

Fundamentos de Ingeniería Portuaria

Parte II

Apuntes de Clase

María Clavero & Miguel Ortega-Sánchez

Grado en Ingeniería Civil

ETSI Caminos, Canales y Puertos

Universidad de Granada

Índice general

Índice general	III
1. Terminales Portuarias	1
2. El buque	3
2.1. Tipos de buque	4
2.2. Movimientos del buque. Maniobras	7
3. Infraestructuras portuarias	9
3.1. Tipos de infraestructura	9
3.2. Recomendaciones de trazado	11
4. Obras Marítimas	13
4.1. Definición y clasificación de las Obras Marítimas	13
4.1.1. Obras Marítimas Fijas	13
4.1.1.1. OM Fijas de Gravedad	14
4.1.1.2. OM Fijas Estructurales	14
4.1.2. OM Flotantes	16
4.2. Obras fijas	16
4.2.1. Disposición en planta	17
4.2.1.1. Definición de tramo	17
4.2.1.2. Interferencia en planta	18
4.2.2. Disposición en alzado	20
4.2.2.1. Interferencia en alzado	20
4.2.2.2. Clasificación según la permeabilidad	21

Capítulo 1

Terminales Portuarias

Una **terminal portuaria** es la unidad establecida en un puerto o fuera de él, formada por obras, instalaciones y superficies, incluida su zona de agua, que permite la realización íntegra de la operación portuaria a la que se destina.

A continuación se mencionan los principales tipos de terminales.

Terminales de contenedores: aquella instalación portuaria especializada en realizar la transferencia de contenedores entre los modos marítimo y terrestre o el tránsito y trasbordo marítimo de los mismos.

Terminales de graneles: aquella instalación portuaria especializada en realizar la transferencia de mercancías presentadas a granel, ya sea sólido o líquido, entre los modos marítimo y terrestre o el tránsito y trasbordo marítimo de los mismos.

Terminales polivalentes: aquella instalación portuaria destinada a realizar la transferencia de mercancías heterogéneas con diversas formas de presentación entre los modos marítimo y terrestre o, el tránsito y trasbordo marítimo de los mismos y, en su caso, de pasajeros en régimen de transporte, ya sea en embarque, desembarque o tránsito, y, de vehículos en régimen de pasaje.

Terminales de cruceros: aquella instalación portuaria especializada en realizar la transferencia de pasajeros de cruceros turísticos en embarque, desembarque o tránsito.

Terminales de trasbordo por rodadura (ro-ro): aquella instalación portuaria destinada a realizar la transferencia de mercancías rodada o transportada en equipamientos de transporte rodantes entre los modos marítimo y terrestre o, el tránsito y trasbordo marítimo de los mismos, y, en su caso, de pasajeros en régimen de transporte, ya sea en embarque, desembarque o tránsito, y de vehículos en régimen de pasaje.



Figura 1.1: Terminal de contenedores



Figura 1.2: Terminal de graneles sólidos



Figura 1.3: Terminales de carga rodada.

El buque se define como un **figuras/flotador tripulado y autopropulsado, apto para el transporte y el comercio marítimos y/o fluviales** (figura 2.1).

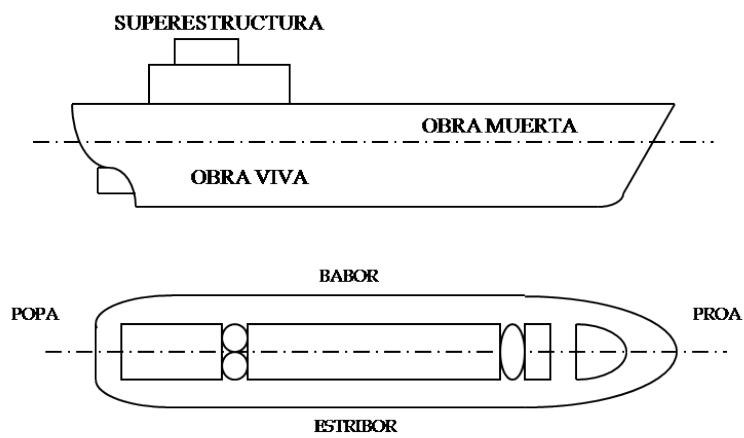


Figura 2.1: Partes de un buque tipo.

Los principales parámetros que lo caracterizan son (figura 2.2):

1. Eslora (L)
2. Manga (B)
3. Puntal (T)
4. Calado (D)

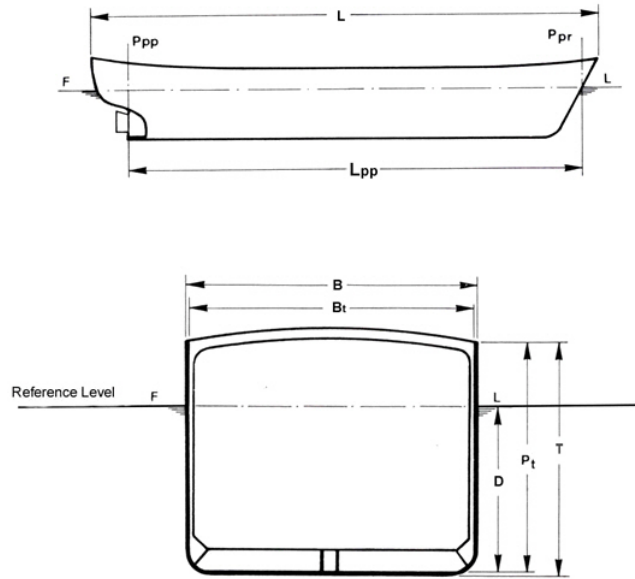


Figura 2.2: Dimensiones características de un buque tipo.

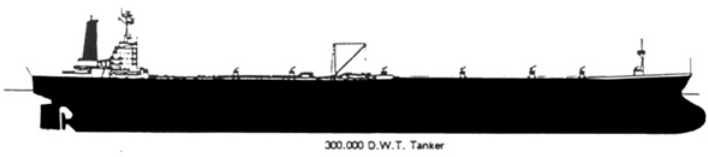
2.1. Tipos de buque

Los principales buques tipo que se emplean para el diseño portuario son:

1. Petroleros
2. Portacontenedores
3. Graneleros y polivalentes
4. Pasajeros
5. Ro-Ro (con rampa)

Sus principales características se recogen en las siguientes figuras.

Teniendo en cuenta lo anterior, se define el **buque de proyecto** como el **buque tipo** que se utiliza para el dimensionamiento de las **Áreas Portuarias**, y que define el volumen y naturaleza del tráfico y la flota.




Tonelaje de Peso Muerto (TPM) t	Desplazamiento (Δ) t	Eslora Total (L) m	Eslora entre perpendiculares (Lpp) m	Manga (B) m	Puntal (T) m	Calado (D) m	Coefficiente de Bloque
Petroleros para crudo							
500,000	590,000	415.0	392.0	73.0	30.5	24.0	0.86
400,000	475,000	380.0	358.0	68.0	29.2	23.0	0.85
350,000	420,000	365.0	345.0	65.5	28.0	22.0	0.85
300,000	365,000	350.0	330.0	63.0	27.0	21.0	0.84
275,000	335,000	340.0	321.0	31.0	26.3	20.5	0.84
250,000	305,000	330.0	312.0	59.0	25.5	19.9	0.83
225,000	277,000	320.0	303.0	57.0	24.8	19.3	0.83
200,000	246,000	310.0	294.0	55.0	24.0	18.5	0.82
175,000	217,000	300.0	285.0	52.5	23.0	17.7	0.82
150,000	186,000	285.0	270.0	49.5	22.0	16.9	0.82
125,000	156,000	270.0	255.0	46.5	21.0	16.0	0.82
100,000	125,000	250.0	236.0	43.0	19.8	15.1	0.82
80,000	102,000	235.0	223.0	40.0	18.7	14.0	0.82
70,000	90,000	225.0	213.0	38.0	18.2	13.5	0.82
60,000	78,000	217.0	206.0	36.0	17.0	13.0	0.81

Figura 2.3: Características generales de los buques petroleros.

Fully cellular container ships

Large



Tonelaje de Peso Muerto (TPM) t	Desplazamiento (Δ) t	Eslora Total (L) m	Eslora entre perpendiculares (Lpp) m	Manga (B) m	Puntal (T) m	Calado (D) m	Coefficiente de Bloque
Portacontenedores (Panamax)							
60,000	83,000	290.0	275.0	32.2	22.8	13.2	0.71
55,000	75,500	278.0	264.0	32.2	22.4	12.8	0.69
50,000	68,000	267.0	253.0	32.2	22.1	12.5	0.67
45,000	61,000	255.0	242.0	32.2	21.4	12.2	0.64
40,000	54,000	237.0	225.0	32.2	20.4	11.7	0.64
35,000	47,500	222.0	211.0	32.2	19.3	11.1	0.63
30,000	40,500	210.0	200.0	30.0	18.5	10.7	0.63
25,000	33,500	195.0	185.0	28.5	17.5	10.1	0.63
20,000	27,000	174.0	165.0	26.2	16.2	9.2	0.68
15,000	20,000	152.0	144.0	23.7	15.0	8.5	0.69
10,000	13,500	130.0	124.0	21.2	13.3	7.3	0.70

Figura 2.4: Características generales de los buques portacontenedores.



102/109,000 D.W.T. Bulkcarrier

Tonelaje de Peso Muerto (TPM) t	Desplazamiento (Δ) t	Eslora Total (L) m	Eslora entre perpendiculares (Lpp) m	Manga (B) m	Puntal (T) m	Calado (D) m	Coefficiente de Bloque
Graneleros y Polivalentes							
400,000	464,000	375.0	356.0	62.5	30.6	24.0	0.87
350,000	406,000	362.0	344.0	59.0	29.3	23.0	0.87
300,000	350,000	350.0	333.0	56.0	28.1	21.8	0.86
250,000	292,000	335.0	318.0	52.5	26.5	20.5	0.85
200,000	236,000	315.0	300.0	48.5	25.0	19.0	0.85
150,000	179,000	290.0	276.0	44.0	23.3	17.5	0.84
125,000	150,000	275.0	262.0	41.5	22.1	16.5	0.84
100,000	121,000	255.0	242.0	39.0	20.8	15.3	0.84
80,000	98,000	240.0	228.0	36.5	19.4	14.0	0.84
60,000	74,000	220.0	210.0	33.5	18.2	12.8	0.82
40,000	50,000	195.0	185.0	29.0	16.3	11.5	0.80
20,000	26,000	160.0	152.0	23.5	12.6	9.3	0.78
10,000	13,000	130.0	124.0	18.0	10.0	7.5	0.78

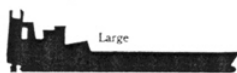
Figura 2.5: Características generales de los buques granelero.

Passenger ships



Cruise

Ro-ro ships



Large

Arqueo Bruto GT	Desplazamiento (Δ) t	Eslora Total (L) m	Eslora entre perpendiculares (Lpp) m	Manga (B) m	Puntal (T) m	Calado (D) m	Coefficiente de Bloque
Cruceros de pasaje							
80,000	44,000	272.0	231.0	35.0	20.0	8.0	0.68
70,000	38,000	265.0	225.0	32.2	19.3	7.8	0.67
60,000	34,000	252.0	214.0	32.2	18.8	7.6	0.65
50,000	29,000	234.0	199.0	32.2	18.0	7.1	0.64
40,000	24,000	212.0	180.0	32.2	17.3	6.5	0.64
35,000	21,000	192.0	164.0	32.2	17.0	6.3	0.63
Pesqueros							
3,000	4,200	90.0	85.0	14.0	6.8	5.9	0.60
2,500	3,500	85.0	81.0	13.0	6.4	5.6	0.59
2,000	2,700	80.0	76.0	12.0	6.0	5.3	0.56
1,500	2,200	76.0	72.0	11.3	5.8	5.1	0.53
1,200	1,900	72.0	68.0	11.0	5.7	5.0	0.50
1,000	1,600	70.0	66.0	10.5	5.4	4.8	0.48
700	1,250	65.0	62.0	10.0	5.1	4.5	0.45
500	800	55.0	53.0	8.6	4.5	4.0	0.44
250	400	40.0	38.0	7.0	4.0	3.5	0.43
Embarcaciones deportivas (a motor)							
-	50,0	24.0	-	5.5	-	3.3	-
-	35,0	21.0	-	5.0	-	3.0	-
-	27,0	18.0	-	4.4	-	2.7	-
-	16,5	15.0	-	4.0	-	2.3	-
-	6,5	12.0	-	3.4	-	1.8	-
-	4,5	9.0	-	2.7	-	1.5	-
-	1,3	6.0	-	2.1	-	1.0	-
Embarcaciones deportivas (a vela)							
-	60,0	24.0	-	4.6	-	3.6	-
-	40,0	21.0	-	4.3	-	3.0	-
-	22,0	18.0	-	4.0	-	2.7	-
-	13,0	15.0	-	3.7	-	2.4	-
-	10,0	12.0	-	3.5	-	2.1	-
-	3,5	9.0	-	3.3	-	1.8	-
-	1,5	6.0	-	2.4	-	1.5	-

Figura 2.6: Características generales de los buques de pasajeros y ro-ro.

2.2. Movimientos del buque. Maniobras

La operatividad de los buques viene marcada, esencialmente, por su movimiento; es decir, se debe garantizar que durante un cierto número de días al año los movimientos del buque sean inferiores a unos ciertos umbrales, lo que permite que se lleven a cabo las maniobras con seguridad y operatividad. De la misma manera, puede ser que el barco pueda trabajar pero el viento sea excesivo y las grúas no puedan funcionar.

Los buques tienen 6 grados de libertad, que se manifiestan en los siguientes movimientos (figura 2.7):

- Giros: cabeceo, guiñada y balance.
- Movimientos: alteada, deriva y vaivén.

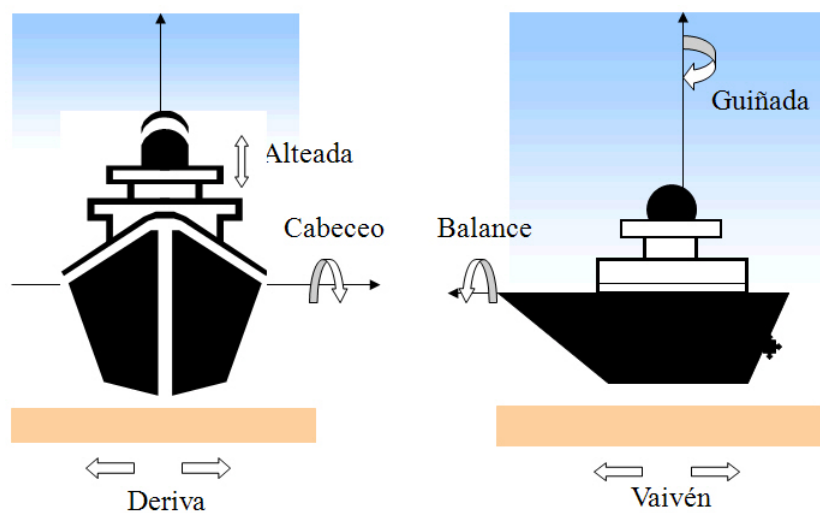


Figura 2.7: Movimientos característicos del buque.

Los buques deben ser capaces de realizar con seguridad y funcionalidad las siguientes operaciones

- Navegación y aproximación a puerto
- Parada y arrancada
- Reviro (fase que puede ir acompañada de remolcador)
- Atraque
- Fondeo

Una vez que el buque atraque, se amarra conforme a la figura 2.8.

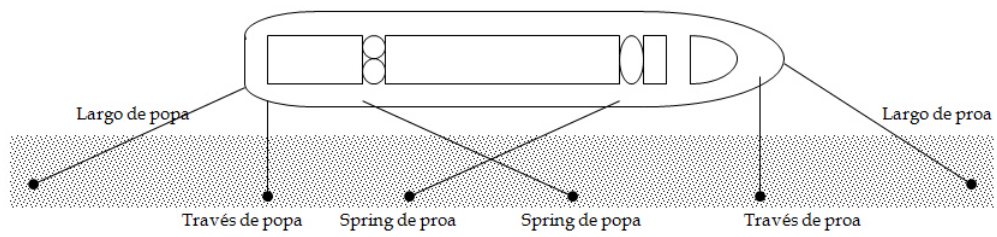


Figura 2.8: Amarre del buque.

Infraestructuras portuarias

Se entiende por **infraestructura portuaria** el conjunto de obras civiles e instalaciones mecánicas, eléctricas y electrónicas, fijas y flotantes, construidas o ubicadas en los puertos, para facilitar el transporte y el intercambio modal. Habitualmente se diferencian 3 grandes grupos: los accesos marítimos, los accesos terrestres y las zonas de transferencia de carga y tránsito de pasajeros.

En casi todos los países del mundo la infraestructura portuaria ha sido tradicionalmente construida, financiada, mantenida y gestionada directamente por las autoridades portuarias. En la actualidad, sin embargo, se observa una participación cada vez mayor del capital privado en la construcción y mantenimiento de elementos de infraestructura, especialmente a través de contratos de concesión. Por lo que se refiere a la gestión de la infraestructura la casuística mundial es variada, puede estar en manos de la autoridad portuaria o ser cedida al sector privado.

En todos los puertos, la infraestructura es utilizada por dos tipos de clientes: por un lado los buques, que utilizan los amarres del puerto o fondean dentro de sus aguas y, por otra parte, las empresas que trabajan dentro del área portuaria y que ofertan servicios a los buques (remolcadores, estibadoras, terminales, empresas de reparación, etc.). Los primeros pagan tarifas que recaen sobre el barco o la mercancía, mientras que los segundos pagan cánones por el uso de espacio dentro del recinto portuario.

3.1. Tipos de infraestructura

En la siguiente figura se recogen los principales tipos de infraestructuras portuarias que se pueden encontrar en una terminal portuaria. A continuación se resumirán algunos aspectos importantes de cada una de ellas.

Obras exteriores: La función básica de las obras exteriores es proporcionar a las instalaciones portuarias el abrigo necesario frente al oleaje exterior, de manera que se pueda asegurar la operatividad de las mismas. Existen tres tipos principales de obras de abrigo: diques verticales, diques en talud y diques mixtos. La principal diferencia radica en las dimensiones de cada una de las tres partes en las que pueden dividirse (cimentación, cuerpo central y superestructura) y, consecuentemente, en la forma de controlar los agentes climáticos (fundamentalmente el oleaje) y de transmitir los esfuerzos al terreno.

Infraestructuras de atraque y amarre: El objetivo fundamental de una obra de atraque y amarre es proporcionar a los buques unas condiciones adecuadas y seguras para su permanencia en puerto y/o para que puedan desarrollarse las operaciones portuarias necesarias para las actividades de carga, estiba, desestiba, descarga y transbordo de pasajeros, vehículos y mercancías que permitan su transferencia entre buques o entre éstos y tierra u otros medios de transporte.



Figura 3.1: Principales tipos de infraestructuras portuarias.

- **Muelle:** se definen como estructuras de atraque y amarre fijas que conforman una línea de atraque continua, que en general excede en longitud al buque amarrado, y que están conectadas con tierra total o parcialmente mediante rellenos a lo largo de la parte posterior de las mismas, dando lugar a la creación de explanadas traseras adosadas.
- **Pantalanes:** se definen como estructuras de atraque y amarre, fijas o flotantes, que pueden conformar líneas de atraque tanto continuas como discontinuas, atracables a uno o a ambos lados. El principal elemento diferencial respecto de los muelles es que no disponen de rellenos adosados y, por tanto, no dan lugar a la creación de explanadas. Pueden estar conectados o no a tierra. En el primer caso la conexión suele realizarse bien por prolongación de la misma estructura o mediante pasarelas o puentes
- **Duques de alba:** estructuras aisladas de atraque unidas, a lo sumo, entre ellas y con la costa mediante pasarelas.

Tinglado o almacén portuario: En la terminal de contenedores es el lugar donde se produce el almacenamiento y custodia de las partidas de importación, una vez han sido desconsolidados los contenedores, y de las de exportación, previamente a la consolidación de los mismos.

Depósitos: Un depósito es un lugar o recipiente donde se deposita una mercancía. Dentro de los puertos pueden existir los denominados depósitos francos donde se sitúan mercancías importadas que pueden permanecer libres de derechos de aduanas hasta su reexportación. A la hora de realizar un depósito de mercancía se realizan los Contratos de Depósito, que son acuerdos destinados a procurar la guarda y custodia de una cosa mueble ajena, que impone a quien recibe dicha cosa la obligación de devolverla en cuanto lo requiera la persona que hizo la entrega.

Silos: Los silos son estructuras diseñadas para almacenar grano y otros materiales a granel; son parte integrante del ciclo de acopio de la agricultura. Los más habituales tienen forma cilíndri-

ca, asemejándose a una torre, construida de madera, hormigón armado o metal. El diseño emplea por lo general un aparejo mecánico para la carga y descarga desde la parte superior. Actualmente el diseño original para la agricultura se ha adaptado a otros usos en la industria, utilizándose silos para depósito de materiales diversos, como el cemento, y también se han adaptado al área militar, empleándose silos para depósito y manejo de misiles.

3.2. Recomendaciones de trazado

A continuación se dan algunas recomendación y valores estimativos relacionados con la geometría de los trazados de las diferentes zonas por las que debe pasar un buque hasta su atraque en el puerto.

▪ Vías de navegación

- Lo más rectilínea posible (evitar trazados en S)
- Seguir la dirección de las corrientes principales
- Evitar zonas de acreción o depósito de sedimentos
- Evitar temporales de través (oleajes a 15 - 20°)
- Vía rectilínea en proximidades de la bocana
- Radio de las curvas: 5-10 esloras
- Longitud de tramos rectos entre curvas: 10 esloras
- Transiciones en planta entre tramos de anchura diferente: 1/10 a 1/20 en planta

▪ Bocana

- Anchura de la vía de acceso: 1 ó 2 esloras antes y después de la entrada
- Trazado preferiblemente recto o en trayectoria mixta
- Tener en cuenta condiciones climáticas variables
- Anchura mínima: eslora total del buque de proyecto

▪ Parada

- Se suele hacer mediante un círculo
- El diámetro del círculo depende de la profundidad
- Su valor recomendable puede variar entre 8 y 16 veces la eslora del barco

4.1. Definición y clasificación de las Obras Marítimas

Una *obra marítima* (en adelante OM) se puede definir como **aquella que tiene, al menos, uno de sus contornos en el mar y que permite la explotación y gestión del mar**. Así, por ejemplo, uno de sus objetivos principales es la creación de un *área abrigada*, que se puede definir como una superficie de agua y tierra a resguardo de las acciones de las dinámicas atmosférica y marítima. Para alcanzar este objetivo suele ser necesario emplear unas estructuras conocidas como diques de abrigo.

Las OM se pueden clasificar atendiendo a diferentes criterios. La ROM 1.0 establece como criterio principal el servicio que proporciona, según la cual las OM se dividen en

- OM Principales
- OM Auxiliares

Dentro de las OM principales se diferencian:

- Obras de abrigo
- Obras de gestión y protección del litoral
- Obras de atraque y amarre
- Plataformas exteriores
- Conducciones submarinas

Y en el grupo de las OM auxiliares se distinguen:

- Obras de dragado y relleno
- Obras de construcción y reparación de buques y flotadores

En función de sus respuestas ante las oscilaciones del cuerpo de agua, y por su forma o manera de resistir la acción del agente predominante, estas Obras Marítimas Principales se clasifican en Fijas o Flotantes.

4.1.1. Obras Marítimas Fijas

Son aquellas que mantienen su posición fija con respecto al terreno y su forma, salvo avería o deformación, no cambia en el tiempo. Posteriormente se subdividen según la forma que tengan de resistir la acción del agente predominante que actúe:

- Gravedad: el agente principal responsable de que la obra sea estable es la gravedad.
- Estructurales: Cuando las acciones que la obra ha de soportar se transmiten al terreno a través de elementos estructurales (p. ej. se deforman para resistir y transmitir las cargas al terreno).

4.1.1.1. OM Fijas de Gravedad

Pueden pertenecer a este tipo las siguientes obras:

- *Diques de abrigo*, que incluyen entre otros:
 - Diques rompeolas de escollera o piezas prefabricadas
 - Diques verticales mediante cajones flotantes, bloques y hormigón en masa
 - Diques mixtos de escollera y cajones flotantes
 - Diques mixtos especiales
- *Obras de protección y gestión del litoral*, que incluyen entre otras:
 - Muros, revestimientos y taludes de elementos granulares o prefabricados.
 - Espigones perpendiculares a la costa y exentos de elementos granulares
 - Paseos marítimos
 - Protecciones de tubería submarina mediante elementos granulares
- *Obras de atraque y amarre*, que incluyen (véase la figura 4.1):
 - Muelles
- *Plataformas exteriores*, que incluyen entre otras:
 - Plataformas tipo “Ekofisk”

4.1.1.2. OM Fijas Estructurales

En este grupo se incluye cualquier obra que esté construida con elementos cuyo comportamiento sea estructural; es decir, elementos que se deforman para resistir y transmitir las cargas al terreno; por ejemplo: pilotes, pantallas continuas ranuradas o múltiples, recintos de tablestacas, muros. En el conjunto se encuentran entre otras, las siguientes tipologías:

- *Diques de abrigo*, que incluyen entre otros:
 - Pantallas delgadas, permeables o impermeables, verticales o inclinadas
 - Pantallas múltiples
 - Diques de recintos de tablestacas
- *Obras de protección y gestión del litoral*, que incluyen entre otras:
 - Muros en “L”, pantallas ancladas
 - Espigones de madera o metal
 - Paseos marítimos como muro estructural
- *Obras de atraque y amarre*, que incluyen (véase la figura 4.1):
 - Pantalanes
 - Duques de alba
 - Soluciones mixtas
- *Plataformas exteriores*, que incluyen entre otras:
 - Plataformas izadas
 - Plataformas pilotadas

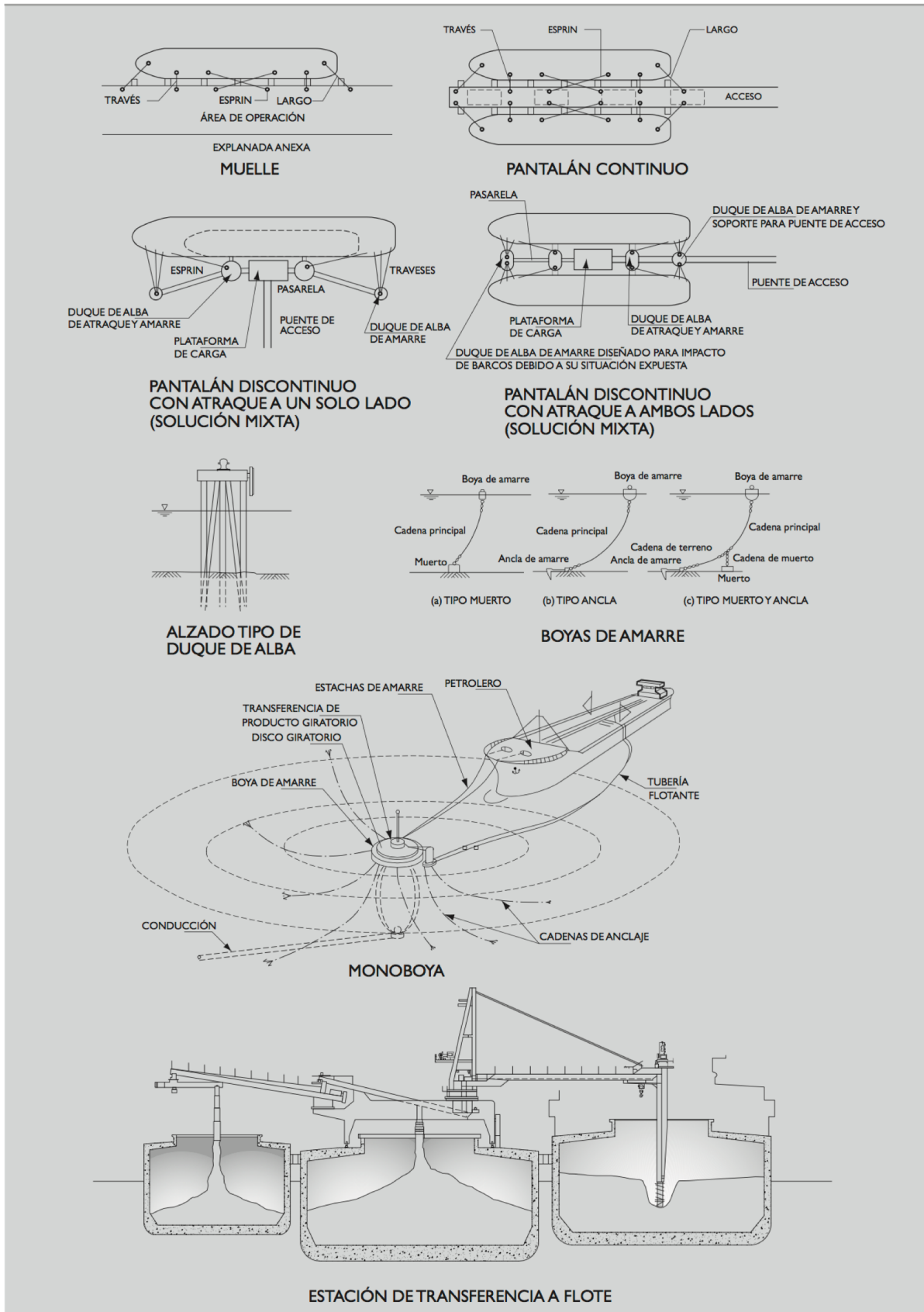


Figura 4.1: Obras de atraque y amarre [tomada de la ROM 2.0-11].

4.1.2. OM Flotantes

Son aquéllas que cumplen su función estando a flote o fondeadas. De acuerdo con esta definición, se comprenden las siguientes:

- *Diques de abrigo*, que incluyen entre otros:
 - Grupos de neumáticos
 - Pontonas
 - Campos de boyas
 - Pantallas flotantes

- *Obras de protección y gestión del litoral*, que incluyen entre otras:
 - Pontonas
 - Campos de boyas

- *Obras de atraque y amarre*, que incluyen entre otras:
 - Pantalanes
 - Boyas, campos de boyas y monoboyas
 - Soluciones mixtas

- *Plataformas exteriores*, que incluyen entre otras:
 - Plataformas lastradas
 - Plataformas atirantadas
 - Plataformas ancladas
 - Plataformas mixtas

4.2. Obras fijas

Se centrará la atención en **las obras fijas en las que predomina el agente oleaje**. Así, en general se suele hablar de régimen de acciones debidas al oleaje. Por ello, para la construcción de este tipo de obras (diseño, cálculo, etc.) se estudia la interacción entre el agente oleaje y la obra, lo que permite establecer el régimen de acciones. Conocido dicho régimen, se estará en condiciones de estimar la **fiabilidad**, la **funcionalidad** y la **operatividad** de la obra frente al agente.

De forma genérica, el objetivo que se plantea es construir una obra de dimensiones genéricas en planta L_x y L_y , y una elevación sobre total sobre el fondo de valor S_b (figura 4.2).

Asimismo, se puede considerar que h y L serán la profundidad y la longitud de onda **de estudio**, es decir, de la onda tipo o de diseño. Según los valores relativos que tengan las variables anteriormente definidas, se pueden tener distintos tipos de obras cuya interferencia tanto en planta como en alzado será diferente, lo que influirá en el régimen de acciones que se produzca sobre la obra en cuestión.

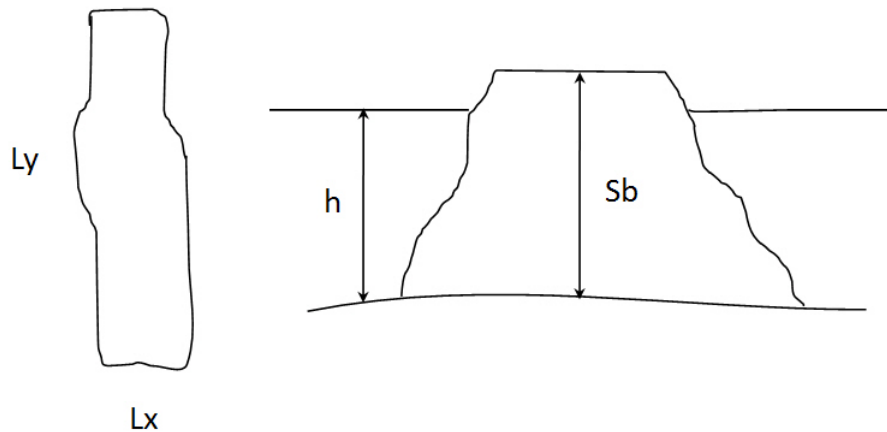


Figura 4.2: Dimensiones genéricas de una obra marítima en planta (izquierda) y en alzado (derecha).

4.2.1. Disposición en planta

4.2.1.1. Definición de tramo

La definición y caracterización espacial de cada dique se realizará por tramos. A los efectos de proyecto, un dique de abrigo se dividirá en tramos homogéneos con una misma tipología formal y estructural, diferenciándose, además, cuando se produzcan variaciones significativas en alguno de los factores de proyecto (geometría de la obra y del terreno, características del terreno, del medio físico y de los materiales, y valores de los agentes y acciones) a lo largo del emplazamiento, así como en las repercusiones en caso de fallo o parada operativa.

En cada dique se distinguirán, entre otros, cinco tramos:

- Arranque, o unión del dique con tierra.
- Alineación principal, que proporciona el abrigo y control del oleaje predominante.
- Alineaciones secundarias, que sirven para unir los diferentes tramos del dique.
- Transición, o tramo entre dos alineaciones o dos tipologías.
- Morro, o extremo del dique.

Una alineación puede estar formada por más de un tramo y cada tramo se podrá proyectar y construir con una tipología distinta de dique de abrigo diferente.

Comentario 1.

Un tramo es un conjunto continuo de secciones (o alineación del dique) que cumplen solidariamente una función específica y relevante de los objetivos y los requisitos de explotación de la obra, están sometidas a los mismos niveles de acción de todos los agentes actuantes, en particular los predominantes, y forman parte de la misma tipología formal y estructural.

Para la definición de un tramo de dique se considerará, además de la homogeneidad de los agentes climáticos, la homogeneidad del terreno, teniendo en cuenta su naturaleza, capacidad portante y respuesta.

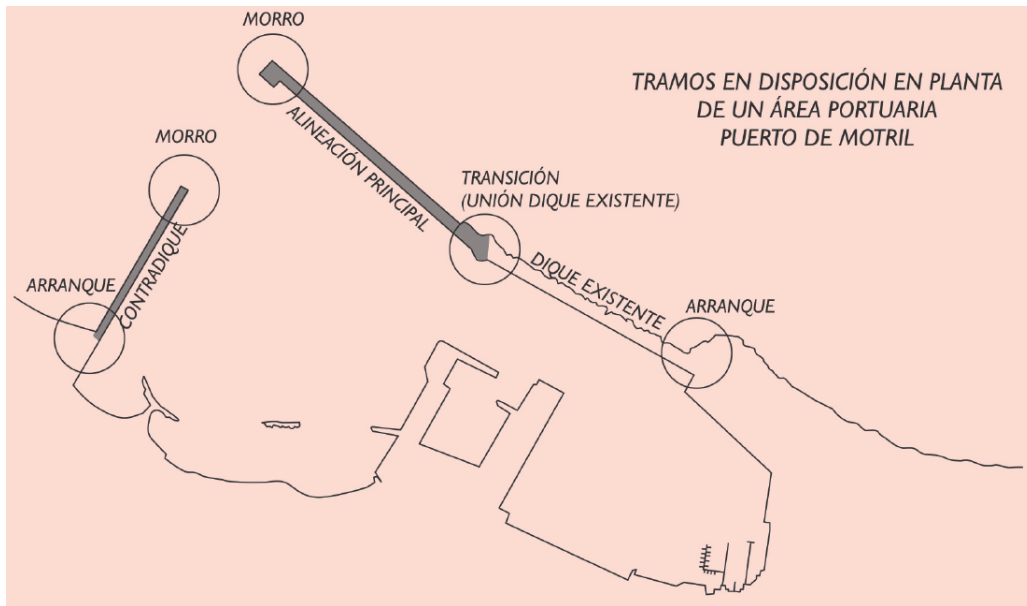


Figura 4.3: Tramos y alineaciones en la configuración en planta de un área portuaria.

4.2.1.2. Interferencia en planta

En primer lugar, destacar que la interferencia en planta se entiende para obras emergidas y no para obras sumergidas. La interferencia se analiza considerando las dimensiones relativas en planta de la obra (L_x, L_y) con la longitud de onda de la ola de cálculo (L). Según las relaciones entre estas variables, se habla de

- Obras de pequeño volumen
- Obras en régimen de difracción
- Obras en régimen de Froude-Krylov
- Obras exteriores o diques de abrigo

A continuación se van a exponer los aspectos más importantes de cada una de ellas.

4.2.1.2.1. Obras de pequeño volumen Estas obras satisfacen la siguiente condición:

$$\frac{L_x}{L} < \frac{1}{7} \quad \text{y} \quad \frac{L_y}{L} < \frac{1}{7}$$

Como se puede deducir de la relación anterior, uno de sus aspectos más importantes es que son *invisibles* al oleaje, es decir: dado que sus dimensiones son mucho menores que la longitud de onda del oleaje, no modifican sus características (p. ej. pilotes).

La característica anterior no implica que a la obra no le afecte el oleaje; por el contrario el oleaje puede ser uno de los principales agentes que esté actuando sobre la obra. El efecto del oleaje sobre la estructura se debe a

1. Formación de vórtices y estelas que crean gradientes de presión a uno y otro lado de la estructura, y que dan lugar a la generación de fuerzas de arrastre y sustentación.
2. Variación temporal de las velocidades del movimiento oscilatorio, que se manifiestan en fuerzas de inercia.

Todos estos efectos se incluyen en las **ecuaciones de Morison**, mediante las cuales se estudian estas estructuras y otras similares.

4.2.1.2.2. Obras en régimen de difracción Estas obras satisfacen la siguiente condición:

$$\frac{1}{7} < \left(\frac{L_x}{L} \text{ ó } \frac{L_y}{L} \right) < \frac{3}{2}$$

Según se deduce de la condición anterior, estas obras sí modifican el patrón de comportamiento o propagación del oleaje. Ahora los efectos que dominan son la reflexión y la difracción, y los procesos derivados de la presencia de vórtices son secundarios (su orden de magnitud es mucho menor).

4.2.1.2.3. Obras en régimen de Froude-Krylov Son obras que se pueden incluir dentro del régimen de difracción. No se van a estudiar, sólo destacar que son obras suficientemente pequeñas para desprestigiar la reflexión y suficientemente grandes para que no se produzca separación de flujo (ni vórtices ni estelas).

4.2.1.2.4. Obras exteriores o diques de abrigo El término *obras exteriores* se debe a Iribarren, diques de abrigo es una denominación o terminología más precisa. La condición que se debe cumplir en este caso es

$$\left(\frac{L_x}{L} \text{ ó } \frac{L_y}{L} \right) \gg 1$$

En general se asume que es suficiente con que una de las dimensiones sea mayor que $3/2$.

Una de las principales características de estas obras es que se puede considerar que *las oscilaciones a barlomar son independientes de las oscilaciones a sotamar*.

Comentario 2.

Dado el dique que se muestra en la figura 4.4 sobre el que incide un oleaje procedente de la dirección que indica la flecha, se tiene que en las zonas de barlomar o sotamar predominan las siguientes solicitaciones:

- Barlomar: se produce la solicitación sobre el dique debido a
 - Tren incidente
 - Tren reflejado
 - Difracción
- Sotamar: se produce la solicitación sobre el dique debido a
 - Tren difractado
 - Tren transmitido

La transmisión de energía se puede producir tanto por la permeabilidad de la estructura, en su caso, como por el efecto del rebase.

Teniendo en cuenta los conceptos expuestos en el comentario anterior, se produce un régimen de fuerzas que vendría caracterizado por:

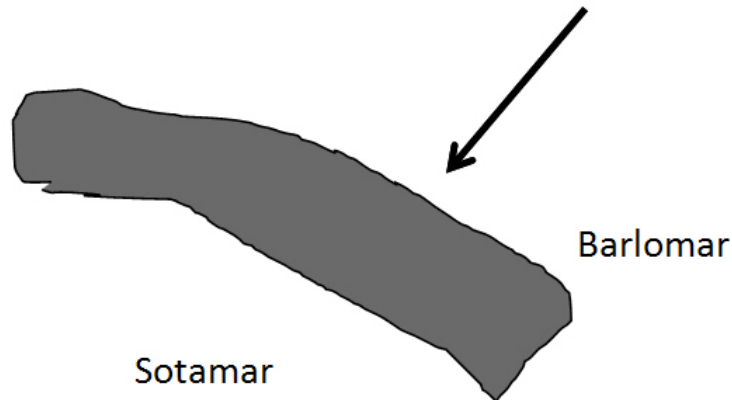


Figura 4.4: Esquema genérico en planta de un dique exterior.

- Lejos del morro y de los cambios de alineación, en los que se producen efectos localizados, predomina la acción a barlomar sobre la acción a sotamar. En este sentido conviene recordar las partes de un dique visto en planta: **arranque, alineación principal, alineación secundaria, transición y morro**.
- Si la ola rompe, el régimen de cargas se debe a la ola rompiendo o rota.
- Si la ola no rompe, el régimen de cargas se debe al empuje de la onda estacionaria o parcialmente estacionaria formada en el frente.

4.2.2. Disposición en alzado

4.2.2.1. Interferencia en alzado

Para el estudio de la interferencia en alzado se va a considerar la siguiente hipótesis: *la obra es infinitamente larga y no existen variaciones longitudinales ni de la sección ni del oleaje incidente, es decir, se estaría considerando una sección representativa lejos del morro y de los cambios de alineación*. En la realidad es frecuente encontrar diques de abrigo que tienen distintas secciones y cambios de alineación (p. ej. Puerto de Motril, ampliación del Puerto de Gijón, etc.).

La clasificación de la interferencia en alzado se hace atendiendo al valor del parámetro S_b/h (cociente entre la altura total de la estructura y el calado). Así, se diferencian:

- Emergidas: son aquellas que satisfacen $S_b/h > 1$ para todos los calados (incluyendo las variaciones de marea).
- Semi-emergidas (semi-sumergidas): son aquellas que satisfacen $S_b/h > 1$ sólo para los niveles de agua correspondiente a la bajamar. Así, una parte del tiempo están emergidas y otra parte sumergidas.
- Sumergidas: son aquellas que cumplen que $S_b/h < 1$ para todos los calados (inclusive en bajamar). Dentro de ellas se hace una distinción según que la ola pueda o no romper sobre ellas. Conforme a lo expuesto en la figura 4.5, teóricamente el criterio de rotura de la ola vendrá marcado por el cociente entre la altura de ola y el calado sobre la coronación de la estructura (H/d). Pero, aunque este criterio indique rotura, eso no implica que la ola rompa. Su rotura dependerá, además del criterio anterior, de que la ola tenga tiempo de romper, es decir, que la estructura sea lo suficientemente larga. Ello dependerá del valor relativo de l_b/L .

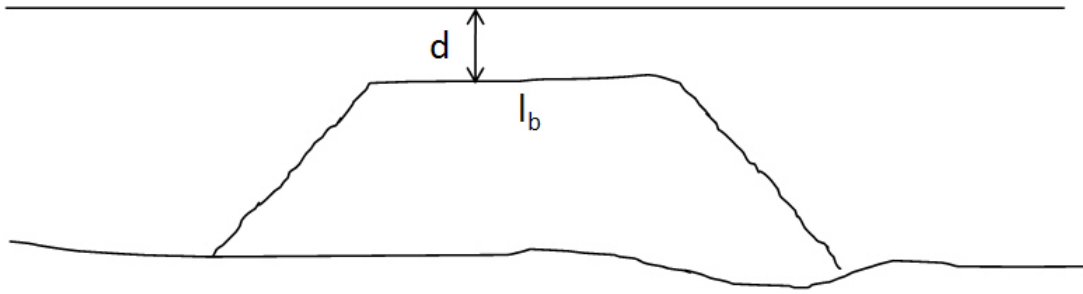


Figura 4.5: Dique sumergido donde d es la altura de agua sobre coronación y l_b es la anchura de la estructura.

4.2.2.2. Clasificación según la permeabilidad

En este caso se diferencian los diques según su permeabilidad frente al oleaje. Así, se asume que los diques verticales de hormigón son impermeables, mientras que los diques de escollera son permeables en tanto que transmiten una parte de la energía a sotamar.

¿Cuándo se puede definir una obra como permeable? Para que una obra sea permeable, se tienen que satisfacer dos requisitos:

1. Debe haber continuidad del fluido, de forma que se puedan transmitir las presiones.

La continuidad del fluido depende de dos elementos o características fundamentales: (1) $s \simeq$ un valor representativo de la máxima separación entre los elementos (huecos), y (2) $D \simeq$ la dimensión representativa del elemento sólido, D (figura 4.6).

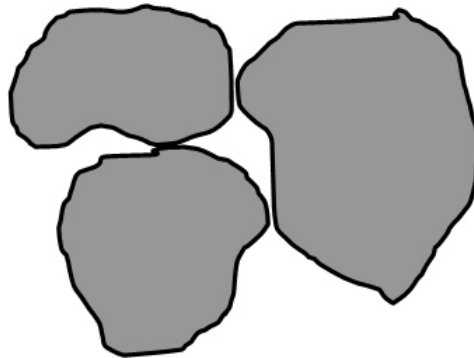


Figura 4.6: Elementos sólidos genéricos.

Se define s/D como la separación relativa entre los elementos sólidos. Según el valor que tome este parámetro, se tiene

- Si $s/D > 5$: en este caso la obra marítima es totalmente permeable y la transmisión de energía se produce como si cada elemento estuviese totalmente aislado. Ejemplo: pantalán de pilotes.
- Si $s/D < 5$: en este caso el flujo transmitido a través de la obra marítima depende de las propiedades hidráulicas del medio, tales como la porosidad, la conductividad hidráulica o el coeficiente de fricción (figura 4.7).

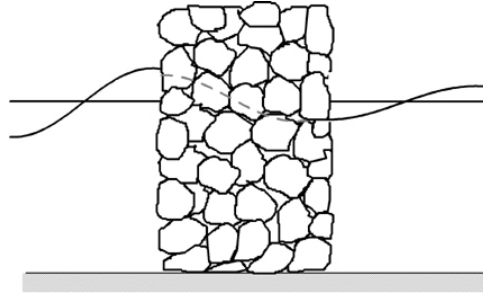


Figura 4.7: Transmisión de energía a través de una estructura porosa [tomado de Baquerizo et al. (2005)].

2. La obra debe permitir que la energía (o parte de ella) se propague hacia la región a sotamar, y para ello los valores de l_b/L deben ser adecuados. Supuesto que la permeabilidad permite la transmisión de energía a través de la obra, el siguiente aspecto que desde un punto de vista ingenieril tendrá más interés es saber qué cantidad de energía se transmitirá, lo que depende del cociente l_b/L . Así, se tiene

- Si $l_b/L < 1/100$: en este caso la obra produce una pérdida de carga localizada (se trataría de una obra poco ancha).
- Si $l_b/L > 1/100$: en este caso la energía oscilatoria se disipa por fricción y la onda se atenúa en el interior de la sección (en este caso se trataría de una obra ancha).

En particular, si $l_b/L > 1/10$, se hablaría de una obra muy ancha, de forma que la onda se extingue en el interior de la sección y no se produce transmisión de energía.