

Proyecto básico de terminal exterior de atraque para  
cruceros de tamaño medio en Benidorm (Alicante).  
Obra de atraque exterior.

Anejo nº 7  
Bases de diseño y acciones

Autor:

Víctor Martí Grau

## ÍNDICE

1. Introducción	pág. 2
2. Vida útil y repercusión	pág. 3
3. Acciones variables	pág. 4
3.1 Acción del oleaje	pág. 4
3.2 Cargas de atraque	pág. 6
3.3 Cargas de amarre	pág. 9
4. Acciones permanentes	pág. 13
4.1 Peso propio	pág. 13
4.2 Empuje de Arquímedes	pág. 13
4.3 Empuje hidrostático	pág. 13
4.4 Peso de las tierras	pág. 13
4.5 Acciones verticales del material ensilado	pág. 13
5. Acciones permanentes de valor no constante	pág. 14
5.1 Acciones horizontales del material ensilado	pág. 14
5.2 Empuje de tierras	pág. 14

## 1. Introducción

El anejo n° 7 presenta información general que se utiliza en varios aspectos del proyecto, como son la vida útil de la estructura y sus índices de repercusión económica y repercusión social y ambiental. También presenta de forma detallada las distintas acciones que solicitan la estructura, explicando su naturaleza, forma de obtención y ecuaciones de cálculo.

Las acciones se dividen en tres bloques: las acciones permanentes, las acciones permanentes de valor no constante, y las acciones variables.

Se puede advertir que el valor característico de las acciones sólo se ha calculado para las acciones variables, que por su naturaleza y complejidad requieren un estudio más profundo. En cambio para las acciones permanentes este anejo presenta únicamente sus ecuaciones de cálculo, permitiendo que en el momento del cálculo tomen diversos valores según la situación de proyecto considerada.

La acción sísmica no se ha considerado en este proyecto, siguiendo las indicaciones del Manual de Cajones publicado por Puertos del Estado, debido a que la obra es de importancia moderada.

La acción relacionada con la temperatura no es necesario tenerla en cuenta si se cumple con las cuantías mínimas de armadura recomendadas en el Manual de Cajones.

La retracción se puede despreciar puesto que la estructura está fundamentalmente sumergida.

Las sobrecargas de uso y explotación únicamente incluyen las acciones de atraque y amarre, debido a la naturaleza de la terminal donde no es esperable ninguna clase de tráfico pesado ni almacenamiento de graneles.

## 2. Vida útil y repercusión

La vida útil mínima a considerar según las recomendaciones de la ROM 0.2-90, para un nivel de seguridad 1 (pequeño riesgo de pérdidas humanas o daños medioambientales en obras de interés local) y una infraestructura de carácter general, es de 25 años.

TABLA 2.2.1.1. VIDAS ÚTILES MÍNIMAS PARA OBRAS O INSTALACIONES DE CARÁCTER DEFINITIVO (en años)			
TIPO DE OBRA O INSTALACIÓN	NIVEL DE SEGURIDAD REQUERIDO		
	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
INFRAESTRUCTURA DE CARÁCTER GENERAL	25	50	100
DE CARÁCTER INDUSTRIAL ESPECÍFICO	15	25	50

El índice de repercusión económica, IRE, según la ROM 2.0-11 para obras de atraque de cruceros ha de ser como mínimo  $r_2$ , medio. Por tanto  $IRE \in ]5,20]$ .

USO	TIPO DE MERCANCÍA	ÍNDICE IRE <sup>4</sup>		VIDA ÚTIL MÍNIMA ( $V_{MIN}$ ) <sup>4</sup> (AÑOS)
COMERCIAL	Graneles líquidos	$r_3 (r_2)^1$	Alto (Medio) <sup>1</sup>	50 (25) <sup>1</sup>
	Graneles sólidos	$r_3 (r_2)^1$	Alto (Medio) <sup>1</sup>	50 (25) <sup>1</sup>
	Mercancía general	$r_2$	Medio	25
	Pasajeros	Ferris	$r_3 (r_2)^2$	Alto (Medio) <sup>2</sup>
		Cruceros	$r_2$	Medio

El índice de repercusión social y ambiental, ISA, se puede calcular según la ROM 0.0-01 de la siguiente manera:

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

$ISA_1$ : Posibilidad y alcance de pérdidas humanas

$ISA_2$ : Daños en el medio ambiente y en el patrimonio histórico-artístico

$ISA_3$ : Alarma social

El valor de  $ISA_1$  vale 3, esto representa que la posibilidad de pérdidas humanas es baja; posible pero poco probable.

El valor de  $ISA_2$  vale 2, que implica daños leves reversibles en el medio ambiente.

El valor de  $ISA_3$  vale 0 puesto que no hay indicios de que se pueda generar alarma social asociada al fallo de esta estructura.

$$ISA = 3 + 2 + 0 = 5$$

### 3. Acciones variables

#### 3.1 Acción del oleaje, $E_o$

El valor característico de la acción del oleaje es aquél con periodo de retorno de 50 años. El valor extraordinario es el correspondiente a un periodo de retorno de 500 años. Conforme a los datos estadísticos de oleaje del anejo nº 3 se calculan las características del oleaje en profundidades indefinidas, y se muestra en la tabla 3.1.1.

Tabla 3.1.1 – Oleaje en profundidades indefinidas				
	Valores medios		Banda superior i.c. 90%	
	Tr = 50 años	Tr = 500 años	Tr = 50 años	Tr = 500 años
Hs (m)	5.37	6.70	6.33	8.50
Tp (s)	10.75	11.90	11.59	13.27

La dirección de procedencia del mayor temporal, según datos del régimen medio, es SSW (202.5° N). El ángulo de incidencia del oleaje respecto a la dirección perpendicular a las líneas batimétricas es de 29.5°.

La profundidad a pie de dique es de 31 m para la mayor bajamar, 31.41 m respecto NMM.

Utilizando el software de cálculo *CACR Wave Calculator* se obtienen los siguientes resultados de propagación del oleaje:

Tabla 3.1.2 – Resultados propagación				
	Valores medios		Banda superior i.c. 90%	
	Tr = 50 años	Tr = 500 años	Tr = 50 años	Tr = 500 años
H (m)	4.799	5.958	5.634	7.586
L (m)	154.513	177.868	171.623	205.067
$\alpha$ (°)	197.92°N	196.32°N	196.75°N	194.53°N

La altura de ola incidente sobre la pared vertical de hormigón del dique, según la ROM 1.0 -09, es:

$$H_I = 1.6 \cdot H_s = 1.6 \cdot 5.634 = 9.01 \text{ m}$$

Y la altura de ola reflejada en el dique con coeficiente de reflexión  $k_R = 1$ , es:

$$H_* = (1 + k_R)H_I = 2H_I = 18.02 \text{ m}$$

La acción ejercida por el oleaje extremal sobre el dique se puede calcular con el modelo de Sainflou para los casos donde se cumplan las siguientes condiciones:

- Fondo horizontal o de pendiente reducida.
- Peralte de la ola reducido,  $\frac{H_I}{L} < 0.06$
- Profundidad reducida o intermedia,  $\frac{h}{L} < 0.25$

Estas condiciones se cumplen. A continuación se calculan los parámetros que definen la acción del oleaje sin rotura sobre el paramento exterior de obras lineales fijas cerradas,

totalmente reflejantes y no rebasables. Las dos situaciones contempladas son el paso de cresta y el paso de seno. La figura 3.1.1 ilustra este modelo.

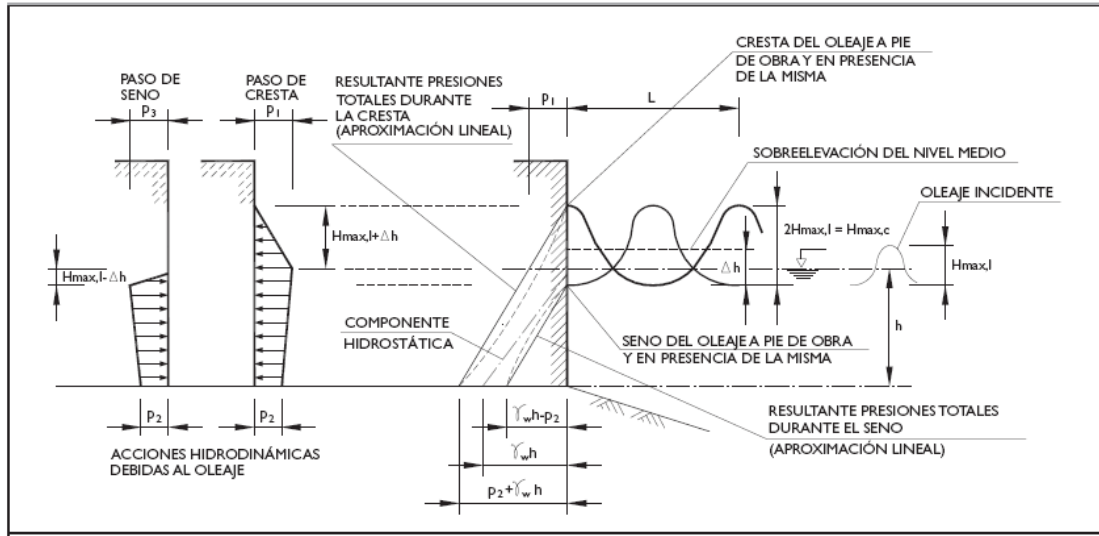


Figura 3.1.1

Siendo:

$$\Delta h = \frac{\pi H_I^2}{L} \coth\left(\frac{2\pi h}{L}\right) \quad (2)$$

$$p_1 = (p_2 + \gamma_w h) \frac{H_I + \Delta h}{H_I + \Delta h + h} \quad (3)$$

$$p_2 = \frac{\gamma_w H_I}{\cosh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)} \quad (4)$$

$$p_3 = \gamma_w (H_I - \Delta h) \quad (5)$$

$$\gamma_w = 10.05525 \text{ kN/m}^3$$

$$h = 10.35 \text{ m}$$

$$H_I = 9.01 \text{ m}$$

$$L = 171.623 \text{ m}$$

El resultado del cálculo se resume en la tabla 3.1.2.

Tabla 3.1.2 – Acción del oleaje	
$\Delta h$	4.11 m
$p_1$	105.39 kN/m <sup>2</sup>
$p_2$	84.46 kN/m <sup>2</sup>
$p_3$	49.27 kN/m <sup>2</sup>

Debido a la sobreelevación del nivel medio del mar es necesario un francobordo mayor para asegurar la no rebasabilidad del oleaje en condiciones extremas.

$$F_c \geq H_I + \Delta h = 13.12 \text{ m}$$

Esta condición implica construir un espaldón de altura  $h_b \geq 10.12 \text{ m}$ .

Las subpresiones hidrodinámicas debidas a la acción del oleaje, en el caso de un cajón apoyado sobre una capa de escollera, se calculan de acuerdo a las figuras 3.1.2 y 3.1.3.

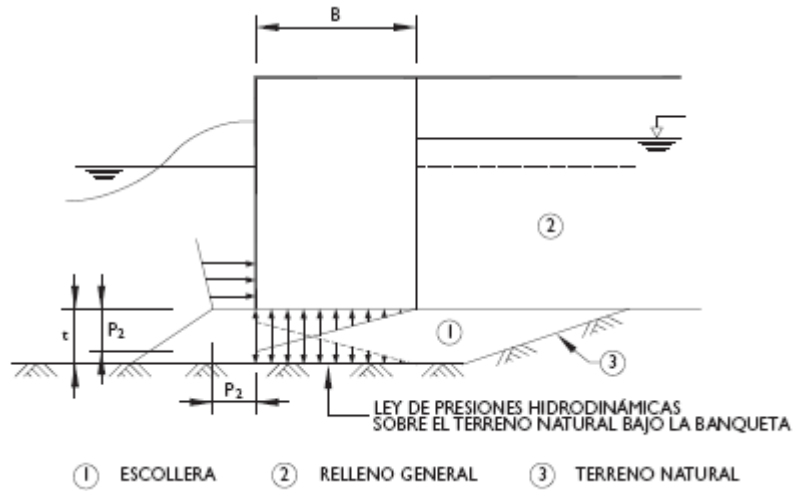


Figura 3.1.2 Paso de cresta

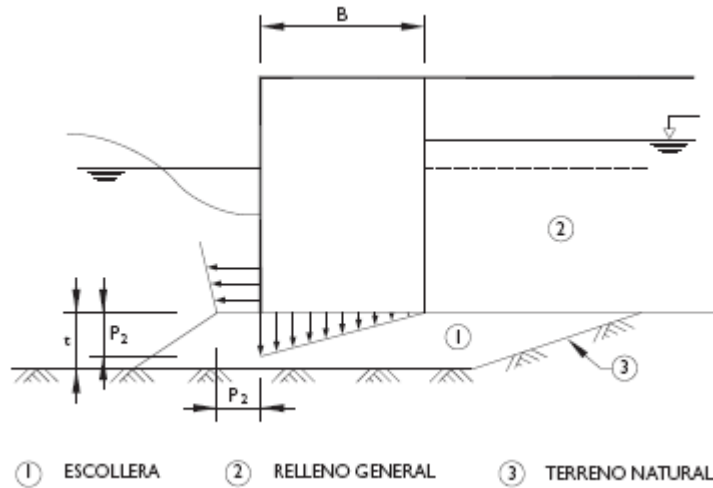


Figura 3.1.3 Paso de seno

Siendo  $p_2$  el mismo que el calculado en la tabla 3.1.2.

### 3.2 Cargas de atraque, $Q_D$

Las acciones producidas por el buque durante el atraque dependen de la energía cinética desarrollada por el buque durante las operaciones de atraque y la capacidad de absorción por el sistema de atraque.

La cuantificación de la energía cinética cedida al sistema de atraque ( $E_f$ ) se obtiene a partir de un modelo matemático analítico para atraque lateral mediante traslación transversal preponderante en obras de atraque fijas continuas.

$$E_f = E_b \cdot C_b \quad (6)$$

Donde  $E_b$  es la energía cinética desarrollada por el buque, y su valor es:

$$E_b = \frac{1}{2g} \cdot C_m \cdot \Delta \cdot v_b^2 \quad (7)$$

Y  $C_b$  es un coeficiente de atraque adimensional que vale:

$$C_b = C_e \cdot C_g \cdot C_c \cdot C_s \quad (8)$$

$C_m$  es el coeficiente de masa hidrodinámica que según la ROM 2.0-11 se puede obtener interpolando entre 1.5 para resguardos brutos bajo quilla mayores que la mitad del calado estático, y 1.8 para resguardos brutos menores que la décima parte del calado estático.

La velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto  $v_b$  se obtiene de la tabla 4.6.4.37 de la ROM 2.0-11, para un buque de 29 000 t de desplazamiento en condiciones climáticas favorables sin ayuda de remolcadores.

El coeficiente de excentricidad  $C_e$  representa la parte de energía cinética que no se transmite al sistema de atraque debido a que el punto de primer impacto del buque no coincide con su centro de gravedad.

$$C_e = \frac{K^2 + R^2 \cdot \cos^2 \phi}{K^2 + R^2} \quad (9)$$

$K$  es el radio de giro del buque alrededor del eje vertical que pasa por su centro de gravedad. Puede aproximarse mediante la siguiente fórmula:

$$K = (0.19 \cdot C_b + 0.11) \cdot L \quad (10)$$

$R$  es la distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque medida en la dirección de la línea de atraque.

$$R = r \cdot \cos \alpha - \frac{B}{2} \sin \alpha \quad (11)$$

$\phi$  es el ángulo formado entre el vector velocidad del buque y la línea que une el punto de impacto y el centro de gravedad del buque.

$$\phi = 90^\circ - \alpha - \arctan\left(\frac{B}{2r}\right) \quad (12)$$

Donde  $\alpha$  es el ángulo de aproximación que vale  $15^\circ$  para buques de desplazamiento menor a 70 000 t sin ayuda de remolcadores. El parámetro  $r$  es la distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque medida sobre el eje longitudinal del buque, y  $0.25 \cdot L$ .

El coeficiente geométrico del buque  $C_g$  tiene en cuenta la energía absorbida debido a la curvatura del buque en el punto de impacto, y vale 1 para la parte del casco plana.

$C_c$  es el coeficiente de configuración del atraque que tiene en cuenta el efecto amortiguador de la masa de agua que se encuentra entre el buque y la estructura de atraque, y vale 1 para obras tipo muelle fijo cerrado.

$C_s$  es el coeficiente de rigidez del sistema de atraque que representa la energía absorbida por la deformación del casco del buque. Vale 0.9 para sistemas de atraque muy rígidos o buques de gran eslora.

La tabla 3.2.1 muestra el resultado y resume el valor de todos los parámetros que intervienen en el cálculo.

Tabla 3.2.1 – Resultado de los cálculos	
$E_f$	<b>903.064 kNm</b>
$E_b$	1739.304 kNm
$C_b$	0.51921



$C_e$	0.641
$C_g$	1
$C_c$	0.9
$C_s$	0.9
$v_b$	0.28 m/s
$C_m$	1.53
R	52.34 m
r	58.5 m
$\phi$	59.61°
K	54.1944 m

Las cargas de impacto y de rozamiento transmitidas por el sistema de defensa a la estructura dependen de la curva de comportamiento de la defensa.

Recurriendo al catálogo de productos de la empresa Fender Team se ha elegido una defensa del tipo SPC 1400 G1.3 o similar capaz de absorber una energía máxima de 1040 kNm.

Las fuerzas resultantes se muestran en la tabla 3.2.2. La carga de rozamiento se calcula a partir de la carga de impacto mediante el coeficiente de rozamiento que vale 0.2 para la placa de polietileno.

Tabla 3.2.2 – Cargas de impacto y rozamiento	
Carga de impacto $Q_I$	1418 kN
Carga de rozamiento $Q_r$	283.6 kN

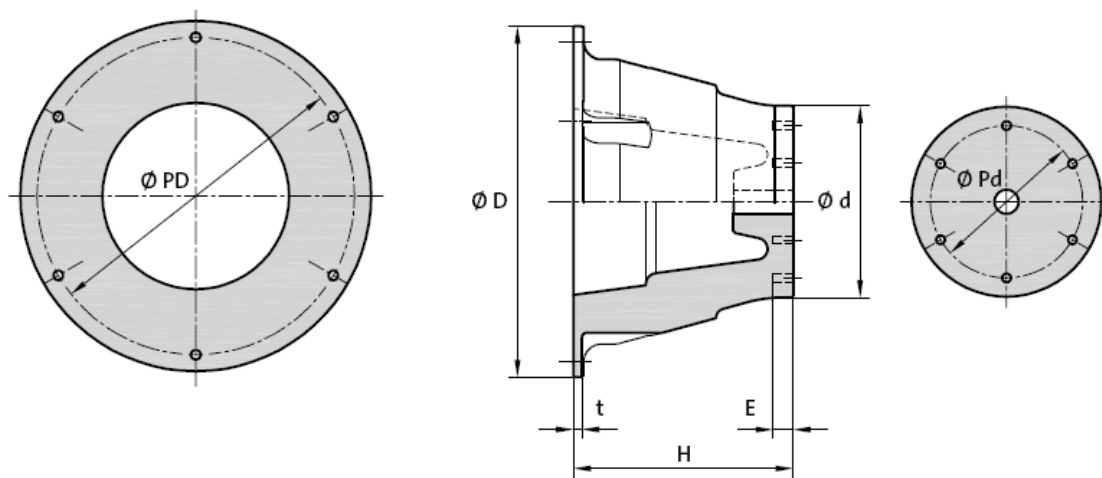


Figura 3.2.1 – Geometría de la defensa

Tabla 3.2.3 – Características de la defensa	
H (mm)	1400
Ø D (mm)	2240
Ø d (mm)	1230
t (mm)	53
E (mm)	105
Ø PD (mm)	2040
Ø Pd (mm)	980
Peso (kg)	2987
Pernos	8xM48

La distribución de las defensas sobre la línea de atraque es de una cada quince metros.

### 3.3 Cargas de amarre, $Q_A$

Las cargas de amarre son las acciones variables producidas por el buque atracado a la estructura, a través de las líneas de amarre tensionadas, debido a diversos agentes medioambientales.

En este apartado se considerarán las acciones de amarre debidas sólo a la acción del viento y al oleaje, puesto que no se tienen datos sobre las corrientes en las proximidades del atraque. Debido a la limitación de altura de ola para la permanencia del buque en el atraque, las cargas de amarre debidas al oleaje son más pequeñas que las producidas por el viento. Por tanto en este apartado se representarán solamente los cálculos relacionados con el agente climático viento.

Las condiciones climáticas son de tipo I según la ROM 2.0-11. La distribución de puntos de amarre a lo largo de la línea de atraque es de uno cada treinta metros. El buque de proyecto se amarra sin traveses debido a la imposibilidad de cumplir con la recomendación de que formen un ángulo con el plano horizontal menor o igual a 25°. Los largos forman un ángulo con el plano horizontal de 20° y un ángulo con el eje del buque de 50°. Los springs forman un ángulo con el plano horizontal de 10° y un ángulo con el eje del buque de 5°.

Los springs se unen al buque a una distancia de los lados de la cuarta parte de la eslora. Los largos de unen al buque a una distancia de los lados de 12.5 m para el caso del buque de proyecto.

Las fuerzas resultantes de las presiones de viento se calculan según el procedimiento de la ROM 3.1-99 de la siguiente forma:

$$R_v = \frac{\rho}{2g} \cdot V_{vr}^2 \cdot \left( \frac{C_{vl} \cdot A_{TV} \cdot \cos^2 \alpha_{vr} + C_{VT} \cdot A_{LV} \cdot \sin^2 \alpha_{vr}}{\cos(\varphi_v - \alpha_{vr})} \right) \quad (13)$$

$$M_{TV} = F_{TV} \cdot K_{ev} \cdot L \quad (14)$$

$$F_{TV} = R_v \cdot \sin \varphi_v \quad (15)$$

$$\tan \varphi_v = \frac{A_{LV}}{A_{TV}} \cdot \tan \alpha_{vr} \quad (16)$$

Tabla 3.3.1 – Coeficientes de cálculo	
$\rho$	$1.225 \cdot 10^{-3} \text{ t/m}^3$
$V_{vr}$	10 m/s
$C_{vl}$	0.8
$C_{VT}$	1.25
$K_{ev}$	0.02
$A_{TV}$	898.38 m <sup>2</sup>
$A_{LV}$	4955.1 m <sup>2</sup>

La obtención de los coeficientes anteriores está expuesta en el anejo nº 5.

Para el cálculo de las cargas máximas en los puntos de amarre se utiliza el método 1 propuesto en la ROM 0.2-90, consistente en que la resultante de fuerzas longitudinales se resiste únicamente por los springs, mientras que las fuerzas transversales y momentos de eje vertical se resisten entre los largos y los traveses según un equilibrio de fuerzas estático; en este caso particular solamente por los largos.

Por tanto es necesario plantear el cálculo de las fuerzas del viento para la obtención del máximo valor en dirección transversal y el máximo valor en dirección longitudinal.

Estas dos situaciones se corresponden con ángulos de incidencia del viento  $\alpha_{vr}$  de 0° para incidencia longitudinal y 90° para incidencia transversal.

Tabla 3.3.2 – Fuerzas de viento		
	Incidencia transversal	Incidencia longitudinal
$R_v \text{ (t)}$	38.67	4.49
$M_{TV} \text{ (t·m)}$	180.98	0

La tensión de una amarra cualquiera se obtiene de las siguientes ecuaciones:

$$T_L = \frac{R_v}{n} \cdot \cos \varnothing_i \cdot \cos \theta_i \quad (17)$$

$$T_T = \frac{R_v}{n} \cdot \cos \varnothing_i \cdot \sin \theta_i \quad (18)$$

Donde  $\varnothing$  es el ángulo que forman con el plano horizontal y  $\theta$  el ángulo con el eje del buque, siendo  $n$  el número de amarras que contribuyen a resistir la fuerza  $R_v$ .

La fuerza longitudinal se resiste por un solo spring, puesto que según el equilibrio estático el otro debería estar a compresión, lo que no es posible para un cable.

La fuerza transversal se resiste por la componente transversal de los dos largos.

El momento de eje vertical se resiste mediante una diferencia de tensión en los largos.

Tensión en los springs

$$T_s = R_{vL} \cdot \frac{1}{\cos \varnothing \cdot \cos \theta} = \frac{4.49}{\cos 10 \cdot \cos 5} = 4.58 \text{ t}$$

Tensión en los largos

$$R_{vT} = T_1 \cdot \cos \phi_1 \cdot \sin \theta_1 + T_2 \cdot \cos \phi_2 \cdot \sin \theta_2$$

$$M_{TV} = \frac{T_1 - T_2}{2} \cdot \cos \phi \cdot \sin \theta \cdot (L - 25)$$

$$T_1 = 28.063 \text{ t}$$

$$T_2 = 25.657 \text{ t}$$

Con el objetivo de considerar los efectos dinámicos no considerados en este modelo de cálculo, la carga de amarre de cálculo será 1.5 veces la teórica calculada.

**Tabla 3.3.3 – Tensiones de amarre (t)**

Tensión máxima en springs	6.87
Tensión máxima en largos	42.09

Considerando un sistema de ejes locales cartesianos x,y,z donde x es la dirección de la línea de atraque, y es la dirección perpendicular en el plano horizontal, y z es la dirección perpendicular en el plano vertical; las tensiones de amarre calculadas se pueden descomponer en fuerzas aplicadas sobre los bolardos de la siguiente forma, con los ángulos utilizados en el cálculo previo.

**Tabla 3.3.3 – Cargas de amarre (t)**

	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>z</b>
<b>Springs</b>	6.74	0.59	1.19
<b>Largos</b>	25.42	30.30	14.40

Los bolardos son de 50 t de tiro nominal. Su geometría se expone a continuación.

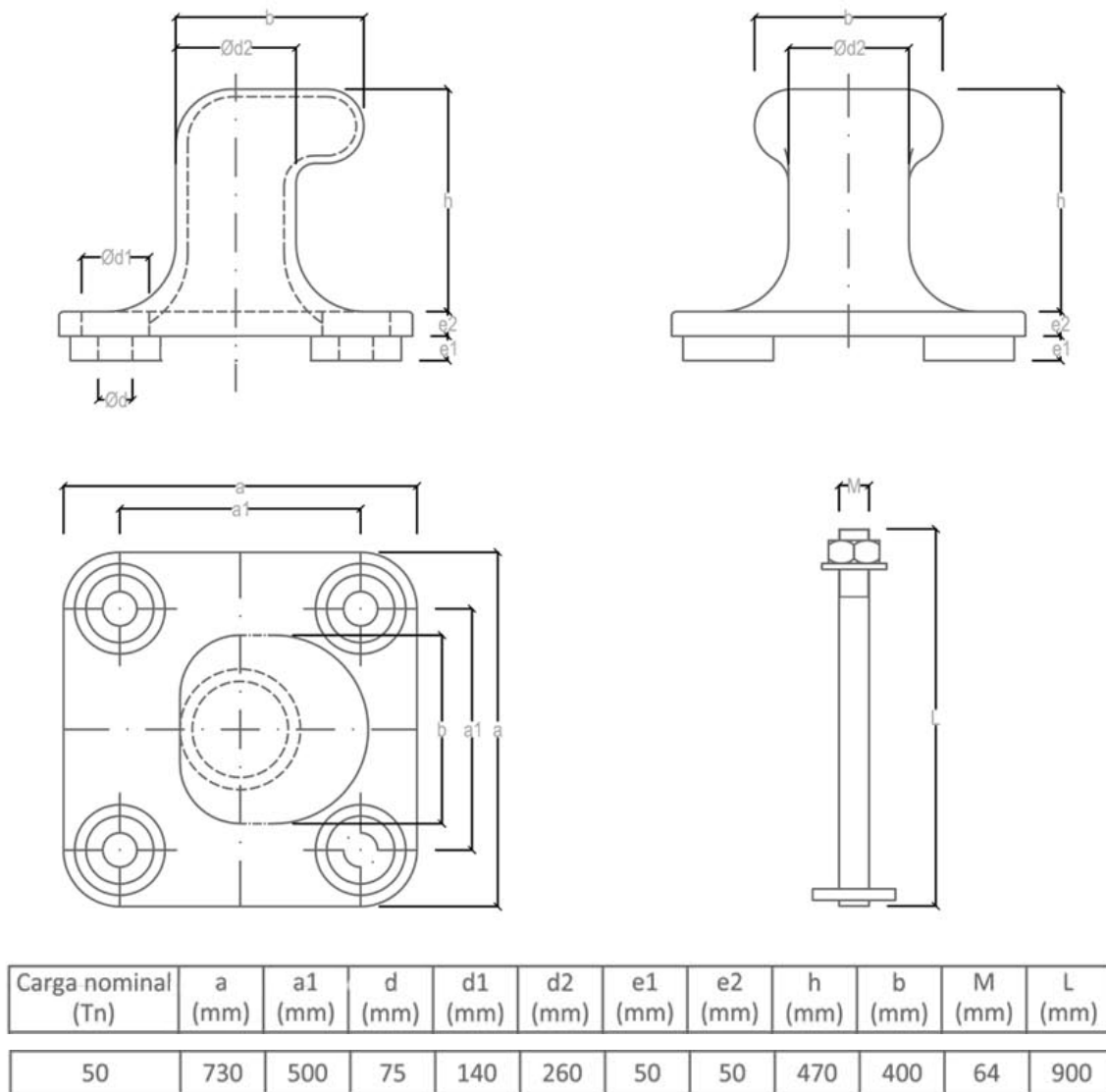


Figura 3.3.1 Geometría del bolardo y pernos

## 4. Acciones permanentes

### 4.1 Peso propio, $P_0$

Esta acción se refiere al peso propio de la estructura de hormigón más la superestructura de la terminal. No se incluye el peso de las tierras en las celdas del cajón.

El cálculo de esta carga se realiza a partir de las dimensiones del cajón definidas en los planos, considerando un peso específico del hormigón armado de 25 kN/m³.

El peso del muro de espaldón se considerará una carga repartida linealmente equivalente a su peso por metro de longitud, aplicada en la pared exterior del cajón en el lado dique.

El pavimento es de hormigón y tiene un peso específico de 24 kN/m³.

### 4.2 Empuje de Arquímedes, $P_a$

Es una fuerza vertical ascendiente equivalente al peso del volumen de agua desplazada por el cajón. Se modeliza como una presión uniforme aplicada sobre la base del cajón. En el cálculo tendrá el mismo coeficiente de ponderación que el peso propio, al ser una acción derivada del mismo origen.

El peso específico del agua para cuantificar la acción se tomará 10.1 kN/m³.

### 4.3 Empuje hidrostático, $E_a$

El empuje hidrostático es una fuerza resultante de las presiones del agua sobre cualquier superficie. Para su cálculo se considerará un peso específico del agua de 10.1 kN/m³.

También se considera dentro de esta acción el peso del agua en las celdas del cajón  $P_l$  y la fuerza resultante de las presiones sobre la zapata del cajón  $P_{lz}$ .

### 4.4 Peso de las tierras, $P_t$

Esta acción representa el peso de las tierras de relleno en la zapata del lado tierra. No se consideran las tierras del pavimento.

Se calculará esta acción con el peso específico sumergido hasta la cota de nivel del mar, 12 kN/m³; y con el peso específico aparente para la parte emergida, 18 kN/m³.

### 4.5 Acciones verticales del material ensilado, $P_r$

El efecto silo genera una compresión vertical sobre las paredes de las celdas de efecto favorable. El resultado de esta acción es que sólo una parte del peso de las tierras se transmitirá al fondo de la celda; el resto se transmitirá por el fuste.

Si  $p_r$  es la presión uniforme que llega al fondo de la celda y  $p'_r$  es la presión que llega a través del fuste, las ecuaciones que determinan el valor de estas presiones a una profundidad  $z$  determinada son las siguientes:

$$p_r = \gamma' \cdot Z_0 (1 - e^{-z/z_0}) + q \cdot e^{-z/z_0} \quad (19)$$

$$p'_r = \lambda \cdot \gamma' \cdot Z_0 (1 - e^{-z/z_0}) \tan \delta + \lambda \cdot q \cdot e^{-z/z_0} \cdot \tan \delta \quad (20)$$

$$Z_0 = \frac{A}{u \cdot \lambda \cdot \tan \delta} \quad (21)$$

Donde:

$\gamma'$ : peso específico sumergido del material granular, 12 kN/m².

z: profundidad desde la cara superior del terreno hasta el punto de cálculo del empuje.

$\lambda$ : coeficiente de empuje horizontal que vale 0.5

$\delta$ : ángulo de rozamiento terreno-estructura, 22.5°

q: sobrecarga actuando encima de las celdas

A: área de una celda, 12.54 m<sup>2</sup>

u: perímetro de una celda, 13.20 m

## 5. Acciones permanentes de valor no constante

### 5.1 Acciones horizontales del material ensilado, $E_r$

El efecto silo limita el crecimiento de la tensión horizontal debida al empuje de tierras con la profundidad. Se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$e_r = \lambda \cdot \gamma' \cdot Z_0 (1 - e^{-z/Z_0}) + \lambda \cdot q \cdot e^{-z/Z_0} \quad (22)$$

### 5.2 Empuje de tierras, $E_T$

Esta acción se refiere al empuje de las tierras en el trasdós del dique o muelle. El empuje se calcula mediante la teoría de Coulomb para un suelo homogéneo con nivel freático horizontal. La consideración del nivel freático implica sustituir el peso específico aparente por el peso específico sumergido en las zonas por debajo de dicho nivel, y además considerar la acción de empuje hidrostático que lleva aparejada.

Coeficiente de empuje activo,  $K_a$

$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin(\alpha - \delta) \cdot \sin^2 \alpha \cdot \left( 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \cdot \sin(\alpha + \beta)}} \right)^2} \quad (23)$$

$\phi$ : ángulo de rozamiento interno del terreno, 30°

$\delta$ : ángulo de rozamiento hormigón-terreno granular,  $\frac{2}{3} \phi = 20^\circ$

$\alpha$ : ángulo que forma el paramento del muro con el plano horizontal, 90°

$\beta$ : ángulo de inclinación de las tierras del trasdós, 0°

Por tanto el coeficiente de empuje activo vale:

$$K_a = 0.297313857$$

La ley de presiones sigue la siguiente ecuación:

$$p(z) = \gamma \cdot K_a \cdot z + K_a \cdot q \quad (24)$$

Siendo q la presión sobre el terreno, z la profundidad a la que se calcula la presión, y  $\gamma$  la densidad aparente o sumergida según la situación del nivel freático.

El coeficiente de empuje pasivo,  $K_p$ , se calcula según la teoría de Rankine porque la teoría de Coulomb no es válida para ángulos  $\delta$  mayores a 10° según la ROM 0.2-90.

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \quad (25)$$

$$K_p = 3$$