

## **ANEJO 02: BASES DE DISEÑO**

# ÍNDICE

1.INTRODUCCIÓN .....	2
2. VIDA UTIL DE LA OBRA.....	2
3. PERIODO DE RETORNO .....	2
4.CONDICIONES LOCALES DE LA OBRA .....	4
5.HORMIGONES .....	4
6. CARAZTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES .....	5
7. BUQUE DE CÁLCULO.....	5
8. ESTRUCTURAS DE GRAVEDAD. VALORACIÓN DE ACCIONES.....	6
9. CRITERIOS DE COMBINACIÓN DE ACCIONES.....	7
10. COMPROBACIÓN DE MUELLES DE GRAVEDAD .....	8



1. INTRODUCCION

El objetivo del presente documento es recopilar los parámetros de cálculo que se han tenido en cuenta para diseñar y calcular las estructuras incluidas en el proyecto.

En una primera parte del informe se especifican los criterios generales de proyecto. A continuación se recopilan los parámetros fundamentales de las condiciones locales de la obra: topografía, geotecnia y condiciones ambientales (vientos, mareas, corrientes, oleaje y sismicidad). Posteriormente, se definen las acciones de cálculo y los criterios de combinación de acciones. Finalmente se detallan los modos de fallo a estudiar, la metodología a seguir para valorarlos y las recomendaciones de cálculo utilizadas.

La información de partida ha sido aportada por la Autoridad Portuaria de Castellón.

2. VIDA ÚTIL DE LA OBRA

Se entiende como vida útil de una obra marítima el periodo de tiempo en que se pretende que esté en servicio, realizando su función inicial hasta su inutilización, desmontaje o cambio de uso.

La ROM 0.2-90 en la tabla 2.2.1.1 establece, como criterio general, un valor mínimo para la vida útil de 50 años (infraestructura de carácter general y nivel de seguridad 2, es decir, con riesgo moderado de pérdida de vidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura). Este valor se tomará para el cálculo del atraque en fase de servicio.

3. PERIODO DE RETORNO

El segundo factor que influye en el cálculo del periodo de retorno es el valor del riesgo admisible para las estructuras, que se tomará de la tabla 3.2.3.1.2. de la

ROM 0.2-90. Suponiendo una posibilidad reducida de pérdida de vidas humanas con repercusión económica baja en caso de inutilización de la obra, para el caso de destrucción total del pantalán, se obtiene un valor del riesgo de 0,20.

El periodo de retorno se obtiene a partir de los valores de vida útil y riesgo, mediante la expresión:

$$E = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^{L_r} \Rightarrow T = \frac{1}{1 - (1 - E)^{1/L_r}}$$

siendo,

E: Riesgo

L<sub>r</sub>: Vida útil de la obra

T: Periodo de retorno

Entrando con los valores anteriormente reflejados para el riesgo y la vida útil en la citada expresión, se obtienen los valores del periodo de retorno para el cálculo del pantalán:

**T = 225 años**



4. CONDICIONES LOCALES DE LA OBRA

4.1 Geotecnia

Los datos geotécnicos necesarios para el cálculo de estabilidad se han obtenido del informe geotécnico elaborado por la empresa ITC en octubre de 2005. Dicho estudio se incluye íntegramente en el anejo 04 “ Estudio Geológico y Geotécnico”.

De acuerdo con el informe geotécnico elaborado para la Autoridad Portuaria de Castellón, existe una capa superficial de fangos hasta una profundidad aproximada de 16,50 m. a partir de esa profundidad se puede encontrar una capa de más de 14 m de espesor de materiales detríticos medios. El informe los define como *“materiales donde predominan las fracciones arenosas englobándose de forma ocasional algún canto de grava, algún bolo e incluso alguna pequeña intercalación limosa. Asimismo de forma esporádica, estas arenas pueden encontrarse cementadas, aunque el espesor de estos encostramientos rara vez alcanza más de 20 cm”*.

En la siguiente tabla se reproducen los parámetros geotécnicos de los diferentes estratos analizados en el entorno de las obras. El nivel de la cimentación de las obras calculadas en el presente proyecto es el Nivel I.

NIVEL	Nivel 0	Nivel I	Nivel II	Nivel III
Naturaleza del suelo	FANGOS	DETRÍTICOS MEDIOS	DETRÍTICOS MEDIOS GRUESOS	DETRÍTICOS FINOS
Peso específico de partículas gr/cm³	2.700	2.701	2.748	2.725
Peso específico seco gr/cm³	1.10	1.75	1.95	1.73
Peso específico aparente gr/cm³	1.69	2.10	2.24	2.09
Peso específico saturado gr/cm³	1.69	2.10	2.24	2.09
Peso específico sumergido gr/cm³	0.69	1.10	1.24	1.09
Porosidad %	59.3	35.2	29.0	36.5
Índice de poros	1.455	0.544	0.409	0.575
Grado de saturación %	SATURADO			
Ángulo de resistencia interna °	5-15	30-35	30-35	6-19
Cohesión Kg/cm²	Nula	0.0-0.3	0.0-0.5	0.2-1.0
Modulo de deformación <sup>(2)</sup> Kg/cm²	2.75-8.25	350-600	500-5000	90-250
Coefficiente de Balasto <sup>(2)</sup> Kg/cm³	0.12-0.37	3.0-4.5	22-220	4.0-8-0
Resistencia a compresión Kgt/cm²	---	---	---	1.85

Parámetros geotécnicos

4.2 Condiciones Ambientales

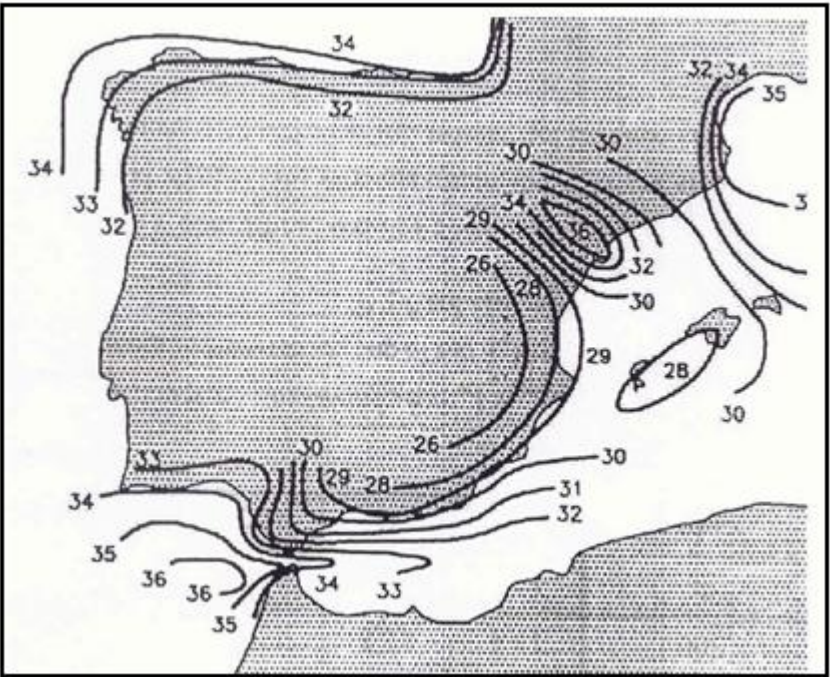
4.2.1. Viento

Para obtener las acciones producidas por el viento se ha seguido la metodología contenida en la ROM 0.2-90 "Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas" y la ROM 0.4-95 "Acciones Medioambientales II. Viento".

La ROM 0.4-95 localiza el Puerto de Castellón dentro del área VII, donde la dirección reinante y dominante del viento es la SW.

En condiciones extremas la velocidad básica del viento correspondiente a un periodo de retorno de 50 años resulta ser:

$V_{v,10min}(10) = 29 \text{ m/s}$



Velocidad básica del viento



4.2.2. Mareas

El Puerto de Castellón se puede considerar como no afectado por situaciones de marea astronómica significativa, habida cuenta de la escasa variación del nivel del mar en la zona.

4.2.3. Corrientes

No se considera la actuación de corrientes en la zona de afección de las obras.

4.2.4. Oleaje

No se considera la actuación del oleaje de afección de las obras.

4.2.5. Efecto Sísmico

Para la obra que se proyecta no resulta de obligado cumplimiento la aplicación de la Norma de Construcción Sismorresistente (NCSR-02), como se cita en el anejo “Sismicidad”. Ya que se trata de una obra de normal importancia localizada en una zona con aceleración sísmica básica menor a 0,04g.

5. HORMIGONES

Se establecerá lo dispuesto en la norma EHE.

Para el hormigón armado se considera un tipo de ambiente III<sub>c</sub>+Q<sub>b</sub>, de acuerdo con la nomenclatura reflejada en el artículo 8.2.3.de la EHE. Según la tabla 37.3.2.b. de

la citada normativa la resistencia mínima compatible con los requisitos de durabilidad resulta ser de 30 N/mm<sup>2</sup>. Por tanto se adopta un hormigón armado tipo HA-35 para la construcción de los cajones.

Para el hormigón en masa, excepto para el hormigón sumergido, se adopta un tipo de ambiente I+Q<sub>b</sub>, por lo que, según la citada tabla 37.3.2.b., se adopta también una resistencia mínima de 30N/mm<sup>2</sup>, esto es, un hormigón HM-30.

Para el acero se dispone el denominado B 500 S, con un límite elástico no menor de 500N/mm<sup>2</sup>.

Los coeficientes parciales de seguridad de los materiales para estados límites últimos se toman de la tabla 15.3 de la EHE, y resultan ser los siguientes:

Hormigón (γ <sub>c</sub> )	Acero (γ <sub>s</sub> )
1,50	1,15

Tabla 15.3 (EHE)

Así pues, se tomarán los siguientes valores para el cálculo:

- $f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2 \approx 350 \text{ kg/cm}^2$
- $f_{cd} = 35 / 1,5 = 23,3 \text{ N/mm}^2 \approx 233 \text{ kg/cm}^2$
- $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2 = 5000 \text{ kg/cm}^2$
- $f_{yd} = 500 / 1,15 = 434,78 \text{ N/mm}^2 \approx 4350 \text{ kg/cm}^2$

Se considera un nivel de control normal de ejecución por lo que para las acciones variables se utilizará un coeficiente parcial de seguridad para las acciones de γ<sub>G</sub> = 1,60. Para las acciones permanentes de valor constante se tomará un γ<sub>G</sub> = 1,50.



## 6. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

A continuación se resumen las características de los materiales y terrenos que intervienen en las obras objeto de este proyecto.

### Hormigón

- Densidad del hormigón armado:  $\gamma_s = 2,50 \text{ t/m}^3$
- Densidad del hormigón en masa:  $\gamma_s = 2,30 \text{ t/m}^3$

### Escollera en cimientos.

- Densidad seca:  $\gamma_d = 1,80 \text{ t/m}^3$
- Densidad saturada:  $\gamma_{sat} = 2,10 \text{ t/m}^3$
- Densidad sumergida:  $\gamma_{sum} = 1,10 \text{ t/m}^3$
- Ángulo de rozamiento interno:  $40^\circ$
- Coeficiente de rozamiento escollera-hormigón: 0,625

### Relleno de trasdós (pedraplén)

- Densidad seca:  $\gamma_d = 1,80 \text{ t/m}^3$
- Densidad saturada:  $\gamma_{sat} = 2,10 \text{ t/m}^3$
- Densidad sumergida:  $\gamma_{sum} = 1,10 \text{ t/m}^3$
- Ángulo de rozamiento interno:  $35^\circ$

### Relleno de celdas

- Densidad seca:  $\gamma_d = 1,80 \text{ t/m}^3$
- Densidad saturada:  $\gamma_{sat} = 2,10 \text{ t/m}^3$
- Densidad sumergida:  $\gamma_{sum} = 1,10 \text{ t/m}^3$
- Ángulo de rozamiento interno:  $30^\circ$

### Relleno general

- Densidad seca:  $\gamma_d = 1,70 \text{ t/m}^3$
- Densidad saturada:  $\gamma_{sat} = 2,10 \text{ t/m}^3$
- Densidad sumergida:  $\gamma_{sum} = 1,10 \text{ t/m}^3$
- Ángulo de rozamiento interno:  $30^\circ$

## 7. BUQUE DE CÁLCULO

El buque de mayor capacidad que se espera que use las instalaciones proyectadas es un granelero de 45.000 TPM. Las características de este buque son:

Granelero	
Eslora total (L)	210 m
Manga (B)	31 m
Calado máximo (D)	11.65 m
Desplazamiento ( $\Delta$ )	45.000 t
Área frontal expuesta ( $A_F$ )	770 m <sup>2</sup>
Área lateral expuesta ( $A_L$ )	2960 m <sup>2</sup>



## 8. ESTRUCTURAS DE GRAVEDAD.VALORACIÓN DE ACCIONES

### 8.1 Cargas Permanentes

El valor característico se deducirá aplicando a las dimensiones reales de los distintos elementos los pesos específicos correspondientes.

### 8.2 Cargas Hidráulicas

Se toman las siguientes situaciones del nivel de agua como valores de cálculo:

Intradós:  $\pm 0,00$  m

Trasdós:  $\pm 0,00$  m

### 8.3 Cargas del Terreno

Para el material del trasdós de los muros de gravedad se utilizará un pedraplén con un ángulo de rozamiento interno  $\phi = 35^\circ$  y una cohesión  $c = 0$ , según valores obtenidos de la *tabla 3.4.2.2.9.* de la ROM 0.2-90.

El ángulo de rozamiento terreno-estructura, de acuerdo con la *tabla 3.4.2.2.10.* de la misma ROM 0.2-90, viene dado por la expresión:

$$\delta = 2/3 \phi = 23,33^\circ$$

Por tanto el coeficiente de empuje activo para  $\alpha=90^\circ$  y  $\beta=0^\circ$  (según *tabla 3.4.2.2.2.* de la ROM 0.2-90), será:

$$k_a = \frac{\sin^2(90+35)}{\sin(90-23,33) \cdot \sin^2 90 \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(35+23,33) \cdot \sin(35-0)}{\sin(90-23,33) \cdot \sin(90+0)}} \right]^2} = 0,244$$

### 8.4 Sobrecargas de uso y explotación del muelle

Se considera una sobrecarga de uniforme de  $1,5 \text{ tn/m}^2$  sobre el cajón, ya que algunas de las posibles sobrecargas serán las instalaciones de carga y descarga de la mercancía de graneles líquido.

### 8.5 Cargas de Atrache y Amarre

Las cargas de atraque no se consideran a efectos del cálculo de estabilidad.

En cuanto a las cargas de amarre, se considera una carga por bolardo de  $150 \text{ t}$  de tiro cada





9. CRITERIOS DE COMBINACIÓN DE ACCIONES

Se expone el método estándar ROM 0.5 para verificar la seguridad del muelle frente a estados límite último, a pesar de que también se ha hecho uso de la norma 05.94.

Se considerarán tres tipos de combinaciones de acciones según la ROM 0.5 05:

Combinación fundamental o característica.

$$\gamma_g \cdot G + \gamma_{q,1} \cdot Q_1 + \sum \psi_{0,i} \cdot \gamma_{q,i} \cdot Q_i$$

Donde:

- G= acciones permanentes
- Q<sub>1</sub>= acción variable principal o predominante y acciones variables de actuación simultánea directamente dependientes de la predominante
- Q<sub>i</sub>= acciones variables de actuación simultánea compatibles con la predominante e independientes estadísticamente de la misma
- $\psi_{0,i}$ = coeficiente de compatibilidad fundamental o característico
- $\gamma_g, \gamma_q$  = coeficientes de ponderación parciales

Combinación cuasi-permanente

$$G + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_i$$

Donde:

- G = acciones permanentes
  - Q<sub>i</sub> = acciones variables de actuación simultánea
- $\psi_{2,i}$  = coeficientes de compatibilidad cuasi-permanente

Los valores de  $\psi_i$  se tomarán del punto 3.2.3.2. de la ROM 0.2-90, y son los siguientes:

ACCIÓN	$\psi_0$	ACCIÓN	$\psi_2$
Q <sub>H</sub> - Cargas Hidráulicas	1,00*	Q <sub>H</sub> - Cargas Hidráulicas	1,00*
Q <sub>T</sub> - Cargas del Terreno	1,00	Q <sub>T</sub> - Cargas del Terreno	1,00
Q <sub>V</sub> - Cargas Variables de Uso o Explotación	0,70	Q <sub>V</sub> - Cargas Variables de Uso o Explotación	0,50
Q <sub>M</sub> - Cargas Medioambientales	0,70	Q <sub>M</sub> - Cargas Medioambientales	0,00
Q <sub>D</sub> - Cargas de Deformación	1,00	Q <sub>D</sub> - Cargas de Deformación	1,00
Q <sub>C</sub> - Cargas de Construcción	1,00	Q <sub>C</sub> - Cargas de Construcción	1,00

Coeficientes de compatibilidad de las acciones

Los valores de  $\gamma_i$  se tomarán del punto 3.3.6. de la ROM 0.5-05, y son los siguientes:

Acción	Símbolo	Tipo de modo de fallo				
		EQU	STR	GEO	UPL	HYD
Permanente						
Desfavorable	$\gamma_g$	1,10	1,35	1,00	1,00	1,35
Favorable		0,90	1,00	1,00	0,90	0,90
Variable						
Desfavorable	$\gamma_q$	1,50	1,50	1,30	1,50	1,50
Favorable		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

(\*) Estos coeficientes no son de aplicación en aquellas obras en que por criterios de optimización económica no puedan admitirse probabilidades de ocurrencia de los modos de fallo geotécnicos similares a las consideradas con carácter general en esta ROM (p.e. en los diques de abrigo). Ver comentario del apartado 3.3.5.3

Coeficientes de ponderación de las acciones





## 10. COMPROBACIÓN DE MUELLES DE GRAVEDAD

### 10.1. Cálculo de los Coeficientes de Seguridad

Siguiendo la metodología propuesta la ROM 0.5-05: "Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias" para el análisis de estructuras de gravedad cimentadas superficialmente, es necesario evaluar los estados límites últimos condicionados por las características geotécnicas del terreno (GEO). Dichos Estados Límite son:

- E.L.U. de deslizamiento.
- E.L.U. de hundimiento.
- E.L.U. de vuelco plástico.
- E.L.U. de rotura profunda.

No obstante por lo que respecta a la extensión de este proyecto, se considera necesario únicamente las comprobaciones de deslizamiento, hundimiento y vuelco plástico. Por lo que:

El cálculo del **coeficiente de seguridad a deslizamiento** se refiere al contacto entre la estructura de gravedad y el terreno sobre el que descansa, que se supone de superficie libre horizontal.

En este caso el coeficiente de seguridad a deslizamiento queda definido por:

$$C.S.D. = \frac{V \cdot \operatorname{tg} \phi_c + \alpha \cdot S + (E_p - E_a) + R_c}{H}$$

Donde :

- V: Carga Vertical
- H: Carga Horizontal
- a: Adhesión cimiento-terreno
- S: Superficie de apoyo
- E<sub>p</sub>: Empuje pasivo a la profundidad de cimentación
- E<sub>a</sub>: Empuje activo a la profundidad de cimentación
- R<sub>c</sub>: Otras posibles resistencias del contorno de los alzados laterales del cimiento
- $\phi_c$ : Ángulo de rozamiento del contacto del cimiento con el terreno.

Considerando que las componentes de la resistencia debida al terreno situado por encima del nivel de cimentación (E<sub>p</sub> - E<sub>a</sub>) y R<sub>c</sub>, son despreciables del lado de la seguridad, y que, para el caso de muelles de gravedad formados por bloques de hormigón, hormigón sumergido y cajones, el término de adhesión es despreciable, resulta:

$$C.S.D. = \frac{V \cdot \operatorname{tg} \phi_c}{H}$$

Por otro lado, la Rom 0.5-94, no sigue estrictamente esta metodología estableciendo algunos cambios. A pesar de todo en todas las comprobaciones realizadas para este proyecto, se adjuntan la metodología considerada además de las normas que se han llevado a cabo para estas.





## ANEJO 02: BASES DE DISEÑO