I ; altura de ola a pie de dique y en presencia de él H_* ; longitud de onda L .

[www](#)[inicio](#)[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)[página 12 de 43](#)[fullscreen](#)[salir](#)

- Valores iniciales:

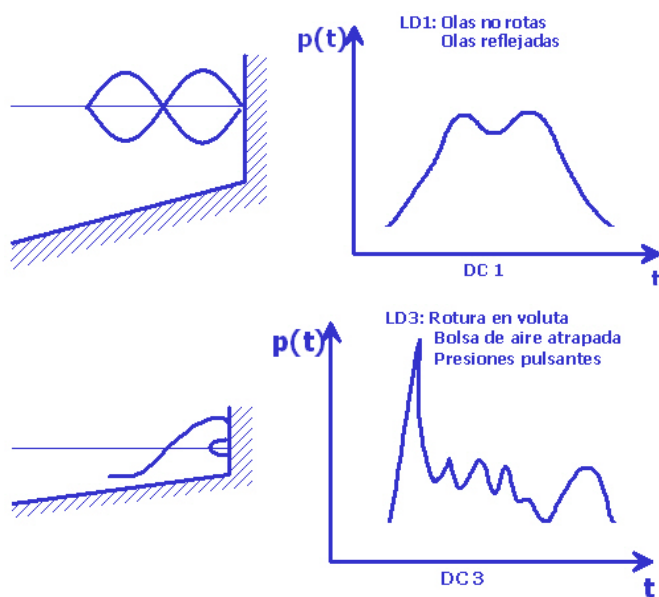
$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{h} \geq 0.85 \\ \frac{B_n}{L} < \frac{1}{20} \\ H_* \simeq (1 + K_R) H_I \end{array} \right. \quad (1)$$

- Criterio de rotura para onda parcialmente estacionaria:

$$\frac{H_I}{L} \leq \left(0.11 + 0.03 \frac{1 - K_R}{1 + K_R} \right) \tanh kh \quad (2)$$

Presiones

- Esquema de dique vertical, ROM 1.0 (2010):



Criterios Generales de Clasificación

- Según características hidráulicas del material y relación B/L :
 - Diques impermeables $\rightarrow B/L > 1/100 \rightarrow K_R \simeq 1$.
 - Diques permeables $\rightarrow B/L < 1/100 \rightarrow K_R < 1 \rightarrow$ paramento permeable y transmisión de parte de la energía incidente.
- Según cociente relativo F_c/H :
 - Diques no rebasables.
 - Diques rebasables $\rightarrow$ la energía se transmite parcialmente por encima de la estructura.

Predimensionamiento

- En diques verticales irrebasables e impermeables se asume reflexión perfecta.
- Anchura mínima inicial $B \simeq H_*$. Si la probabilidad de rotura sobre el paramento no es despreciable, entonces comenzar con $B \simeq 1.5H_*$.

Nota 5.

Altura de ola H_* a pie de dique y en presencia de él $\rightarrow$ debe adoptarse el valor:

$$H_* \simeq 2H_I \simeq 2(1.6 \sim 1.8)H_{sI} \simeq (3.2 \sim 3.6)H_{sI} \quad (3)$$

donde H_{sI} es la altura de ola significativa incidente.

[www](#)[inicio](#)[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)[página 16 de 43](#)[fullscreen](#)[salir](#)

Procedimiento Constructivo

Nota 6.

Proceso constructivo de un dique vertical $\rightarrow$ dragado, sustitución, macadam, estructura, superestructura.

- Dragado del material de mala calidad de la cimentación —sustitución por todo uno de entre 5 y 50 $\sim$ 100 *kg*— dejando pendientes laterales 7 : 1 para garantizar la estabilidad. Simultáneamente se rellena con tongadas de espesores 0.3 $\sim$ 0.5 *m* y de anchura $\sim$ 10 *m*.
- Material de enrase —macadam 0.03 $\sim$ 0.05 *m*; banquetta de enrase—.
- Colocación de cajones.
- Hormigonado in situ de la superestructura.
- Berma de protección de la cimentación.

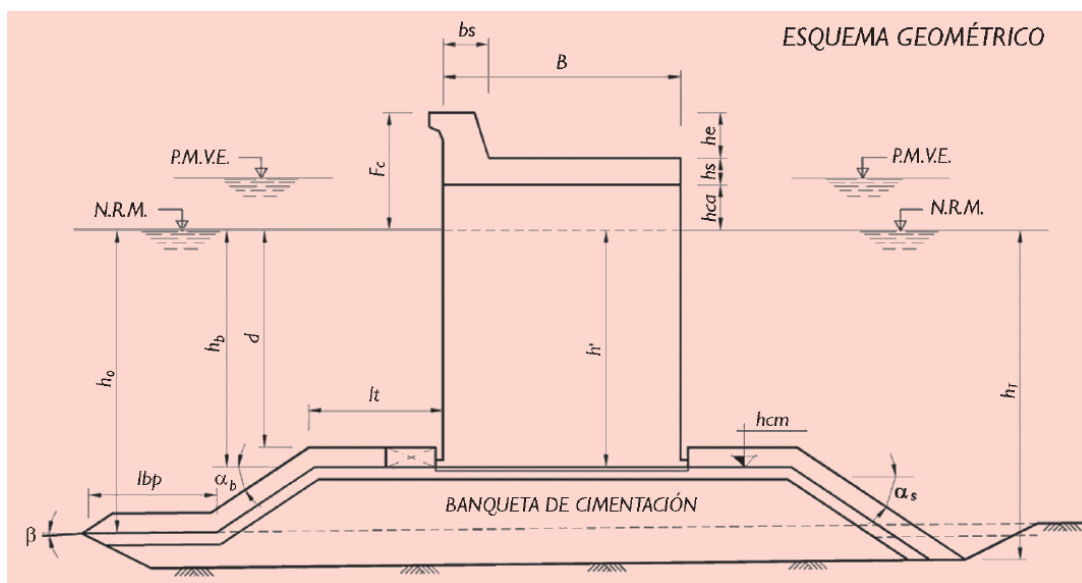
Dique Mixto

Nota 7.

La protección frente al oleaje se reparte entre el tramo inferior y el cuerpo central. Éste último se extiende además por encima de la superficie libre para proporcionar los servicios de infraestructura. Las principales variaciones respecto al dique vertical son:

- La cota de coronación de la cimentación aumenta.
- El cuerpo central se reduce.
- Se dispone de un manto de protección.

- Esquema de dique mixto, ROM 1.0 (2010):

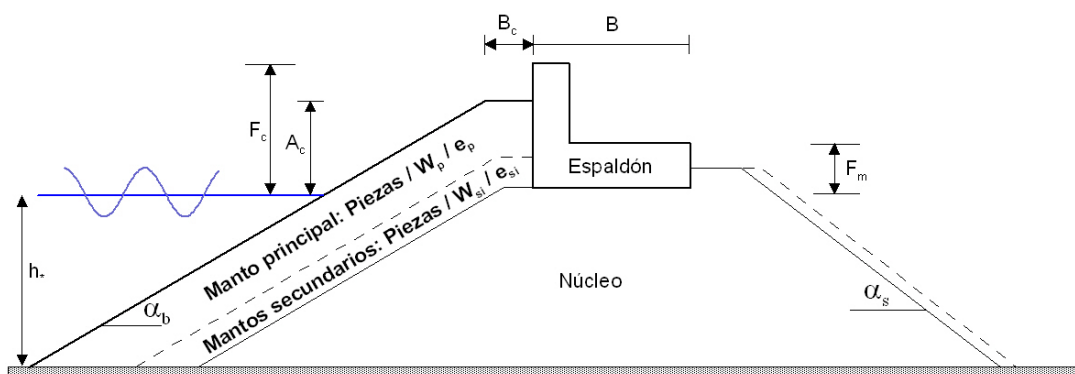


Dique en Talud

Nota 8.

- Núcleo: todo uno de cantera con peso entre 5 ~ 25 y 100 *kg* sin finos.
- Mantos principal y secundarios: descansan sobre el núcleo y poseen la principal capacidad portante de la estructura.
- Espaldón: servicio, protección frente al rebase. Los mantos apoyan sobre el espaldón.

- Parámetros geométricos en dique vertical:



Requisitos Básicos

Nota 9.

Dique en talud $\rightarrow$ abriga frente a cualquier régimen de oleaje: olas sin romper, en rotura, o completamente rotas. Se recomienda —siempre que sea posible— utilizar piedra natural para la construcción del manto principal.

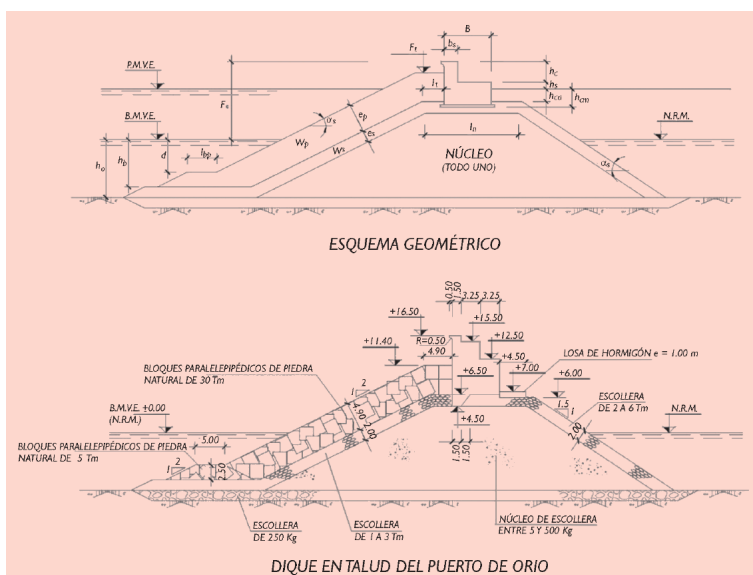
- Ángulo α del talud de barlomar $\rightarrow$ en el intervalo $1.5 \leq \cot \alpha \leq 3.0$
- Piezas artificiales $\rightarrow$ uso recomendado de piezas cúbicas o ligeramente paralelepípedicas — $a \times a \times 1.3a$ — de hormigón en masa. Los taludes deben cumplir: $1.5 \leq \cot \alpha \leq 2.0$.

- Piezas artificiales cúbicas o paralelepédicas $\rightarrow$ peso preliminar:

$$\frac{W}{\gamma_w R_s H_*^3} \gtrsim 0.02 \rightarrow R_s = \frac{S_s}{(S_s - 1)^3}; S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (4)$$

- Berma de pie $\rightarrow$ estabilidad, protección de terreno y cimentación, apoyo de mantos.
- Funcionamiento como parcialmente reflejante o como disipativo. Transmisión de energía a sotamar por rebase o a través de la cimentación. La transmisión puede llegar a ser importante si no se construyen mantos que actúen como filtro.

- Dique en talud con tipología de Iribarren, ROM 1.0 (2010).:



www

inicio

◀ ◻ ▶ ▶▶

página 25 de 43

fullscreen

salir

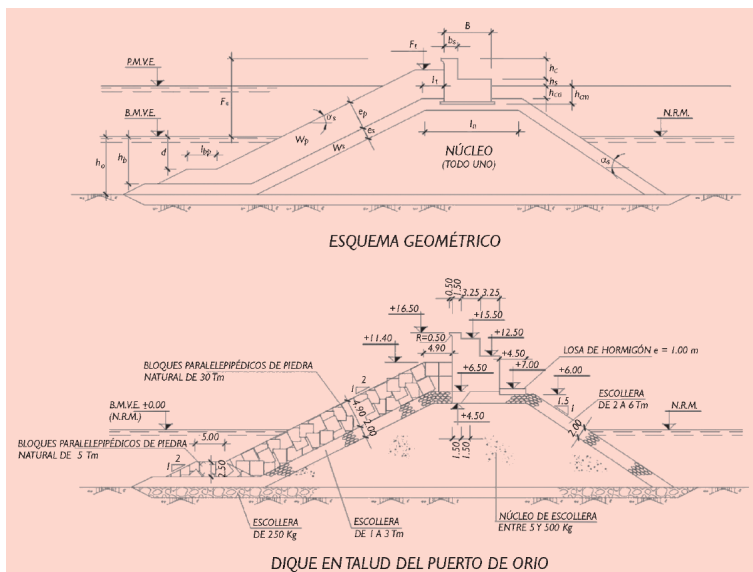
Dimensiones de la Superestructura

Nota 10.

Las dimensiones del espaldón pueden influir sobre el control del flujo de energía:

- Superestructura de pequeñas dimensiones y nivel en el que la acción del oleaje es despreciable.
- Superestructura de grandes dimensiones → controla una parte importante de la energía incidente. Su construcción se facilita apoyándola por encima de la bajamar, disponiendo en tal caso de tacones o zarpas. En caso de que se apoye por debajo de la bajamar, el dique se asemeja a un dique mixto con manto de protección.

- Dique en talud con tipología de Iribarren, ROM 1.0 (2010):



www

inicio

◀ ◻ ▶ ▶▶

página 27 de 43

fullscreen

salir

- Con espaldón $\rightarrow$ dique irrebasable para cotas de coronación de manto principal y espaldón cumpliendo la condición:

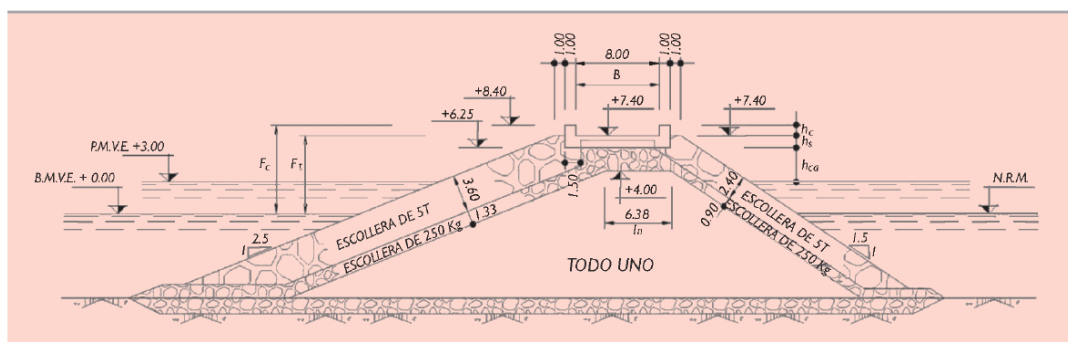
$$\begin{cases} F_t \gtrsim 0.6H_* \\ F_c \gtrsim 1.0H_* \end{cases} \quad (5)$$

- Sin espaldón $\rightarrow$ dique irrebasable para cota de coronación de manto principal:

$$F_t \gtrsim 0.9H_* \quad (6)$$

[www](#)[inicio](#)[página 28 de 43](#)[fullscreen](#)[salir](#)

- Dique en talud con camino de rodadura, **ROM 1.0** (2010):



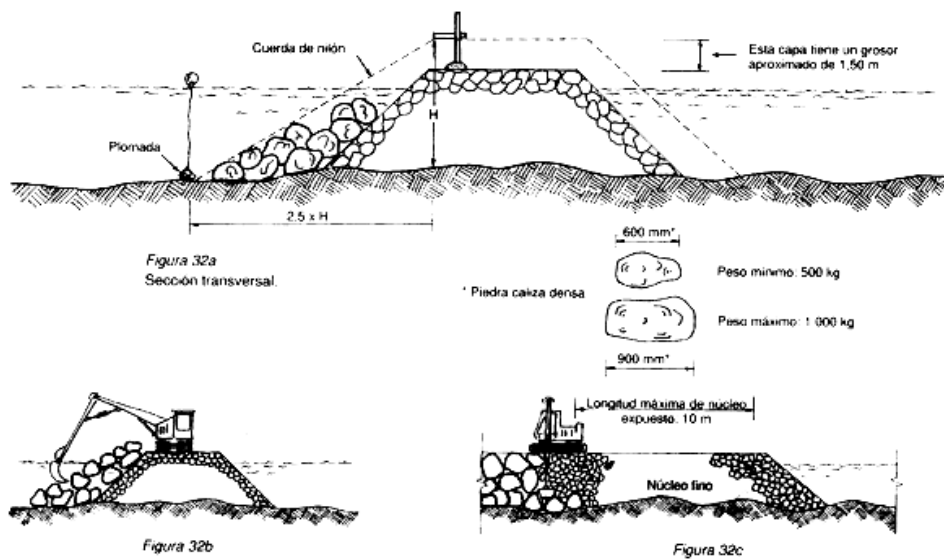
Procedimiento Constructivo

Nota 11.

- El manto principal suele estar constituido por cubos de hormigón.
- Los cubos se fabrican en tierra en plantas destinadas a tal efecto, donde se apilan y se almacenan.
- La puesta en obra se efectúa mediante grúa. Por tanto, la grúa es un factor limitante en el procedimiento constructivo.
- La grúa debe tener una vía de rodadura mínima de $3 \sim 4 \text{ m}$ de anchura. El tonelaje se sitúa en $1000 \sim 2000 \text{ Tm}$. Para grúas de $3000 \sim 6000 \text{ Tm}$ se requiere una vía de rodadura mínima de 7 m .

- Construcción desde tierra → tajos simultáneos: zanja o cajeado, núcleo todo uno, bloques de protección, banquetas de enrase en coronación para cimentar espaldón.
- La construcción del núcleo se realiza mediante vertido, ya sea comenzando desde tierra o con barcazas y camiones una vez que haya emergido. Conforme el núcleo avanza se colocan los mantos. La coronación se puede cerrar con los propios mantos —dique sin superestructura— o se puede situar el espaldón.
- Unión del núcleo y los mantos —sistema granular, deformable y permeable— con el espaldón —superestructura rígida, indeformable e impermeable— → banquetas de enrase.
- Los mantos no se deben apoyar sobre el terreno cuando éste no ofrece suficiente calidad. En tal caso se procura que los mantos superiores apoyen sobre los inferiores.
- Espesor mínimo de los mantos: 0.5 m.

- Procedimiento de avance:



- Procedimiento de avance, *Guía de Buenas Prácticas* (2008):



- Procedimiento de avance:



[www](#)

[inicio](#)

[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)

página 35 de 43

[fullscreen](#)

[salir](#)

- Bloque de protección:



[www](#)

[inicio](#)

[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)

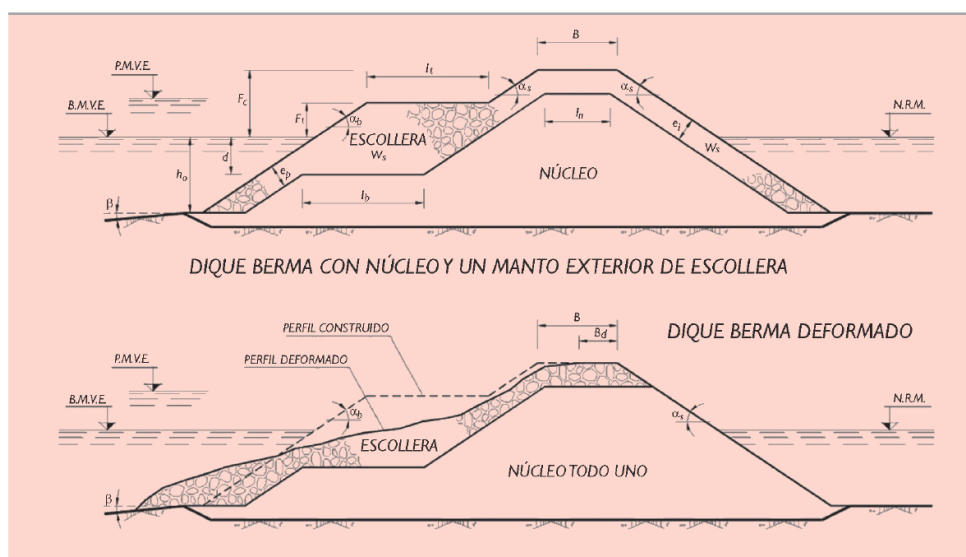
página 36 de 43

[fullscreen](#)

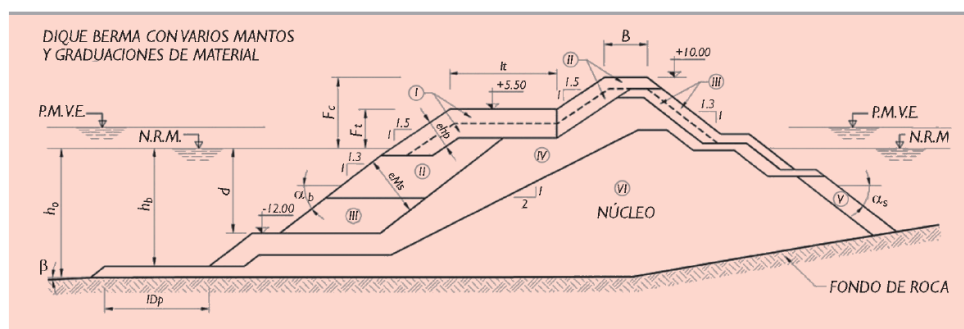
[salir](#)

Dique Berma

- Dique berma construido y posteriormente deformado, ROM 1.0 (2010):

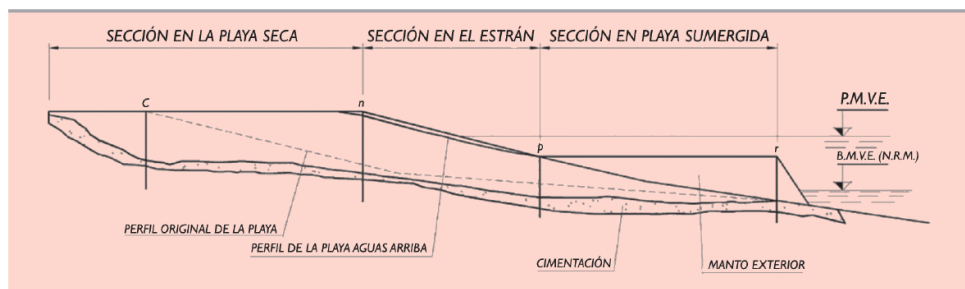


- Dique berma con mantos de escollera, ROM 1.0 (2010):

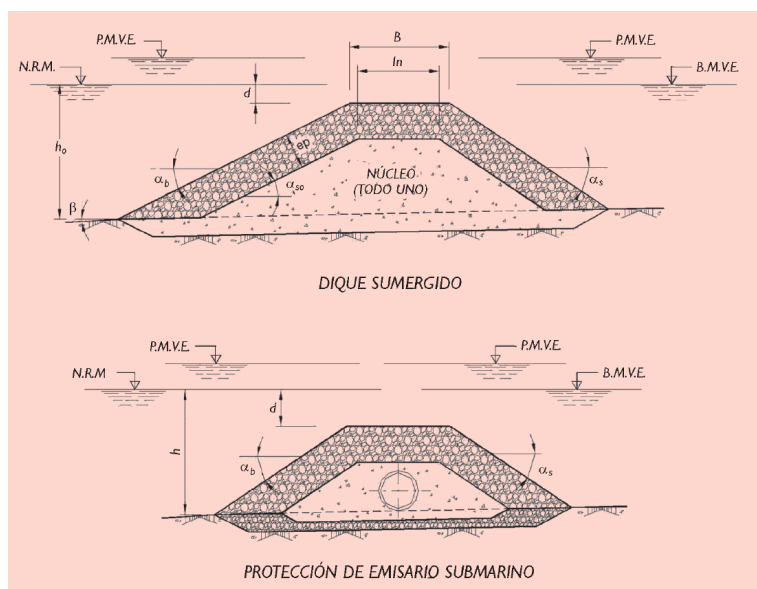


Dique Sumergido

- Dique de escollera: espigón de playa, **ROM 1.0** (2010):

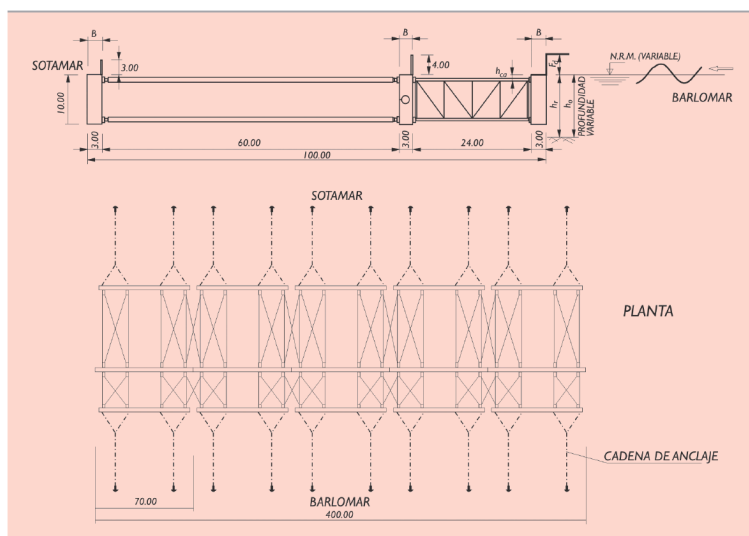


- Dique sumergido en talud, ROM 1.0 (2010):

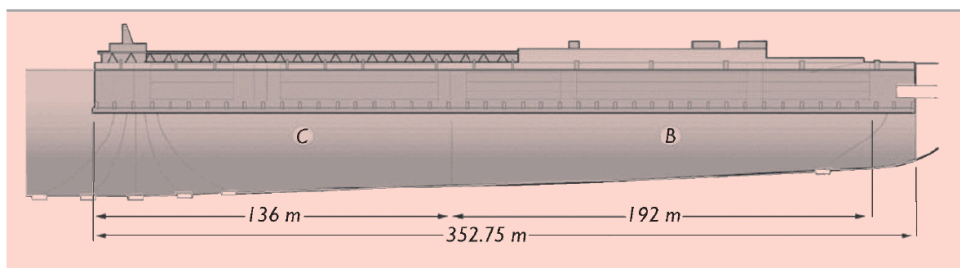


Dique Flotante

- Dique flotante, ROM 1.0 (2010):



- Dique flotante de grandes dimensiones, ROM 1.0 (2010):



Referencias

- Dizy A. & Mey R (Ponentes), 2008. Guía de Buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas. Puertos del Estado. 327p.p. i.s.b.n. 978 – 84 – 88975 – 68 – 6.
- Losada M. A. (Ponente), 2001. ROM 0.0 Procedimiento General y Bases de Cálculo en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias. Parte I. Puertos del Estado. 220 p.p. i.s.b.n. 84 – 88975 – 30 – 9.
- Losada M. A. (Ponente), 2010. ROM 1.0-09 Recomendaciones del Diseño y Ejecución de las Obras de Abrigo. Parte I. Bases y Factores para el Proyecto. Agentes Climáticos. Puertos del Estado. 532 p.p. i.s.b.n. 978 – 84 – 88975 – 73 – 7.

Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos Ingeniería de Obras Marítimas

Interacción entre la Sección del Dique y las Oscilaciones del Mar

Moñino A. & Clavero M.
Dpto. Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica
Universidad de Granada

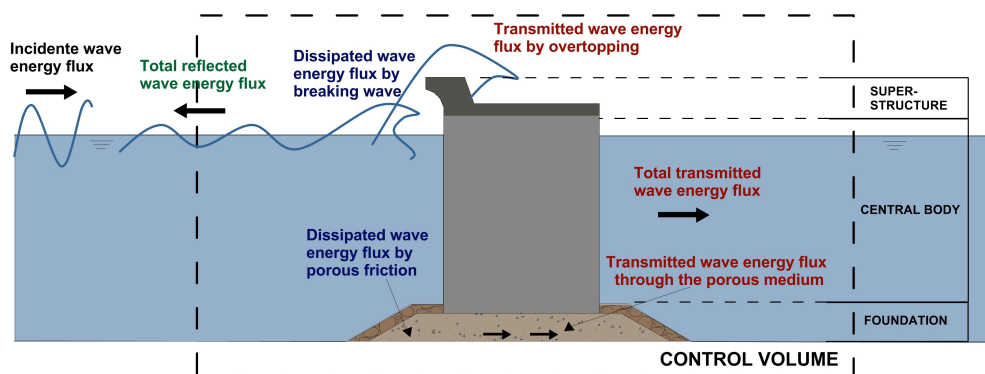
[www](#)[inicio](#)

página 1 de 23

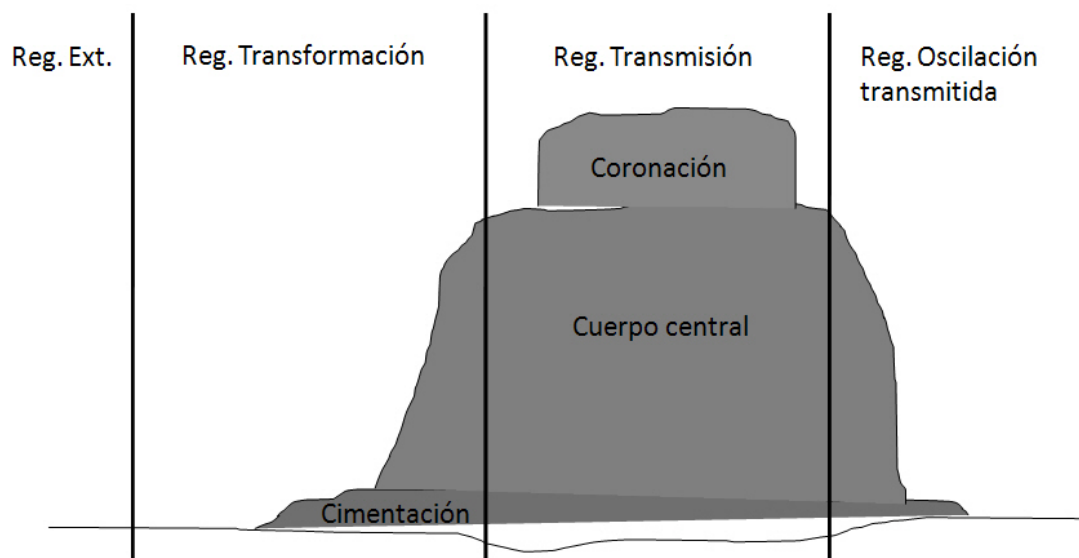
[fullscreen](#)[salir](#)

Introducción

- Interacción oleaje-dique:



- Regiones de interacción:



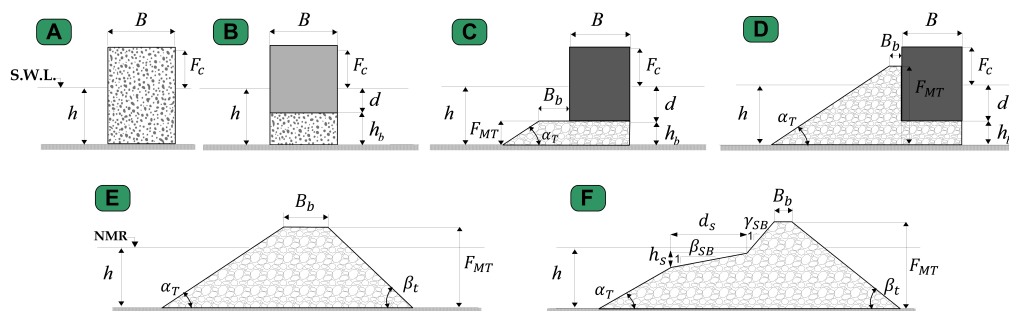
Interacción entre la Sección y la Dinámica del Medio Marino

Nota 1.

Balance energético del oleaje incidente sobre el dique → depende tanto de los elementos de la tipología como de la naturaleza de los materiales:

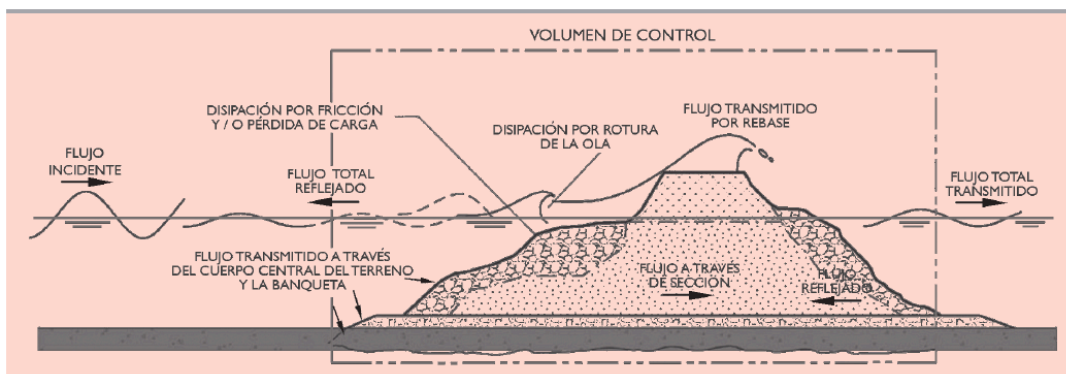
- Forma del dique y geometría de sus diferentes partes.
- Tipos de material que lo constituyen.

- Influencia de la sección sobre el proceso de interacción:



Flujo de Energía

- Volumen de control, ROM 1.0 (2010):



- Flujo de energía incidente:

$$f_{eI} = E_I C_{gI} = \frac{1}{8} \rho g H_I^2 C_{gI} \quad (1)$$

- Flujo de energía reflejada:

$$f_{eR} = E_I C_{gR} = \frac{1}{8} \rho g H_R^2 C_{gR} \quad (2)$$

- Flujo de energía transmitida:

$$f_{eT} = E_I C_{gT} = \frac{1}{8} \rho g H_T^2 C_{gT} \quad (3)$$

Nota 2.

Teoría Lineal $\rightarrow$ la transformación del oleaje no supone un cambio en el periodo de la onda.

No hay cambio de profundidad entre barlomar y sotamar $\rightarrow$ número de onda $k_I = k_R = k_T \equiv k$ y $C_{gI} = C_{gR} = C_{gT} \equiv C_g$.

- Balance de energía:

$$f_{eI} - f_{eR} - f_{eT} - D'_* = 0 \quad (4)$$

- Coeficientes de reflexión, transmisión, disipación:

$$\begin{cases} K_R = \frac{H_R}{H_I} \\ K_T = \frac{H_T}{H_I} \\ D_* = \frac{D'_*}{f_{el}} \end{cases} \quad (5)$$

- Balance de energía:

$$K_R^2 + K_T^2 + D_* = 1 \quad (6)$$

Influencia de los Elementos de la tipología

Nota 3.

Los diferentes aspectos de la tipología influyen en los procesos de reflexión, transmisión y disipación del oleaje incidente sobre el dique.

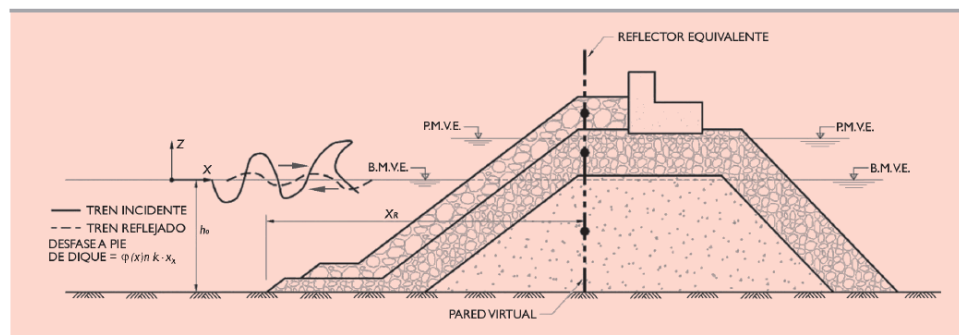
En los elementos de la tipología se incluyen:

- Los elementos geométricos del dique —dique en talud, vertical o mixto, banquetta, cimentación, etc...—.
- Los materiales que lo constituyen —dique impermeable, material granular, etc...—.

Reflexión

Nota 4.

Reflexión → proceso esencialmente lineal que depende de las características geométricas —profundidad, pendiente del talud— e hidráulicas —porosidad, permeabilidad, fricción equivalente, rugosidad— de la sección del dique y su contorno.



Transmisión

Nota 5.

Transmisión a la región de sotamar $\rightarrow$ rebase, a través del cuerpo central —diques granulares—, y a través del terreno y cimentación —diques permeables—.

- Rebase $\rightarrow$ depende del francobordo relativo F_c/H_* .
- Permeabilidad $\rightarrow$ propiedades hidráulicas del medio y de la anchura con respecto a la longitud de onda incidente —expresada en la forma kB o B/L —.

Nota 6.

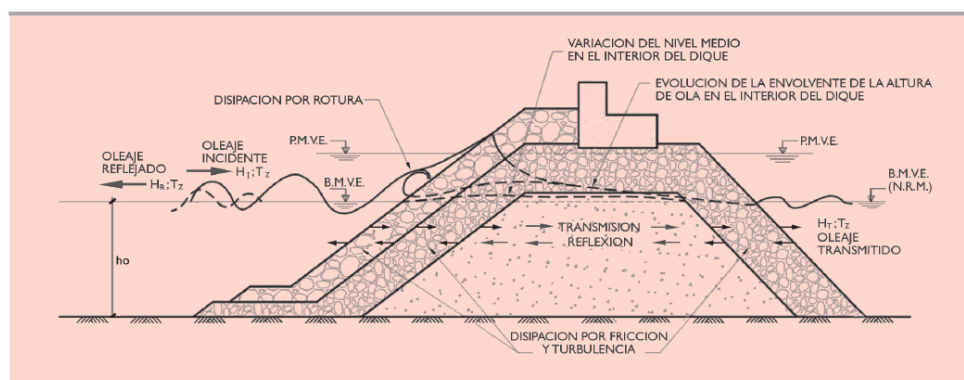
La permeabilidad o impermeabilidad de la obra puede lograrse por la combinación de diferentes materiales y diferentes dimensiones de la sección. Requerimientos para sección permeable:

- Porosidad del dique tal que $D_{huecos}/D_{solidos} \gtrsim 5$.
- Anchura relativa a longitud de onda tal que $B/L \lesssim 1/100$.

Disipación

Nota 7.

Disipación → rotura, fricción en los contornos e interior del medio a través del cual se propaga la onda.



- Mecanismos más eficientes → rotura por decrestamiento y por voluta, a través de los cuales se logra disipar $\sim 90\%$ de la energía. Las roturas en colapso y oscilación no logran disipar más de $\sim 60\%$ de energía.
- Energía residual → se invierte en reflexión, disipación interna, fricción o la transmisión a sotamar.
- Rotura de la ola → aumento de peralte al propagarse sobre el talud. El tipo de rotura en talud se identifica a través del número de Iribarren.

- Disipación por rotura en decrestamiento → semejanza con el resalto hidráulico.
- Rotura en voluta, colapso, oscilación → el proceso de disipación es muy complejo y de difícil cuantificación. Una forma de proceder es resolver la conservación de la energía toda vez que se han evaluado los flujos reflejado y transmitidos en el volumen de control.
- Disipación por fricción → régimen hidráulico del flujo a través de la región porosa:
 - Régimen laminar → disipación proporcional al cuadrado de la velocidad del flujo con respecto a los elementos del medio.
 - Régimen turbulento → disipación proporcional al cubo de la velocidad.

Altura de ola a pie de dique

- Altura de ola H_* a pie de dique y en presencia del mismo $\rightarrow$ geometría del dique y desfase entre oleaje incidente y reflejado.
- En general $H_* = \mu H_I$, siendo μ un coeficiente que cuantifica la magnitud de la interferencia lineal entre los trenes incidente y reflejado.

Nota 8.

Para un dique vertical impermeable e irrebasable construido sobre fondo horizontal, se produce una onda estacionaria que supone $\mu \simeq 2$. Si el dique es rebasable y la impermeabilidad no es completa se tiene $\mu < 2$. Si el dique tiene una berma y la ola puede romper sobre la misma, puede ocurrir el caso $\mu > 2$. Si se trata de un dique en talud con tipología Iribarren se tiene $0 \leq \mu \leq 2$.

Talud, Rugosidad y Porosidad

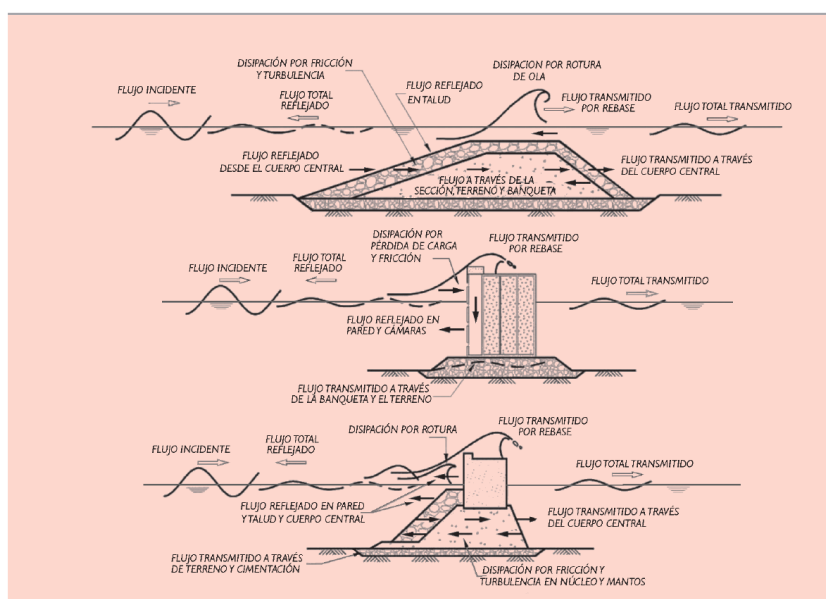
- Pendiente del talud tal que $I_r \geq 2.3 \rightarrow$ peraltado de la onda y reflexión parcial $\rightarrow$ rotura en colapso u oscilación con reflexión 35 % $\sim$ 85 %.
- Disipación sobre contornos del dique $\rightarrow$ puede mejorarse disponiendo elementos de rugosidad de altura variable y distribución irregular sobre la coronación o en el fondo a barlomar.
- Disipación a través del cuerpo central $\rightarrow$ puede aumentarse mediante paredes porosas o ranuradas, las cuales aumenten el recorrido del flujo durante su propagación.

Variaciones sobre la Sección

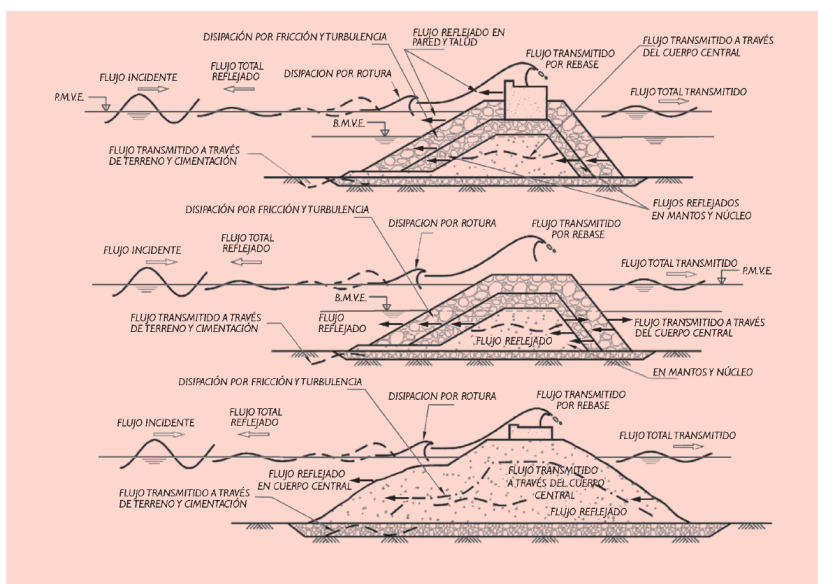
Nota 9.

El control y transformación de la energía a través del dique se puede lograr mediante el diseño de elementos diferentes dispuestos con distintas configuraciones. De ese modo se logra el predominio de unos procesos de transformación frente a otros.

- Variaciones sobre la sección en un dique de abrigo, ROM 1.0 (2010):



- Variaciones sobre la sección en un dique de abrigo, ROM 1.0 (2010):



- Construcción de dique sumergido con anchura B y coronación a profundidad d . El material puede ser natural —escollera— o artificial —hormigón—.
- En caso de nivel de protección insuficiente para la tipología previa, sobre el dique se puede colocar un cajón impermeable prefabricado de pared vertical con moderada emergencia → dique mixto.
- Exceso de energía reflejada → modificaciones sobre la pared de barlomar.
- Material granular insuficiente → extensión del cajón hasta el fondo → dique vertical.
- En ocasiones es recomendable recurrir a una tipología nueva mejor que a la tradicional.

Referencias

- Losada M. A. (Ponente), 2001. ROM 0.0 Procedimiento General y Bases de Cálculo en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias. Parte I. Puertos del Estado. 220 p.p. i.s.b.n. 84 – 88975 – 30 – 9.
- Losada M. A. (Ponente), 2010. ROM 1.0-09 Recomendaciones del Diseño y Ejecución de las Obras de Abrigo. Parte I. Bases y Factores para el Proyecto. Agentes Climáticos. Puertos del Estado. 532 p.p. i.s.b.n. 978 – 84 – 88975 – 73 – 7.

Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos Ingeniería de Obras Marítimas

Criterios de Selección de Tipología en Diques de Abrigo

Moñino A. & Clavero M.

Dpto. Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica
Universidad de Granada

[www](#)

[inicio](#)

◀◀ ◀ ▶ ▶▶

página 1 de 25

[fullscreen](#)

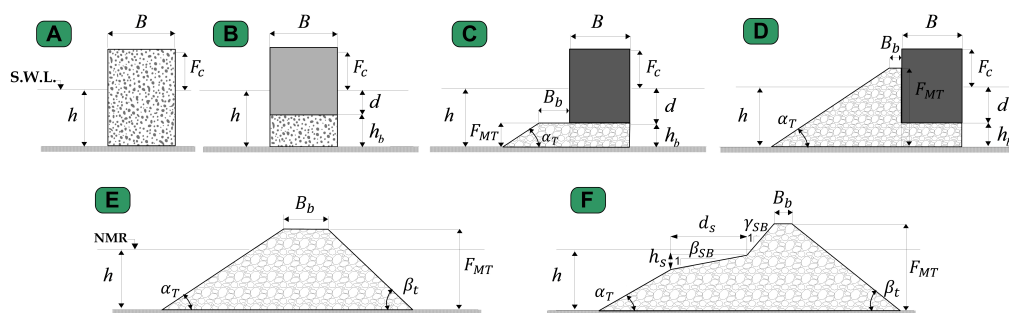
[salir](#)

Planteamiento

Nota 1.

Selección de la tipología → en base a criterios geométricos → afectan a la forma de resistir la acción del oleaje.

Las tipologías fundamentales admiten variaciones para adaptar la respuesta de la obra frente a los agentes del medio y a los requerimientos del proyecto.



Criterios de Selección

Nota 2.

- Los agentes del medio, del terreno, de los materiales y de los métodos y procedimientos constructivos.
- Los requisitos de uso y explotación, los condicionantes morfológicos y medioambientales, los medios y materiales constructivos y de mantenimiento, reparación y desmantelamiento disponibles.
- La morfodinámica litoral, la calidad de aguas y el entorno ambiental.

- Deberá optarse por la tipología más económica que satisfaga los dos primeros criterios —agentes, requerimientos—, siempre que se cumplan los requerimientos ambientales establecidos en el tercero.
- Valoración económica → inversión inicial, costes de mantenimiento y reparación, efectos de los mismos en la operatividad portuaria.
- Condiciones severas sobre diques de abrigo → puede resultar más económico adoptar tipologías estructurales robustas, simples y durables → mantenimiento mínimo durante la vida útil, procesos constructivos y de reparación sencillos.

Agentes Climáticos

Nota 3.

La determinación del comportamiento frente a agentes climáticos requiere el cálculo previo del régimen de agentes, así como el dimensionamiento previo de la planta y alzado del dique.

- Tipología conveniente en función de agentes climáticos, **ROM 1.0 (2010)**:

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

Terreno

Nota 4.

Capacidad portante del terreno → fuerzas transmitidas por el dique y las oscilaciones del mar: compresibilidad, esfuerzo cortante, erosión.

- Tipología conveniente en función de las propiedades del terreno, **ROM 1.0 (2010)**:

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

- Suelos de roca → aptos para cualquier tipología, independientemente de la calidad.
- Suelos granulares duros → aptos para cualquier tipología:
 - Materiales no cohesivos duros → fácil drenaje y reducción de presión intersticial bajo cargas cíclicas.
 - Atención al tiempo de drenaje en presencia de la obra.
- Suelos granulares flojos → no aptos para todas las tipologías: posibles efectos dinámicos derivados de los movimientos oscilatorios → licuefacción.
- Suelos cohesivos blandos → no aptos para cargas concentradas y control de asentos:
 - Baja permeabilidad y elevada compresibilidad.
 - Resistencia al corte de suelos con abundancia de fracción fina → depende de condiciones de drenaje, tiempo de respuesta, histéresis del suelo.

- Interacción suelo–dique → diques verticales no recomendados en rellenos cohesivos o suelos de baja calidad:
 - Concentraciones de carga y asientos diferenciales.
 - Impermeables al flujo → pueden modificar sustancialmente el patrón de drenaje del suelo y los rellenos.
 - Impermeabilidad del terreno $\uparrow \Rightarrow$ efecto perjudicial sobre la estabilidad del terreno $\uparrow$.

- Banquetas y rellenos → cimentaciones conformadas por banquetas y rellenos de granulometría gruesa y de alta permeabilidad:
 - Reparto de cargas y disminución de presiones intersticiales → aumento de resistencia al esfuerzo cortante y baja deformabilidad.
 - Fondos de roca → enrase con hormigón sumergido.
 - Mayor calidad del suelo → menor espesor de cimentación.
 - Requisitos geotécnicos cumplidos → rellenos necesarios para homogeneizar y enrasar —excepto grandes profundidades $h > 40 \sim 50 \text{ m}$ —.
- Erosión superficial → depende principalmente de composición y granulometría, y del régimen oscilatorio → protección necesaria con independencia de tipología.

Materiales y Procesos Constructivos

Nota 5.

Previo al inicio de la obra se deben especificar los estados de oleaje umbrales para los cuales no es recomendable continuar con la construcción, en función de los medios constructivos, la disponibilidad de materiales, el estado de la obra y los elementos y partes a proteger.

- Tipología conveniente en función del volumen de material y los procedimientos constructivos, ROM 1.0 (2010):

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

- Materiales de préstamo:
 - La falta de todo uno —núcleo—, escolleras —mantos secundarios y manto principal— → descarta en principio la construcción de una tipología de tipo granular en talud o berma.
 - Materiales granulares en las proximidades de la obra → decide prácticamente su elección excepto si las profundidades son muy grandes — $h > 40 \sim 50 \text{ m}$ — o si no hay medios constructivos adecuados.
- Diques en talud son inadecuados por razones constructivas o ambientales → diques verticales o mixtos con cajones prefabricados transportados a flote y fondeados:
 - Cajones → $\sim 60 \text{ m}$ de eslora, $\sim 40 \text{ m}$ de manga y $\sim 35 \text{ m}$ de puntal en transporte.
 - Fondeo → se requiere la no superación de ciertos umbrales climáticos marinos y atmosféricos, dependiendo de las dimensiones del cajón, del confinamiento de las aguas y de los medios aplicados al control y el desarrollo de la operación.

- Capacidad y dimensiones de la grúa:
 - Dimensiones de la grúa → condicionada por dimensiones de las piezas y disposición en el manto principal, berma y morro.
 - Dimensiones de la grúa → condiciona la anchura de la superestructura de rodadura.
 - Grúas usuales → hasta $4000\ Tm$. Grúas especiales → $7000\ Tm \sim 10000\ Tm$.
- Paradas forzosas y esperas constructivas:
 - Paradas técnicas → sección no finalizada sometida a la acción del clima. Paradas previstas → invernales.
 - Paradas no previstas → poco tiempo de respuesta → refuerzos provisionales para disminuir o acotar los daños posibles → morro provisional de comportamiento hidrodinámico análogo al morro definitivo.
 - Acción preventiva sobre diques granulares → fácil y de bajo coste.
 - Acción preventiva sobre dique vertical y mixto → difícil.

Agentes Climáticos durante Uso y Explotación

Nota 6.

El reparto del flujo de energía incidente del oleaje en flujos reflejado, transmitido y disipado puede ser indicativo de la influencia que una u otra tipología puede tener durante el uso y explotación de la obra.

- Tipología conveniente en función de requerimientos climáticos durante el uso y explotación, **ROM 1.0** (2010):

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

- Solución ideal $\rightarrow$ flujo incidente totalmente disipado por el dique:
 - Las tipologías actuales no producen disipación completa.
 - Energía disipada baja y mayor flujo de energía reflejada y transmitida $\Rightarrow$ mayor interferencia oleaje $\sim$ uso y explotación $\rightarrow$ complicaciones en la navegación, aumento de agitación interior por rebase y transmisión.
- Dique vertical $\rightarrow$ baja transmisión y alta reflexión.
- Dique en talud $\rightarrow$ alta disipación y baja reflexión.
- Dique mixto $\rightarrow$ comportamiento intermedio entre dique granular y el dique vertical.
- Dique flotante $\rightarrow$ resupestá dependiente del calado relativo respecto a la longitud de onda.

Conservación, Reparación, Desmantelamiento

Nota 7.

Es importante analizar los costes de conservación de una tipología dada, necesarios para:

- Asegurar la durabilidad de la obra a lo largo de su vida útil.
- Los costes de reparación considerando la posibilidad de que se produzca un cierto nivel de daño reparable durante la fase de servicio.
- Los costes de desmantelamiento y restauración del litoral.

- Tipología conveniente en función de la conservación, la reparación y el desmantelamiento, ROM 1.0 (2010):

Tipología	Conservación	Reparación	Interacción	Desmantelamiento
En talud	Factible	Lenta, cara	Alta	Complicado, difícil
Vertical	Compleja	Rápida, cara	Baja	Sencillo
Mixto	Compleja	Lenta, cara	Baja/Media	Complicado, difícil
Berma	Sencilla	Lenta	Alta	Complicado
Sumergido	Sencilla	Rápida	Baja	Sencillo
Flotante	Sencilla	Rápida	Alta	Muy sencillo
Pantallas	Sencilla	Rápida	Alta	Sencillo

- Conservación → relacionada con el número de elementos que forman cada parte del dique, dado que el número de posibles modos de fallo y de transiciones entre elementos y partes —zonas débiles— depende de dicho número:
 - Dique vertical → número mínimo de elementos.
 - Dique en talud y dique mixto → más elementos y transiciones entre ellos.
- Reparación → importancia del modo de fallo en la estabilidad global, posible correlación entre modos de fallo, tiempo de reparación, condiciones de operatividad ocurrido el fallo:
 - Dique granular → mayor resistencia a la destrucción, pero reparación de extracción de piezas del manto lenta y requiere los mismos medios constructivos que los utilizados en la construcción inicial → elevado coste. No hay efectos sobre la operatividad.
 - Dique vertical → elevada dificultad para reparar vuelco y deslizamiento → Operatividad afectada.

- Desmantelamiento → no es una práctica habitual:

Evaluación difícil de costes.

Dique granular → gran cantidad de material y precariedad durante la realización.

Dique vertical → se estima viable el reflotamiento del cajón una vez liberado de la losa superior y vaciadas las celdas.

Medio Ambiente

Nota 8.

La construcción de un dique de abrigo puede provocar alteraciones en el entorno terrestre y marítimo relacionadas con la apertura y explotación de canteras, el transporte y vertido de materiales de construcción, o con la remoción y vertido de productos de dragado, pudiendo condicionar la elección de la tipología en el caso de que sean necesarias grandes cantidades de materiales de préstamo, o se requieran grandes volúmenes de dragado hasta lograr niveles de cimentación competentes.

- Tipología conveniente en función de los requerimientos ambientales,
ROM 1.0 (2010):

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

- Dique vertical → tipología de menor impacto —salvo cuando necesitan grandes volúmenes de dragado o sustitución—.
- Dique flotante → bajo impacto pero posible efecto sobre morfodinámica litoral.
- Construcción de área portuaria o protección litoral → alteración de procesos morfodinámicos, cambios en las condiciones de calidad de aguas.
- Magnitud de las alteraciones → forma en planta y grado de abrigo.

- Alteración del sistema circulatorio → modificación del patrón de corrientes mareales y oceánicas, características del oleaje.
- Alteración del transporte de sedimentos y sustancias → aparición de zonas de intensificación y amortiguamiento de la dinámica marina, alterando los procesos de erosión, transporte y depósito → efectos sobre la morfodinámica.
- Porosidad de partes de la obra:
 - Diques granulares → sumideros de arena, colmatación de mantos, alteración de profundidad a pie de dique.
 - Diques verticales → barreras impermeables, cambios en la profundidad.

Referencias

- Losada M. A. (Ponente), 2001. ROM 0.0 Procedimiento General y Bases de Cálculo en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias. Parte I. Puertos del Estado. 220 p.p. i.s.b.n. 84 – 88975 – 30 – 9.
- Losada M. A. (Ponente), 2010. ROM 1.0-09 Recomendaciones del Diseño y Ejecución de las Obras de Abrigo. Parte I. Bases y Factores para el Proyecto. Agentes Climáticos. Puertos del Estado. 532 p.p. i.s.b.n. 978 – 84 – 88975 – 73 – 7.

Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos Ingeniería de Obras Marítimas

Bases de Cálculo para Diques de Abrigo. Comportamiento de
la Obra y sus Tramos

Moñino A. & Clavero M.
Dpto. Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica
Universidad de Granada

Planteamiento

- Dimensionamiento de obras de abrigo → interacción en planta y alzado con los agentes de proyecto: medio físico, terreno, uso y explotación, materiales y procesos constructivos.
- Interacción de la obra con los agentes → modos de fallo.
- Estudio de comportamiento de la obra → clasificación de mecanismos que conducen al fallo o parada en función de agentes de proyecto predominantes.

- Verificación de modos de fallo → cumplimiento de requisitos de proyecto en términos de fiabilidad, funcionalidad y operatividad.
- Ecuación de verificación → informa sobre si el fallo ocurre o no, pero no indica la magnitud del mismo.

Nota 1.

Verificación de cada modo de fallo frente a requisitos de proyecto → Método de Estados Límite, **ROM 0.0** (2001): comportamiento resistente —ELU—, comportamiento formal —ELS—, comportamiento operativo —ELO—.

Nota 2.

- ELU: los modos de fallo ocurren de manera definitiva debido a estados excepcionales o extremos de los agentes, cuya magnitud viene dada a través de sus descriptores → Será necesaria la reconstrucción para volver a satisfacer los requisitos de proyecto.
- ELS: los descriptores de los agentes superan un cierto umbral, pero no llegan a alcanzar manifestaciones extremas → La obra pierde propiedades estructurales y formales, y en consecuencia uso y explotación, de manera que el análisis aporta información necesaria para tareas de conservación o reparación, con el objetivo de mantener o recuperar requisitos de proyecto.

- Ejemplo de ELU en dique de escollera:



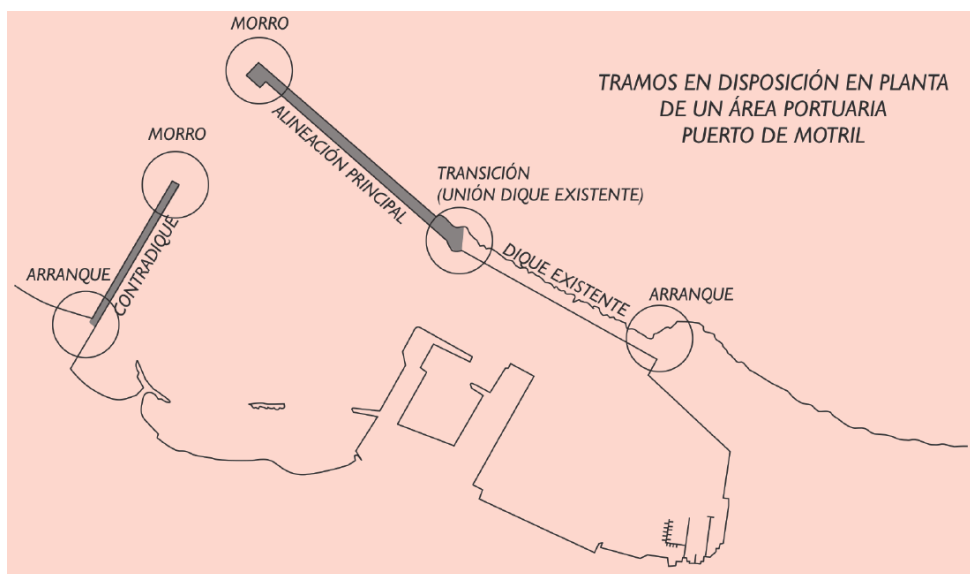
Tramo de Obra

Nota 3.

Se define el tramo de obra como el conjunto de secciones —una alineación— que cumplen una función específica y relevante de los requisitos de explotación de la obra. El conjunto de secciones del tramo se encuentran sometidas a los mismos niveles de acción de todos los agentes actuantes, formando parte de la misma tipología formal y estructural.

- La definición de tramo de obra se encuentra relacionada con la disposición en planta de la obra marítima.

- Ejemplo de tramo de obra: alineaciones principales y secundarias.



Comportamiento de la Obra y sus Tramos

- Comportamiento hidráulico y comportamiento frente a otros agentes del medio.
- Comportamiento estructural.
- Comportamiento geotécnico.
- Comportamiento derivado de procesos constructivos.
- Comportamiento morfodinámico.
- Comportamiento ambiental —incidencia de la obra de abrigo sobre parámetros de la calidad ambiental—.

Nota 4.

El estudio del comportamiento hidráulico, geotécnico, estructural, morfodinámico y ambiental se encuentra inevitablemente ligado al proceso de proyecto. Es recomendable que a partir de éste se interpreten las respuestas estructural, formal y operativa y, en función de eso, se caractericen los modos de fallo y parada y sus ecuaciones de verificación correspondientes. El alcance de las conclusiones dependerá de si se realiza para predimensionamiento, anteproyecto o proyecto constructivo.

Comportamiento frente a los Agentes del Medio

Nota 5.

Agentes del medio físico: agentes climáticos atmosféricos y marinos —en particular las oscilaciones del mar—, los agentes sísmicos, biogeoquímicos y térmicos. Su comportamiento puede ser estudiado en el dominio del tiempo o en el de la frecuencia.

Comportamiento frente a Oscilaciones del Mar

- Capacidad de la obra para reducir la energía de las oscilaciones del mar: reflexión, disipación, transmisión.
- Rebasabilidad.
- Regímenes de presiones.
- Operatividad del área portuaria o litoral abrigada.

- Descripción y caracterización de agentes en el dominio del tiempo:

Régimen de corta duración Unidad de tiempo durante el cual las variables instantáneas son estadísticamente estacionarias y homogéneas. Se denomina estado.

Régimen de larga duración Unidad de tiempo que habitualmente suele ser el año meteorológico, considerado como una realización independiente. Si se dispone de suficiente información es conveniente agrupar la caracterización en ciclos hiperanuales de $11 \sim 13$ años.

Régimen de duración media Unidad de tiempo correspondiente a ciclos de solicitud u operatividad. Dado un descriptor, se denomina duración al tiempo de excedencia del valor umbral que define el ciclo de solicitud. Ejemplo: para el descriptor cese de operatividad, el tiempo de no excedencia de su valor umbral se denomina calma. El tiempo de excedencia de su valor umbral define la duración del periodo durante el cual no hay condiciones para el uso y explotación de la obra o de alguno de sus tramos.

[www](#)[inicio](#)[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)[página 12 de 20](#)[fullscreen](#)[salir](#)

Nota 6.

- Domino del tiempo → se analizarán los regímenes oscilatorios — regímenes del conjunto de oscilaciones del mar—, incluyendo las de corta, media y larga duración en el emplazamiento.
- Domino de la frecuencia → se calcularán los espectros asociados a los estados de mar y al nivel medio.

Ambas descripciones son representativas de las condiciones de trabajo normales y extremas. Realizado el predimensionamiento de la obra, los regímenes oscilatorios deben volver a ser calculados en presencia de aquella.

Comportamiento frente a Sismo

- Probabilidad de ocurrencia de un sismo o un maremoto —terremoto con epicentro en el fondo marino— no despreciable → estudiar la respuesta del conjunto suelo–dique conforme a la normativa vigente.
- Según el caso y el emplazamiento de la obra, se ha de determinar el régimen extremal del agente sísmico en el emplazamiento.
- Definición de espectros de frecuencia y series temporales de aceleraciones representativas en condiciones de trabajo normales, extremas y excepcionales.

Se ha de prescribir la concomitancia del agente sísmico y los agentes climáticos, atmosféricos y marinos.

Comportamiento Estructural

- Estabilidad, capacidad portante y deformabilidad de los materiales ue constituyen cada elemento de la sección→ se evalúan conforme a la normativa vigente: EHE, EHP, EAE, Norma de Escolleras UNE-EN 13383-1/AC, Eurocódigos, ROM 1.0.

Comportamiento frente al Terreno

- Capacidad portante y deformabilidad del terreno → se evaluarán teniendo en cuenta las oscilaciones del mar y otros agentes del medio.
- Comportamiento del terreno afectado significativamente por las oscilaciones del mar → tensiones, deformaciones y presiones intersticiales en el terreno, la cimentación y los rellenos, teniendo en cuenta las escalas temporales del terreno y su dependencia con las condiciones oscilatorias existentes en presencia de la obra.
- Geometrías complicadas → deben contrastarse con estudios experimentales.

Comportamiento Derivado de los Procesos Constructivos

- Se evaluará la incidencia que los procesos y procedimientos constructivos tienen sobre los comportamientos geotécnico, estructural y frente a los agentes del medio físico.

Comportamiento Morfodinámico

- Se evaluarán los procesos litorales, la estabilidad del fondo marino, el desarrollo de formas de lecho en diferentes escalas espaciales y la evolución de la línea de costa.
- Es recomendable evaluar, al menos, los siguientes procesos de interferencia de la obra con el entorno:
 - Morfodinámica del lecho marino y desarrollo de formas de pequeña, media y gran escala.
 - Procesos litorales.
 - Evolución de la costa en la vida útil, previendo cambios bruscos o alteraciones significativas durante las distintas fases de proyecto.

Comportamiento Ambiental

- Se evaluará la incidencia de la obra de abrigo sobre diversos parámetros de calidad ambiental → calidad de aguas en el entorno portuario y litoral, conforme a la Directiva Marco del Agua y las especificaciones de la ROM 5.1.
- Se recomienda, al menos, evaluar la circulación de las aguas, los procesos de advección-difusión y la evolución espacio-temporal de la calidad de aguas en el área abrigada o protegida, así como en el entorno portuario y litoral hasta donde la presencia de la obra no altere sensiblemente los agentes del medio físico.

Referencias

Losada M. A. (Ponente), 2001. ROM 0.0 Procedimiento General y Bases de Cálculo en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias. Parte I. Puertos del Estado. 220 p.p. i.s.b.n. 84 – 88975 – 30 – 9.

Losada M. A. (Ponente), 2010. ROM 1.0-09 Recomendaciones del Diseño y Ejecución de las Obras de Abrigo. Parte I. Bases y Factores para el Proyecto. Agentes Climáticos. Puertos del Estado. 532 p.p. i.s.b.n. 978 – 84 – 88975 – 73 – 7.

[www](#)[inicio](#)[página 20 de 20](#)[fullscreen](#)[salir](#)

Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos Ingeniería de Obras Marítimas

Bases de Cálculo para Diques de Abrigo. Descripción de Modos
de Fallo y Parada

Moñino A. & Clavero M.
Dpto. Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica
Universidad de Granada

Objetivo

Nota 1.

Proporcionar las bases para poder establecer correctamente los modos de fallo y parada para un tramo de obra, así como describir los estados límite a los cuales se adscriben.

Planteamiento

- Dimensionamiento de obras de abrigo → interacción en planta y alzado con los agentes de proyecto: medio físico, terreno, uso y explotación, materiales y procesos constructivos.
- Interacción de la obra con los agentes → modos de fallo.
- Estudio de comportamiento de la obra → clasificación de mecanismos que conducen al fallo o parada en función de agentes de proyecto predominantes.

- Verificación de modos de fallo → cumplimiento de requisitos de proyecto en términos de fiabilidad, funcionalidad y operatividad.
- Ecuación de verificación → informa sobre si el fallo ocurre o no, pero no indica la magnitud del mismo.

Nota 2.

Verificación de cada modo de fallo frente a requisitos de proyecto → Método de Estados Límite, **ROM 0.0** (2001): comportamiento resistente —ELU—, comportamiento formal —ELS—, comportamiento operativo —ELO—.

Nota 3.

- ELU: los modos de fallo ocurren de manera definitiva debido a estados excepcionales o manifestaciones extremos de los agentes, cuya magnitud viene dada a través de sus descriptores → Será necesaria la reconstrucción para recuperar requisitos de proyecto.
- ELS: los descriptores de los agentes superan un cierto umbral, pero no llegan a alcanzar manifestaciones extremas → La obra pierde propiedades estructurales y formales, y en consecuencia uso y explotación, de manera que el análisis aporta información necesaria para tareas de conservación o reparación, con el objetivo de mantener o recuperar requisitos de proyecto.

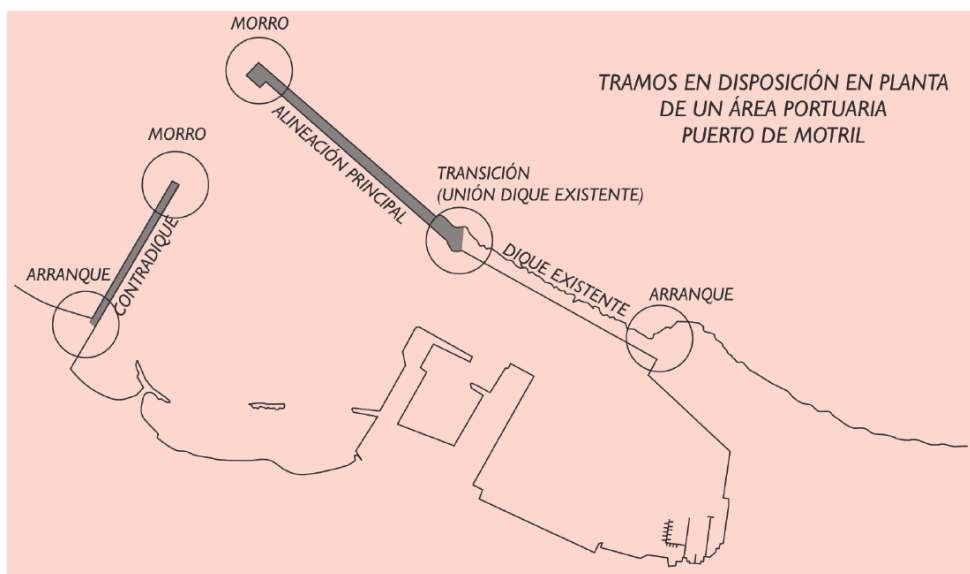
Tramo de Obra

Nota 4.

Se define el tramo de obra como el conjunto de secciones —una alineación— que cumplen una función específica y relevante de los requisitos de explotación de la obra. El conjunto de secciones del tramo se encuentran sometidas a los mismos niveles de acción de todos los agentes actuantes, formando parte de la misma tipología formal y estructural.

[www](#)[inicio](#)[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)[página 6 de 24](#)[fullscreen](#)[salir](#)

- Ejemplo de tramo de obra: alineaciones principales y secundarias.



Descripción de Modos de Fallo y Parada

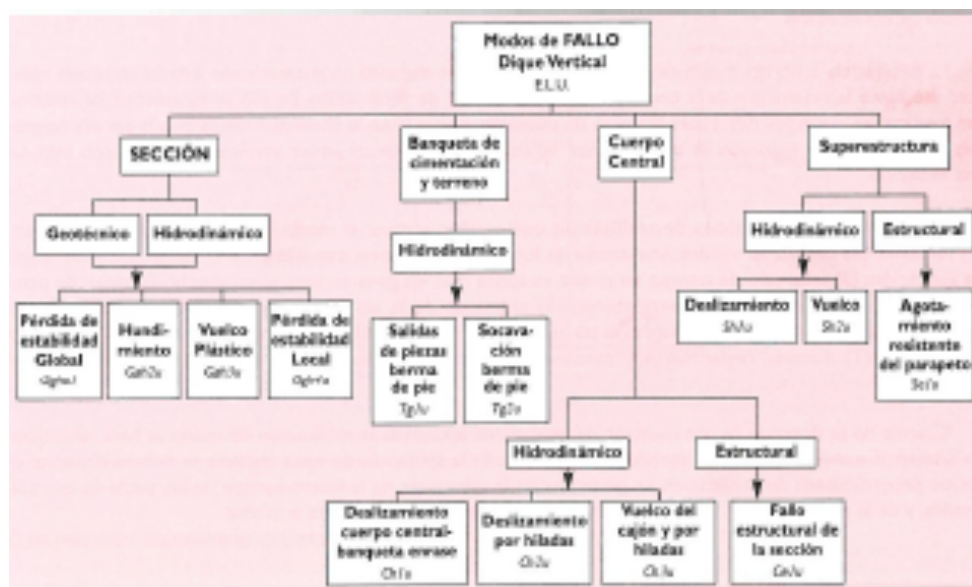
Nota 5.

Modo de fallo o parada: manera, forma o mecanismo en que puede producirse el fallo o la parada operativa, describiéndose y caracterizándose en un estado límite.

[www](#)[inicio](#)[◀◀ ◀ ▶ ▶▶](#)[página 8 de 24](#)[fullscreen](#)[salir](#)

- Para cada tipología de dique de abrigo se considerarán, al menos, el conjunto de modos de fallo y parada operativa descritos en los diagramas de fallo correspondientes.
- Se debe procurar que dicho conjunto de modos de fallo sea completo y mutuamente excluyente → la ocurrencia de un modo excluye la ocurrencia de otro u otros y que con él, mediante las operaciones de unión, intersección, conjunto vacío y suceso complementario, se puede describir cualquier comportamiento del tramo.

- Ejemplo de diagrama de fallo para dique vertical, ROM 1.0 (2010):

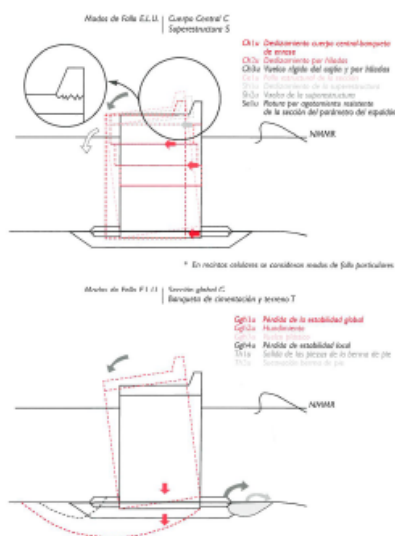


Dominio Espacial

- Se describirá la zona en la que ocurre o a la que afecta el fallo o parada, distinguiéndose el conjunto de la sección y sus partes, elementos y subelementos, y el entorno, especificándose si afecta a la morfodinámica, litoral, a la calidad del agua o al ecosistema.
- Se considera que un modo se adjudica a una sección cuando afecta a dos o más de sus partes.
- Se considera que el modo se adjudica a una parte o a un elemento cuando afecta a dos o más elementos o subelementos respectivamente.

Mecanismo

- Se describirá el mecanismo o forma en que se produce el fallo o parada, evaluando su importancia y sus consecuencias para la seguridad, el servicio y el uso y la explotación.



Agentes Predominantes y Otros Agentes

- Se deben indicar los agentes predominantes y otros agentes que pueden participar en el desencadenamiento y evolución del modo de fallo, clasificándose por origen y analizándose su independencia.

Dominio Temporal

- Se incorporará la descripción del intervalo de tiempo en el cual puede producirse el modo de fallo. Éste será en general el estado que por aplicación del método se considera un estado límite de proyecto. Es importante definir en el estado los descriptores de los agentes —altura de ola significativa, periodo medio, dirección media y duración, etc...—.
- En cada caso se adscribirá la ocurrencia del modo de fallo a un estado límite último, de servicio o de parada operativa, analizándose en qué condiciones de trabajo puede presentarse. Además se analizará su posible adscripción a más de un estado límite.

Forma de Verificación

Nota 6.

La ocurrencia o no del modo de fallo o parada durante un estado se puede verificar mediante la ecuación de verificación.

La ecuación de verificación establece las relaciones funcionales entre los diferentes factores de proyecto que definen la condición de fallo o parada operativa. En general se trata de una ecuación de estado y es habitual poder verificar un modo de fallo con más de una ecuación.

- Se analizarán las ecuaciones de verificación que pueden evaluar el modo de fallo o parada, detallando:
 - Formato.
 - Campo de validez, analizando su fundamento teórico, experimental o numérico, y su rango de aplicación.
 - Intervalo de tiempo en el que se aplica que, en general, es el estado.
 - Factores de proyecto y sus variables básicas y descriptores.
 - Términos de la ecuación, especificando si se consideran deterministas o aleatorios, permanentes o no permanentes, y favorables o desfavorables.
 - Criterio de fallo o parada.
 - Normas, reglamentos y recomendaciones a seguir en la verificación del modo.

Nota 7.

Cuando no se disponga de una ecuación de verificación apropiada, la verificación del modo se hará recurriendo a técnicas numéricas o experimentales contrastadas, valorándose en particular la incertidumbre en los datos de entrada y salida, así como en la técnica misma aplicada.

[www](#)[inicio](#)[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)[página 17 de 24](#)[fullscreen](#)[salir](#)

Consideración como Modo Principal

Nota 8.

Son los modos de fallo que contribuyen de forma significativa a la probabilidad conjunta de fallo del tramo de obra en su vida útil.

- Se analizará si el modo es o no principal, o las posibles actuaciones destinadas a reducir su contribución como modo principal a la probabilidad de ocurrencia.
- Dicho análisis se apoyará en la optimización económica de la obra, evaluándose las consecuencias en los costes de construcción, conservación y reparación, y se tenderá a favorecer la consideración del modo como no principal, siempre que se pueda alcanzar esa situación con ligeros incrementos en la geometría y las propiedades mecánicas del elemento o parte de la obra.

Observación y Seguimiento del Modo

- Se detallarán las posibles técnicas de observación y seguimiento del modo o de su ocurrencia, indicándose los umbrales de reparación. En caso de modos de parada se indicarán los umbrales de parada.

Dependencia e Independencia Estadística

- Se analizará si la ocurrencia de un modo excluye la ocurrencia de los restantes modos.
- En algunas tipologías podrá ser conveniente, además, analizar la posible evolución hacia un colapso progresivo.

Nota 9.

La interdependencia —exclusión y dependencia estadística— de los modos es una línea de investigación abierta en la que se debe trabajar para que las obras marítimas sean más fiables, funcionales y operativas bajo coste total óptimo.

- Se puede realizar un análisis primario considerando los agentes comunes que intervienen en cada uno de los modos de fallo y estudiar, mediante sus respectivas ecuaciones de verificación, si cada uno de ellos falla con los mismos valores de los agentes. En ese caso podría considerarse que ambos modos ocurren simultáneamente y a los efectos de reparto de probabilidad de fallo podrían computarse como uno solo.
- Inconveniente: la respuesta de la obra frente a ese modo de fallo puede conducir o no al fallo una vez alcanzado el nivel de peligrosidad necesario.

Nota 10.

Un suceso no tiene por qué ocurrir estrictamente conforme a la secuencia: presentación de agentes —peligrosidad—, inducción del modo de fallo —vulnerabilidad—. En realidad los diversos factores no considerados en la formulación, las incertidumbres y la aleatoriedad intrínseca de muchos fenómenos pueden resultar en un “no fallo” de la obra.

Ejemplo

- Sea el caso del manto principal de un dique en talud con un peso de la pieza W_0 que falla con la altura de ola H_0 .
- La probabilidad de que se exceda la altura de ola en el intervalo de tiempo es la peligrosidad $Pr[H \geq H_0]$. La probabilidad de que se exceda el peso requerido condicionada a que se haya excedido la altura de ola es la vulnerabilidad $Pr[W \geq W_0, H \geq H_0]$. Entonces la probabilidad de ocurrencia del modo de fallo es la probabilidad de que ocurran ambos sucesos simultáneamente, es decir, la excedencia de la altura de ola y del peso, o probabilidad conjunta de W y H :

$$Pr[WH] = Pr[W \geq W_0, H \geq H_0]Pr[H \geq H_0] \quad (1)$$

Nota 11.

La probabilidad de fallo es igual al producto de la vulnerabilidad por la peligrosidad. Si el suceso $H \geq H_0$ ha ocurrido, el valor de $Pr[WH]$ depende del valor de la probabilidad condicionada $Pr[W \geq W_0, H \geq H_0]$. Si se supone que ésta es 1, es decir, que una vez ocurrido $H \geq H_0$ se admite que el suceso $W \geq W_0$ es cierto, entonces:

$$Pr[W \geq W_0, H \geq H_0] = 1 \quad (2)$$

y:

$$Pr[WH] = Pr[H \geq H_0] \quad (3)$$

En ese supuesto, la probabilidad de fallo es igual a la probabilidad de existencia del agente.

Referencias

- Losada M. A. (Ponente), 2001. ROM 0.0 Procedimiento General y Bases de Cálculo en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias. Parte I. Puertos del Estado. 220 p.p. i.s.b.n. 84 – 88975 – 30 – 9.
- Losada M. A. (Ponente), 2010. ROM 1.0-09 Recomendaciones del Diseño y Ejecución de las Obras de Abrigo. Parte I. Bases y Factores para el Proyecto. Agentes Climáticos. Puertos del Estado. 532 p.p. i.s.b.n. 978 – 84 – 88975 – 73 – 7.

Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos Ingeniería de Obras Marítimas

Procedimientos y Procesos para la Construcción de Diques de

Abrigo. Tipología de Dique en Talud

Moñino A. & Clavero M.

Dpto. Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica
Universidad de Granada

[www](#)[inicio](#)[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)

página 1 de 26

[fullscreen](#)[salir](#)

Caracterización espacial de la obra

Tramo de obra

Nota 1.

Se define el tramo de obra como el conjunto de secciones —una alineación— que cumplen una función específica y relevante de los requisitos de explotación de la obra. El conjunto de secciones del tramo se encuentran sometidas a los mismos niveles de acción de todos los agentes actuantes, formando parte de la misma tipología formal y estructural.

[www](#)[inicio](#)[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)[página 2 de 26](#)[fullscreen](#)[salir](#)

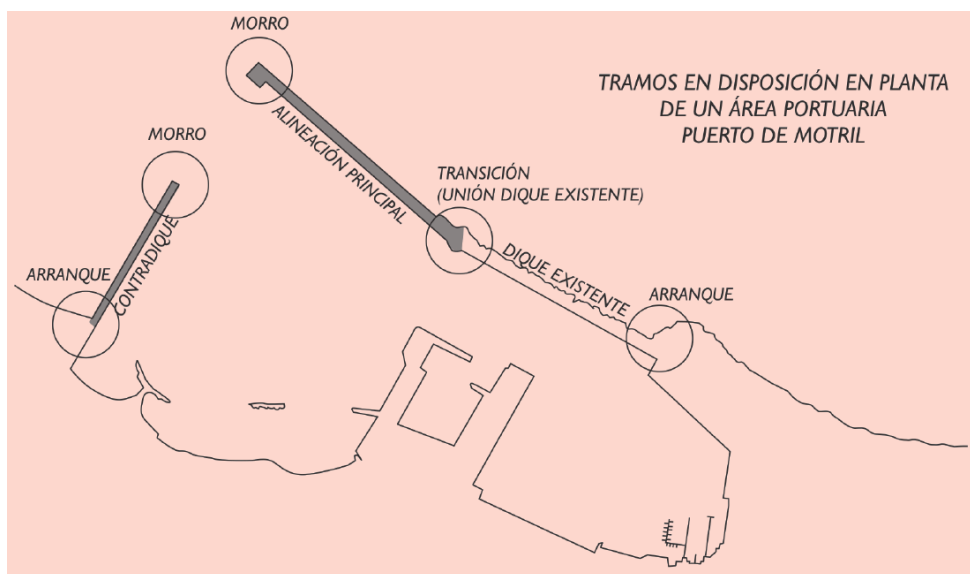
Nota 2.

Los diferentes tramos no solamente serán distinguidos en base a forma y estructura, sino también atendiendo a variaciones en los factores de proyecto a lo largo del emplazamiento —geometría de la obra y el terreno, características del terreno, medio físico y materiales, agentes y acciones— y a las repercusiones en caso de fallo o parada. La consideración de dichos factores ayudará asimismo a establecer los criterios para considerar la eventual entrada en servicio durante la fase de construcción. Debe recordarse que:

- Cada tramo de la obra puede encontrarse proyectado con una tipología diferente de dique de abrigo.
- La obra puede presentar diferentes alineaciones. Cada alineación puede estar conformada por más de un tramo.

- El dique de abrigo se considerará dividido en tramos homogéneos de la misma tipología formal y estructural.
- Definición de tramos → homogeneidad de agentes climáticos, homogeneidad de agentes del terreno, etc.

- Ejemplo de tramo de obra: alineaciones principales y secundarias.



Clasificación fundamental de tramos

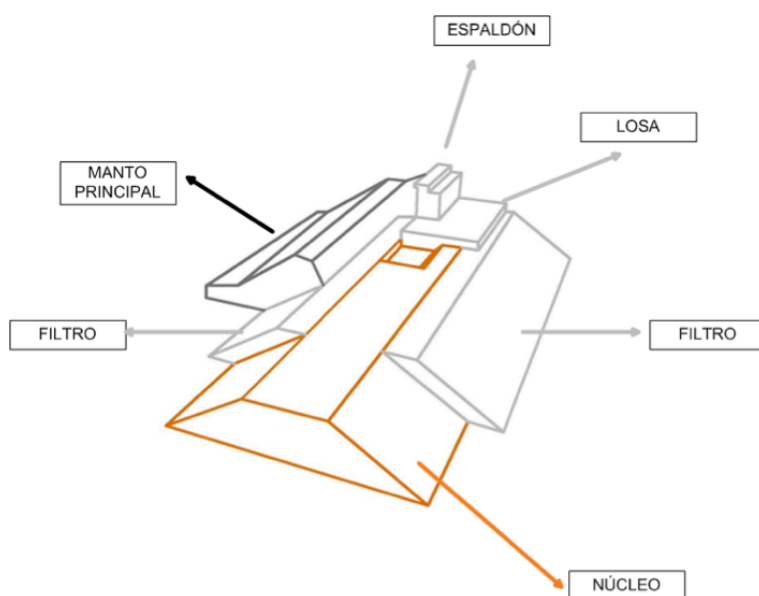
- Arranque o unión del dique con tierra.
- Alineación principal, la cual proporciona abrigo y control del oleaje predominante.
- Alineaciones secundarias.
- Transición, consistente en el tramo entre dos alineaciones o dos tipologías.
- Morro o extremo del dique.

Procesos y métodos de avance

Nota 3.

La estructura de un dique en talud habitualmente consiste en un núcleo de todo uno, sobre el cual se superponen capas de elementos de tamaño creciente que cumplen la condición de filtro. Los elementos mayores integrantes de los mantos exteriores o principales, son piezas de hormigón en masa de diferentes formas —cubos, dolos, tetrápodos, etc.— o de escollera. Este tipo de estructura resiste la acción del oleaje provocando la rotura y disipando su energía sobre el talud.

- Esquema de un dique en talud:



- Procedimientos para la construcción:
 - Construcción marítima: utiliza medios marítimos —gánguiles, pontonas, cabrias— tanto para el transporte de los materiales hasta el tajo como para su posterior vertido y colocación.
 - Construcción terrestre: se usa maquinaria para el movimiento de tierras y grúas —encargados del transporte, vertido y colocación—. El núcleo debe tener una cota superior al nivel del mar para poder ejecutarlo por esta vía.
 - Si no es posible la construcción completa desde tierra → se ejecuta la parte sumergida del núcleo utilizando gánguiles, completando la construcción de la raíz y la colocación con cabrias o bien con grúas desde tierra, si ello es posible, a base de la formación de sucesivos taludes.

Piezas de los mantos La escollera es más económica pero resulta difícil conseguir en cantidades suficientes piezas $\geq 6 t$. Peso específico habitual en cálculos $\simeq 26 \cdot 10^3 N/m^3$. Piezas rugosas y angulosas, sin formas redondeadas. Evitar piezas con lajas, en las que una o dos de las dimensiones sean muy superiores al resto.

Taludes Fijados en función del ángulo natural de los materiales $\rightarrow 1.5H : 1V$, $2.5H : 1V$, incluso $3H : 1V$ —puertos deportivos y pesqueros, en los que se intenta evitar el uso de bloques de hormigón por economía—. Menor pendiente $\Rightarrow$ menor peso requerido de las piezas.

Bermas Se disponen bermas de pie —también denominadas banquetas de apoyo— para asegurar la estabilidad y forma del talud exterior, proporcionar apoyo a los mantos secundarios y proteger la cimentación.

- Tipos de piezas en diques en talud:



TETRAPODO



DOLO



ACRÓPODO



ECÓPODO



CORE - LOC

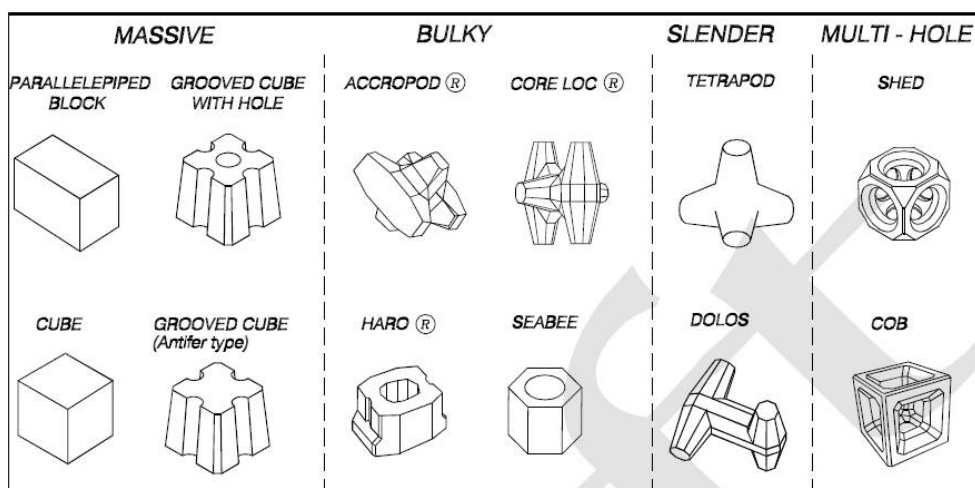


XBLOC



CUBÍPODO

- Tipos de piezas en diques en talud:

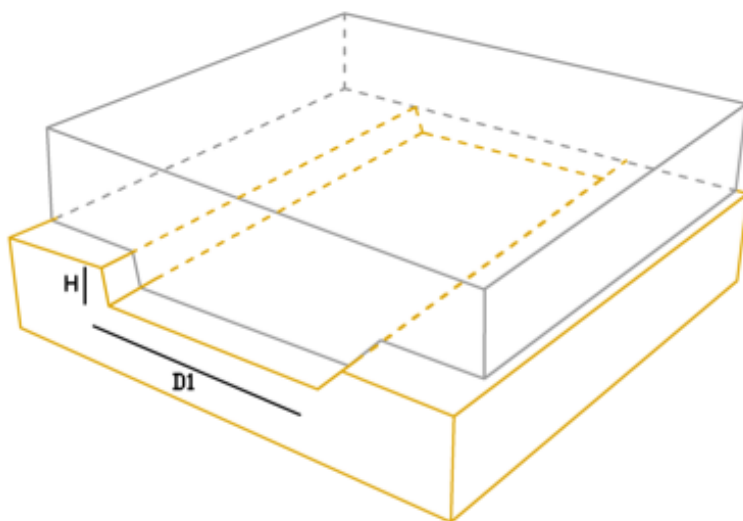


Secuencia constructiva

Nota 4.

El proyecto de un dique en talud es sencillo, pero la ejecución puede resultar complicada. El avance del dique tiene una primera fase que se realiza por vertido marítimo. Son los gánguiles de vertido por fondo los que realizan esta operación para el vertido del núcleo y de las escolleras de protección. Realizar la obra sumergida por delante de la obra emergida facilita mucho la ejecución de la construcción terrestre y marina. El vertido marítimo con gánguiles se puede realizar con olas cuya altura significativa alcance hasta $H_s = 2.5\text{ m}$, pudiendo así garantizar suficientes días de trabajo incluso en época invernal.

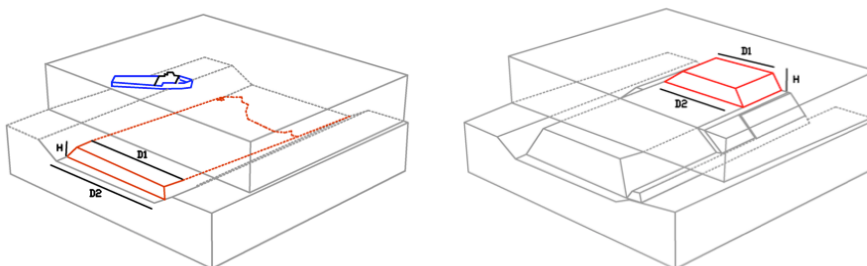
- Dragado → Se realizará esta operación para eliminar las capas superficiales de suelos con baja capacidad portante. Se dragará hasta alcanzar las cotas y/o estratos previstos en el Proyecto.



- Dragas de rosario y cortadora:



- Núcleo → El material del núcleo es más ligero y susceptible de ser arrastrado por el mar. Avance de las distintas capas con una distancia máxima en planta de $\sim 15\text{ m}$ → se avanza a sección completa sin dejar grandes longitudes de dique sin proteger. Vertido del núcleo → medios marítimos y terrestres. Inicio con vertidos marítimos con gánguil hasta alcanzar cota de pedraplén suficiente como para avanzar por tierra. La cota aproximada de pedraplén que se alcanza con el vertido marítimo es la -2 m . Desde esta cota hasta la final se realiza el vertido por medio del avance terrestre con camiones → un bulldozer empuja el material por el talud.



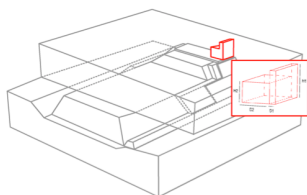
- Ganguil:



- Piezas → Ejecución tras completarse el núcleo. Separación entre partes del avance mínima para evitar posibles averías motivadas por el oleaje. El manto principal de protección debe ser colocado lo más inmediato posible al núcleo.



- Losa → Ejecución de la losa de hormigón y coronación de los diques rompeolas lo más cerca posible del avance, pues supone una de las mejores protecciones → confinamiento vertical de los sistemas granulares.
- Espaldón → No presenta características especiales de obra marítima → importancia relativa al soporte de la grúa principal. Ejecución como encofrado en “L” → descomponer el espaldón en dos o más alturas.

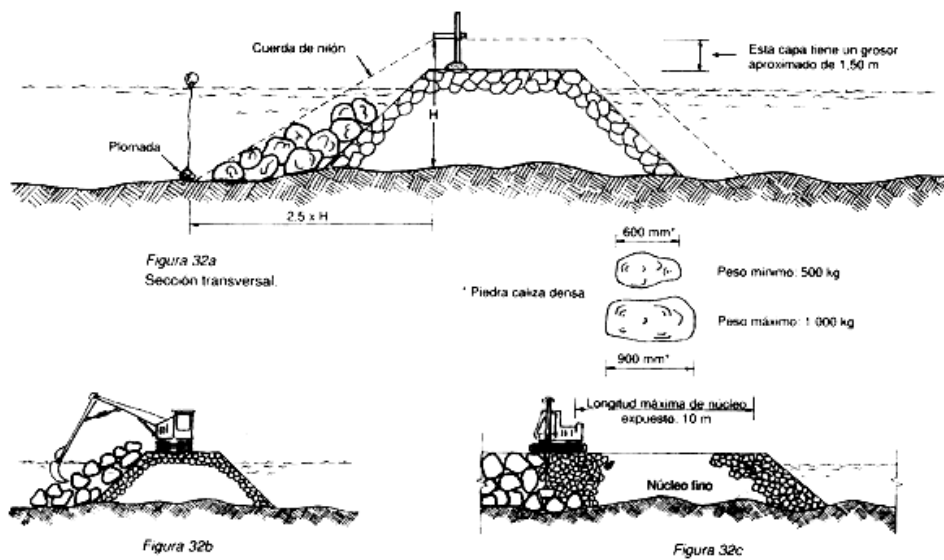


Nota 5.

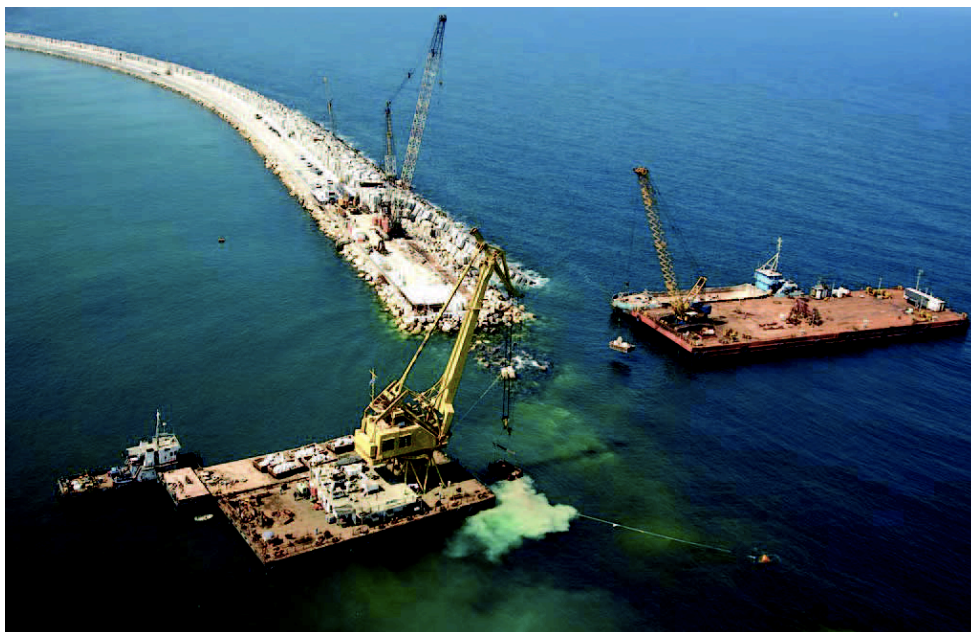
- El manto principal suele estar constituido por cubos de hormigón.
- Los cubos se fabrican en tierra en plantas destinadas a tal efecto, donde se apilan y se almacenan.
- La puesta en obra se efectúa mediante grúa. Por tanto, la grúa es un factor limitante en el procedimiento constructivo.
- La grúa debe tener una vía de rodadura mínima de $3 \sim 4 \text{ m}$ de anchura. El tonelaje se sitúa en $1000 \sim 2000 \text{ Tm}$. Para grúas de $3000 \sim 6000 \text{ Tm}$ se requiere una vía de rodadura mínima de 7 m .

- Construcción desde tierra → tajos simultáneos: zanja o cajeado, núcleo todo uno, bloques de protección, banquetta de enrase en coronación para cimentar espaldón.
- La construcción del núcleo se realiza mediante vertido, ya sea comenzando desde tierra o con barcazas y camiones una vez que haya emergido. Conforme el núcleo avanza se colocan los mantos. La coronación se puede cerrar con los propios mantos —dique sin superestructura— o se puede situar el espaldón.
- Unión del núcleo y los mantos —sistema granular, deformable y permeable— con el espaldón —superestructura rígida, indeformable e impermeable— → banquetta de enrase.
- Los mantos no se deben apoyar sobre el terreno cuando éste no ofrece suficiente calidad. En tal caso se procura que los mantos superiores apoyen sobre los inferiores.
- Espesor mínimo de los mantos: 0.5 m .

- Procedimiento de avance:



- Procedimiento de avance, *Guía de Buenas Prácticas* (2008):



- Procedimiento de avance:



[www](#)

[inicio](#)

[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)

[página 24 de 26](#)

[fullscreen](#)

[salir](#)

- Bloque de protección:



[www](#)

[inicio](#)

[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)

página 25 de 26

[fullscreen](#)

[salir](#)

Referencias

- Dizy A. & Mey R (Ponentes), 2008. Guía de Buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas. Puertos del Estado. 327p.p. i.s.b.n. 978 – 84 – 88975 – 68 – 6.
- Losada M. A. (Ponente), 2001. ROM 0.0 Procedimiento General y Bases de Cálculo en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias. Parte I. Puertos del Estado. 220 p.p. i.s.b.n. 84 – 88975 – 30 – 9.
- Losada M. A. (Ponente), 2010. ROM 1.0-09 Recomendaciones del Diseño y Ejecución de las Obras de Abrigo. Parte I. Bases y Factores para el Proyecto. Agentes Climáticos. Puertos del Estado. 532 p.p. i.s.b.n. 978 – 84 – 88975 – 73 – 7.

Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos Ingeniería de Obras Marítimas

Procedimientos para la Conservación de Diques de Abrigo.

Tipología de Dique en Talud

AMoñino A. & Clavero M.

Dpto. Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica
Universidad de Granada

www

inicio



página 1 de 21

fullscreen

salir

Modos de fallo y procesos

Nota 1.

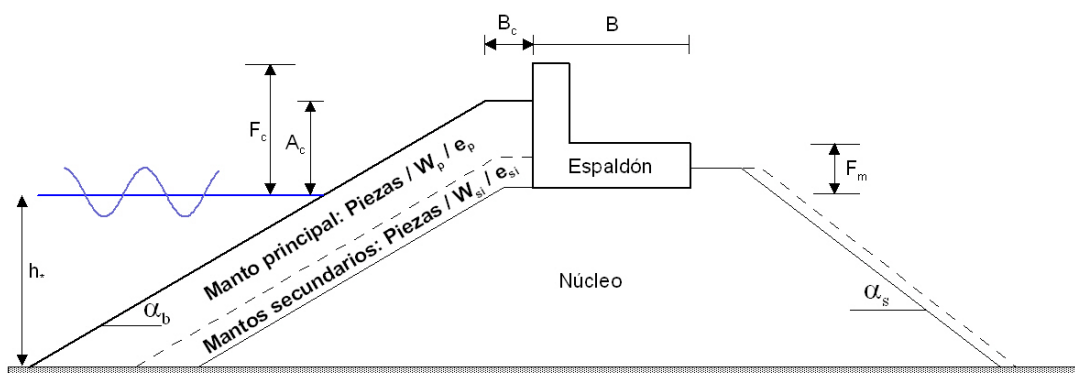
Estado límite: estado de proyecto —intervalo de tiempo durante el cual cualquier manifestación de los factores de proyecto es estacionaria en el sentido estadístico— en el cual la obra en su conjunto, o en alguno de sus tramos o elementos, queda fuera de uso o servicio por incumplimiento de los requisitos de seguridad, de servicio y de explotación especificados en el proyecto.

Nota 2.

Modo de fallo o parada: manera, forma o mecanismo en que puede producirse el fallo o la parada operativa, describiéndose y caracterizándose durante un estado límite.

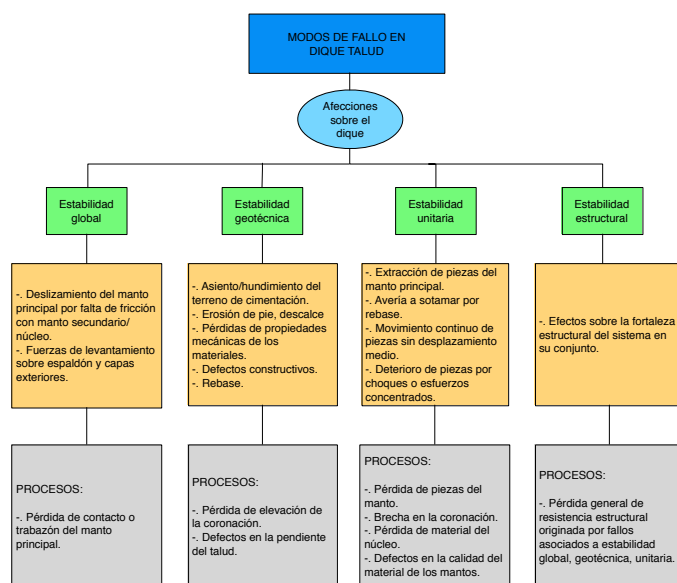
Estabilidad de la estructura

- Sección tipo de dique en talud:



- El diseño de un dique en talud debe garantizar la estabilidad de la estructura en los siguientes términos:
 1. Estabilidad global: afecta al dique en su conjunto y en particular al manto principal.
 2. Estabilidad geotécnica: afecta a la capacidad portante del suelo y a fallos por erosión de pie y procesos similares.
 3. Estabilidad unitaria: afecta a la estabilidad y calidad de las piezas del manto, considerado éste como una matriz de elementos individuales.
 4. Estabilidad estructural: afecta a la resistencia estructural del sistema en su conjunto y, por tanto, se ve afectada por todas las demás.

- Diagrama de fallos en un dique en talud:



www

inicio

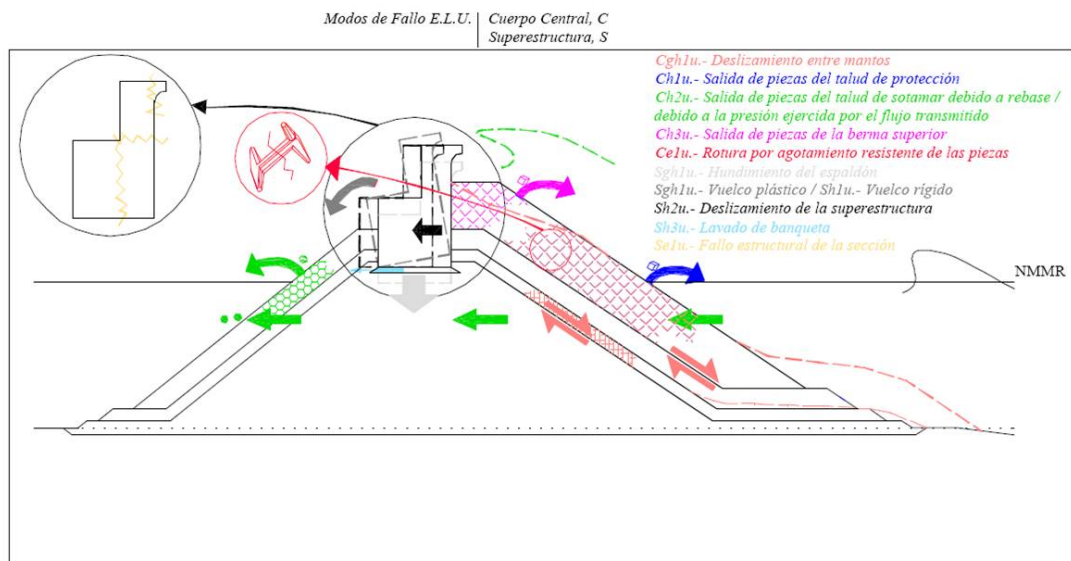


página 5 de 21

fullscreen

salir

- Esquema general de fallos en un dique en talud:



Procesos y estados límite

- Pérdida de elevación de la coronación → Asiento en la cimentación o asiento general de la estructura.
- Brecha en la coronación → Hueco abierto hasta una profundidad igual o superior al espesor del manto principal. No se considera brecha hasta que el hueco no se extiende a toda la sección de coronación.
- Exposición o pérdida de material del núcleo → Núcleo expuesto o visible a través de huecos en el manto principal.

- Pérdida de piezas del manto → Tres clases de pérdida:
 1. Desplazamiento. Ocurre en torno a la línea de nivel medio en reposo, dónde las fuerzas dinámicas y los efectos de empuje son mayores. Más de 4 piezas → Hueco en el manto. Las piezas desplazadas habitualmente se encontrarán a pie del manto → Estabilidad parcial y retardado en el avance del fallo.
 2. Asiento.
 3. Hueco interior → Afecta a los taludes y a la cresta.
- Pérdida de contacto o trabazón en el manto → Afecta al contacto arista–arista, arista–cara y cara–cara.

- Defectos en la calidad del manto → Afecta al daño estructural de las piezas del manto:
 - Redondeo de piezas → Movimientos cíclicos pequeños, abrasión ⇒ pérdida de estabilidad.
 - Fragmentación → Pérdida de material de las caras de las piezas por impactos entre piezas, concentración de esfuerzos en aristas, deterioro químico, ciclos de helada, etc.
 - Agrietamiento → Grietas profundas en la superficie de las piezas. Son potencialmente más importantes en elementos prefabricados de geometría esbelta.
 - Fractura → Estado final alcanzado por el agrietamiento ⇒ rotura de un elemento en dos o más elementos. Representa un riesgo de fallo inminente.

- Defectos en la pendiente del talud → Pérdida o asiento en las piezas del manto, suficiente como para alterar la pendiente del talud. Los defectos en la pendiente pueden ser de dos tipos:
 - Aumento de la pendiente → Proceso localizado en el que la pendiente del talud comienza a ser superior a la de diseño, evidenciando un fallo en progreso.
 - Deslizamiento → Pérdida de la capa del manto en la dirección descendente del talud. Habitualmente pone de manifiesto fallos importantes en el área de cimentación, tales como erosión a pie de dique, exceso de esfuerzo sobre el suelo de cimentación cuando éste es cohesivo y de poca capacidad portante, etc.

Criterios de avería

- Inicio de avería → Superación del rozamiento y la trabazón de las piezas. Se considera que la avería se inicia cuando se mueven 3 piezas de la capa exterior del manto principal, siendo desplazadas a una distancia superior a un diámetro.
- Avería de Irirbarren → Son extraídas como mínimo 6 piezas de la capa exterior del manto principal. El fallo de la capa exterior del manto principal se extiende un área suficiente como para permitir que el oleaje empiece a actuar directamente sobre la segunda capa del manto principal y puedan ser extraídas piezas de la misma.
- Inicio de destrucción → Se mueven 3 piezas de la segunda capa del manto principal.
- Avería de destrucción → Son extraídas como mínimo 6 piezas de la segunda capa del manto principal. A partir de ese momento comienza la extracción de piezas del manto secundario. Si las condiciones del oleaje se mantienen, la avería no se estabiliza y los requerimientos de fiabilidad y funcionalidad dejan de cumplirse.

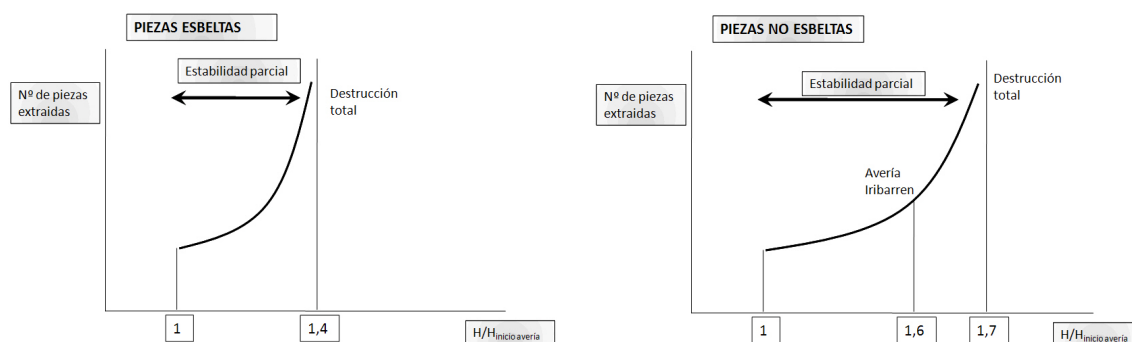
Nota 3.

Se define la estabilidad parcial como el incremento de altura de ola con respecto a la altura de ola de inicio de avería que es necesario alcanzar para producir el fallo de la estructura.

Junto al oleaje como agente principal, la tipología de las piezas utilizadas en la construcción del dique desempeña un papel esencial en los procesos de inicio y progreso de la avería.

- A partir de la estabilidad parcial se define el margen de seguridad → Número de piezas extraídas en función de la relación entre altura de ola incidente y altura de ola de inicio de avería.
- Piezas esbeltas → margen de seguridad ↓.
- Piezas no esbeltas → margen de seguridad ↑.

- Margen de seguridad:



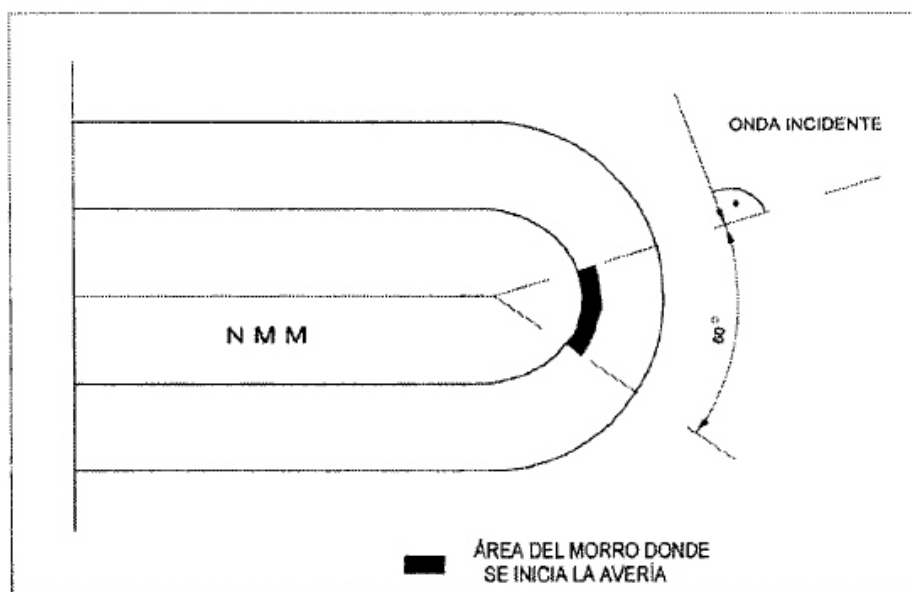
Estabilidad de morros

Nota 4.

La acción del oleaje sobre los morros de los diques no rebasables es diferente de la que tiene lugar sobre la alineación principal:

- El oleaje ataca los sectores del morro con incidencias diferentes.
- Los efectos combinados de la difracción y la refracción dan lugar a la concentración de energía sobre el morro y a la rotura en voluta sobre el mismo.
- Se aconseja aplicar un factor de seguridad ~ 1.5 al peso de las piezas utilizadas en el manto principal.

- Sector de mayor debilidad en el morro del dique:



Reparación y rehabilitación de diques en talud

Nota 5.

- Reparación: arreglo de daños causados por oleaje, corrientes, viento, filtración y tubificación, impactos o actividad sísmica.
- Rehabilitación: restauración al estado original de partes deterioradas de un tramo de obra, o mejora de la estructura para que pueda soportar solicitaciones mayores que las de diseño.

Nota 6.

Criterios para rehabilitación/reparación:

- Después de eventos susceptibles de haber causado daños —tormentas, impacto de embarcaciones, terremotos, etc.—.
- Cuando la inspección periódica revela deterioro progresivo hasta el punto de que la funcionalidad se encuentra comprometida.
- Cuando las respuestas frente a las acciones no son como estaban previstas en el proyecto.
- Cuando se observa un deterioro crónico debido a una estimación deficiente de los valores de diseño de las acciones.
- Cuando la obra original es modificada para prestar un servicio nuevo o mejorado, para el que no fue concebida.

Aspectos generales de la reparación y rehabilitación

- Costes de reparación → Elevados. A los de carácter urgente se les hace frente a través de fondos específicos destinados a contingencias. Las reparaciones de carácter menos urgente y las rehabilitaciones se gestionan a través de proyectos específicos.
- Revisión de datos de diseño → En principio no habrá diferencia entre los parámetros de diseño del proyecto original y aquellos a aplicar en el momento de la reparación/rehabilitación, lo que equivale a admitir que el medio físico no ha cambiado con el tiempo. No obstante, los datos deberán revisarse siempre que la exposición al clima marítimo se haya visto modificada —presencia de nuevas obras de abrigo— y/o cuando hayan tenido lugar cambios en la batimetría —procesos erosivos y de transporte, formación de barras, etc.—.

- Materiales → En función de la vida útil de la obra, es posible que no puedan ser utilizados ciertos materiales o métodos en las labores de reparación/rehabilitación. Los criterios de diseño de algunas estructuras o elementos estructurales podrían haber sufrido alteraciones respecto a cuando se proyectó la obra. Otro tanto puede hacerse extensivo a la disponibilidad de ciertos materiales, en particular el material granular en función de la producción de las canteras utilizadas en su día. Las condiciones de acceso al emplazamiento de la obra también podrían haber cambiado en función del grado de desarrollo del entorno, lo cual afectará a la secuencia del proceso de reparación/rehabilitación.
- Requisitos de proyecto → A la hora de plantear la reparación/rehabilitación, es imprescindible revisar los requisitos y especificaciones del proyecto original. Es necesario determinar con precisión el origen del problema. Si bien en la mayoría de los casos dicho origen resultará obvio, en otros requerirá un planteamiento más exhaustivo.

- Identificación de variables → Cuando el daño es atribuible a un temporal o serie de temporales, es esencial identificar las variables y descriptores con el fin de que el diseño de la reparación sirva para resistir futuras acciones.
- Reconsideración general de criterios → En caso de que una reparación implique una modificación amplia de un tramo de obra para recuperar la funcionalidad, es posible que el proyecto original no estuviese bien planteado en un primer momento. Ello requeriría una reconsideración general del proyecto en su totalidad.

Referencias

- Losada M. A. (Ponente), 2001. ROM 0.0 Procedimiento General y Bases de Cálculo en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias. Parte I. Puertos del Estado. 220 p.p. i.s.b.n. 84 – 88975 – 30 – 9.
- Losada M. A. (Ponente), 2010. ROM 1.0-09 Recomendaciones del Diseño y Ejecución de las Obras de Abrigo. Parte I. Bases y Factores para el Proyecto. Agentes Climáticos. Puertos del Estado. 532 p.p. i.s.b.n. 978 – 84 – 88975 – 73 – 7.

Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos Ingeniería de Obras Marítimas

Procedimientos y Procesos para la Construcción de Diques de
Abrigo. Tipologías de Dique Vertical y Dique Mixto

Moñino A. & Clavero M.
Dpto. Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica
Universidad de Granada

[www](#)[inicio](#)

página 1 de 38

[fullscreen](#)[salir](#)

Caracterización espacial de la obra

Tramo de obra

Nota 1.

Se define el tramo de obra como el conjunto de secciones —una alineación— que cumplen una función específica y relevante de los requisitos de explotación de la obra. El conjunto de secciones del tramo se encuentran sometidas a los mismos niveles de acción de todos los agentes actuantes, formando parte de la misma tipología formal y estructural.

[www](#)[inicio](#)[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)[página 2 de 38](#)[fullscreen](#)[salir](#)

Nota 2.

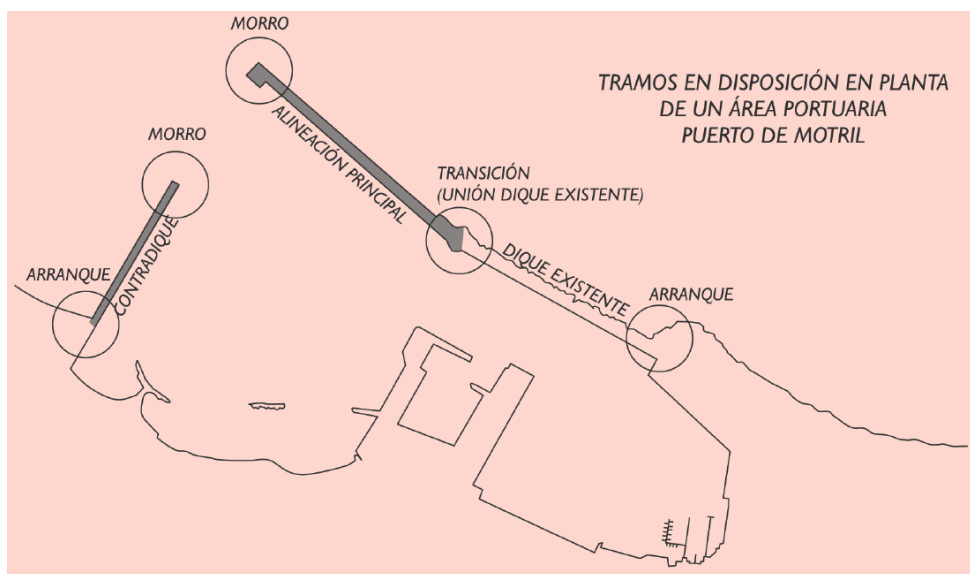
Los diferentes tramos no solamente serán distinguidos en base a forma y estructura, sino también atendiendo a variaciones en los factores de proyecto a lo largo del emplazamiento —geometría de la obra y el terreno, características del terreno, medio físico y materiales, agentes y acciones— y a las repercusiones en caso de fallo o parada. La consideración de dichos factores ayudará asimismo a establecer los criterios para considerar la eventual entrada en servicio durante la fase de construcción. Debe recordarse que:

- Cada tramo de la obra puede encontrarse proyectado con una tipología diferente de dique de abrigo.
- La obra puede presentar diferentes alineaciones. Cada alineación puede estar conformada por más de un tramo.

- El dique de abrigo se considerará dividido en tramos homogéneos de la misma tipología formal y estructural.
- Definición de tramos → homogeneidad de agentes climáticos, homogeneidad de agentes del terreno, etc.

[www](#)[inicio](#)[página 4 de 38](#)[fullscreen](#)[salir](#)

- Ejemplo de tramo de obra: alineaciones principales y secundarias.



Clasificación fundamental de tramos

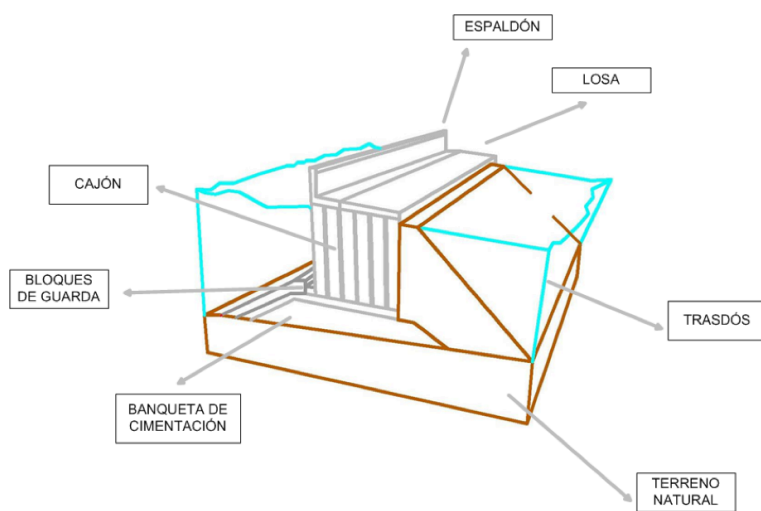
- Arranque o unión del dique con tierra.
- Alineación principal, la cual proporciona abrigo y control del oleaje predominante.
- Alineaciones secundarias, las cuales establecen la unión entre tramos.
- Transición, consistente en el tramo entre dos alineaciones o dos tipologías.
- Morro o extremo del dique.

Procesos y métodos de avance en dique vertical

Nota 3.

Los diques verticales están constituidos por una banqueta de escollera sobre la que se apoya una estructura de paramentos verticales, generalmente monolítica, realizada con cajones de hormigón armado rellenos de material granular para garantizar la estabilidad. Los cajones consisten en elementos prismáticos de hormigón divididos interiormente en celdas —generalmente cuadrangulares— para hacerlos estructuralmente más ligeros.

- Esquema de un dique vertical:



- Ventajas de la tipología de dique vertical respecto a otras:
 - Reducción importante del volumen de material de préstamo → Reducción de impactos ambientales, disminución de afección al entorno —instalaciones portuarias, poblaciones cercanas, etc...—, ahorro de costes.
 - Rapidez en la construcción.
 - Buen comportamiento ante el oleaje durante la fase constructivas.
 - Pueden ser desmantelados más fácilmente que los diques en talud.

- Consideraciones a tener en cuenta:
 - Dificultades durante las labores de fondeo de cajones → Ventanas climáticas de condiciones muy restringidas.
 - En ocasiones se ha puesto en duda su seguridad → Mustafá (Argel), Granilli (Nápoles), Arromanches.

Secuencia constructiva

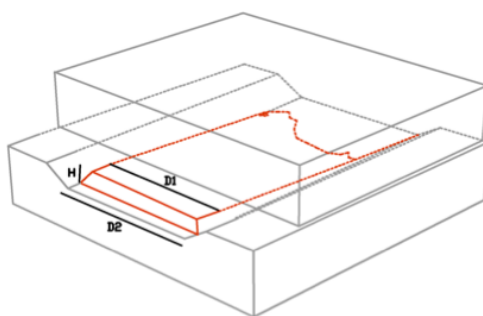
Nota 4.

La construcción de un dique vertical con cajones de hormigón armado comprende una serie de fases constructivas. Cada una de ellas involucra un conjunto de actividades cuya ejecución está entrelazada en espacio y tiempo, fijando la duración de la obra en el tiempo que transcurre desde que se inicia la primera actividad, hasta finalmente satisfacer los requisitos de proyecto, condicionada a los medios técnicos y económicos necesarios, así como a los procedimientos constructivos que en cada caso se establezcan para ejecutar el dique.

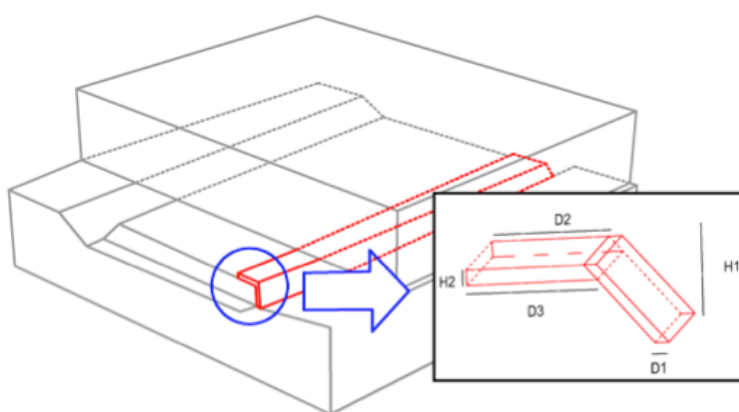
- Dragado → Eliminación de suelos con capacidad portante insuficiente para recibir las cargas que la banqueta transmite. El dragado se ejecuta con grandes equipos de dragas de succión en marcha.



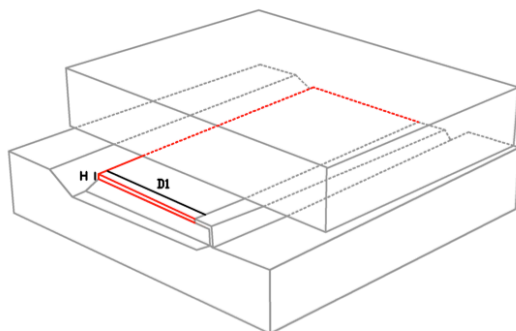
- Vertido de la banqueta → El cajón apoya sobre una capa de todo uno o de escollera de cierto espesor, vertida desde ganguiles. Tiene como objetivo el reparto de cargas a la cimentación.:
 - Reducción de presiones en el terreno natural y protección frente al riesgo de colapso geotécnico.
 - Homogeneización de asientos.
 - Resistencia frente a la acción de agentes locales: oleaje, hélices de buques.



- Vertido de la berma → La berma cumple la función de manto de protección de la cimentación. Se construye lo antes posible para proteger de socavación la banqueta de cimentación por acción del oleaje.



- Enrase de la banqueta → El objetivo es conseguir que la geometría de la superficie de la banqueta sea homogénea y sin irregularidades:
 - Se evitan cargas concentradas en las estructuras que descansan sobre la banqueta.
 - Se asegura la exacta ubicación de las estructuras en el emplazamiento.
 - Se compensan los asientos diferenciales que puedan producirse.



Nota 5.

El material idóneo es una grava de características parecidas al balasto de ferrocarril, con tamaños entre $2 \sim 4$ pulgadas — $5.0 \sim 10.0 \text{ cm}$ —. Tamaños más reducidos facilitan la labor de los equipos y es posible una nivelación más precisa, pero son un peligro de potenciales asientos producidos por penetración en la banqueta o por lavado debido a las corrientes. Los tamaños superiores dificultan el proceso de enrase.

- Para cimentación sobre fondo rocoso y ciertas condiciones extremas, el enrase se realizaría con sacos de yute rellenos de hormigón y colocados por buzos profesionales:
 - Sistema caro solamente viable cuando el espesor equivalente a enrasar es muy pequeño y, en cualquier caso, sobre un fondo rocoso.
 - Para fondeos en alta mar el enrase se hace por montones de balasto y mediante equipo muy sofisticado en cuadrículas de aproximadamente 1 metro. Su producción es superior a los $1000 \text{ m}^2/\text{día}$.

- Buque enrasador:



[www](#)

[inicio](#)

[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)

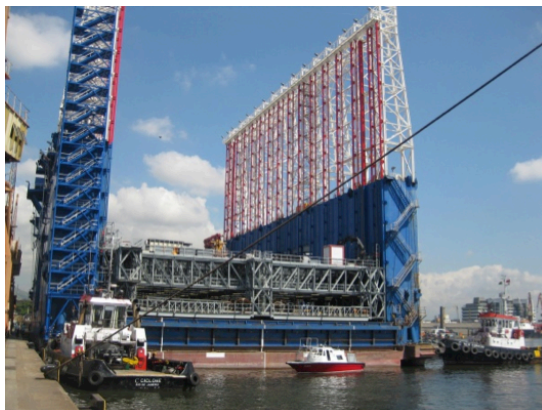
página 17 de 38

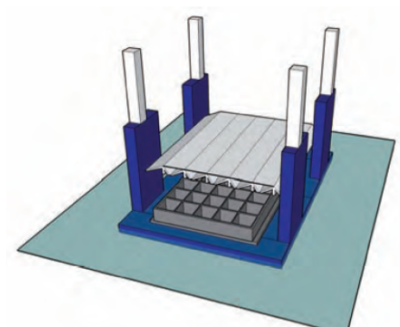
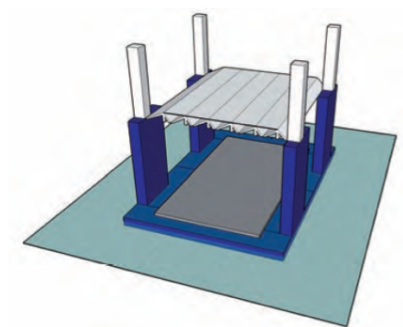
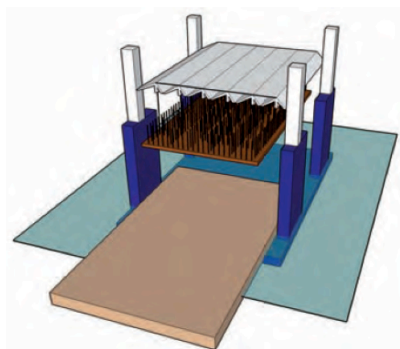
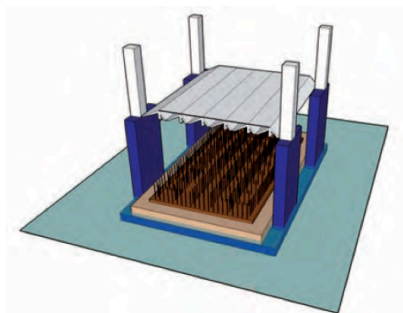
[fullscreen](#)

[salir](#)

Fabricación de cajones

- Armadura de solera → Elaborada y montada la armadura sobre la pontona auxiliar, se traslada al cajonero previamente sumergido. La armadura se suspende de la estructura del cajonero mediante agarres de cable de acero. Posteriormente se retira la pontona y se procede al descenso y colocación de la armadura en la base del cajonero.





[www](#)

[inicio](#)

[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)

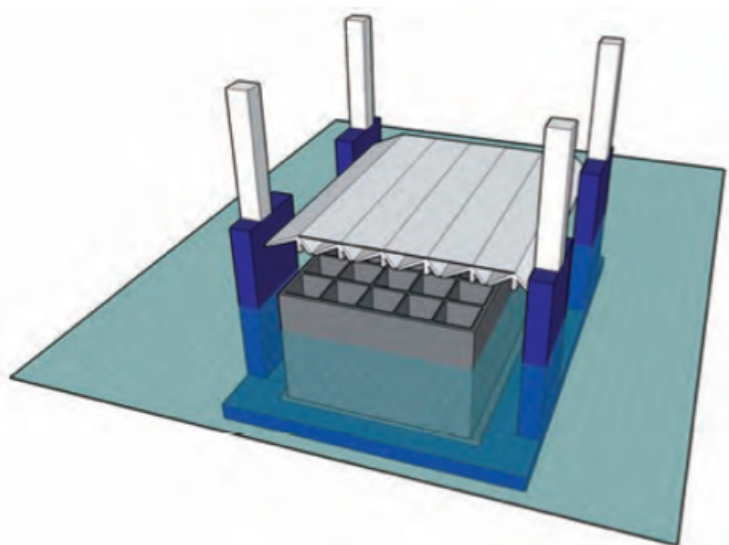
página 19 de 38

[fullscreen](#)

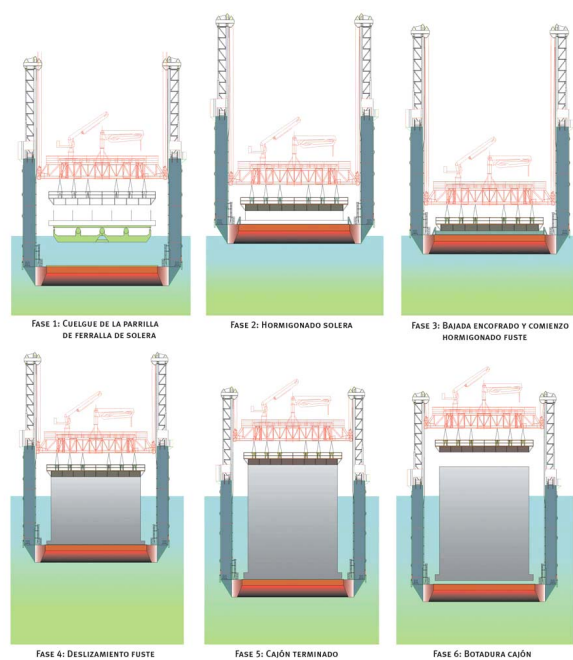
[salir](#)

- Solera → Colocación del encofrado de la solera del cajón. El hormigonado se realiza en tongadas no superiores a 0.25 m para facilitar el vibrado.
- Fuste → Finalizado el hormigonado de la solera, se coloca el primer tramo de armadura del fuste y se baja el encofrado para proseguir con el hormigonado del resto del cajón. El fuste se hormigona en tongadas de $\sim 0.3\text{ m}$, haciéndose simultáneamente las operaciones de colocación de armadura, hormigonado, vibrado y deslizado, hasta alcanzar sin interrupción la cota de coronación del cajón. Se logra de esa forma un nivel de calidad superior al que se obtendría con un sistema no continuo en el que fuese necesaria la presencia de juntas intermedias.

- Acabado del fuste → Hormigonado del fuste con el dique parcialmente sumergido.



- Esquema de secuencia completa de fabricación:



- Cajón completado:



[www](#)

[inicio](#)

[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)

[página 23 de 38](#)

[fullscreen](#)

[salir](#)

Fondeo de cajones

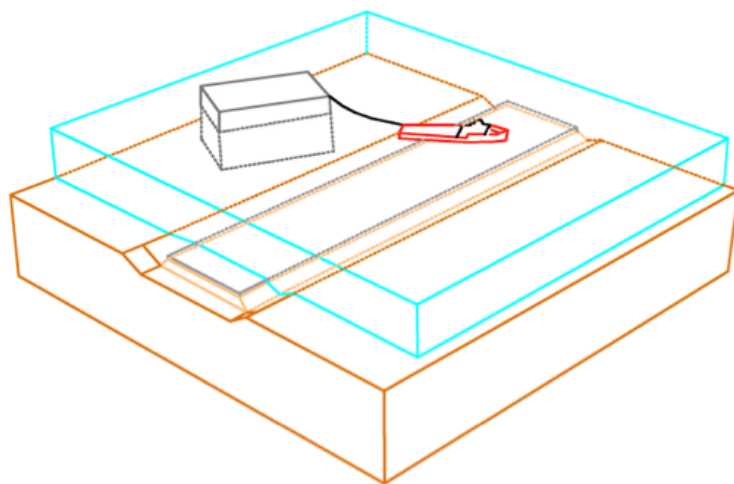
Nota 6.

El proceso constructivo en diques verticales tiene como dificultad adicional el fondeo de cajones. El fondeo es la operación para apoyar el cajón sobre la banqueta de cimentación y se realiza inundando de manera controlada las celdas mientras se mantiene el cajón a flote. Los cajones que se utilizan para construir diques verticales pueden alcanzar grandes dimensiones y presentan grandes superficies expuestas a la acción del viento, la corriente y el oleaje, lo que condiciona el proceso de fondeo, dado que en determinadas fases hay que mantener la situación en planta del cajón con muy pequeñas variaciones

- Botadura → Hundimiento del dique flotante hasta el calado previsto de botadura.



- Transporte → Transporte del cajón mediante remolcador hasta el emplazamiento definitivo en obra. En ocasiones se realiza un prefondeo en zonas abrigadas para resguardar los cajones en caso de necesidad.



- Remolcado y conexión → El cajón se prepara con la colocación de barandillas y redes de protección, iluminación y luces de navegación. Se montan gatos hidráulicos y winches — $10\text{ t} \sim 30\text{ t}$ —. Colocación de defensasas en el último cajón de avance. Tensado de cables e inundación de celdas. Guiado con el tiro de los cabrestantes hasta dejarlo correctamente apoyado en el fondo para completar el proceso de inundación.



- Defensa tipo Yokohama:



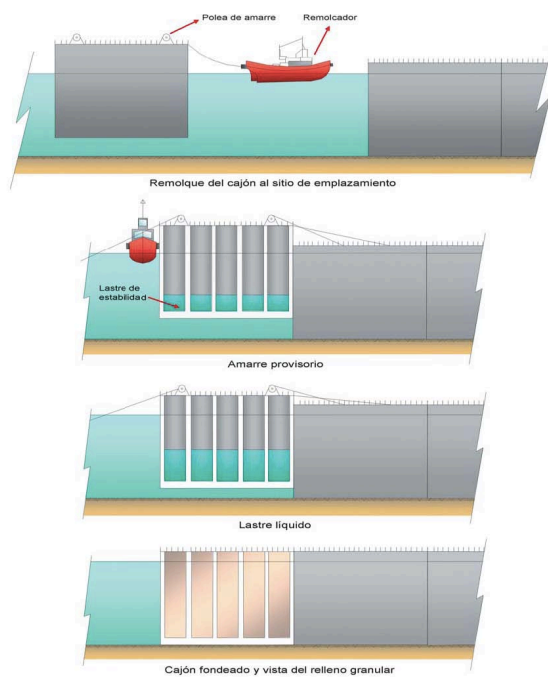
Nota 7.

La mejor configuración es disponer de 7 elementos: cuatro en las esquinas para situar el cajón con los largos perpendiculares a la eslora, uno en el centro para disponer un largo en la dirección de la alineación del dique en avance y dos en la dirección del dique pero hacia lo construido. Los elementos más eficaces son los perpendiculares a las paredes del cajón.

- Posicionamiento y fondeo → Durante la maniobra de posicionamiento previa al fondeo, debe evitarse la colisión entre el cajón y el cajón precedente en la alineación. Por esa razón los movimientos que se producen en el plano horizontal —vaivén y deriva, principalmente— deben estar muy controlados.



- Esquema de posicionamiento del cajón:

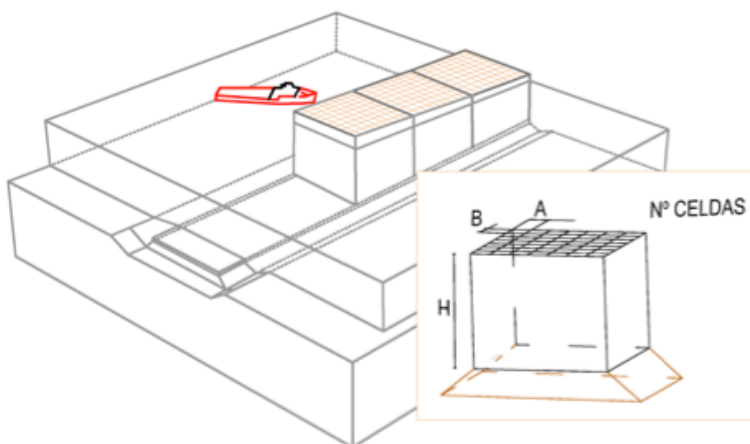


Nota 8.

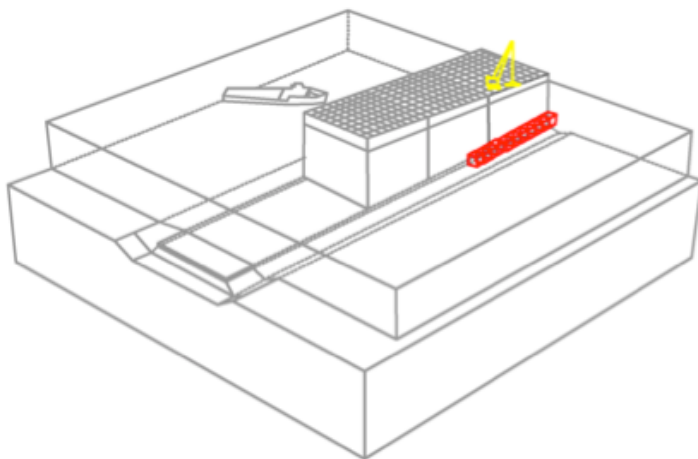
El fondeo viene limitado por:

- Velocidades de viento superiores a 5 m/s que dificultan la operación. Reducir el francobordo del cajón disminuye la influencia del viento, que aumenta los esfuerzos en anclas y cabrestantes.
- Velocidades de la corriente superiores a 0.5 m/s dificultan el fondeo de los cajones y deben ser tenidas en cuenta al diseñar el proceso.
- Alturas de ola significantes mayores de 1 m y/o períodos superiores a 8 s disminuyen la precisión con la que se puede hacer el fondeo.

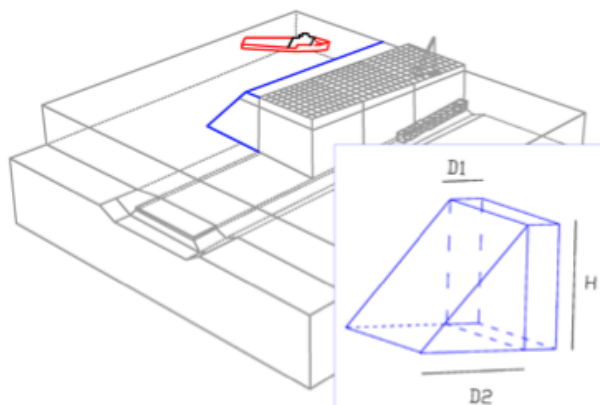
- Relleno de celdas → Habitualmente las celdas de los cajones se rellenan con draga y difusor de reparto de forma que se van rellenando varias celdas al mismo tiempo. En el caso de que la ubicación de los cajones permita el acceso desde tierra, el relleno de las celdas se realiza mediante el vertido directo desde camiones.



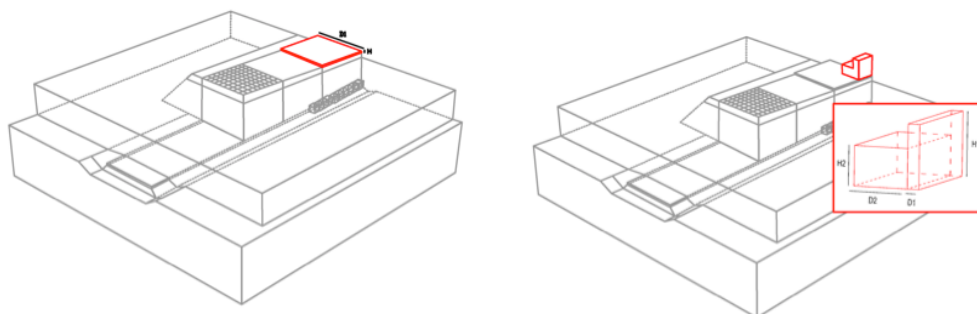
- Bloques de guarda → Los cajones fondeados modifican las condiciones hidráulicas del entorno, pudiendo producir aumentos de la agitación en las zonas de banqueta próximas. En consecuencia, la colocación de los bloques de guarda se debe hacer a la mayor brevedad, una vez fondeados los cajones, para evitar socavaciones en la banqueta.



- Trasdós → La colocación del material del relleno del trasdós se realizará de forma que se garantice que su granulometría sea la prevista. Antes de trasdosar una estructura, se ha de verificar que ésta tiene capacidad resistente suficiente para soportar los empujes transmitidos, limitando, en su caso, el avance del relleno en función del grado de acabado de la estructura.



- Losa y espaldón → Es importante tener en cuenta en esta fase la combinación de las mareas y el oleaje, ya que pueden provocar rebases que impidan el trabajo, dañen las obras en ejecución y pongan en riesgo la integridad de las personas y de los equipos.



Procesos y métodos de avance en dique mixto

Nota 9.

Los diques mixtos son en general obras de abrigo verticales, en las que la banqueta de cimentación tiene una altura suficiente como para alterar la cinemática y dinámica de las oscilaciones del mar con respecto a la de un dique vertical. La sección típica es similar a la de los diques verticales. El proceso constructivo es semejante al del dique vertical.

Referencias

- Dizy A. & Mey R (Ponentes), 2008. Guía de Buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas. Puertos del Estado. 327p.p. i.s.b.n. 978 – 84 – 88975 – 68 – 6.
- Pita E., Grau J. I. & Pérez A., 2007. Manual para el Diseño y la Ejecución de Cajones Flotantes de Hormigón Armado para Obras Portuarias.
- Losada M. A. (Ponente), 2001. ROM 0.0 Procedimiento General y Bases de Cálculo en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias. Parte I. Puertos del Estado. 220 p.p. i.s.b.n. 84 – 88975 – 30 – 9.
- Losada M. A. (Ponente), 2010. ROM 1.0-09 Recomendaciones del Diseño y Ejecución de las Obras de Abrigo. Parte I. Bases y Factores para el Proyecto. Agentes Climáticos. Puertos del Estado. 532 p.p. i.s.b.n. 978 – 84 – 88975 – 73 – 7.

Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos Ingeniería de Obras Marítimas

Procedimientos para la Conservación de Diques de Abrigo.

Tipologías de Dique Vertical y Dique Mixto

Moñino A. & Clavero M.

Dpto. Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica
Universidad de Granada

[www](#)[inicio](#)

página 1 de 20

[fullscreen](#)[salir](#)

Modos de fallo y procesos

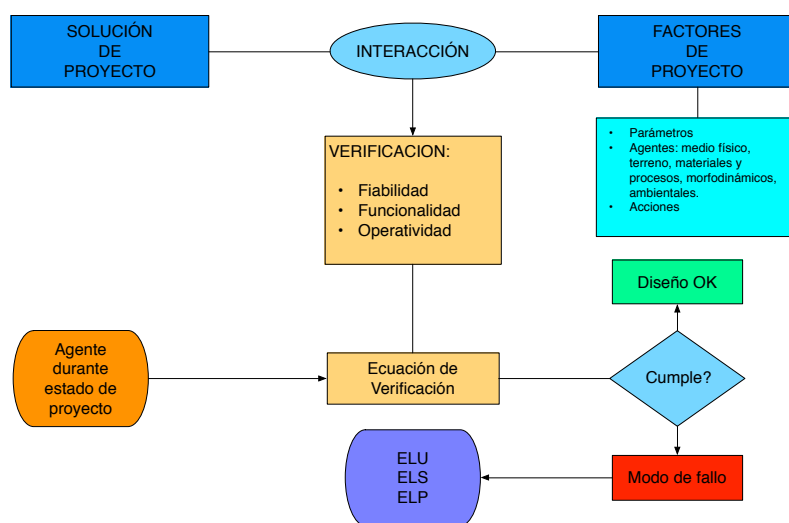
Nota 1.

Estado límite: estado de proyecto —intervalo de tiempo durante el cual cualquier manifestación de los factores de proyecto es estacionaria en el sentido estadístico— en el cual la obra en su conjunto, o en alguno de sus tramos o elementos, queda fuera de uso o servicio por incumplimiento de los requisitos de seguridad, de servicio y de explotación especificados en el proyecto.

Nota 2.

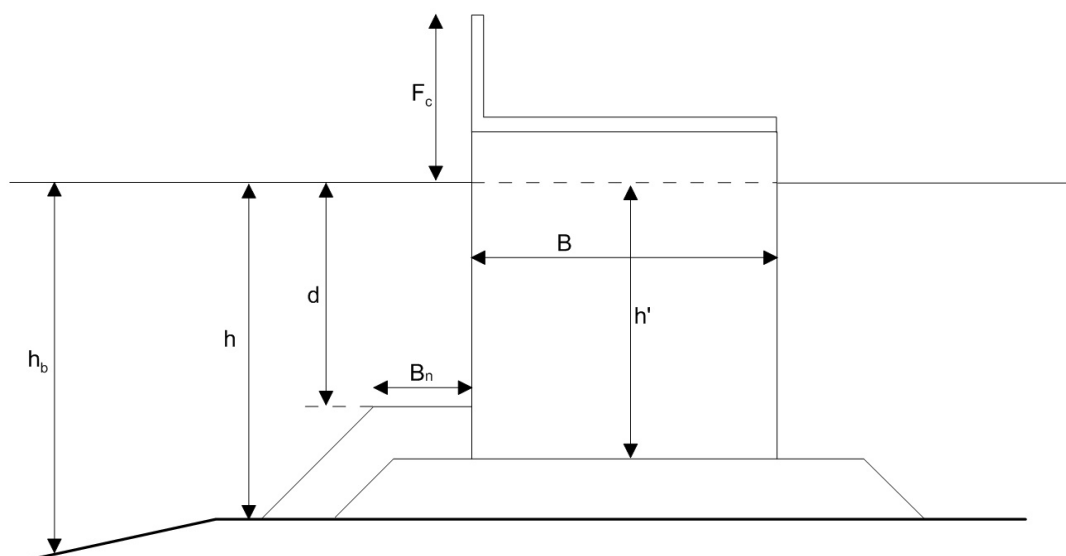
Modo de fallo o parada: manera, forma o mecanismo en que puede producirse el fallo o la parada operativa, describiéndose y caracterizándose en un estado límite.

- Esquema de interacción obra-agentes y verificación:



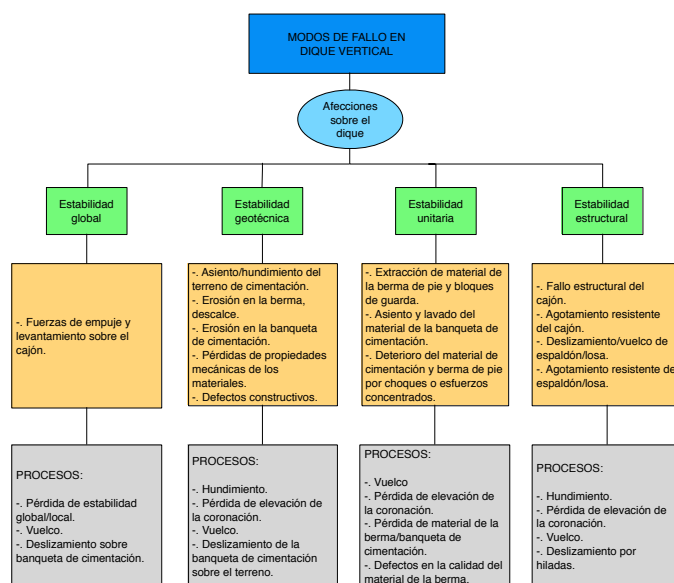
Estabilidad de la estructura en dique vertical

- Sección tipo de dique vertical:

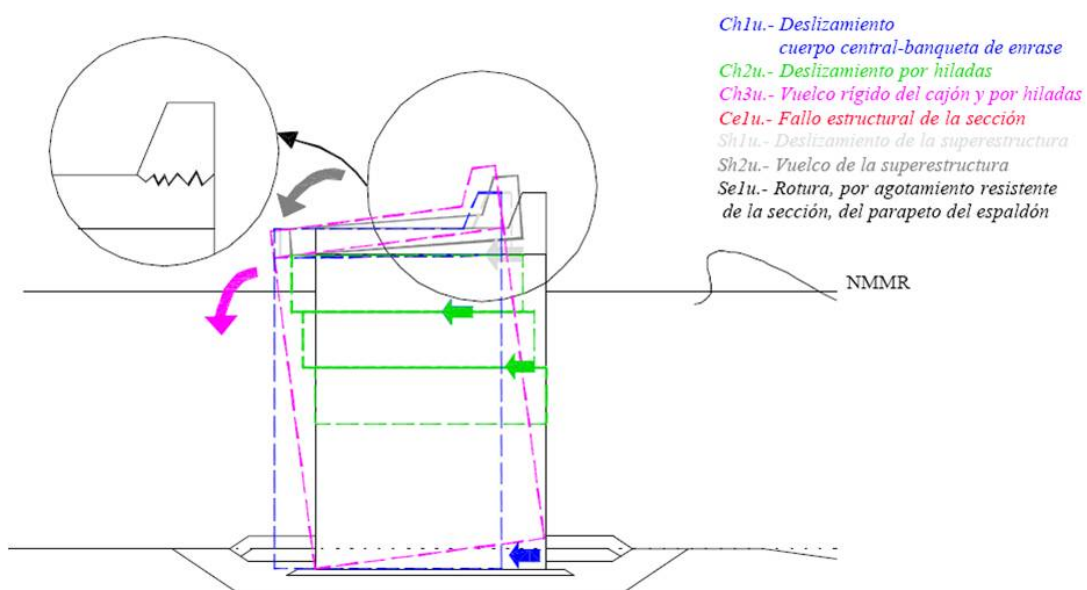


- El diseño de un dique vertical debe garantizar la estabilidad de la estructura en los siguientes términos:
 1. Estabilidad global: afecta al dique en su conjunto.
 2. Estabilidad geotécnica: afecta a la capacidad portante del suelo y a fallos por erosión de pie y procesos similares.
 3. Estabilidad unitaria: afecta a la estabilidad y calidad del material de la berma y la banquetta de cimentación.
 4. Estabilidad estructural: afecta a la resistencia estructural del sistema en su conjunto y, por tanto, se ve afectada por todas las demás.

- Diagrama de fallos en un dique vertical:



- Esquema general de fallos en un dique vertical:



Procesos y estados límite

- Vuelco y deslizamiento sobre banquetta → Acción de fuerzas de empuje y levantamiento no equilibradas con el rozamiento entre cuerpo central y banquetta de cimentación, y con el peso del dique.
- Hundimiento y vuelco de cuerpo central → Agotamiento resistente del terreno de cimentación, erosión y filtración a pie de dique —filtración del terreno a través de la banquetta de cimentación—, deslizamiento profundo del terreno de cimentación, deslizamiento local y/o consolidación. Consecuencias: hundimiento o vuelco del cuerpo central, con efectos sobre la cota máxima de coronación y la resistencia estructural de la sección.
- Deterioro de la banquetta de cimentación y berma → Acción erosiva del oleaje y las corrientes sobre el material de la berma. El material de la banquetta de cimentación puede verse arrastrado a través de la berma, o bien producirse el lavado de la fracción más fina a través de los tamaños mayores.

[www](#)[inicio](#)[◀◀ ◀ ▶ ▶▶](#)[página 8 de 20](#)[fullscreen](#)[salir](#)

- Pérdida de piezas en bloques de guarda → Extracción de piezas de bloques de guarda, dando lugar a proceso de erosión del material de la berma y la banqueta de cimentación, con efectos sobre la estabilidad del cuerpo central.
- Defectos en la calidad de los materiales → Daños en el material granular de la banqueta de cimentación, berma y bloques de guarda: fragmentación por choques y concentración de esfuerzos, movimientos continuos, redondeo, fragmentación, agrietamiento y fractura de piezas grandes.
- Defectos en la calidad del cajón → Deterioro estructural del cajón y daños en el cuerpo central de la sección y la superestructura, en los siguientes términos: agrietamiento y fractura del cajón por agotamiento resistente del material, deslizamiento por hiladas asociado a fallo en la estructura, rotura de espaldón y/o losa.

- Vuelco o deslizamiento $\rightarrow$ Solicitación mayor o máxima de todas las olas del estado de mar, entendiéndose que si se produce el fallo es como consecuencia de la ola mayor. Dependiendo del número de olas en el estado de mar, el valor de la ola mayor es uno u otro.
- Dado un registro de N olas, la relación entre la altura de ola máxima y la significativa vienen dada por:

$$\frac{H_{max}}{H_s} \simeq 0.706\sqrt{\ln N} \quad (1)$$

- Para estado con $N \geq 5000$ se estima $H_{max} \simeq 1.6 \sim 2.0H_s$, por lo que finalmente se propone:

$$H_{max} \simeq 1.8H_s \quad (2)$$

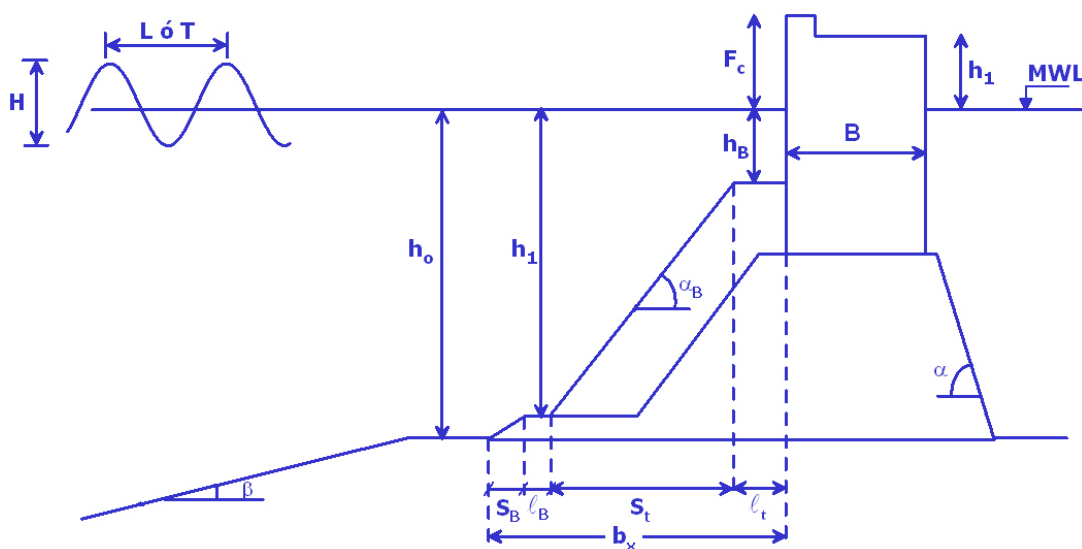
Nota 3.

En el estudio de diques verticales, se van a comprobar los modos de fallo por vuelco y deslizamiento adscritos a los estados límite últimos, para un tren de ondas monocromático con altura incidente $H_I = 1.8H_s$ y periodo $T = \bar{T}_z$.

[www](#)[inicio](#)[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)[página 11 de 20](#)[fullscreen](#)[salir](#)

Estabilidad de la estructura en dique mixto

- Sección tipo de dique mixto:



- El diseño de un dique mixto debe garantizar la estabilidad de la estructura en los siguientes términos:
 1. Estabilidad global: afecta al dique en su conjunto, así como al material del manto de protección
 2. Estabilidad geotécnica: afecta a la capacidad portante del suelo y a fallos por erosión de pie y procesos similares.
 3. Estabilidad unitaria: afecta a la estabilidad y calidad de los materiales de cimentación y manto.
 4. Estabilidad estructural: afecta a la resistencia estructural del sistema en su conjunto y, por tanto, se ve afectada por todas las demás.

Procesos y estados límite

- Exposición o pérdida de material del núcleo.
- Pérdida de piezas del manto de protección: desplazamiento, asiento, hueco interior.
- Pérdida de contacto o trabazón en el manto.
- Defectos en la calidad del manto: redondeo de piezas, fragmentación, agrietamiento.
- Defectos en la pendiente del talud del manto de protección: aumento de pendiente, deslizamiento.

Reparación y rehabilitación de diques en talud

Nota 4.

- Reparación: arreglo de daños causados por oleaje, corrientes, viento, filtración y tubificación, impactos o actividad sísmica.
- Rehabilitación: restauración al estado original de partes deterioradas de un tramo de obra, o mejora de la estructura para que pueda soportar solicitaciones mayores que las de diseño.

Nota 5.

Criterios para rehabilitación/reparación:

- Después de eventos susceptibles de haber causado daños —tormentas, impacto de embarcaciones, terremotos, etc.—.
- Cuando la inspección periódica revela deterioro porgresivo hasta el punto de que la funcionalidad se encuentra comprometida.
- Cuando las respuestas frente a las acciones no son como estaban previstas en el proyecto.
- Cuando se observa un deterioro crónico debido a una estimación deficiente de los valores de diseño de las acciones.
- Cuando la obra original es modificada para prestar un servicio nuevo o mejorado, para el que no fue concebida.

Aspectos generales de la reparación y rehabilitación

- Costes de reparación → Elevados. A los de carácter urgente se les hace frente a través de fondos específicos destinados a contingencias. Las reparaciones de carácter menos urgente y las rehabilitaciones se gestionan a través de proyectos específicos.
- Revisión de datos de diseño → En principio no habrá diferencia entre los parámetros de diseño del proyecto original y aquellos a aplicar en el momento de la reparación/rehabilitación, lo que equivale a admitir que el medio físico no ha cambiado con el tiempo. No obstante, los datos deberán revisarse siempre que la exposición al clima marítimo se haya visto modificada —presencia de nuevas obras de abrigo— y/o cuando hayan tenido lugar cambios en la batimetría —procesos erosivos y de transporte, formación de barras, etc.—.

- Materiales → En función de la vida útil de la obra, es posible que no puedan ser utilizados ciertos materiales o métodos en las labores de reparación/rehabilitación. Los criterios de diseño de algunas estructuras o elementos estructurales podrían haber sufrido alteraciones respecto a cuando se proyectó la obra. Otro tanto puede hacerse extensivo a la disponibilidad de ciertos materiales, en particular el material granular en función de la producción de las canteras utilizadas en su día. Las condiciones de acceso al emplazamiento de la obra también podrían haber cambiado en función del grado de desarrollo del entorno, lo cual afectará a la secuencia del proceso de reparación/rehabilitación.
- Requerimientos de proyecto → A la hora de plantear la reparación/rehabilitación, es imprescindible revisar los requerimientos y especificaciones del proyecto original. Es necesario determinar con precisión el origen del problema. Si bien en la mayoría de los casos dicho origen resultará obvio, en otros requerirá un planteamiento más exhaustivo.

- Identificación de variables → Cuando el daño es atribuible a un temporal o serie de temporales, es esencial identificar las variables y descriptores con el fin de que el diseño de la reparación sirva para resistir futuras acciones.
- Reconsideración general de criterios → En caso de que una reparación implique una modificación amplia de un tramo de obra para recuperar la funcionalidad, es posible que el proyecto original no estuviese bien planteado en un primer momento. Ello requeriría una reconsideración general del proyecto en su totalidad.

Referencias

Losada M. A. (Ponente), 2001. ROM 0.0 Procedimiento General y Bases de Cálculo en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias. Parte I. Puertos del Estado. 220 p.p. i.s.b.n. 84 – 88975 – 30 – 9.

Losada M. A. (Ponente), 2010. ROM 1.0-09 Recomendaciones del Diseño y Ejecución de las Obras de Abrigo. Parte I. Bases y Factores para el Proyecto. Agentes Climáticos. Puertos del Estado. 532 p.p. i.s.b.n. 978 – 84 – 88975 – 73 – 7.

[www](#)[inicio](#)[página 20 de 20](#)[fullscreen](#)[salir](#)

Capítulo 10

ROM 0.0: Procedimiento General y Bases de Cálculo en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias. Criterios Generales

10.1. Introducción al programa ROM

Las directrices para el diseño, construcción y explotación —uso y mantenimiento— de las obras marítimas se encuentran recogidas en las **Recomendaciones de Obras Marítimas** —figura 10.1—. Dichas recomendaciones, promovidas por Puertos del Estado, contienen todas aquellas normativas y criterios técnicos a tener en cuenta en la construcción de una obra marítima.

Nota 51.

Las Recomendaciones de Obras Marítimas —ROM— proporcionan, en sus diferentes contenidos, normas y criterios técnicos de aplicación en todas las fases de una obra marítima, con el fin de garantizar la fiabilidad, funcionalidad y operatividad de aquella. Y bien interpretadas, una gran parte de sus contenidos pueden ser hechos extensivos a cualquier otro tipo de obra. No son objeto de las ROM los aspectos constructivos particulares.



Figura 10.1: Manuales de las Recomendaciones de Obras Marítimas.

Nota 52.

El programa ROM se divide en 5 series:

- Serie 0 - Recomendaciones de carácter general.
- Serie 1 - Obras exteriores: diques de abrigo.
- Serie 2 - Obras interiores: estructuras de amarre y fondeo.
- Serie 3 - Forma y disposición en planta.
- Serie 4 - Superestructuras portuarias.
- Serie 5 - Las obras marítimas y portuarias en el entorno.
- Serie 6 - Prescripciones técnicas, administrativas y legales.

La página de puertos del estado www.puertos.es contiene información actualizada sobre las Recomendaciones. Las ROM que actualmente se encuentran publicadas son

las siguientes:

- ROM 0.0–01. Procedimiento General y Bases de Cálculo.
- ROM 0.2–90. Acciones para el Proyecto de Obra Marítimo–Portuaria.
- ROM 0.3–91. Acción Climática (I): Oleaje. Anexo: Clima Marítimo del Litoral Español.
- ROM 0.4–95. Acciones Climáticas para el Proyecto (II): Viento.
- ROM 0.5–05. Recomendaciones Geotécnicas en las Obras Marítimas.
- ROM 1.0–09. Recomendaciones de Diseño y Ejecución de las Obras de Abrigo.
- ROM 2.0–11. Recomendaciones para el Proyecto y Ejecución de Obras de Atraque y Amarre.
- ROM 3.1–99. Proyecto de la Configuración Marítima y de los Puertos. Canales de Acceso y Áreas de Flotación.
- ROM 4.1–94. Proyecto y Construcción de Pavimentos Portuarios.
- ROM 5.1–13. Calidad del Agua Litoral en las Áreas Portuarias.

Para la redacción de las ROM, el primer paso es la redacción de un Anejo Técnico para el Pliego de Prescripciones de la ponencia en cuestión. A continuación el ponente prepara un borrador para la discusión de la norma, el cual es revisado colectivamente por el Grupo de Trabajo. Tras la revisión, la ponencia es aprobada por una Comisión Técnica ampliada, la cual da finalmente salida a la edición final que ha de conformar el documento ROM.

Las ROM se encuentran dirigidas en general a proyectistas, constructores y administradores portuarios, con el fin de proporcionar bases para la optimización de las actuaciones profesionales e institucionales, para el fomento del prestigio internacional de la tecnología portuaria española, y para promover la exportación de dicha tecnología.

10.2. ROM 0.0: Procedimiento general y bases de cálculo

La ROM 0.0: Procedimiento General y Bases de Cálculo en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias, contiene el conjunto de normas y criterios técnicos de aplicación en obras marítimas, estableciendo un procedimiento general así como las bases de cálculo para las mismas.

Nota 53.

El objetivo de la ROM 0.0 es proporcionar un conjunto de normas y criterios técnicos de aplicación en el proyecto, construcción, explotación, mantenimiento, reparación y desmantelamiento de todas las obras marítimas y portuarias, cualquiera que sea su clase o destino y cualesquiera que sean los materiales, medios y elementos empleados en la construcción, explotación, mantenimiento, reparación y desmantelamiento. Su ámbito de aplicación se extiende a todos los aspectos relacionados con la actividad portuaria, la gestión y mantenimiento del litoral, la explotación de recursos marinos, la navegación y su interacción con el medio físico.

Conforme a su contenido y objetivos, la ROM 0.0 se encuentra estructurada conforme al esquema de la figura 10.2.

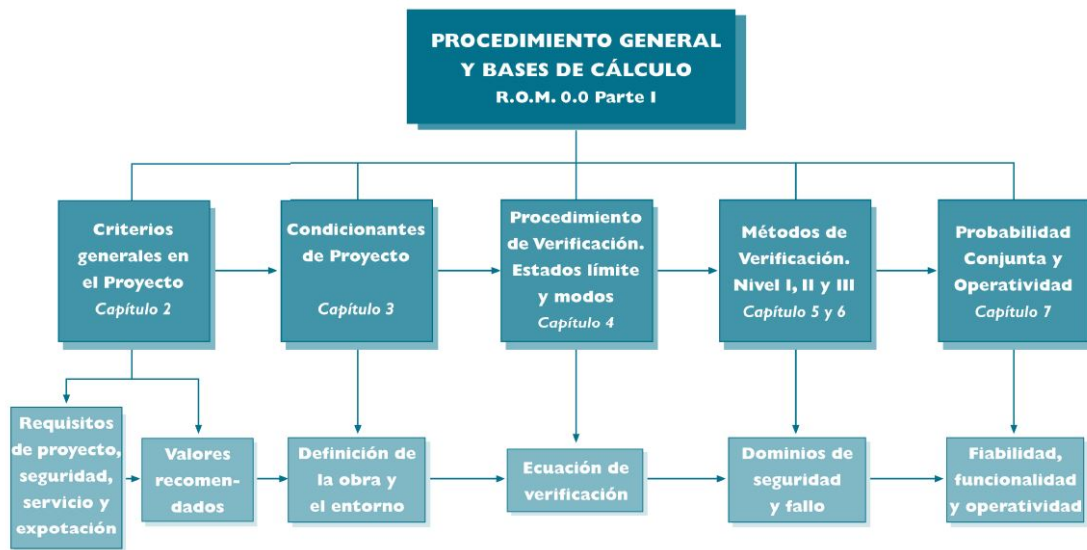


Figura 10.2: Estructura de contenidos de la ROM 0.0, ROM 0.0 (2001).

De forma general, el proyecto de una obra marítima tiene como objetivos primordiales la definición de la obra y el cumplimiento de los requisitos de proyecto. A través

de la definición de la obra quedan en consecuencia definidos los tramos. Los requisitos de proyecto permiten establecer los criterios de fiabilidad, funcionalidad y operatividad.

Entendiendo por *procedimiento* la secuencia de actos cuya consecución llevan a un fin establecido, en este caso el fin es garantizar la seguridad, el servicio y la explotación del proyecto. En ese sentido, en la ROM 0.0 el concepto de *cálculo* se aplica en el sentido más amplio, incluyendo la verificación de la obra frente a modos de fallo y parada operativa, y la estimación de la probabilidad conjunta de fallo de un tramo de obra durante cada una de las fases de proyecto. En consecuencia, el procedimiento abarca la aplicación de diversos métodos que, utilizados secuencialmente, permiten determinar si la alternativa de proyecto planteada satisface los requisitos de seguridad, servicio y explotación, con la fiabilidad, funcionalidad y operatividad recomendadas durante todas sus fases de proyecto.

10.3. Criterios generales de proyecto

El establecimiento de los criterios generales de proyecto hace necesaria la definición previa de los conceptos fundamentales.

10.3.1. Generalidades

Proyecto Conjunto de actividades que comprenden el estudio y redacción, la construcción, explotación, conservación, reparación y desmantelamiento de una obra marítima.

Parámetros Conjunto de variables que caracterizan, en un emplazamiento y tiempo dados, la geometría de la construcción y del terreno, así como las propiedades del medio físico, del terreno y de los materiales de construcción.

Agentes Todo aquello que puede producir sobre la obra y su entorno, efectos significativos para su seguridad y servicio.

Acciones Cualquier efecto que un agente puede producir sobre la obra y su entorno: fuerza, carga aplicada, movimientos, deformaciones, etc.

Factores de proyecto Conjunto de parámetros, agentes y acciones.

Nota 54.

- Las propiedades resistentes del terreno de cimentación de una obra marítima pueden ser definidas previamente, y en consecuencia son **parámetros** de proyecto.
- El oleaje que actúa sobre el manto de un dique de abrigo es un **agente**. Las fuerzas de arrastre y sustentación que se producen sobre una pieza del manto son **acciones** del agente oleaje sobre aquella.

Factores predominantes Aquellos factores cuya presentación desencadena la ocurrencia de modos de fallo o parada.

Requisitos de proyecto Conjunto de condiciones de obligado cumplimiento para que la alternativa de proyecto planteada sea viable en términos de fiabilidad, funcionalidad y operatividad.

Condicionantes de proyecto Conjunto de condiciones que si bien no son requisitos de proyecto, contribuyen a que la alternativa de proyecto planteada mejore. Entre los condicionantes se encuentran: emplazamiento y fases de proyecto, explotación, geometría del tramo y del terreno, propiedades del medio físico y de los materiales, agentes y acciones.

Nota 55.

En el proyecto de un dispositivo de aprovechamiento energético del oleaje, la potencia mínima que el dispositivo es capaz de suministrar en condiciones normales del agente oleaje es un requisito de proyecto: si el diseño de sus diferentes tramos no proporciona la potencia necesaria, la alternativa no es válida. Una vez elegido un diseño que cumple con ese requisito, cuestiones tales como el impacto visual o el grado de interferencia con otros dispositivos de la zona podrán ser considerados como condicionantes: su incumplimiento no impide que se cumplan los requisitos, pero podría tener efectos sobre el rendimiento o la gestión del dispositivo.

Tramo de obra Conjunto de partes de la obra que cumplen solidariamente una función específica y relevante de los objetivos y los requisitos de explotación de la obra, estando sometidas a los mismos niveles de acción de los agentes y formando parte de la misma tipología formal y estructural.

Alternativa de proyecto Conocidos los condicionantes, las alternativas de proyecto definen la geometría del tramo y del terreno, así como los factores de proyecto.

Intervalo de tiempo Marco temporal en el que se describen, clasifican, seleccionan y determinan los parámetros, agentes y acciones, y se verifica la seguridad, el servicio y la explotación.

Estado Intervalo de tiempo en el que se admite que cualquier manifestación de los factores de proyecto es estacionaria en el sentido estadístico. La duración de un estado depende de la variabilidad temporal de los factores de proyecto, entre los que se incluye la respuesta de la obra. Cuando el estado se refiere a una respuesta de la obra se denomina **estado de proyecto**.

Nota 56.

Un estado de proyecto podría ser por ejemplo un estado de mar para el cual un tramo de obra ofrece una respuesta determinada —disipación, reflexión, transmisión—. Durante dicho estado, la variabilidad temporal del oleaje puede ser descrita a través de una función de probabilidad y de sus descriptores estadísticos asociados. En particular podría utilizarse el descriptor estadístico **altura de ola significativa**, el cual permanece esencialmente constante durante el estado.

Fase de proyecto Secuencia temporal de estados de proyecto durante los cuales el tramo de obra mantiene una misma **actividad** principal, aunque puedan existir otras actividades secundarias. Son fases de proyecto: estudios, construcción, servicio, conservación, reparación y desmantelamiento. En particular, la fase de servicio de la obra recibe la denominación de **vida útil**.

10.3.2. Estados límite y modos de fallo

Estado límite Estado de proyecto en el cual, la obra en su conjunto o en alguno de sus tramos o elementos queda fuera de uso o servicio por incumplimiento de los requisitos de seguridad, servicio y explotación. Los estados límite se clasifican en últimos —ELU—, de servicio —ELS— y operativos —ELO—.

Nota 57.

Durante la vida útil de la obra han de producirse paradas operativas —por excedencia de ciertos umbrales de los agentes climáticos, por ejemplo—. Es conveniente definir los ELO, los cuales permiten evaluar la pérdida temporal de operatividad, sin que ello suponga un fallo estructural.

El tramo de obra debe ser fiable, funcional y operativo conforme a los requisitos de proyecto. Si en un principio no se conocen todos los posibles estados de proyecto, es obligada la verificación para todos los peores estados posibles, o estados límite.

Modo de fallo Mecanismo —geométrico, físico, mecánico, químico, biológico— por el cual la obra o alguno de sus elementos queda fuera de servicio por causas estructurales. Para su comprobación los modos de fallo se adscriben a estados límite último o de servicio. Para devolver la obra al nivel de explotación previo es necesaria la reparación o reconstrucción.

Modo de parada operativa Causa —geométrica, física, mecánica, química, biológica— por la cual la obra o alguno de sus elementos debe dejar de operar o debe reducir su nivel funcional. Una vez que cesa la causa de la parada, la obra y sus instalaciones vuelven al nivel de explotación previo.

Nota 58.

Cuando da comienzo un proyecto de obra marítima, no resulta posible garantizar que cada tramo dado vaya a poder estar en explotación todos los días del año, por razones climáticas transitorias, trabajos de mantenimiento, etc.

Modo principal Modo de fallo que contribuye de manera significativa a la probabilidad conjunta de fallo del tramo de obra en la vida útil.

Nota 59.

Sea el caso de un dique vertical cuyo cuerpo central esté construido con bloques de hormigón en masa. Para un ELU los modos principales serían: deslizamiento entre hiladas, deslizamiento sobre la banqueta de cimentación, vuelco, pérdida de estabilidad global por fallo en la cimentación o en el terreno —hundimiento, licuefacción, deslizamiento profundo—. La ocurrencia de alguno de ellos ocasionaría un fallo estructural, de manera que para que la obra pudiese recuperar su nivel de explotación sería necesaria la reparación o reconstrucción. Son por tanto modos de fallo principales.

En el dique también podría producirse un fallo por rotura de un bollardo o una defensa, pero ello no implicaría el cese de la explotación del tramo en cuestión, y por lo tanto no tendría repercusiones significativas para la fiabilidad, funcionalidad y operatividad. No son, en consecuencia, modos de fallo principales.

10.3.3. Condiciones y uso

Condiciones de trabajo Una condición de trabajo —CT— es un conjunto de estados de proyecto caracterizados por la ocurrencia simultánea y compatible de algunos factores de proyecto —factores de proyecto **concomitantes**—. Las condiciones de trabajo se clasifican en: operativas normales — CT_1 —, extremas — CT_2 — y excepcionales — CT_3 —.

Nota 60.

Los modos de fallo podrán ocurrir en los estados límite —estados de proyecto más desfavorable—. Dichos estados se agrupan en condiciones de trabajo representativas de las manifestaciones extremas de los agentes predominantes y de los requerimientos funcionales y de explotación de la obra.

Seguridad Un tramo de obra se considera seguro cuando cumple con los requisitos de seguridad especificados en el proyecto y exigidos por la normativa.

Servicio Un tramo de obra está en servicio cuando cumple con los requisitos funcionales —resistentes y formales— especificados en el proyecto y exigidos por la normativa.

- Explotación** Una obra o tramo y sus instalaciones están en explotación cuando cumplen con los requisitos de uso especificados en el proyecto y exigidos por la normativa vigente.
- Probabilidad de fallo** Probabilidad de que un tramo incumpla los requisitos de seguridad en un intervalo de tiempo, mediante la ocurrencia de un modo de fallo.
- Probabilidad conjunta de fallo** Probabilidad de fallo en la vida útil del tramo frente a todos los modos de fallo principales adscritos a todos los estados límite últimos o de servicio.
- Probabilidad de parada** Probabilidad de que un tramo de obra incumpla con los requisitos de explotación en un intervalo de tiempo, mediante la ocurrencia de un modo de parada.
- Probabilidad conjunta de parada** Probabilidad de fallo en la vida útil del tramo frente a todos los modos de parada principales adscritos a todos los estados límite de parada operativa.
- Fiabilidad** Valor complementario de la probabilidad conjunta de fallo p —es decir, $(1 - p)$ — frente a todos los modos de fallo principales adscritos a todos los estados límite últimos.
- Funcionalidad** Valor complementario de la probabilidad conjunta de fallo frente a todos los modos de fallo principales adscritos a todos los estados límite de servicio.
- Operatividad** Valor complementario de la probabilidad conjunta de parada p frente a todos los modos de parada principales adscritos a todos los estados límite de parada operativa.

10.4. Organización espacial y temporal de la obra

La obra se ubica en un emplazamiento para cumplir unas funciones durante un cierto intervalo de tiempo. La tipología de la obra puede cambiar sustancialmente en el espacio, en función de sus dimensiones y del entorno. En consecuencia es conveniente definir unidades espaciales o tramos de obra en función de su tipología y entorno.

La obra —cada uno de sus tramos— pasa por una secuencia continua de condiciones que inducen una respuesta dada —lo que se ha definido como estados de proyecto— desde su inicio hasta su desmantelamiento. Esas condiciones permiten caracterizar su operatividad y sus propiedades estructurales, y en consecuencia su actividad. Los estados de proyecto pueden agruparse en intervalos de tiempo de mayor duración, cuya secuencia se ordena en fases de proyecto.

Nota 61.

Los estados de proyecto se refieren a una respuesta de la obra, y caracterizan su actividad. Los estados de proyecto se agrupan en fases de proyecto. Son fases de proyecto la construcción, el servicio, la conservación, la reparación y el desmantelamiento.

10.4.1. Intervalos de tiempo

Desde el punto de vista del contexto temporal de la obra, los intervalos de tiempo se clasifican en:

- Intervalos de corta duración.
- Intervalos de larga duración.
- Fases de proyecto.

Nota 62.

Los intervalos de corta y larga duración se pueden definir en función de la variabilidad temporal de los factores de proyecto.
Las fases de proyecto se definen en función de la actividad principal de la obra.

Intervalo de corta duración En ellos se incluyen los estados y los ciclos de solici-
tación. El **estado** se ha definido como el intervalo de tiempo durante el cual los
descriptores de los factores de proyecto adoptan un valor estacionario en el sen-
tido estadístico.

Definido el estado, el **ciclo de solici-
tación** es una secuencia de estados que

comienza cuando el descriptor estadístico supera un cierto umbral, hasta que transcurrido un cierto tiempo, es inferior a aquel.

Intervalo de larga duración En ellos se incluyen los ciclos e hiperciclos de variabilidad. El **ciclo de variabilidad** es una secuencia de ciclos de sollicitación.

El **hiperciclo de variabilidad** es una secuencia de ciclos de variabilidad, cuya duración depende del emplazamiento.

Fase de proyecto Es la secuencia temporal de estados de proyecto, durante los cuales la obra o sus tramos mantienen una actividad principal.

Nota 63.

Un ciclo de sollicitación puede ser una secuencia de estados de mar con altura de ola significante superior a un cierto valor umbral. Otro ciclo de sollicitación puede ser una secuencia de eventos de descarga fluvial en un estuario, por encima de un valor dado. En un contexto ambiental, los ciclos de sollicitación pueden agruparse en general en ciclos de variabilidad de un año de duración, por ejemplo el año meteorológico comprendido entre el 1 de octubre y el 30 de septiembre.

Siguiendo con el concepto de año meteorológico, la alternancia entre años húmedos y secos proporciona una idea sobre la variabilidad de la dinámica atmosférica, es decir, sobre la variabilidad de cada año meteorológico o ciclo de sollicitación si se prefiere. Con suficientes datos, una información semejante podría extraerse de la dinámica marina. En el caso de la Península Ibérica y en base a la información disponible, la duración de los hiperciclos suele considerarse entre siete y once años.

10.4.2. Temporalidad y vida

Una obra marítima puede ser declarada como provisional o definitiva en función de unos criterios dados.

Obra provisional Aquella obra que va a permanecer en el emplazamiento sin modificaciones en su seguridad, servicio y explotación por un periodo **inferior a cinco años**.

Obra definitiva La obra que va a permanecer en un emplazamiento y con las características del proyecto original durante un intervalo de tiempo **igual o superior a cinco años**.

Se define la **vida útil** de proyecto como el período de tiempo que transcurre durante la fase de servicio, correspondiendo al periodo de tiempo durante el cual la obra cumple con la función principal para la que ha sido diseñada. Es posible que la fase de servicio de la obra pueda prolongarse más allá de la vida útil de proyecto inicialmente prevista en lo

que se denomina **vida útil ampliada**. La función desempeñada por la obra podrá ser la misma u otra distinta. En ese último caso y teniendo en cuenta que los requisitos de seguridad, servicio y explotación podrían cambiar, el proyecto deberá verificarse teniendo en cuenta la previsión de vida útil ampliada.

Según lo anterior, la obra provisional puede ser transformada en definitiva, siempre que el titular de la obra la proyecte y verifique teniendo en cuenta la vida útil ampliada.

Corresponde al promotor de la obra marítima fijar la duración V_s de la fase de servicio de la obra. Los criterios para determinar la vida útil de la obra son los siguientes:

- En obras marítimas definitivas cuya duración viene dada por razones de servicio, la duración de la vida útil es el valor mínimo de la duración de la fase de servicio. Transcurrido ese tiempo es posible que la obra pueda seguir prestando servicio cumpliendo con los mismos requisitos de seguridad, servicio y explotación. Habitualmente la vida útil se expresa en años.
- Cuando se consideren diferentes momentos de entrada en servicio de partes de una misma obra, y el desfase de entrada en servicio sea menor de cinco años, se aplicará la misma vida útil a todas las partes de la construcción.
- En los casos en los que se prevé que transcurridos M años, la ejecución de una segunda etapa de la obra pueda alterar los valores representativos de algunos factores de proyecto, se podrá considerar que la fase de servicio es de M años.

Nota 64.

Sea un dispositivo de aprovechamiento energético del oleaje cuya duración de la fase de servicio —la fase durante la cual la actividad principal de la obra va a ser cumplir con los requisitos y condicionantes para los que fue diseñada— sea de como mínimo 10 años —lo cual la convierte en una obra definitiva—. Conforme a las definiciones previas, la vida útil de proyecto es de 10 años. Supóngase que transcurridos los 10 años de vida útil, el dispositivo sigue en condiciones de seguir prestando servicio cumpliendo con los requisitos de proyecto —o incluso se plantea la realización de ciertas modificaciones que han de cumplir con nuevos requisitos de seguridad, servicio y explotación— por un plazo de 7 años más —en total un periodo de 17 años, superior a la vida útil de proyecto—. En tal caso se considerará la vida útil ampliada a la nueva duración de la fase de servicio.

Volviendo al ejemplo inicial, supóngase que transcurridos 15 años, se prevé la construcción de una extensión del dispositivo que podría alterar significativamente factores de proyecto, relacionados con la máxima potencia extraída y con la resistencia estructural a la acción del oleaje. En tal caso la duración de la fase de servicio sería de 15 años. Si transcurrido ese período no se llega a ejecutar la extensión, entonces el tramo de obra existente debería adecuarse para cumplir con los requisitos de proyecto durante la vida útil ampliada de la fase de servicio.

10.5. Carácter del tramo

Con frecuencia el proyecto de una obra marítima se decide a partir de estudios externos previos, en los que se analizan las repercusiones económicas, sociales y ambientales. En función de dichas repercusiones es posible definir los caracteres general y operativo de la obra marítima.

10.5.1. Carácter general. Índices IRE e ISA

Nota 65.

El **carácter general** de la obra sirve para caracterizar la importancia de un tramo de obra marítima, así como la repercusión económica, social y ambiental en caso de destrucción o pérdida de funcionalidad.

Nota 66.

El carácter general se determina considerando un modo principal de fallo adscrito a un estado límite último que proporcione el índice más alto, encontrándose asociado a la seguridad. No obstante, hay casos en los que el carácter se establece en base a un modo principal de fallo adscrito a un estado límite de servicio, y por tanto se encontrará asociado a la funcionalidad.

El carácter general de la obra se determina a través del **índice de repercusión económica IRE**, y del **índice de repercusión social y ambiental ISA**:

- El IRE valora cuantitativamente las repercusiones económicas C_{RD} por reconstrucción de la obra, y por cese o afección de las actividades económicas C_{RI} directamente relacionadas con ellas y previsibles en caso de producirse la destrucción o pérdida de la operatividad total de la misma. El IRE se calcula como:

$$IRE = \frac{C_{RD} + C_{RI}}{C_0} \quad (10.1)$$

siendo C_0 un parámetro económico de adimensionalización. En función del valor del IRE las obras marítimas se clasifican conforme a los subintervalos R indicados en la tabla 10.1.

- El ISA estima cualitativamente el impacto social y ambiental esperable en caso de producirse la destrucción o la pérdida de operatividad total de la obra marítima, valorando la posibilidad y alcance de la pérdida de vidas humanas, daños al medio

SUBINTERVALO	REPERCUSIÓN ECONÓMICA	IRE
R_1	baja	$IRE \leq 5$
R_2	media	$5 < IRE \leq 20$
R_3	alta	$IRE > 20$

Tabla 10.1: Clasificación de obras marítimas en función del IRE.

ambiente y al patrimonio histórico, y alarma social generada, toda vez que el fallo ocurre una vez que las actividades económicas directamente vinculadas a la obra se hallen consolidadas. El ISA se calcula como:

$$ISA = \sum_{i=1}^3 ISA_i \quad (10.2)$$

en la cual ISA_1 valora la posibilidad y alcance de vidas humanas, ISA_2 valora los daños al medio ambiente y al patrimonio histórico, e ISA_3 valora la alarma social. En función del ISA las obras marítimas se clasifican conforme a los subintervalos S indicados en la tabla 10.9.

SUBINTERVALO	REPERCUSIÓN SOCIAL	ISA
S_1	sin repercusión	$ISA < 5$
S_2	baja	$5 \leq ISA < 20$
S_3	media	$20 \leq ISA < 30$
S_4	alta	$ISA \geq 20$

Tabla 10.2: Clasificación de obras marítimas en función del ISA.

10.5.2. Carácter operativo. Índices IREO e ISAO

Nota 67.

El **carácter operativo** valora las repercusiones económicas y los impactos social y ambiental que se producen cuando una obra marítima deja de estar operativa o reduce el nivel de operatividad.

Nota 68.

El carácter operativo de la obra marítima se otorga a todos los tramos cuya reducción o cancelación de la explotación, dé lugar a repercusiones, económicas, sociales y ambientales similares. A los tramos de obra cuya parada operativa implique repercusiones diferentes, se les podrá asignar un carácter específico.

A falta de otra determinación más específica, el carácter operativo de una obra se establece a través del **índice de repercusión económica operativo IREO**, y del **índice de repercusión social y ambiental operativo ISAO**:

- El IREO valora cuantitativamente los costes asociados a la parada operativa de un tramo de obra. En función del valor del IREO las obras marítimas se clasifican según los subintervalos R_O indicados en la tabla 10.3.

SUBINTERVALO	REPERCUSIÓN ECONÓMICA OPERATIVA	IREO
R_{O1}	baja	$\text{IREO} \leq 5$
R_{O2}	media	$5 < \text{IREO} \leq 20$
R_{O3}	alta	$\text{IREO} > 20$

Tabla 10.3: Clasificación de obras marítimas en función del IREO.

- El ISAO estima de manera cualitativa la repercusión social y ambiental esperable, en caso de producirse un modo de parada operativa de la obra marítima, valorando la posibilidad y alcance de la pérdida de vidas humanas, daños al medio ambiente y al patrimonio histórico, y alarma social generada. El ISAO se calcula como:

$$ISAO = \sum_{i=1}^3 ISAO_i \quad (10.3)$$

en la cual $ISAO_1$ valora la posibilidad y alcance de vidas humanas, $ISAO_2$ valora los daños al medio ambiente y al patrimonio histórico, e $ISAO_3$ valora la alarma social. En función del ISAO las obras marítimas se clasifican conforme a los subintervalos S_O indicados en la tabla 10.4.

Nota 69.

En la mayoría de obras marítimas el ISAO es nulo dado que si hubiese impacto ambiental, éste cesaría con la parada operativa. No obstante, en el caso de emisarios submarinos, centrales térmicas, plantas desaladoras, etc., la repercusión por parada operativa puede ser importante, en cuyo caso $ISAO \neq 0$.

SUBINTERVALO	REPERCUSIÓN SOCIAL	ISAO
S_{O1}	sin repercusión	$ISAO < 5$
S_{O2}	baja	$5 \leq ISAO < 20$
S_{O3}	media	$20 \leq ISAO < 30$
S_{O4}	alta	$ISAO \geq 30$

Tabla 10.4: Clasificación de obras marítimas en función del ISAO.

10.6. Cálculo de los índices de repercusión

Nota 70.

Corresponde al promotor de la obra marítima —público o privado—, especificar el carácter del tramo de obra —caracteres general y operativo de la obra, § 10.5—. cuando no se proporciona una definición específica, el carácter se determinará en función de índices de repercusión cuyos valores se calculan de manera aproximada.

10.6.1. Cálculo aproximado del IRE

$$IRE = \frac{C_{RD} + C_{RI}}{C_0} \quad (10.4)$$

- $C_{RD} \rightarrow$ Valora las repercusiones económicas por reconstrucción de la obra. Coste de las obras de reconstrucción a su estado previo. A falta de otros datos se considerarán los costes de construcción inicial, debidamente actualizados.
- $C_{RI} \rightarrow$ Valora las repercusiones económicas por cese o afección de las actividades económicas directamente relacionadas con la obra. Se estima en términos de la pérdida de Valor Añadido Bruto —VAB—, el cual representa el balance entre entradas y salidas del proceso productivo asociado al conjunto de actividades de la obra, es decir, la diferencia entre la fuerza laboral empleada y los excedentes empresariales generados.
- $C_0 \rightarrow$ Parámetro de adimensionalización. Su valor depende de la estructura económica y nivel de desarrollo económico del país. En España puede considerarse $C_0 \simeq 3 \cdot 10^6 \text{€}$.
- A efectos prácticos:

$$\frac{C_{RI}}{C_0} = C(A + B) \quad (10.5)$$

- $A \rightarrow$ Cuantifica el ámbito del sistema productivo al cual sirve la obra. Valores: $A = 1$ para ámbito local; $A = 2$ para ámbito regional; $A = 5$ para ámbito nacional/internacional.
- $B \rightarrow$ Cuantifica la importancia estratégica del sistema económico y productivo al que sirve la obra. Valores: $B = 0$ para irrelevante; $B = 2$ para relevante; $B = 5$ para esencial.
- $C \rightarrow$ Cuantifica la importancia de la obra para el sistema económico y productivo. Valores: $C = 1$ para irrelevante; $C = 2$ para relevante; $C = 5$ para esencial.

10.6.2. Cálculo aproximado del ISA

$$ISA = \sum_{i=1}^3 ISA_i \quad (10.6)$$

- $ISA_1 \rightarrow$ Posibilidad y alcance de pérdida de vidas humanas. Valores: $ISA_1 = 0$ para remota; $ISA_1 = 3$ para baja; $ISA_1 = 10$ para alta; $ISA_1 = 20$ para catastrófica.
- $ISA_2 \rightarrow$ Daños en el medio ambiente y en el patrimonio. Valores: $ISA_2 = 0$ para remoto; $ISA_2 = 2$ para bajo 3; $ISA_2 = 4$ para medio; $ISA_2 = 8$ para alto; $ISA_2 = 15$ para muy alto.
- $ISA_3 \rightarrow$ Alarma social. Valores: $ISA_3 = 0$ para baja; $ISA_3 = 5$ para media; $ISA_3 = 10$ para alta; $ISA_3 = 15$ para máxima.

10.6.3. Cálculo aproximado del IREO

$$IREO = F(D + E) \quad (10.7)$$

- $D \rightarrow$ Caracteriza la simultaneidad del periodo de demanda con el periodo de variación de reducción de operatividad. Valores: $D = 0$ para no simultáneo; $D = 5$ para simultáneo.
- $E \rightarrow$ Caracteriza la intensidad de uso de la demanda en el periodo considerado. Valores: $E = 0$ para poco intensivo; $E = 3$ para intensivo; $E = 5$ para muy intensivo.
- $F \rightarrow$ Caracteriza la adaptabilidad de la demanda y del entorno económico a la reducción de operatividad. Valores: $F = 0$ para alta; $F = 1$ para media; $F = 3$ para baja.

10.6.4. Cálculo aproximado del ISAO

$$ISAO = \sum_{i=1}^3 ISAO_i \quad (10.8)$$

- $ISAO_1 \rightarrow$ Posibilidad y alcance de pérdida de vidas humanas. Valores: $ISAO_1 = 0$ para remota; $ISAO_1 = 3$ para baja; $ISAO_1 = 10$ para alta; $ISAO_1 = 20$ para catastrófica.
- $ISAO_2 \rightarrow$ Daños en el medio ambiente y en el patrimonio. Valores: $ISAO_2 = 0$ para remoto; $ISAO_2 = 2$ para bajo 3; $ISAO_2 = 4$ para medio; $ISAO_2 = 8$ para alto; $ISAO_2 = 15$ para muy alto.

- $ISAO_3 \rightarrow$ Alarma social. Valores: $ISAO_3 = 0$ para baja; $ISAO_3 = 5$ para media; $ISAO_3 = 10$ para alta; $ISAO_3 = 15$ para máxima.

10.6.5. Valores recomendados

A continuación se proporcionan algunos valores recomendados para la vida útil, la probabilidad conjunta de fallo p_f frente a modos principales de fallo adscritos a ELU y ELS, la operatividad r_f y para el número de paradas operativas, todos ellos a partir de los caracteres general y operativo de la obra.

IRE	≤ 5	$6 \sim 20$	> 20
Vida útil	15	25	50

Tabla 10.5: Vida útil en años.

ISA	< 5	$5 \sim 19$	$20 \sim 29$	≥ 30
$p_{f\ ELU}$	0,20	0,10	0,01	0,0001

Tabla 10.6: Probabilidad conjunta de fallo frente a ELU.

ISA	< 5	$5 \sim 19$	$20 \sim 29$	≥ 30
$p_{f\ ELS}$	0,20	0,10	0,07	0,07

Tabla 10.7: Probabilidad conjunta de fallo frente a ELS.

IREO	≤ 5	$6 \sim 20$	> 20
Operatividad $r_{f\ ELO}$	0,85	0,95	0,99

Tabla 10.8: Operatividad.

ISAO	< 5	$5 \sim 19$	$20 \sim 29$	≥ 30
Número	10	5	2	0

Tabla 10.9: Número de paradas operativas.

Capítulo 11

ROM 0.0: Procedimiento General y Bases de Cálculo en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias. Procedimiento de Verificación

11.1. Procedimiento de verificación

Una de las tareas en el proyecto es la comprobación de que el tramo de obra en su conjunto, y en todos sus elementos, es fiable, funcional y operativo durante cada una de las fases de proyecto.

Un procedimiento de verificación se aplica para comprobar la forma en que un tramo de obra no cumple, en una fase de proyecto dada, con los requisitos de proyecto. El procedimiento de verificación, figura 11.1, debe incorporar un conjunto de etapas que permitan deducir si el proyecto es fiable, funcional y operativo frente a todos los estados límite últimos, de servicio y de parada respectivamente.

Nota 71.

Dadas las dimensiones de las obras marítimas y la diversidad espacial de los factores, se recomienda verificar la obra por tramos. Ese procedimiento supone la **independencia estadística** de cada tramo. En consecuencia, **la probabilidad de fallo de toda la obra frente a los modos de fallo posibles, es la probabilidad de que al menos un tramo falle por uno de los modos de fallo adscrito a uno de los estados límite.**

Dentro del procedimiento de verificación se incluyen:

- Descripción de modos de fallo y parada, generalmente a través de una ecuación denominada **ecuación de verificación**.
- Ordenación de factores de proyecto que se encuentran representados en la ecuación de verificación.
- Criterios para establecer valores compatibles y combinaciones bajo condiciones de trabajo dadas.
- Método para verificar el modo de fallo, evaluar su probabilidad de ocurrencia y la probabilidad conjunta de ocurrencia de todos los modos principales.

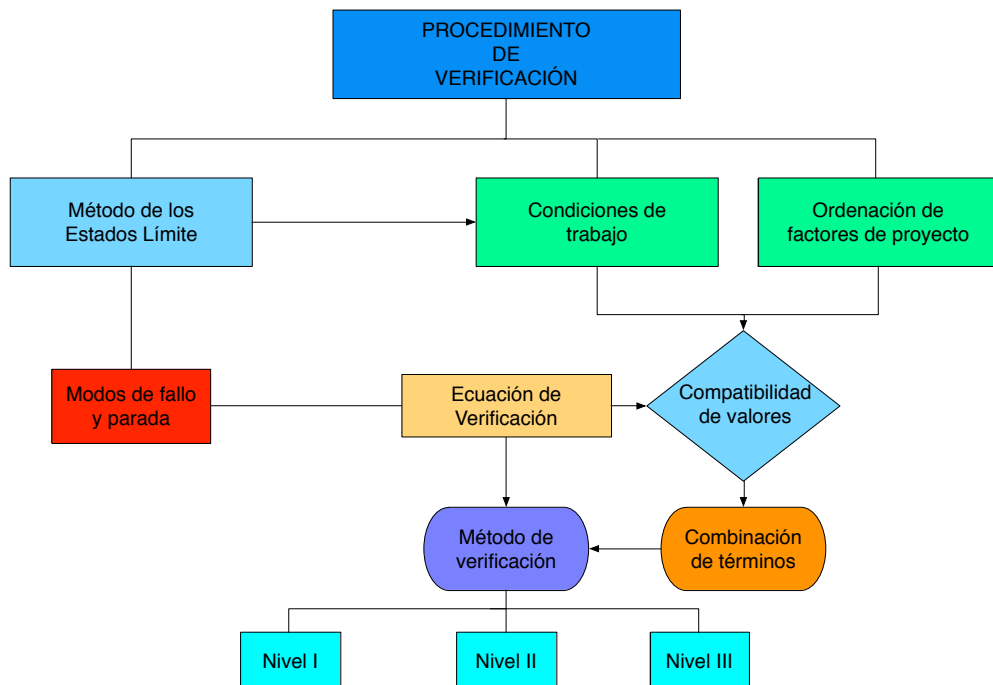


Figura 11.1: Esquema general del procedimiento de verificación, ROM 0.0 (2001).

Se considera que un tramo de obra es seguro, cuando cumple con los requisitos de seguridad especificados en el proyecto y exigidos por la normativa vigente, durante la ocurrencia de todos los estados que pueden presentarse en la fase de proyecto.

Se considera que un tramo de obra está operativo, cuando cumple con los requisitos funcionales —resistentes y formales— especificados en el proyecto y exigidos por la normativa vigente, durante la ocurrencia de todos los estados que pueden presentarse en la fase de proyecto.

De forma esquemática, figura 11.2, una vez que se ha elegido la fase de proyecto y se han prescrito condiciones de trabajo, estados límite, modos de fallo y ecuaciones de verificación, el establecimiento de los factores predominantes y la compatibilidad de valores conduce a los tipos de combinación a considerar.

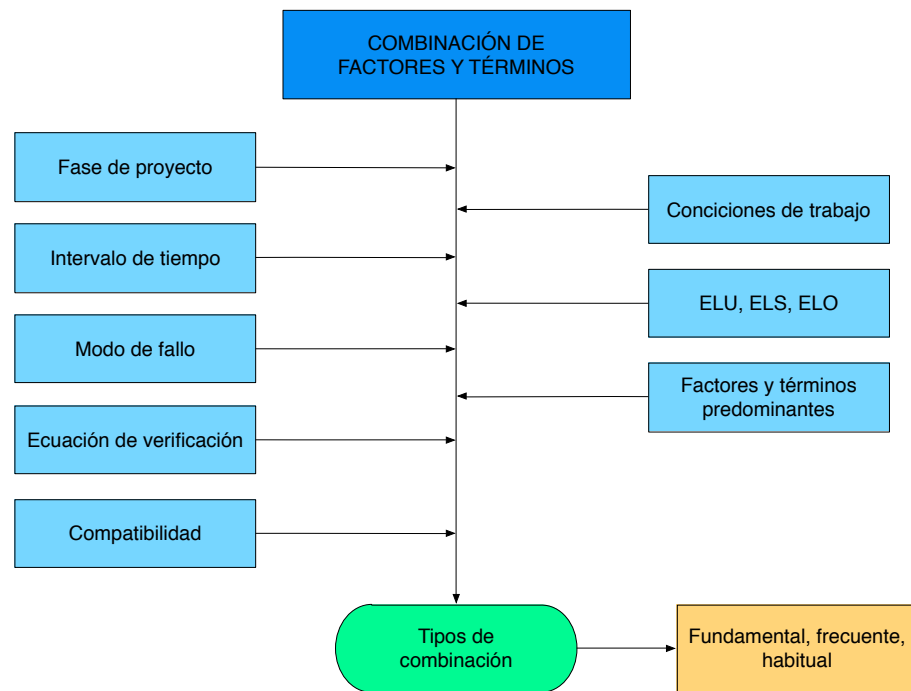


Figura 11.2: Esquema general del procedimiento de combinación de factores y términos a aplicar para la verificación, ROM 0.0 (2001).

11.2. Método de los Estados Límite

El objetivo de los cálculos de proyecto es verificar que el tramo cumple con los requisitos de proyecto en todos y cada uno de los estados. Al objeto de simplificar la verificación de un tramo de obra, de todos los estados posibles solamente se verifican algunos de ellos que supuestamente representan estados límite del tramo, desde el punto de vista estructural, formal y de uso y explotación. Dichos estados se denominan **estados límite**, y se clasifican en estados límite últimos, de servicio y operativos.

11.2.1. Clasificación de ELU

Nota 72.

Son todos aquellos estados que producen la ruina de la obra por rotura o por colapso estructural de la misma o de una parte de ella.

En los ELU se consideran los modos de fallo debidos a:

- Pérdida de equilibrio de la estructura o parte de ella, considerada como un sólido rígido.
- Deformación plástica excesiva, rotura o pérdida de estabilidad de la estructura o parte de ella.
- Acumulación de deformaciones, fisuración progresiva, fatiga bajo cargas repetidas.

Deben tomarse en consideración los siguientes ELU:

- Pérdida de equilibrio estático.
- Agotamiento resistente o rotura.
- Deformación.
- Inestabilidad.
- Fatiga y procesos dinámicos.
- Colapso progresivo.

11.2.2. Clasificación de ELS

Nota 73.

Son todos aquellos estados que hacen que la obra o una parte de ella deje de funcionar, de forma reversible o irreversible, ya sea por fallo estructural, estético, ambiental o por condicionante legal. En el caso de una pérdida de funcionalidad permanente, la obra deberá ser reparada para volver a cumplir con los requisitos de proyecto.

En los ELS se consideran los modos de fallo debidos a:

- Degradación de las propiedades de los materiales o del terreno.
- Deformaciones o vibraciones excesivas en la estructura, como para continuar con el uso y la explotación.
- Alteraciones geométricas acumulativas.

Deben tomarse en consideración los siguientes ELS:

- Pérdida de durabilidad.
- Alteraciones geométricas acumulativas.
- Vibraciones excesivas.
- Fisuración excesiva.
- Deformaciones excesivas.
- Estéticos, ambientales y legales.

Nota 74.

En general no es sencillo diferenciar entre ELU y ELS: los criterios para identificarlos deben ser fundamentalmente la **modalidad del fallo** y la **temporalidad**. Cuando el modo de fallo obedece a una patología, o cuando se produce por la acción de uno o varios agentes durante un intervalo de tiempo mucho menor que la vida útil de la obra, el modo de fallo debe adscribirse a un ELU. En otro caso se adscribe a un ELS.

11.2.3. Clasificación de ELO

Nota 75.

Son todos aquellos estados en los que se reduce o se suspende temporalmente la explotación por causas externas a la obra o a sus instalaciones, sin que exista daño estructural en ellas. En general la explotación se detiene para evitar que se produzcan daños estructurales o consecuencias ambientales y sociales inaceptables.

En los ELO se consideran los modos de parada debidos a:

- Reducción temporal de la fiabilidad y funcionalidad de la obra y sus instalaciones.
- Efectos ambientales y repercusiones sociales temporalmente inaceptables.

Deben tomarse en consideración los siguientes ELO:

- Excedencia del valor umbral de uno o varios agentes.
- Efecto ambiental o repercusión social inaceptable.
- Requisito legal.

11.3. Modos de fallo y parada

Nota 76.

Un modo describe la forma en la que se produce el fallo o parada del tramo de obra o de algún elemento de ésta.

Para caracterizar el modo de fallo o para operativa deben definirse:

1. Forma o mecanismo en que ocurre.
2. Factores de proyecto que pueden intervenir simultáneamente en su ocurrencia.
3. Forma de verificación: ecuación de verificación o experimentación.
4. Hipótesis de trabajo y rango de validez de la forma de verificación.

Los modos que ocurran de forma semejante o por el mismo mecanismo, se adscribirán al mismo estado límite. La adscripción de un modo a un estado límite u otro, en caso de no haberse prescrito previamente, se aplicará conforme a los siguientes criterios: en función del estado límite cuya verificación se la más pesimista posible, en función del estado límite que describa mejor el trabajo desempeñado por el agente predominante, en función de la ecuación de verificación a aplicar.

Nota 77.

La adscripción de un modo a un estado límite no es absoluta, pudiendo encajar en más de un estado. La salida de piezas del mando principal en un dique de escollera podría adscribirse a dos ELU: pérdida de equilibrio estático y deformación acumulada.

En el primer caso se considera la extracción de piezas individuales. Cuando el número de piezas extraído supera un cierto número, se considera la ocurrencia del fallo. En el segundo caso se considera la variación de la geometría de la primera capa del manto principal. Se produce el fallo cuando quedan al descubierto piezas de la segunda capa del manto, las cuales pueden ser extraídas.

11.4. Condiciones de trabajo

Nota 78.

Una condición de trabajo CT representa un conjunto de estados de proyecto, caracterizados por la presentación de algunos factores de proyecto en función de su simultaneidad y su compatibilidad. En general las CT se especifican a partir de los agentes predominantes.

Condiciones operativas normales CT_1 Incluyen los estados de proyecto que ocurren habitualmente y en los cuales la obra presta el servicio para el cual fue concebida. Los agentes predominantes —usualmente los ambientales climáticos en el caso de obras marítimas— en ese caso son los de uso y explotación. Pueden actuar simultáneamente otros agentes. Cuando los agentes predominantes superan un cierto umbral, se considera que la obra deja de estar temporalmente en explotación.

Condiciones extremas CT_2 Incluyen los estados de proyecto asociados a las acciones más rigurosas debidas a los factores de proyecto. En este caso los agentes de uso y explotación no son simultáneos con los agentes climáticos. Los agentes predominantes pueden alcanzar valores extremos.

Nota 79.

Se consideran valores extremos los asociados a una probabilidad de ocurrencia razonable, los cuales sean físicamente posibles, o bien representativos de los datos desde un punto de vista estadístico, o consistentes con las hipótesis de partida.

Condiciones excepcionales CT_3 Representan el conjunto de estados de proyecto asociados a algunos valores de los factores de proyecto, los cuales tienen una probabilidad de ser superados muy pequeña o mucho menor que la probabilidad de presentación de los factores predominantes asociados a condiciones extremas, o cuya ocurrencia es inesperada y accidental, o bien que ocurren por razones previstas de uso y explotación.

Nota 80.

Es posible especificar las siguientes condiciones excepcionales:

- Fortuitas del medio físico: manifestaciones de la dinámica marina, atmosférica u otras acciones del medio físico, de nivel extraordinario pero previsible.
- Fortuitas accidentales: accidente o mal uso de las instalaciones.
- Previstas: estados de proyecto provocados por una necesidad de uso o explotación, planificados y bajo control.

En cada tramo de obra y para cada fase de proyecto, la verificación de modos de fallo y parada adscritos respectivamente a ELU, ELS y ELO debe realizarse para las condiciones de trabajo establecidas en función de los caracteres general y operativo de la obra.

11.5. Compatibilidad de valores y clases estadísticas

Desde el punto de vista de las magnitudes de los factores de proyecto que figuran en una ecuación de verificación, sus valores deben ser compatibles entre sí. Se entiende por valores compatibles aquellos que se encuentran en consonancia con otros que intervienen de manera simultánea en la ecuación de verificación, todos ellos representando la ocurrencia de un modo de fallo o parada. La compatibilidad se puede determinar a partir de criterios estadísticos relativos al rango de valores que un factor de proyecto puede adoptar conforme a su función de distribución.

En el caso de que la variabilidad del factor de proyecto venga descrita por una función de distribución, sus valores se pueden ordenar alrededor de un valor medio —perteneciendo en ese caso a un régimen medio—, o alrededor de ocurrencias extremas —perteneciendo al régimen extremal—. En función de esos rangos indicados con respecto a la función de distribución del factor, se pueden definir tres clases de valores:

Clase de la cola inferior Contiene los valores de la cola inferior de la función distribución, representando valores cuya probabilidad de excedencia es elevada. Se trata por tanto de valores cuya ocurrencia en un intervalo de tiempo dado es muy probable.

Clase centrada Contiene los valores de la zona central de la función de distribución, y por tanto ordenados alrededor de los valores más frecuentes y más probables.

Clase de la cola superior Contiene los valores de la cola superior de la función de distribución, representando aquellos valores cuya excedencia es poco probable en un intervalo de tiempo dado.

11.6. Combinación de factores y términos.

En cada tramo de obra, un modo de fallo o parada puede ocurrir en cualquier estado y condición de trabajo durante una fase de proyecto. Cuando se trata de la fase de servicio, los modos de fallo adscritos a ELU y ELS serán más probables durante condiciones de trabajo extremas y excepcionales, mientras que los modos adscritos a ELO serán más probables durante las condiciones de trabajo normales.

No es necesario verificar todos los estados de proyecto posibles en todas y cada una de las fases de proyecto y condiciones de trabajo establecidas, sino solamente aquellos para los que la probabilidad de ocurrencia de un modo sea significativa.

Nota 81.

A la hora de construir la ecuación de verificación, los factores y términos a incorporar así como sus valores, se han de combinar teniendo en cuenta su simultaneidad con valores compatibles de un modo de fallo o parada. De ese modo se asegura que se van a aplicar valores razonables de factores simultáneos y que no va a existir sobredimensionamiento.

Las combinaciones de factores se pueden formular de manera determinista. Un primer paso sería aplicar la **regla de Turksta**, que consiste en realizar la combinación por simple adición de términos simultáneos, sin atender a probabilidad de ocurrencia ni a compatibilidad de valores. Si se supone que en la ecuación de verificación existe un término X_n cuyo valor depende de la ocurrencia de uno de los factores de proyecto independientes X_{n1} o X_{n2} , la simple adición de términos conduce a que el valor máximo del término X_n sea:

$$\max(X_n) = \max(X_{n1}) + \max(X_{n2}) \quad (11.1)$$

Evidentemente el resultado anterior puede conducir al sobredimensionamiento, ya que implica admitir que el valor máximo del término es suma de los máximos de factores que, por otra parte, no tienen por qué ocurrir de forma simultánea. Un resultado más razonable sería adoptar como valor máximo de X_n una de las dos opciones siguientes:

- El valor máximo de X_{n1} , más el valor máximo de X_{n2}^* cuando ocurre el valor máximo de X_{n1} :

$$\max(X_n) = \max(X_{n1} + X_{n2}^*) | \max X_{n1} \quad (11.2)$$

- El valor máximo de X_{n2} , más el valor máximo de X_{n1}^* cuando ocurre el valor máximo de X_{n2} :

$$\max(X_n) = \max(X_{n2} + X_{n1}^*) | \max X_{n2} \quad (11.3)$$

La dificultad entonces reside en determinar los valores máximos X_{n1} y X_{n2} para cada factor de proyecto, así como los valores concomitantes X_{n2}^* y X_{n1}^* respectivamente. Esa determinación se realiza de una forma u otra dependiendo del método de verificación finalmente elegido. En todo caso, en términos prácticos se definen los siguientes tipos de combinación de factores:

- Fundamental.
- Frecuente.
- Habitual.

11.7. Métodos de verificación

Sobre la base de las consideraciones previas, se proponen los siguientes métodos de verificación, figura 11.3:

Métodos de Nivel I Consisten en el **Método del coeficiente de seguridad global** y el **Método de los coeficientes parciales**. En el segundo existe un coeficiente de seguridad global que pondera la incertidumbre en el proceso de verificación, mientras que los términos de la ecuación se multiplican por factores que tienen en cuenta la compatibilidad. En el segundo de ellos los términos de la ecuación de verificación se multiplican por factores que ponderan su simultaneidad y compatibilidad. En ambos casos los valores de los factores de proyecto y de los términos de la ecuación de verificación se calculan de manera determinista.

Métodos de Nivel II La ecuación de verificación se formula en términos del margen de seguridad, es decir, de la diferencia entre valores de estado favorables y desfavorables, cuya diferencia marca el cumplimiento o no de la ecuación. Para su aplicación es necesario conocer funciones de distribución y de covarianza en el intervalo de tiempo dado.

Métodos de Nivel III En este método la solución se obtiene integrando la función de probabilidad conjunta de los factores de proyecto en el dominio de fallo. Dado que la resolución es en general complicada, la probabilidad de fallo suele obtenerse a partir de simulaciones numéricas, por ejemplo mediante el método Monte-Carlo.

En general, los métodos de Nivel I se recomiendan fundamentalmente a proyectos cuyos índices IRE e ISA se encuentren en los intervalos R_1 y S_1 respectivamente — obras de baja repercusión económica y sin repercusión social y ambiental, en caso de producirse la destrucción o pérdida total de operatividad de las mismas—. Para el resto de intervalos se recomiendan métodos de Nivel II y Nivel III.

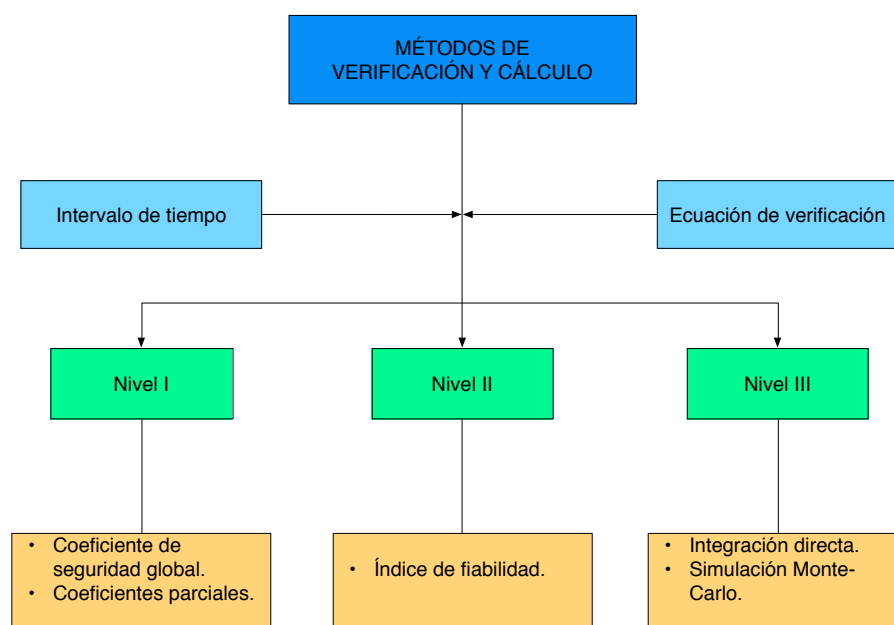


Figura 11.3: Esquema general de los métodos de verificación, ROM 0.0 (2001).

Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos Ingeniería de Obras Marítimas

Obras de Atraque y Amarre. Puertos y Áreas de Atraque

Moñino A. & Clavero M.
Dpto. Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica
Universidad de Granada

www

inicio



página 1 de 55

fullscreen

salir

Definiciones de Puerto

Nota 1.

Lugar de la costa o en las orillas de un río que por sus características, naturales o artificiales, sirve para que las embarcaciones realicen operaciones de carga y descarga, embarque y desembarco, etc. (RAE)



Nota 2.

Conjunto de espacios terrestres, aguas marítimas e instalaciones que, situado en la ribera de la mar o de las rías, reúna condiciones físicas, naturales o artificiales y de organización que permitan la realización de las operaciones de tráfico portuario, y sea autorizado para el desarrollo de estas actividades por la Administración competente. (Ley de Puertos)

[www](#)[inicio](#)[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)[página 3 de 55](#)[fullscreen](#)[salir](#)

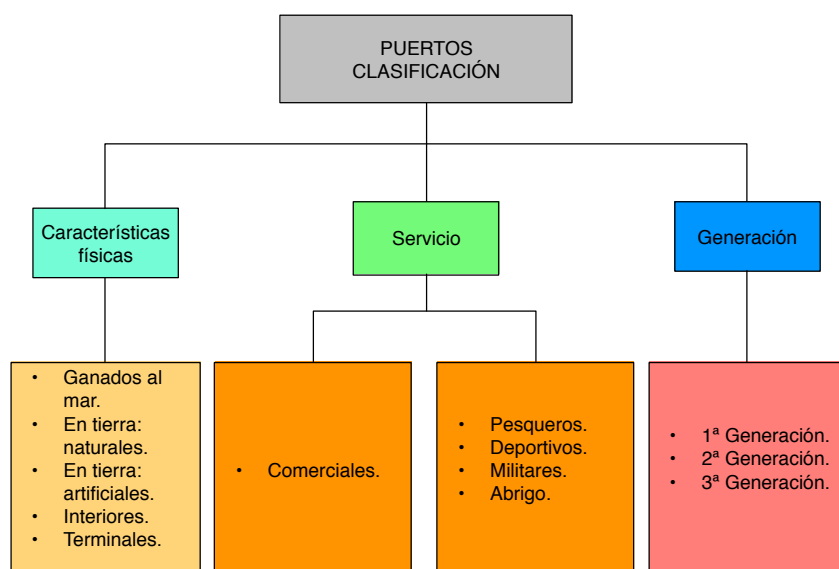
Nota 3.

Interfaces entre los distintos modos de transporte (...) Son áreas multifuncionales comerciales e industriales donde las mercancías no sólo están en tránsito, sino que también son manipuladas, manufacturadas y distribuidas (...) Un puerto eficiente requiere no sólo infraestructura, superestructura y equipamiento adecuado, sino también comunicaciones y, especialmente, un equipo de gestión dedicado y cualificado y con mano de obra motivada y entrenada. (UNCTAD)

- Mayor rendimiento de la mano de obra → menor coste unitario y mayor valor de los indicadores de productividad. Ejemplo: TEU's por jornada y operario movidos en terminal portuaria: 13 en España (18 max., 3 min.)

Clasificación de los Puertos

- Características físicas.
- Servicio.
- Generación.



Clasificación General de Terminales

- Graneles:
 - Graneles sólidos.
 - Graneles líquidos.
- Mercancía general fraccionada.
- Mercancía general unitaria. También se denominan terminales intermodales → son las más avanzadas conceptualmente: terminales RO–RO y LO–LO (contenedores).
- Polivalentes.
- Pasajeros.

- Terminal de graneles sólidos.



- Terminal de graneles sólidos.



[www](#)

[inicio](#)

[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)

[página 9 de 55](#)

[fullscreen](#)

[salir](#)

- Terminal de graneles líquidos.



- Terminal de graneles líquidos.



www

inicio

◀◀ ◀ ▶ ▶▶

página 11 de 55

fullscreen

salir

- Terminales de mercancía general fraccionada:
 - Mercancía variada: bobinas, maderas, aceros, productos perecederos, etc.
 - Terminales polivalentes en puertos pequeños y medianos.
 - Bajo rendimiento.

- Terminal de contenedores.

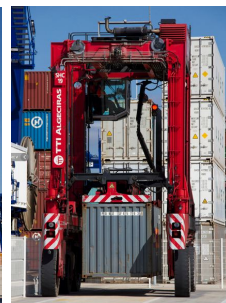
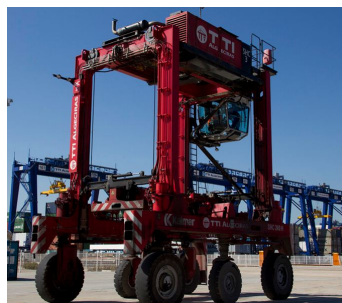


- Terminal de contenedores →



General Purpose Containers					
External	20'	40'	Internal	20'	40'
Length	6.06m	12.19m	Length	5.90m	12.04m
Width	2.44m	2.44m	Width	2.35m	2.35m
Height	2.59m	2.59m	Height	2.39m	2.39m
Tare Weight	2,220kg	3,660kg	Max. Payload	28,200kg	26,820kg
Capacity	33.20m ³	67.70m ³	Dimensions & weight may differ marginally depending on manufacturer.		

- Terminal de contenedores.



[www](#)

[inicio](#)

[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)

página 15 de 55

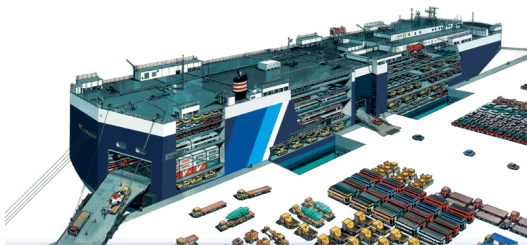
[fullscreen](#)

[salir](#)

- Terminal de contenedores → buques (TEUS de capacidad y TEUS en manga):
 - Feeder (300 ~ 3000, < 13)
 - Panamax (3000 ~ 4000, 13)
 - Post Panamax (4000 ~ 8000, 13 ~ 17)
 - Super Post Panamax (8000 ~ 10000, 17 ~ 19)
 - Suezmax (10000 ~ 12000, 19 ~ 22)
 - Malacamax (> 12000, > 22)

[www](#)[inicio](#)[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)[página 16 de 55](#)[fullscreen](#)[salir](#)

- Terminal RO-RO.



- Terminal de pasajeros.



Procedimiento General de Dimensionamiento

Nota 4.

El procedimiento para la configuración y dimensionamiento tiene como ámbito de aplicación:

- El proyecto y la construcción de áreas de atraque y amarre.
- Todas las obras marítimas y portuarias cualquiera que sea su clase o destino.
- El establecimiento de criterios de explotación.

Procedimiento Recomendado para Dimensionar Áreas de Atraque y Amarre

1. Definición de usos y requerimientos operativos y funcionales.
2. Descripción del emplazamiento.
3. Estudio inicial de alternativas —configuración física y tipología estructural—.
4. Definición de las disposiciones en planta y alzado de la obra de atraque.
5. Establecimiento de los criterios generales de proyecto.
6. Elección de la alternativa de proyecto más conveniente.
7. Predimensionamiento de la obra.
8. Verificación de la obra y optimización.
9. Redacción del proyecto.

Configuración Física de Obras de Atrake y Amarre

Nota 5.

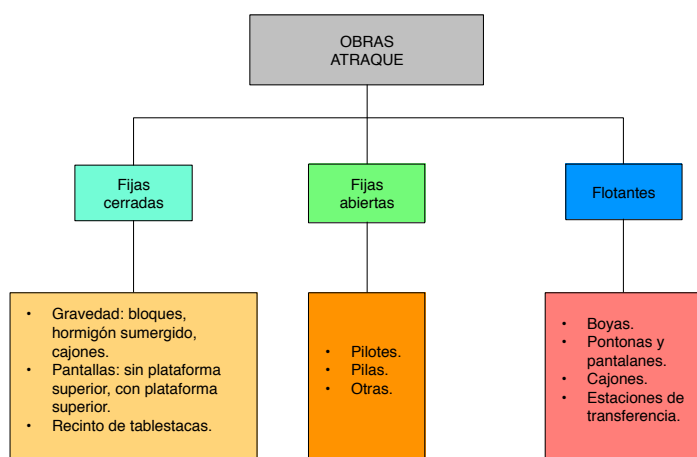
Configuración física de las terminales en función del uso:

- Comercial.
- Pesquero.
- Deportivo.
- Industrial.
- Militar.

- Configuración física de atraques y amarres.

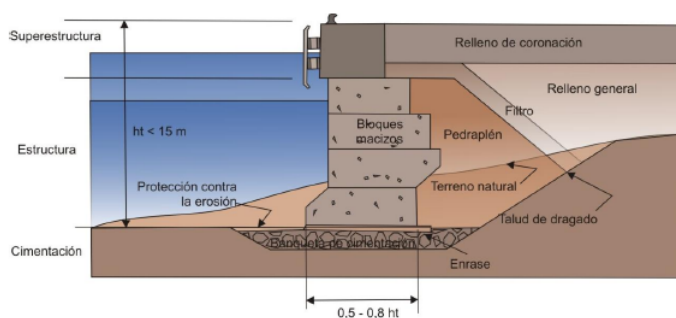
Tipo de mercancía			Sistema de manipulación de mercancías	Configuración física del atraque
USO COMERCIAL	GRANELES LÍQUIDOS	Productos Petrolíferos y químicos	Bombeo por tubería	MONOBOYA
				CAMPO DE BOYAS
		Gases Licuados	Brazos de carga/descarga+tubería	PANTALÁN DISCONTINUO
	GRANELES SÓLIDOS	Con instalación especial	Sistemas continuos	PANTALÁN CONTINUO O DISCONTINUO
		Sin instalación especial	Sistemas discontinuos	MUELLE
	MERCANCÍA GENERAL	Carga Convencional	Sistemas discontinuos por elevación	MUELLE
		Contenedores	Sistemas discontinuos por elevación	MUELLE
		Ro-ro	Por medios rodantes	PANTALÁN DISCONTINUO
			Parte por medios rodantes y parte por elevación	MUELLE
		Ferris	Por medios rodantes	PANTALÁN CONTINUO
			Parte por medios rodantes y parte por elevación	MUELLE
	Multipropósito	Medios rodantes+elevación	MUELLE	
	PASAJEROS	Ferris	Por medios rodantes	PANTALÁN CONTINUO
			Parte por medios rodantes y parte por elevación	MUELLE
		Cruceros y otras embarcaciones de pasajeros		PANTALÁN CONTINUO
USO PESQUERO	PESCA	Sistemas discontinuos por elevación	PANTALÁN CONTINUO	
			MUELLE	
USO NÁUTICO-DEPORTIVO				PANTALÁN CONTINUO
USO INDUSTRIAL				MUELLE
USO MILITAR				PANTALÁN CONTINUO

Clasificación de Obras de Atraque



- Obras de atraque fijas cerradas de gravedad: bloques.

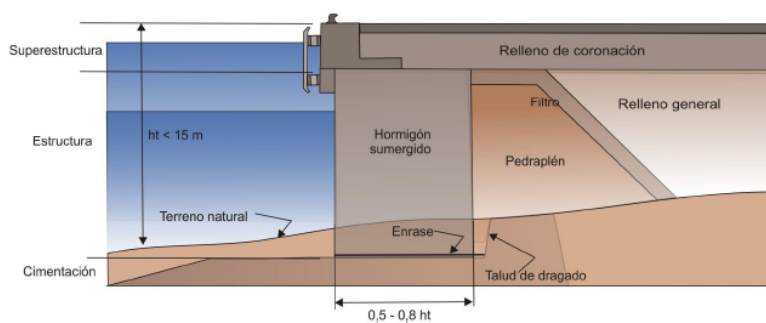
OBRA DE ATRAQUE DE BLOQUES.



La estructura resistente está formada por bloques de materiales pétreos o prefabricados de hormigón, macizos o huecos que se rellenan luego con material granular u hormigón. Las formas de los bloques son paralelepípedicas aunque también los hay achaflanados y trapezoidales. Son usuales pesos de entre 150 y 2.000 kN. La capacidad resistente radica en la movilización del rozamiento entre bloques, que pueden estar solidarizados o no. El paramento de atraque es vertical, aunque se puede avanzar su base, hasta alinearlo con la defensa en vertical, para mejorar la resistencia al vuelco o al hundimiento.

- Obras de atraque fijas cerradas de gravedad: hormigón sumergido.

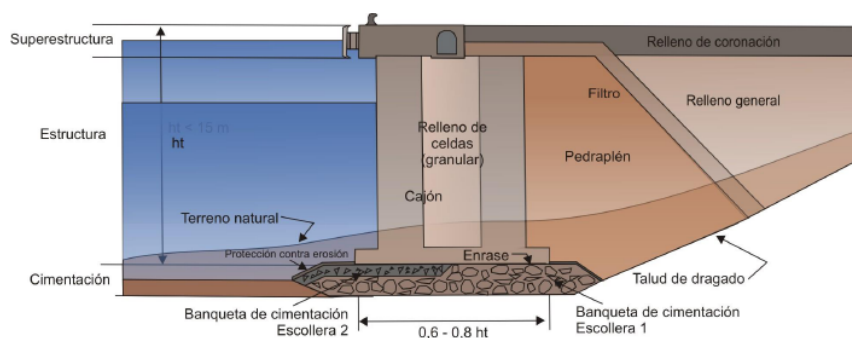
OBRA DE ATRAQUE DE HORMIGÓN SUMERGIDO



La construcción de estos muelles se lleva a cabo bajo el agua casi en su totalidad, utilizando procedimientos de hormigón sumergido, es decir, bombeando un hormigón rico en cemento, con el extremo del tubo embutido en la masa de la zona a hormigonar para que, al expandirse se evite el lavado del cemento y del árido fino. Se ejecuta bien por tongadas de altura mayor de 1,5 m. o por sección completa. Puede también apoyarse en banquetas de escollera si son grandes y el terreno tiene baja capacidad portante. Suelen ejecutarse cuando no hay espacio para prefabricar los bloques.

- Obras de atraque fijas cerradas de gravedad: cajones.

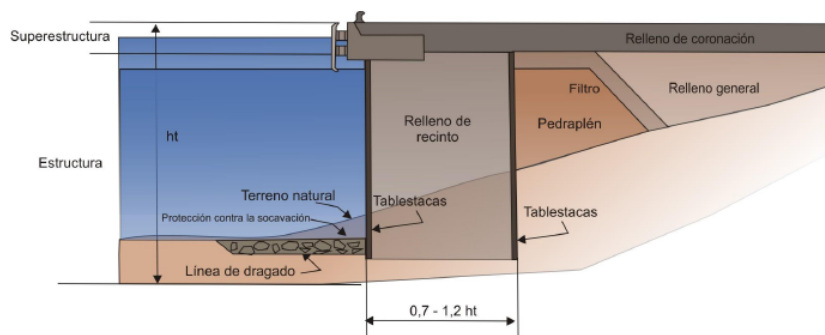
OBRA DE ATRAQUE DE CAJONES



La estructura resistente está formada por cajones prefabricados normalmente de hormigón armado (también puede pretensarse), aligerados con celdas, construidos en seco o en diques flotantes y luego, remolcados, fondeados y rellenos con agua, material granular u hormigón pobre. Las formas más habituales son las rectangulares. Las dimensiones vienen marcadas por la estabilidad una vez colocados y también la estabilidad naval. En España se han llegado a alturas de 38 m y esloras de 66 m.

- Obras de atraque fijas cerradas: recintos de tablestacas.

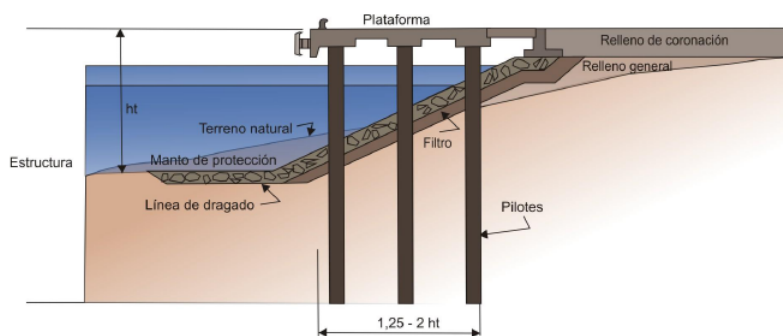
OBRA DE ATRAQUE DE RECINTOS DE TABLESTACAS



La estructura resistente está formada por una fila de recintos formados por tablestacas metálicas, conectados entre sí, con distintas configuraciones geométricas posibles (recintos con formas circulares con celdas independientes, celdas con diafragmas, dos filas de tablestacas arriostradas entre sí a distintos niveles...). Los recintos se rellenan luego con material granular. Todo ello da la capacidad resistente. Los recintos circulares son los más frecuentes, dado que trabajan de manera independiente.

- Obras de atraque fijas abiertas: pilotes.

OBRA DE ATRAQUE DE PILOTES



La estructura resistente está formada por una plataforma sustentada en pilotes verticales y/o inclinados, y caso de que exista un relleno adosado, se puede complementar con una estructura de contención de tierras y de unión con la plataforma de coronación del talud. La plataforma se puede anclar para impedir movimientos horizontales. Por su parte, los pilotes se anclan en el suelo la longitud necesaria (hasta 50 m.) y pueden ser moldeado "in situ" o prefabricados hincados. No suelen separarse más de 8 m.

Criterios para la Selección de la Tipología

- Uso y explotación.
- Geotécnicos.
- Morfológicos.
- Climáticos.
- Medioambientales.
- Constructivos y de los materiales.
- Sísmicos.
- De mantenimiento.

Verificación de la Tipología

- Modos de fallo asociados a ELU:
 - EQU: pérdida de equilibrio estático.
 - STR: estructural/inestabilidad interna.
 - GEO: geotécnico/inestabilidad interna.
 - UPL: exceso de presión de agua.
 - HYD: inestabilidad hidráulica.
- Modos de fallo asociados a ELS:
 - DUR: durabilidad.
 - REP: reparabilidad.
 - VIB: vibraciones excesivas.
 - DEX: deformaciones excesivas.
 - EST: estéticos.

- Modos de parada asociados a ELP:
 - ACS: suspensión de la accesibilidad del buque al atraque.
 - ATR: paralización de las operaciones de atraque.
 - PER: suspensión de la permanencia de los buques en el atraque.
 - CAR: paralización de la carga/descarga de mercancía o embarque/desembarque de pasajeros.

Capacidad de las Obras de Atraque

Condicionantes para el Dimensionamiento

- Previsión anual de volúmenes y tipos e mercancías, y de tráfico de pasajeros.
- Tamaño, composición y características de la flota.
- Distribución estadística de intervalos de arribada y escalas.
- Distribución estadística de tiempos de servicio.
- Características y productividad de las operaciones de carga/descarga.
- Calidad del servicio.
- Características de los accesos marítimos.

- Medios y dotaciones para la maniobrabilidad de los buques.
- Distribución de tiempos de estancia de las mercancías en almacenamiento.
- Necesidades de superficie de almacenamiento de mercancías hasta su evacuación/recepción.
- Capacidad de evacuación/recepción de los medios de transporte terrestre.

Condicionantes para la Capacidad

- Volumen anual de mercancías manipuladas en condiciones dadas.
- Capacidad definida en conjunto o por unidad de longitud.
- Capacidad expresada en toneladas, número de contenedores, TEU's, unidades de transporte, pasajeros, etc.
- La capacidad real está limitada por la capacidad de almacenamiento y de accesos terrestres.

Dimensionamiento en Planta

- Emplazamiento.
- Alineaciones.
- Número de atraques N_a .
- Longitud total L_a de la línea de atraques.
- Posición y dimensionamiento de tacones y rampas.
- Anchura A_m .
- Accesos terrestres.

Atraques

- Máximo volumen anual C_t .
- Tráfico unitario medio.
- Características de la flota.
- Distribución de escalas.
- Número, características y rendimiento de los equipos de manipulación.
- Tiempo útil total de trabajo durante el año.
- Niveles de operatividad mínimos.
- Nivel de calidad del servicio.
- Tiempos de servicio, improductivos y de maniobra de atraque.

Factores de Proyecto para el Dimensionamiento de Obras de Atraque y Amarre

Nota 6.

- Flota de buques prevista para la terminal.
- Volumen de mercancías a manipular.
- Productividad prevista para el subsistema.

Nota 7.

Factores de proyecto determinados por las siguientes funciones de distribución:

- Composición y características de la flota.
- Tráfico unitario.
- Distribución de escalas o de intervalos de tiempo entre llegadas.
- Distribución de tiempos de servicio.

[www](#)[inicio](#)[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)[página 38 de 55](#)[fullscreen](#)[salir](#)

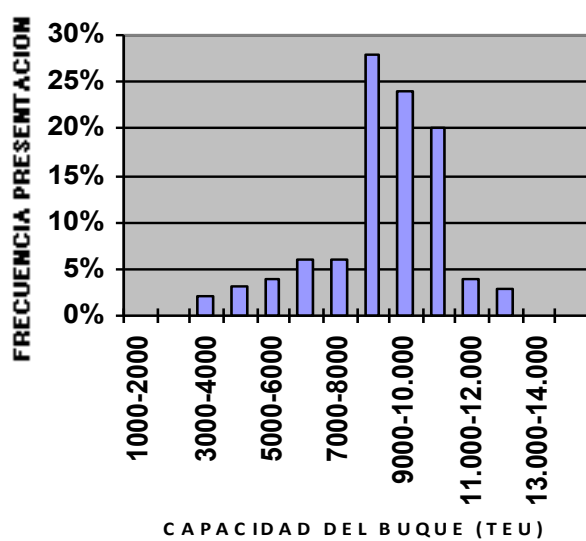
Composición y Características de la Flota

Nota 8.

- Buque de proyecto → flota homogénea.
- Buque máximo y mínimo → elección del más desfavorable para definir la flota.

- Función de distribución:

- Buque máximo, buque mínimo, buque tipo P_{85} , buque medio P_{50} .



Distribución de Tráfico Unitario

- Características de las líneas marítimas.
- Tipo de terminal —import/export, tránsito o mixta—.
- Hinterland.
- Terminal pública o monocliente.
- Eficiencia y productividad.
- Organización comercial.
- Acuerdos entre navieras y empresas estibadoras.

Nota 9.

- Tráfico SSS —short sea shipping—: tráfico marítimo entre puertos de la Unión Europea o entre puertos y puertos de países vecinos unidos por la misma línea de costa.
- Línea SSS → tráfico tipo Feeder: tráfico entre puerto transoceánico y puertos menores.
- Tráfico Liner: tráfico basado en líneas regulares. Se suele aplicar a mercancía unitarizada.
- Tráfico Tramp: tráfico basado en fletes → contratación de espacio de carga en el buque para varios viajes y/o por tiempo. Se suele aplicar a graneles y mercancía no unitaria.

1. Terminal import/export:

- (a) Línea marítima feeder o SSS: 70 % de la capacidad del buque.
- (b) Línea marítima transoceánica o feeder con escalas: 20 % de la capacidad en escalas intermedias, 40 % de la capacidad en escalas inicial/final.

2. Terminal de tránsito marítimo:

- (a) Línea marítima feeder o SSS: 70 % de la capacidad del buque.
- (b) Línea marítima transoceánica: 30 % de la capacidad del buque.

3. Terminal mixta: media ponderada de los anteriores considerando la relación entre import/export y tránsito
4. Terminales dedicadas: 15 % más de la capacidad que el buque en carga/descarga.
5. Tráfico tramp: 80 % de la capacidad del buque en carga y descarga.

[www](#)[inicio](#)[◀◀](#) [◀](#) [▶](#) [▶▶](#)[página 44 de 55](#)[fullscreen](#)[salir](#)

Distribución de Escalas

- Arribada de buques $\rightarrow$ proceso de Poisson.
- Intervalo entre llegadas consecutivas $\rightarrow$ distribución exponencial.
- Regularidad en las arribadas $\rightarrow$ ajustable a una distribución de Erlang.

Distribución de Tiempos de Servicio

- tiempo de servicio t_s (horas/buque) $\rightarrow$ tiempo activo t_a + tiempo inactivo t_i + tiempo de maniobra t_m .
- Plancha unitaria $t_{pu} \rightarrow t_a + t_i \rightarrow$ tiempo en atraque.
- Plancha unitaria media:

$$\overline{t_{pu}} = \frac{\overline{C_u}}{\overline{N_g} \cdot \overline{R} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3} \quad (1)$$

- $\overline{C_u}$: tráfico unitario medio; $\overline{N_g}$: número medio de equipos de manipulación; $\overline{R}$: rendimiento medio bruto de los equipos; α_1 : aprovechamiento de la jornada de trabajo; α_2 : coeficiente medio de actividad en el atraque; α_3 : nivel de operatividad de la instalación.

• Rendimientos medios:

		Grúas Fijas/ Móviles (t/h)	Instalaciones Especiales (t/h)	Grúas Contenedores ⁽¹⁾ (Ud/h)	Cabezas Tractoras en operaciones Ro-Ro no autopropulsadas ⁽²⁾ (Ud/h)	Tuberías o brazos- mangueras (m ³ /h)
MERCANCÍA GENERAL	Papel de bobina	80-180				
	Productos siderúrgicos	175-575				
	Productos hortofrutícolas	65-100				
	Productos forestales	60-260				
	Contenedores			18-30 ⁽⁶⁾ ⁽⁸⁾		
	Ro-Ro				5-7	
GRANELES SÓLIDOS	Clinker	375-500				
	Cemento	120-275	200-300 ⁽³⁾ 120-225 ⁽⁴⁾			
	Cereales/fertilizantes	175-275	225-375 ⁽³⁾ 125-300 ⁽⁴⁾			
	Carbón y minerales (descarga)	235-375	500-600 ⁽⁵⁾			
	Chatarra	100-140				
GRANELES LÍQUIDOS	Crudos (descarga)					5.000-10.000 ⁽⁷⁾
	Refinados y químicos					500-1.000 ⁽⁷⁾
	Licuada (LNG)					1.500-3.000 ⁽⁷⁾
	Licuada (LPG)					500-1.000 ⁽⁷⁾

(1) Con un único spreader.
(2) Con dos carriles en tación o rampa de acceso al buque.
(3) Aspirador neumático sobre pórticos.
(4) Tornillo sin fin (ó medio mecánico continuo).
(5) Grúa pórtico + cinta transportadora.
(6) A falta de otros datos, para la conversión de Ud/h en TEU/h puede adoptarse un factor medio de 1.5.
(7) Por línea de carga/descarga.
(8) Puede considerarse que un contenedor medio equivale a 1.25 TEU. Si se admite esta relación, 18-30 contenedores/h son equivalentes a 22.5-37.5 TEU/h. En grúas pórtico de contenedores con doble carro o doble spreader podría considerarse que los rendimientos brutos medios podrían ser un 50% superiores.

Tasa de Utilización

- Tasa de utilización $\rightarrow$ número de atraques:

$$\phi = \frac{\text{nº anual de buques en un año}}{\text{nº de buques que pueden servirse en un año}} = \frac{\lambda_{max} \cdot 12}{\frac{N_a \cdot t_a}{\bar{t}_s}} \quad (2)$$

- λ_{max} : número de buques por mes; N_a : número de atraques; t_a : tiempo de servicio en un año (horas); $\bar{t}_s$: tiempo medio de servicio.

- Utilización:

PARA ESPERA RELATIVA (γ) DE 0.10										
CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE ESPERAS	TASA DE OCUPACIÓN (Φ)									
	NÚMERO DE ATRAQUES (N_a)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$M/G_1/N_a$ y $M/G_{2\infty}/N_a$ (Tráficos unitarios muy heterogéneos o totalmente homogéneos)	0,09	0,30	0,44	0,52	0,58	0,63	0,66	0,69	0,71	0,73
$M/G_2/N_a$ (Tráficos unitarios relativamente heterogéneos)	0,07	0,28	0,40	0,49	0,55	0,60	0,63	0,66	0,68	0,71
$M/G_4/N_a$ (Tráficos unitarios relativamente homogéneos)	0,08	0,29	0,41	0,50	0,56	0,61	0,64	0,67	0,69	0,72
PARA ESPERA RELATIVA (γ) DE 0.25										
CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE ESPERAS	TASA DE OCUPACIÓN (Φ)									
	NÚMERO DE ATRAQUES (N_a)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$M/G_1/N_a$ y $M/G_{2\infty}/N_a$ (Tráficos unitarios muy heterogéneos o totalmente homogéneos)	0,20	0,45	0,57	0,65	0,70	0,74	0,77	0,79	0,80	0,82
$M/G_2/N_a$ (Tráficos unitarios relativamente heterogéneos)	0,17	0,43	0,54	0,62	0,67	0,71	0,75	0,77	0,78	0,81
$M/G_4/N_a$ (Tráficos unitarios relativamente homogéneos)	0,18	0,44	0,55	0,63	0,69	0,72	0,76	0,78	0,79	0,81
PARA ESPERA RELATIVA (γ) DE 0.50										
CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE ESPERAS	TASA DE OCUPACIÓN (Φ)									
	NÚMERO DE ATRAQUES (N_a)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$M/G_1/N_a$ y $M/G_{2\infty}/N_a$ (Tráficos unitarios muy heterogéneos o totalmente homogéneos)	0,33	0,58	0,69	0,75	0,79	0,82	0,84	0,85	0,87	0,88
$M/G_2/N_a$ (Tráficos unitarios relativamente heterogéneos)	0,29	0,54	0,65	0,72	0,76	0,79	0,81	0,83	0,85	0,86
$M/G_4/N_a$ (Tráficos unitarios relativamente homogéneos)	0,31	0,56	0,67	0,73	0,77	0,80	0,82	0,84	0,86	0,87

Leyenda
 $M/G_1/N_a$: Distribución de llegadas exponencial / Distribución de tiempos de servicio de componente constante, resultado de la combinación de una componente constante y de una distribución Exponencial.
 $M/G_2/N_a$: Distribución de llegadas exponencial / Distribución de tiempos de servicio de componente constante, resultado de la combinación de una componente constante y de una distribución Erlang de orden 2.
 $M/G_4/N_a$: Distribución de llegadas exponencial / Distribución de tiempos de servicio de componente constante, resultado de la combinación de una componente constante y de una distribución Erlang de orden 4.
 $M/G_{2\infty}/N_a$: Distribución de llegadas exponencial / Distribución de tiempos de servicio de componente constante, resultado de la combinación de una componente constante y de una distribución Erlang de orden ∞ .

[www](#)
[inicio](#)


página 49 de 55

[fullscreen](#)
[salir](#)

Longitud de Líneas de Atraque

- Número de atraques necesarios.
- Alineaciones de las que se disponen.
- Dimensiones de los buques de eslora máxima.
- Configuración física.
- Tipo de tráfico.
- Condiciones climáticas locales.
- Configuración de la dársena.
- Medios previstos para la maniobrabilidad de los buques.

- Atrake aislado o dos continuados en cada alineación, $N_a \leq 2$:

$$L_a = N_a \cdot L_{max} + (N_a - 1) \cdot l_0 + 2 \cdot l_s \quad (3)$$

- Más de dos atraques continuados en cada alineación, $N_a > 2$:

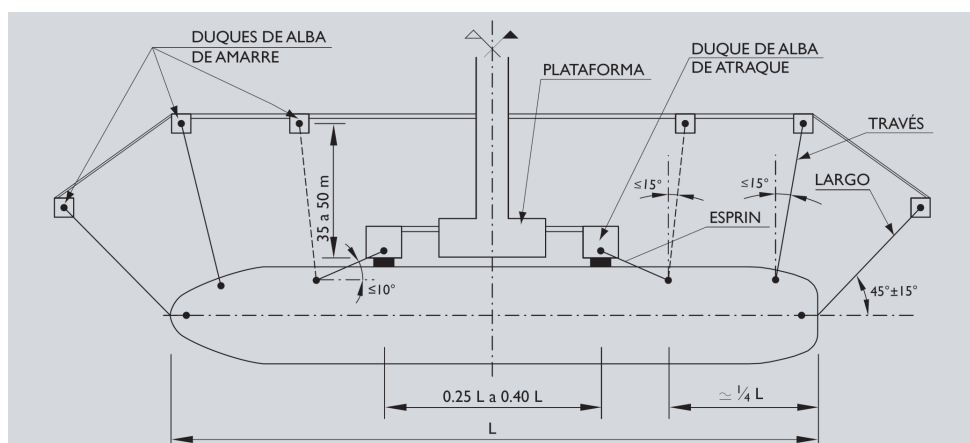
$$L_a = L_{max} + (N_a - 1) \cdot L_b + (N_a - 1) \cdot l_0 + 2 \cdot l_s \quad (4)$$

- Longitud de atraques:

ESQUEMA REPRESENTATIVO DEL MUELLE	Valores de las variables en función de la eslora total (L en m.) del barco mayor que afecta a la determinación de la dimensión analizada.				
	Mayor de 300	300-201	200-151	150-100	Menor de 100 ⁽¹⁾
1. Distancia "L _s " entre barcos atracados en la misma alineación (m.)	30	25	20	15	10
2. Separación "L _s " entre barco y cambios de alineación o de tipología estructural (m.)					
a)	30	25	20	10	5
b)	45/40	30	25	20	15
c)	30/25	20	15	15	10
d)	~160	50	40	30	20
e)	20	15	15	10	10

(1) Para buques con eslora total menor de 12 m. se tomará como valor de "L_s" el 20% de "L", reajustándose los restantes valores proporcionalmente.
 (B) Manga del barco mayor que afecte a la determinación de la dimensión analizada.
 (*) El ángulo se entenderá limitado a 160°. Para ángulos mayores se aplicará el (1).

- Longitud de atraques discontinuos:



Dimensionamiento en Alzado

- Nivel de coronación del atraque.
- Calado del atraque.
- Perfil longitudinal de tacones y rampas.
- Pendientes del área de operación y almacenamiento.

[www](#)[inicio](#)[página 54 de 55](#)[fullscreen](#)[salir](#)

Referencias

- Losada M. A. (Ponente), 2001. ROM 0.0 Procedimiento General y Bases de Cálculo en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias. Parte I. Puertos del Estado. 220 p.p. i.s.b.n. 84 – 88975 – 30 – 9.
- Losada M. A. (Ponente), 2010. ROM 1.0-09 Recomendaciones del Diseño y Ejecución de las Obras de Abrigo. Parte I. Bases y Factores para el Proyecto. Agentes Climáticos. Puertos del Estado. 532 p.p. i.s.b.n. 978 – 84 – 88975 – 73 – 7.

Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Ingeniería de Obras Marítimas

Obras de Atraque y Amarre. Áreas de Navegación y Flotación

Moñino A. & Clavero M.
Dpto. Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica
Universidad de Granada

[www](#)[inicio](#)

página 1 de 30

[fullscreen](#)[salir](#)

Índice General

Nota 1.

- Procedimiento General de Dimensionamiento
 - Criterios Generales
 - Procedimiento Recomendado
- Requisitos para Dimensionamiento en Alzado
- Áreas de Navegación
- Bocanas
- Áreas de Maniobra
- Fondeaderos
- Dársenas

Procedimiento General de Dimensionamiento

Nota 2.

El procedimiento para la configuración y dimensionamiento tiene como ámbito de aplicación:

- El proyecto y la construcción de accesos y áreas de flotación.
- Todas las obras marítimas y portuarias cualquiera que sea su clase o destino.
- El establecimiento de criterios de explotación.

Criterios Generales de Proyecto

Nota 3.

- La configuración geométrica en planta y alzado de los espacios de agua y aéreos.
- El balizamiento.
- Las condiciones climáticas límites de operación.
- Los requerimientos de remolque asociados a los condiciones climáticas.

Procedimiento Recomendado para Dimensionar Áreas de Navegación y Flotación

1. Determinar vida útil, seguridad y riesgos máximos admisibles.
2. Establecer la flota de diseño —buques más desfavorables—.
3. Calcular el número de operaciones previsibles durante la vida útil para la flota de diseño.
4. Establecer las condiciones climáticas límites de operación para las distintas maniobras.

5. Establecer las condiciones operativas de los buques asociadas a las distintas maniobras —velocidad, carga, remolcadores, etc—.)
6. Efectuar el dimensionamiento geométrico tomando en consideración el balizamiento. Se establecen 2 procedimientos: determinístico y semiprobabilístico.
7. Calcular los tiempos de inoperatividad del área bajo estas hipótesis.
8. Valorar la viabilidad del proyecto con estos niveles de inoperatividad. Si no es aceptable reiniciar el estudio desde el punto 4.

Nota 4.

Procedimientos de dimensionamiento geométrico:

Determinístico La dimensión geométrica en planta y alzado se calcula por adición de factores determinados mediante tabulaciones o formulaciones matemáticas que conducen a un resultado concreto y cierto.

Semiprobabilístico Las dimensiones geométricas se basan en el análisis estadístico de los espacios ocupados por el buque, que se obtienen mediante simulación, ensayos en modelo reducido o mediciones en tiempo real.

Requisitos para Dimensionamiento en Alzado

Nota 5.

- Profundidades de agua de las áreas de navegación y flotación.
- Gálidos de puentes y otras instalaciones que vuelen sobre las áreas de navegación.
- Niveles de coronación de los muelles.

Factores Relativos al Buque

1. Calado estático D_e del buque:
 - (a) Calado de buques a plena carga —salvo astilleros—.
 - (b) Carga parcial $\rightarrow$ fijar en normas de explotación.
 - (c) Calados mayores —averías— $\rightarrow$ evaluar si es posible.
2. Cambios en la densidad d_s del agua.
3. Sobrecalado d_g por distribución de cargas.
4. Trimado dinámico d_t asociado a movimientos a velocidad determinada.
5. Cambios d_w asociados a movimientos del buque por oleaje.

6. Cambios d_v asociados a escoras del buque por acción del viento.
7. Cambios d_c asociados a escoras del buque por acción de la corriente.
8. Cambios d_g asociados a escoras del buque por cambio de rumbo.
9. Resguardo para seguridad y control de maniobrabilidad del buque.
10. Margen de seguridad.

[www](#)[inicio](#)[página 10 de 30](#)[fullscreen](#)[salir](#)

- Factores relativos al buque: calados

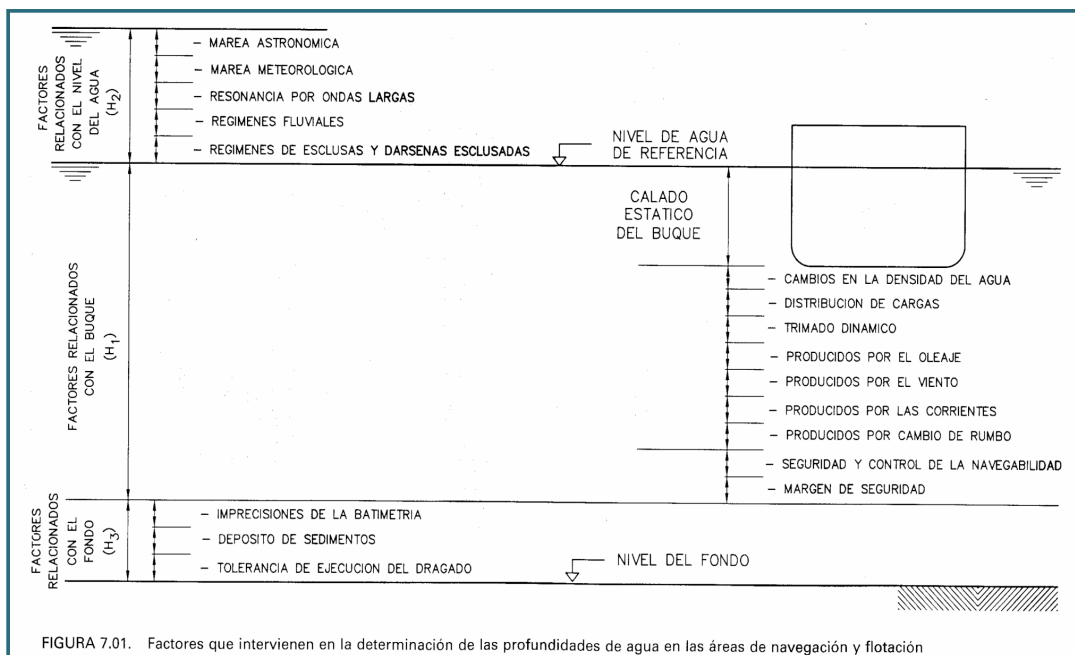
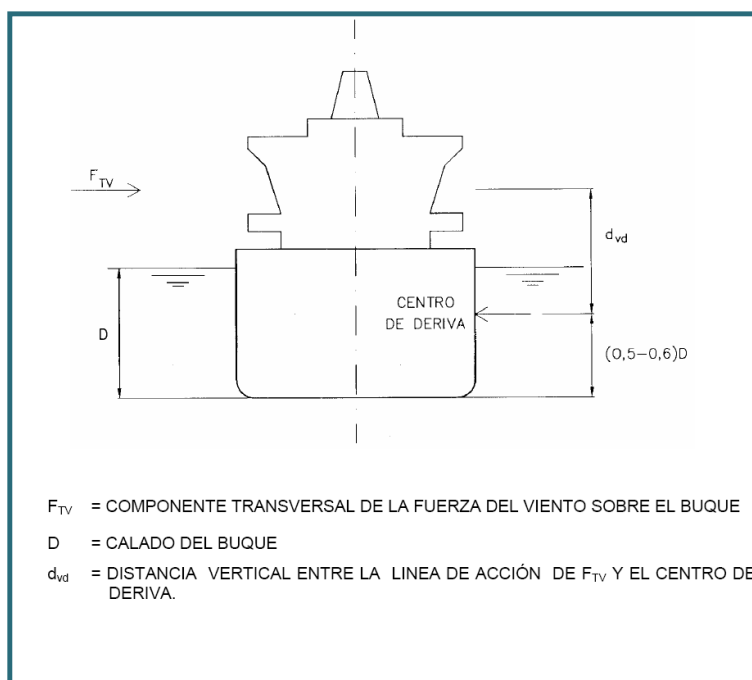
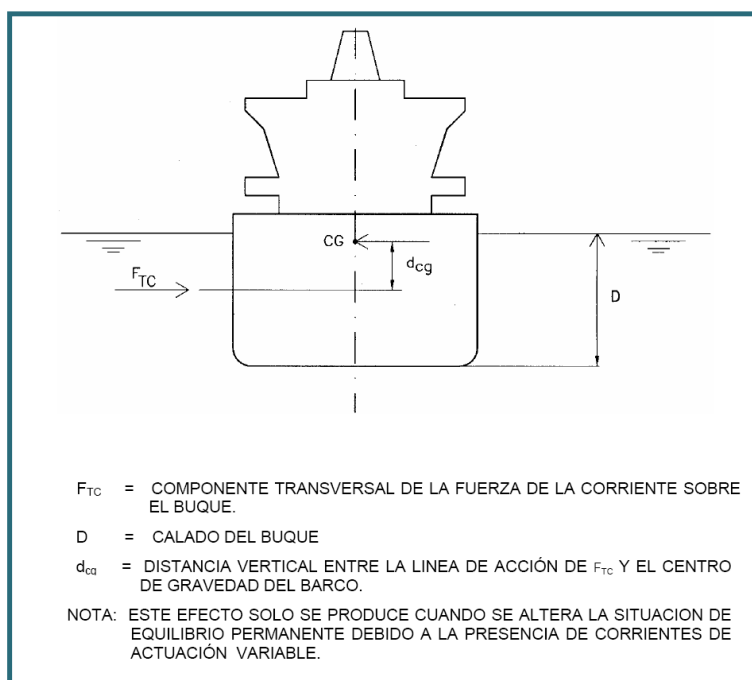


FIGURA 7.01. Factores que intervienen en la determinación de las profundidades de agua en las áreas de navegación y flotación

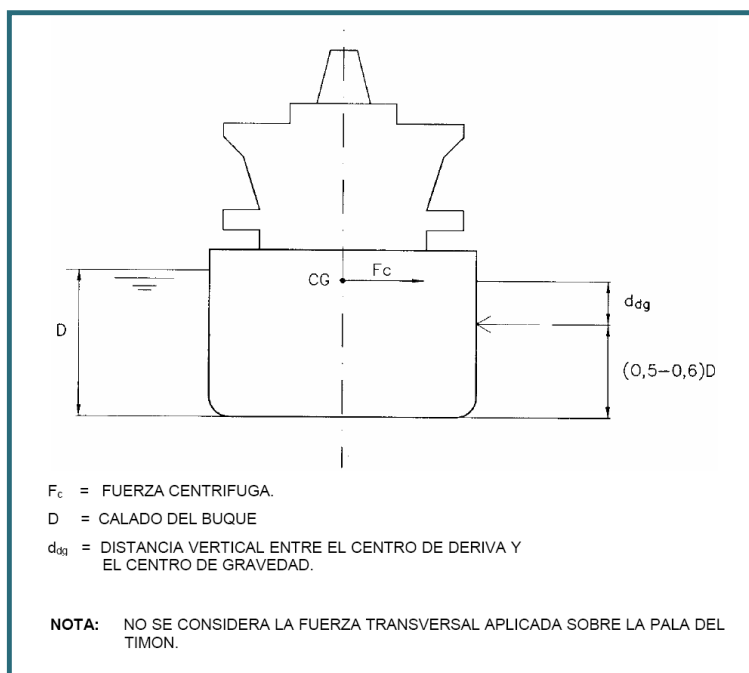
- Factores relativos al buque: viento



- Factores relativos al buque: corrientes



- Factores relativos al buque: rumbo



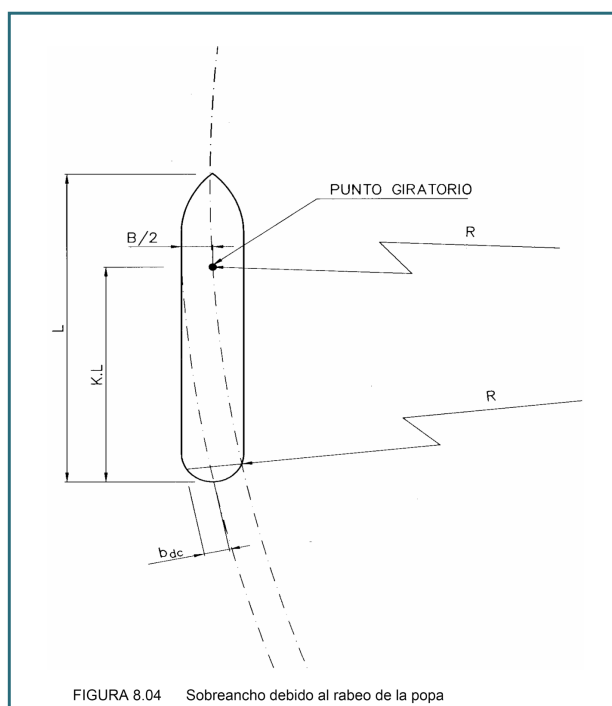
• Factores relativos al buque: resguardos

TABLA 7.2. RESGUARDOS PARA SEGURIDAD Y CONTROL DE LA MANIOBRA- BILIDAD DEL BUQUE (V_{sm}) Y MARGEN DE SEGURIDAD (V_{sd})			
	V_{sm}	V_{sd}	$V_{sm} + V_{sd}$
1. Buques de gran desplazamiento (> 30.000 t)			
— Navegación sobre fondos limosos o arenosos			
• Velocidad del buque no limitada (> 8 nudos)	0,60 m	0,30 m	0,90 m
• Velocidad del buque limitada (≤ 8 nudos)	0,30 m	0,30 m	0,60 m
• Buque parado (muelles, atraques, etc.)	0,00 m	0,30 m	0,30 m
— Navegación sobre fondos rocosos			
• Velocidad del buque no limitada (> 8 nudos)	0,60 m	0,60 m	1,20 m
• Velocidad del buque limitada (≤ 8 nudos)	0,30 m	0,60 m	0,90 m
• Buque parado (muelles, atraques, etc.)	0,00 m	0,60 m	0,60 m
2. Buques de mediano y pequeño desplazamiento (≤ 10.000 t, excepto embarcaciones menores, deportivas y pesqueros)			
— Navegación sobre fondos limosos o arenosos			
• Velocidad del buque no limitada (> 8 nudos)	0,30 m	0,30 m	0,60 m
• Velocidad del buque limitada (≤ 8 nudos)	0,20 m	0,30 m	0,50 m
• Buque parado (muelles, atraques, etc.)	0,00 m	0,30 m	0,30 m
— Navegación sobre fondos rocosos			
• Velocidad del buque no limitada (> 8 nudos)	0,30 m	0,60 m	0,90 m
• Velocidad del buque limitada (≤ 8 nudos)	0,20 m	0,60 m	0,80 m
• Buque parado (muelles, atraques, etc.)	0,00 m	0,60 m	0,60 m
3. Buques de desplazamientos comprendidos entre 10.000 y 30.000 t.			
— Interpolación linealmente en función del desplazamiento indicado en los apartados 1 y 2			
4. Embarcaciones menores, deportivas y pesqueros			
— Navegación sobre fondos limosos o arenosos			
• Velocidad del buque no limitada (> 8 nudos)	0,20 m	0,20 m	0,40 m
• Velocidad del buque limitada (≤ 8 nudos)	0,10 m	0,20 m	0,30 m
• Buque parado (muelles, atraques, etc.)	0,00 m	0,20 m	0,20 m
— Navegación sobre fondos rocosos			
• Velocidad del buque no limitada (> 8 nudos)	0,20 m	0,40 m	0,60 m
• Velocidad del buque limitada (≤ 8 nudos)	0,10 m	0,40 m	0,50 m
• Buque parado (muelles, atraques, etc.)	0,00 m	0,40 m	0,40 m

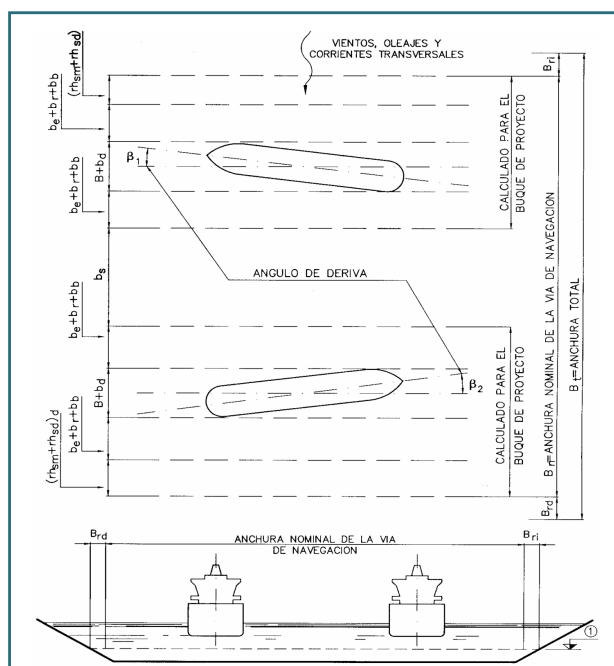
Áreas de Navegación

- Tamaño y características de maniobrabilidad de los buques.
- Volumen y naturaleza del tráfico.
- Velocidades admisibles de navegación: limitadas habitualmente a 15 *nudos* en zonas de acceso y fondeaderos, y a 10 *nudos* en zonas interiores.
- Tipo de navegación y vías de circulación.
- Características geométricas de la vía navegable.
- Tipo de ayudas a la navegación.
- Profundidad y características geométricas transversales de la vía.
- Condiciones climáticas.
- Experiencia de los operadores.

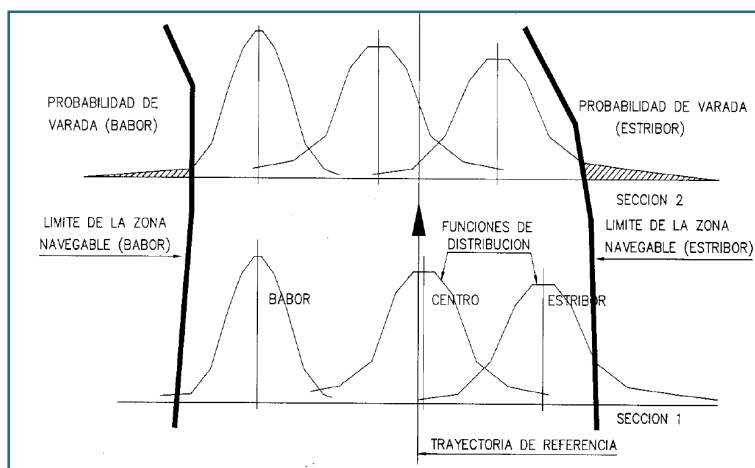
- Factores relativos a las vías de navegación: giro



- Factores relativos a las vías de navegación: oleaje, corrientes, viento



- Factores relativos a las vías de navegación: método semi-probabilístico



Bocanas

Nota 6.

Anchura mínima → igual o superior a la eslora del buque de proyecto.

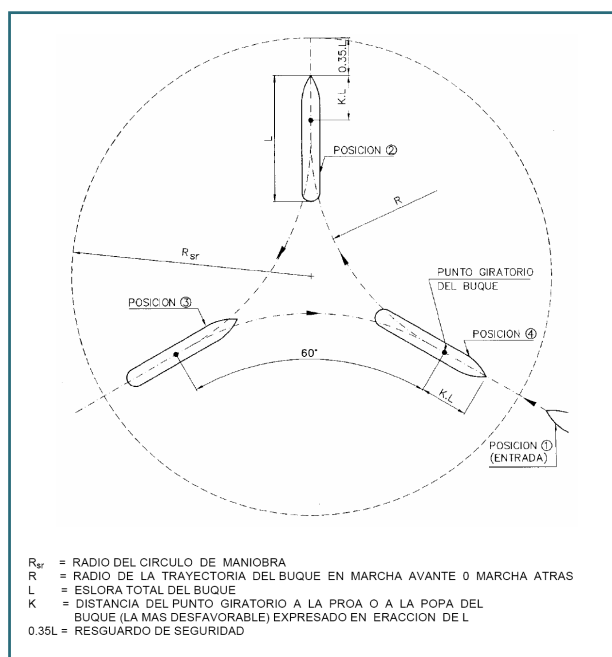
- Configuración del puerto.
- Navegación de entrada y salida.
- Limitación a la entrada de energía.
- Dinámica litoral.

Áreas de Maniobra

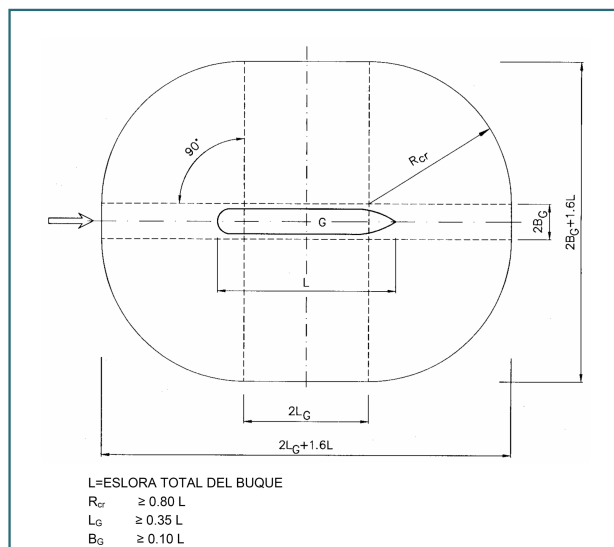
Factores Relativos a las Áreas de Maniobra

- Tamaño de buques más desfavorables.
- Volumen y naturaleza del tráfico marítimo.
- Características geométricas de los espacios.
- Clima.
- Disponibilidad y características de los remolcadores.

- Áreas de maniobra: reviro



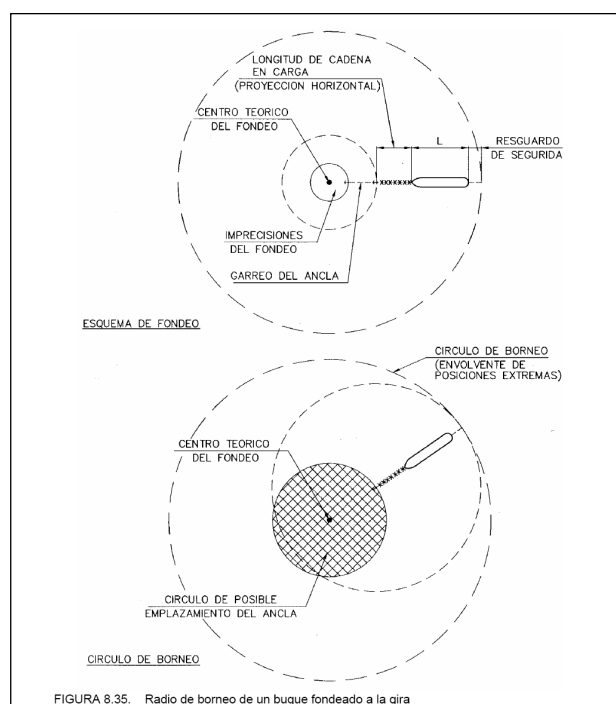
- Áreas de maniobra: parada y arrancada



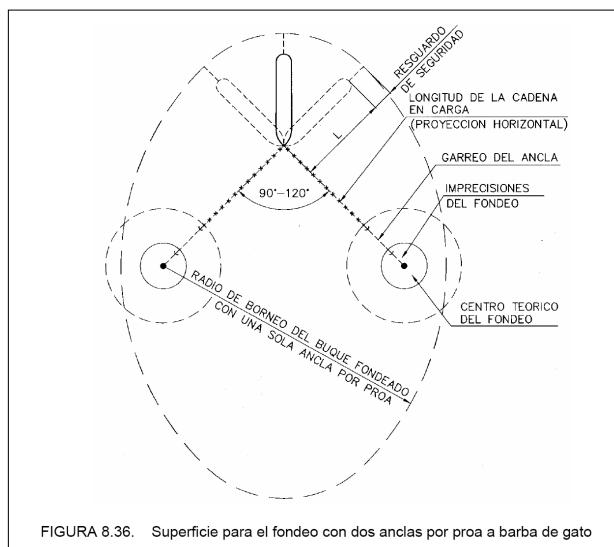
Fondeaderos

- Tamaño de buques.
- Tipo de operaciones a desarrollar en los buques.
- Duración de la estancia.
- Configuración del emplazamiento.
- Número de puntos de fondeo.
- Características físicas del emplazamiento: profundidad y calidad del tenedero.

- Fondeaderos: radio de borneo



- Fondeaderos: superficie de fondeo para dos anclas a barba de gato



Dársenas

- Configuración general del puerto.
- Navegación de acceso y salida.
- Longitud de muelles.
- Niveles de agitación.
- Resonancia y parámetros de la dársena.
- Corrientes y vientos.
- Sedimentación.
- Requerimientos de seguridad.
- Previsibles ampliaciones.

Nota 7.

Dimensiones de la dársena:

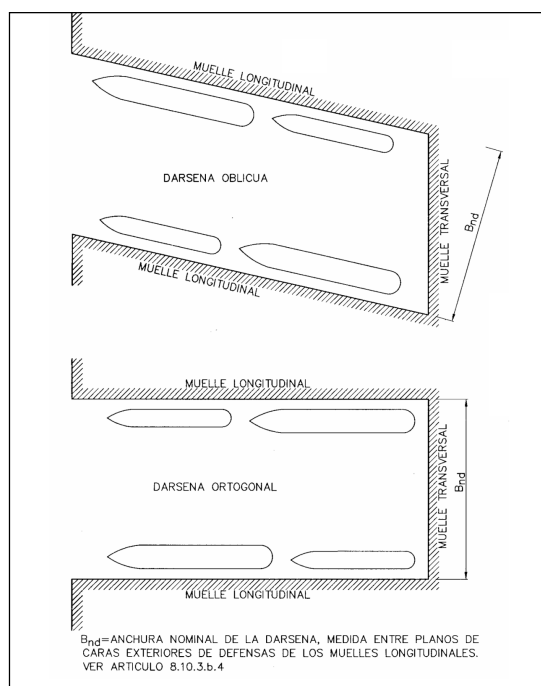
- Dimensiones de buque de proyecto —manga y eslora—.
- Forma de la dársena.
- Paramentos de la dársena.
- Tipo y forma de atraque.

[www](#)[inicio](#)

página 28 de 30

[fullscreen](#)[salir](#)

- Dársenas: dimensiones



Referencias

Losada M. A. (Ponente), 2001. ROM 0.0 Procedimiento General y Bases de Cálculo en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias. Parte I. Puertos del Estado. 220 p.p. i.s.b.n. 84 – 88975 – 30 – 9.

Losada M. A. (Ponente), 2010. ROM 1.0-09 Recomendaciones del Diseño y Ejecución de las Obras de Abrigo. Parte I. Bases y Factores para el Proyecto. Agentes Climáticos. Puertos del Estado. 532 p.p. i.s.b.n. 978 – 84 – 88975 – 73 – 7.