

Anejo de cálculo
Prolongación del Muelle de la Dársena Norte

UPM

27 de abril de 2005

Índice general

1. Anejo de cálculo	2
1. Introducción	2
2. Definición de la sección tipo muelle	3
2.1. Introducción	3
2.2. Definición geométrica	3
2.3. Materiales	4
3. Definición del cajón de celdas circulares	6
3.1. Introducción	6
3.2. Características generales del cajón	6
3.3. Mediciones	6
3.4. Resumen de esfuerzos	7
4. Cálculo de la flotación y la estabilidad naval	8
4.1. Introducción	8
4.2. Criterio de adrizado	9
4.3. Resumen de resultados de la flotación y estabilidad naval	10
5. Rellenos interiores en celdas	12
5.1. Introducción	12
5.2. Datos de entrada	12
5.3. Resumen de esfuerzos de los rellenos de celdas circulares	12
6. Cargas hidráulicas	13

Prolongación del Muelle de la Dársena Norte

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulaes de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

6.1.	Introducción	13
6.2.	Datos de entrada	13
6.3.	Distribución de presiones hidráulicas	14
6.4.	Resumen de esfuerzos de cargas hidráulicas	14
7.	Cargas de la superestructura	16
7.1.	Introducción	16
7.2.	Datos de entrada	16
7.3.	Resumen de esfuerzos de las cargas permanentes de la superestructura	17
8.	Empuje de tierras	18
8.1.	Introducción	18
8.2.	Datos de entrada	19
8.3.	Resultados generales del empuje activo	19
8.4.	Resumen de esfuerzos	20
9.	Cargas variables de uso y explotación	21
9.1.	Introducción	21
9.2.	Datos de entrada	21
9.3.	Equipos de rodadura restringida. Trenes de carga tipo A	21
9.4.	Sobrecargas de estacionamiento y almacenamiento	22
9.5.	Equipos de rodadura no restringida. Trenes de carga tipo B	23
9.6.	Sobrecarga compatible	24
9.7.	Amarre	24
9.8.	Resumen de resultados	24
10.	Cálculos de estabilidad	26
11.	Tensiones transmitidas a cimentación	27
11.1.	Tensiones máximas y mínimas	27
11.2.	Tensión de comparación y ancho efectivo	27
12.	Coeficiente de seguridad a deslizamiento	29

Prolongación del Muelle de la Dársena Norte

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

13.	Coeficiente de seguridad a vuelco tradicional	29
14.	Coeficiente de seguridad al vuelco según ROM 0.5-94	29
15.	Hundimiento	30
15.1.	Introducción	30
16.	Formulación de Brinch-Hansen para hundimiento	32
17.	Combinaciones de vuelco hacia el lado mar	35
17.1.	Hipótesis de combinación 1	36
17.2.	Hipótesis de combinación 2	37
17.3.	Hipótesis de combinación 3	38
17.4.	Hipótesis de combinación 4	39
17.5.	Hipótesis de combinación 5	40
17.6.	Hipótesis de combinación 6	41
17.7.	Hipótesis de combinación 7	42
17.8.	Hipótesis de combinación 8	43
17.9.	Hipótesis de combinación 9	44
17.10.	Hipótesis de combinación 10	45
17.11.	Hipótesis de combinación 11	46
17.12.	Hipótesis de combinación 12	47

Anejo de cálculo

1. Introducción

El presente anejo de cálculo tiene como finalidad el dimensionamiento de un muelle de gravedad de acuerdo con las recomendaciones de obras marítimas, y más concretamente con la ROM 0.2-90. Asimismo se cumplirán los coeficientes de seguridad dadas en esta normativa y la ROM 0.5-94 para el caso del coeficiente de seguridad a vuelco según ROM.

Se realiza el cálculo considerando los valores de coeficientes de seguridad de muelles obtenidos de la tabla 4.2.1 de la página 328 de la ROM 0.5-94.

Los coeficientes de seguridad que se comprobarán corresponden a deslizamiento, vuelco, vuelco según ROM y hundimiento, tanto del terreno natural como de la banqueta de cimentación de la estructura.

2. Definición de la sección tipo muelle

2.1. Introducción

La figura 1.1 representa de forma esquemática una sección tipo general de muelle, que sirve para definir las principales variables geométricas y las características mecánicas de los materiales que influyen en las estabilidad de la estructura de gravedad.

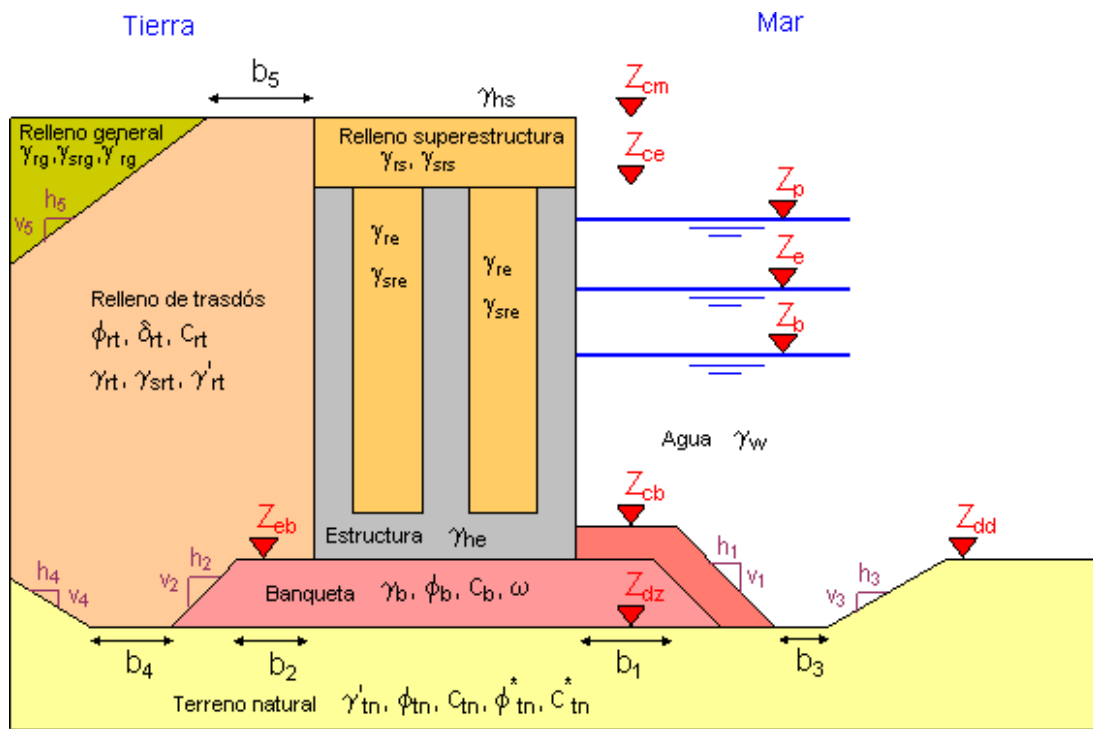


Figura 1.1: Esquema simplificado de la sección tipo

2.2. Definición geométrica

Los principales cotas de referencia consideradas en el presente proyecto pueden resumirse en:

- Cota de coronación del muelle $Z_{cm} = 2,50 \text{ (m)}$
- Cota de coronación de la estructura de gravedad $Z_{ce} = 0,50 \text{ (m)}$
- Cota de coronación de la banqueta en su lado mar $Z_{cb} = -16,00 \text{ (m)}$
- Cota de enrase de la banqueta de cimentación $Z_{eb} = -16,00 \text{ (m)}$

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

- Cota inferior del dragado de la zanja de banquetta $Z_{dz} = -22,00 \text{ (m)}$
- Cota del dragado dársena $Z_{dd} = -16,00 \text{ (m)}$

La cota del dragado dársena tiene importancia para recomendar un posible valor del empuje pasivo en el hundimiento, o establecer un máximo del mismo.

Como cota variable se tiene el nivel de marea, adoptándose como máximo el nivel de pleamar y mínimo el de bajamar, en condiciones normales de operación. El programa introduce un tercer nivel en proyecto para poder establecer cualquier otro estado de marea que se considere desfavorable. Los niveles adoptados en proyecto son:

- Cota del nivel de marea en bajamar $Z_b = 0,00 \text{ (m)}$
- Cota del nivel de marea en pleamar $Z_p = 0,60 \text{ (m)}$
- Cota del nivel de marea en otro nivel $Z_o = 0,30 \text{ (m)}$

Los niveles de marea para los puertos españoles, organizados por fachadas, pueden consultarse en la tabla 3.4.2.1.1 de las páginas 85 y 86 de la ROM 0.2-90.

La carrera de marea es la diferencia entre la pleamar y la bajamar, resultando:

$$c_m = Z_p - z_b = 0,60$$

2.3. Materiales

A continuación se detallan los valores adoptados para cada uno de los materiales descrito en la figura 1.1

- *Agua del mar:*
 - Peso específico del agua del mar $\gamma_w = 1,03 \text{ (t/m}^3\text{)}$
- *Hormigones:*
 - Peso específico del hormigón de estructura $\gamma_{he} = 2,50 \text{ (t/m}^3\text{)}$
 - Peso específico del hormigón de superestructura $\gamma_{hs} = 2,50 \text{ (t/m}^3\text{)}$
- *Terreno del relleno mejorado de trasdós de estructura:*
 - Peso específico seco $\gamma_{rt} = 1,80 \text{ (t/m}^3\text{)}$
 - Peso específico saturado $\gamma_{srt} = 2,10 \text{ (t/m}^3\text{)}$
 - Peso específico sumergido $\gamma'_{rt} = 1,10 \text{ (t/m}^3\text{)}$

Prolongación del Muelle de la Dársena Norte

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

- Angulo de rozamiento interno $\phi_{rt} = 37,50$ ($^{\circ}$)
- Cohesión $c_{rt} = 0,00$ (t/m^2)
- Angulo de rozamiento del terreno de trasdós con el muro $\delta = 12,50$ ($^{\circ}$)

- *Relleno general en explanada:*
 - Peso específico seco $\gamma_{rg} = 1,80$ (t/m^3)
 - Peso específico saturado $\gamma_{srg} = 2,10$ (t/m^3)
 - Peso específico sumergido $\gamma'_{rg} = 1,10$ (t/m^3)

- *Terreno en banqueta de cimentación:*
 - Peso específico seco $\gamma_b = 1,80$ (t/m^3)
 - Peso específico sumergido $\gamma'_b = 1,10$ (t/m^3)
 - Angulo de rozamiento interno $\phi_b = 42,00$ ($^{\circ}$)
 - Cohesión $c_b = 0,00$ (t/m^2)
 - Angulo de apertura de tensiones en banqueta $\omega_b = 30,00$ ($^{\circ}$)

- *Terreno natural bajo la banqueta:*
 - Peso específico sumergido $\gamma'_{tn} = 1,10$ (t/m^3)
 - *Comportamiento a largo plazo*
 - Angulo de rozamiento interno $\phi_{tn} = 30,00$ ($^{\circ}$)
 - Cohesión $c_{tn} = 0,00$ (t/m^2)
 - *Comportamiento a corto plazo*
 - Angulo de rozamiento interno $\phi_{tn}^* = 30,00$ ($^{\circ}$)
 - Cohesión $c_{tn}^* = 0,00$ (t/m^2)

- *Relleno interior de la estructura:*
 - Peso específico seco $\gamma_{re} = 1,80$ (t/m^3)
 - Peso específico saturado $\gamma_{sre} = 2,10$ (t/m^3)

- *Relleno de la superestructura:*
 - Peso específico seco $\gamma_{rs} = 1,80$ (t/m^3)
 - Peso específico saturado $\gamma_{srs} = 2,10$ (t/m^3)

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

3. Definición del cajón de celdas circulares

3.1. Introducción

La unidad de estructura resistente está formada por un cajón de celdas circulares a tresbolillo, de 3.50 metros de diámetro.

La manga del cajón se obtiene con una zapata en el lado mar de 0.25 metros, más 3 filas de celdas circulares en el fuste más una zapata en el lado tierra de 0.25 metros

La eslora, en el lado mar del cajón, está formada por un ovoide en proa más 10 celdas circulares en el lado mar.

3.2. Características generales del cajón

Las principales variables geométricas del cajón se resumen en:

- Eslora
 - Fuste sin orejetas: 38.78 (m)
 - Total del cajón: 39.41 (m)
- Manga
 - Fuste sin considerar las zapatas: 10.62 (m)
 - Total del cajón (manga de la solera): 11.12 (m)
- Fuste
 - Espesor de la solera y zapatas: 0.50 (m)
 - Altura del fuste sin solera: 16.00 (m)
 - Altura total del fuste con solera: 16.50 (m)

3.3. Mediciones

La tabla 1.1 resume las principales mediciones del hormigón del cajón

Los huecos del fuste tienen como características principales:

- Superficie total de huecos del plano de planta 301.07 (m²)
- Volumen total de los huecos del fuste 4817.18 (m³)

Prolongación del Muelle de la Dársena Norte

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

Elementos de hormigón	Superficie (m^2)	Volumen (m^3)	Peso (t)
Solera sin Zapatas	412.58	206.29	515.72
Total de la Solera	432.28	216.14	540.35
Total del Fuste	111.50	1784.03	4460.07
Total del cajón		2000.17	5000.42

Tabla 1.1: Mediciones del hormigón

Otros datos de interés, resultante de estas mediciones son:

- Índice de hormigón, volumen de hormigón / volumen aparente 0.2934 (tanto por uno)
- Volumen de hormigón por metro lineal de muelle 50.75 (m^3/m de eslora)

3.4. Resumen de esfuerzos

La tabla 1.2 resume los valores de los esfuerzos transmitidos por la estructura a la cimentación por metro lineal de la misma. Los datos de la primera fila se corresponden con el punto de vuelco situado bajo el extremo libre del voladizo de la zapata mar, y la segunda con el extremo libre del voladizo de la zapata tierra.

Localización punto vuelco	V (t/m)	H (t/m)	Me (mt/m)	Mv (mt/m)
Zapata dársena	126.89	0.00	705.61	0.00
Zapata explanada	126.89	0.00	705.61	0.00

Tabla 1.2: Esfuerzos transmitidos por metro lineal de estructura en el punto de vuelco

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

4. Cálculo de la flotación y la estabilidad naval

4.1. Introducción

La puesta en servicio de un cajón de celdas circulares requiere de los procesos de:

- *Fabricación*, proceso realizado en el cajonero que incluye la botadura.
- *Transporte* o remolque hasta su ubicación definitiva.
- *Instalación* o proceso de fondeo de los cajones.
- *Otros*

descritos en el apartado '*2.1 Fases de proyecto*' de la ROM 0.2-90 en el subapartado '*2.1.2-a Fase de construcción*', siendo normalmente determinante el proceso de transporte en el dimensionamiento de las armaduras de la solera.

Este proceso debe asegurar también una navegación estable del cajón hasta su ubicación definitiva, con un coeficiente de seguridad en el brazo estabilizador (Metacentro - cdg) mínimo de 0,50 metros.

Otra limitación de este proceso puede venir dada por el calado disponible tanto en el lugar definitivo donde se ubicará la estructura como en la vía de acceso desde el lugar donde se ha fabricado el cajón hasta su destino.

Es por tanto necesario incluir este cálculo dentro de este anejo a pesar de no introducir acciones cuya combinación determine cualquiera de los modos de fallo estudiados, pero si información sobre la viabilidad del proceso constructivo de la estructura diseñada y su integridad física.

Con este mismo fin se ha decidido considerar tres casos del análisis de la estabilidad naval del cajón:

- *Lastre solo de adrizado*: Se coloca únicamente un lastre de agua mínimo para que el cajón flote adrizado
- *Francobordo nulo adrizado*: El cajón flotaría con el mínimo lastre que hace que su francobordo sea nulo, es decir que su calado sea máximo sin llegar a hundirse
- *Navegación definida*: Se refiere a la establecida en proyecto, debe estar entre los dos casos anteriores, tener un brazo estabilizador positivo y no calar más de los límites que le permita la batimetría. El dato de entrada elegido para definir esta caso ha sido el brazo estabilizador.

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulaes de 3.50 m de diámetro
 Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

4.2. Criterio de adrizado

Los flotadores en situación estable tienen su centro de gravedad en la misma vertical que su centro de carena o centro de gravedad del volumen sumergido. Por lo tanto, cuando el cajón no tiene simetría de masas y se le deja flotando libremente, se inclinará hasta que ambos centros se sitúen en una misma vertical.

La forma de corregir esta inclinación del cajón es lastrando en parte de las celdas del fuste, haciendo que el centro de gravedad resultante de la suma del peso de la estructura y del lastre coincida en la misma vertical que el centro de carena asociado a esa suma de pesos. Esquemáticamente esto puede verse en la figura 1.2, donde H representa el relleno homogéneo en todas las celdas y A el lastre adicional de agua de adrizado.

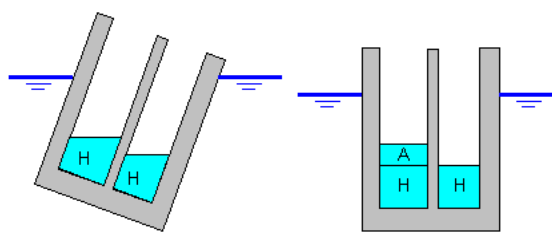


Figura 1.2: Esquema simplificado de la flotación sin adrizar y adrizada del cajón

El lastre de adrizado será mínimo si las celdas que se lastran son las de mayor brazo.

Cuando el lastre de adrizado es mínimo el cajón flota con mínimo calado, y por tanto con el menor brazo estabilizador. Por otra parte, se requiere un menor trabajo de las bombas de lastrado.

Cuando el cajón no tiene sus masas distribuidas de forma simétrica basta con lastrar las celdas de dos de sus contornos, cada uno de ellos con un nivel de agua establecido, para asegurar que la flotación sea adrizada.

Además del lastrado de las celdas de borde podrían haberse elegido otros muchos, obteniéndose distintos equilibrios en flotación, pero el establecido es sencillo y requiere un mínimo de lastre.

Los tres soluciones pueden verse de forma esquemática representadas en la figura 1.3

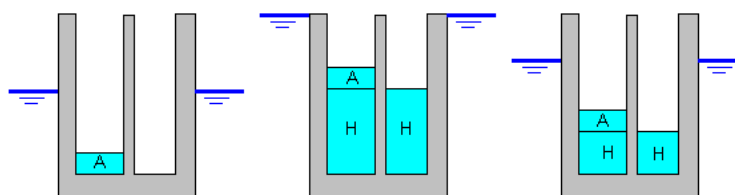


Figura 1.3: Esquema simplificado de las tres situaciones de flotación estudiadas

Los cuatro grupos de celdas establecidos "a priori" para asegurar el adrizado, de los cuales solo

Prolongación del Muelle de la Dársena Norte

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

2 son necesarios, son:

1. *Grupo 1*: Celdas circulares del lado mar exceptuando las esquinas si éstas están formadas por círculos, para evitar duplicidades en las esquinas.
2. *Grupo 2*: Celdas circulares y ovoidales de la columna proa.
3. *Grupo 3*: Celdas circulares del lado tierra exceptuando las esquinas si éstas están formadas por círculos, para evitar duplicidades en las esquinas.
4. *Grupo 4*: Celdas circulares y ovoidales de la columna popa.

Estos grupos de celdas se muestran en la figura 1.4

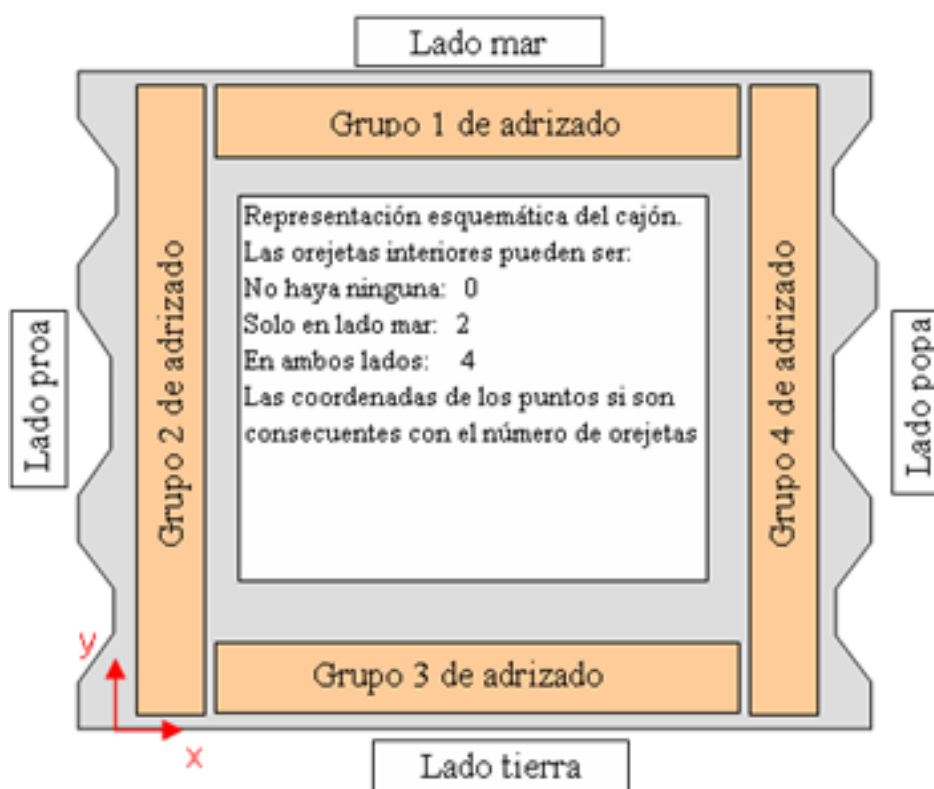


Figura 1.4: Posibles grupos de celdas para el adrizado

4.3. Resumen de resultados de la flotación y estabilidad naval

La tabla 1.3 resume, para los tres casos analizados; los calados, las alturas de agua de lastres, tanto homogéneo, como de adrizado (con indicación de los grupos usados para el adrizamiento); así como los brazos, en metros, del par estabilizador correspondiente.

Prolongación del Muelle de la Dársena Norte

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

Caso	Calado cajón $Z_h(m)$	Lastres aplicados en celdas				Brazo estabi. $\delta(m)$	
		Homoge. $Z_{int_w}(m)$	Adrizado en 2 grupos		$\Delta Z_w(m)$		
			Grupo	$\Delta Z_w(m)$			Grupo
Lastre solo de adrizado	11.87	0.0000	3	0.0000	2	1.1552	-0.8749
Francobordo nulo adrizado	16.50	6.3648	3	0.0000	2	0.9668	2.2716
Navegación definida	13.46	2.1875	3	0.0000	2	1.0904	0.5000

Tabla 1.3: Resumen de la flotación y estabilidad naval

5. Rellenos interiores en celdas

5.1. Introducción

Los rellenos de celdas son cargas muertas situadas en las celdas del cajón. Su finalidad es la de aportar peso para mejorar la estabilidad a un coste menor que el del hormigón, y transmitir esfuerzos al cimiento.

La ROM 0.2-90 las considera en su apartado 3.4.1.2 y las clasifica como una carga permanente.

5.2. Datos de entrada

El nivel de saturación de los rellenos interiores de estructura para cada uno de los niveles es:

Rellenos interiores de estructura	Bajamar	Pleamar	Otro nivel
Nivel de saturación (h_{sre})	16.00	16.00	16.00

Por encima de este nivel se considera un peso específico seco y por debajo se utiliza el saturado.

La igualdad entre todas las alturas de saturación indica que el nivel de saturación de los rellenos interiores no varía al encontrarse confinados.

Adicionalmente se pueden definir rellenos de distinto peso específico en la zonas inferior o superior de cada una de las filas de celdas, sustituyendo ese volumen por el correspondiente al relleno anteriormente definido.

5.3. Resumen de esfuerzos de los rellenos de celdas circulares

La tabla 1.4 resume los valores obtenidos de los esfuerzos transmitidos por los rellenos del cajón de celdas circulares en los tres niveles de agua, considerando el posible vuelco y/o deslizamiento de la estructura tanto hacia el lado mar como hacia el lado tierra.

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulaes de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

Localización punto vuelco	Nivel de marea	V (<i>t/m</i>)	H (<i>t/m</i>)	Me (<i>mt/m</i>)	Mv (<i>mt/m</i>)
Zapata mar	Bajamar	383.58	0,00	2133.09	0,00
	Pleamar	383.58	0,00	2133.09	0,00
	Otro nivel	383.58	0,00	2133.09	0,00
Zapata tierra	Bajamar	383.58	0,00	2133.09	0,00
	Pleamar	383.58	0,00	2133.09	0,00
	Otro nivel	383.58	0,00	2133.09	0,00

Tabla 1.4: Esfuerzos transmitidos al cimiento en el punto de vuelco

6. Cargas hidráulicas

6.1. Introducción

Las cargas hidráulicas se calculan siguiendo el apartado 3.4.2.1 de la ROM 0.2-90. La normativa considera esta carga como variable, con un valor de combinación unitario. Puede considerarse una carga estática dada su baja velocidad de variación en el tiempo.

Sobre una estructura de gravedad actúan la carga horizontal sobre las paredes del fuste, que aumenta linealmente con la cota más la componente vertical debido a la subpresión en la solera y sobre las zapatas.

Se han considerado tres posibles cotas de la lámina de agua en reposo, o niveles de marea, no combinables entre si, y que se mantendrán a lo largo de todo el cálculo cuando este pueda afectar al valor de la acción. Esto son: bajamar, pleamar y otro nivel definido por el usuario para casos de carga especiales. Por defecto se toma el nivel medio entre los dos niveles anteriores.

Cada uno de ellos tiene asociado un desnivel de marea en el relleno del trasdós definido en la tabla 3.4.2.1.2 de la ROM 0.2-90

6.2. Datos de entrada

Los valores de los niveles de marea, así como los desniveles respecto de cada uno de ellos pueden verse en la tabla 1.5. Un desnivel positivo indica que el nivel de saturación en trasdós es más elevado que el de la superficie libre en el lado dársena, y negativo al contrario.

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro
 Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

Nivel de marea	Cota del nivel (m)	Desnivel en trasdós (m)
Bajamar	0.00	0.18
Pleamar	0.60	-0.18
Otro nivel	0.30	0.00

Tabla 1.5: Niveles de marea y desnivel de la línea de saturación en trasdós

6.3. Distribución de presiones hidráulicas

Siguiendo la normativa, se supone una distribución de presiones como la mostrada en la figura 1.5 para el caso más habitual en pleamar, donde el desnivel de agua en el trasdós es negativo, la presión aumenta linealmente con la profundidad y la densidad del agua, y la pérdida de carga se produce linealmente en la circulación del agua a través de la banqueta de cimentación.

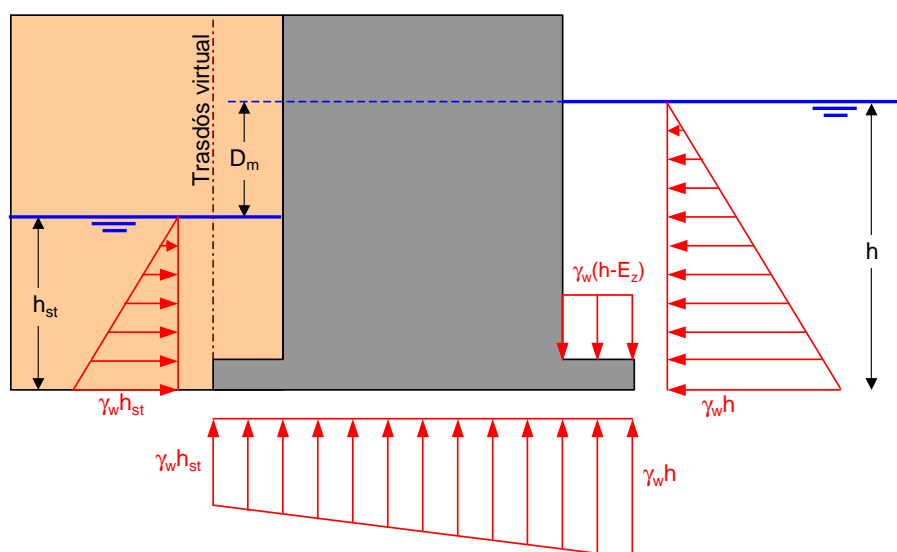


Figura 1.5: Ejemplo de distribución de presiones hidráulicas en el caso de pleamar

Los esfuerzos que se obtienen son el resultado de integrar los diagramas de presiones, en cada uno de los niveles de marea, respecto de los posibles puntos de vuelco.

No se coloca carga de agua sobre la zapata del lado tierra porque el peso de los terrenos sobre esta se tomarán como saturados hasta la cota del nivel freático y secos por encima.

6.4. Resumen de esfuerzos de cargas hidráulicas

La tabla 1.6 resume los valores obtenidos de los esfuerzos transmitidos por las cargas hidráulicas en los tres niveles de agua, considerando el posible vuelco y/o deslizamiento de la estructura tanto

Prolongación del Muelle de la Dársena Norte

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulaes de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

hacia el lado tierra como hacia el lado mar.

Localización punto vuelco	Nivel de marea	V (<i>t/m</i>)	H (<i>t/m</i>)	Me (<i>mt/m</i>)	Mv (<i>mt/m</i>)
Zapata mar	Bajamar	-179.45	2.97	-1021.44	23.88
	Pleamar	-184.09	-3.05	-1044.24	-25.15
	Otro nivel	-181.77	0.00	-1032.84	0.00
Zapata tierra	Bajamar	-179.45	2.97	-974.45	23.88
	Pleamar	-184.09	-3.05	-1003.19	-25.15
	Otro nivel	-181.77	0.00	-988.82	0.00

Tabla 1.6: Esfuerzos transmitidos al cimiento en el punto de vuelco

7. Cargas de la superestructura

7.1. Introducción

Se considera superestructura todas las cargas muertas situadas por encima de la estructura, y que transmiten su carga al terreno a través de la cimentación de la estructura.

La ROM 0.2-90 las considera en su apartado 3.4.1.2 y las clasifica como una carga permanente.

7.2. Datos de entrada

El programa coloca la superestructura como una serie de rectángulos de los que hay que definir su altura, anchura, posición y peso específico.

La posición de los rectángulos se ha definido como:

- *Horizontal*: Distancia horizontal desde el paramento mar de la estructura al cdg del rectángulo.
- *Vertical*: Distancia vertical desde la cota de enrase al cdg del rectángulo.

Cada uno de los rectángulos admite la definición de dos pesos específicos, seco y saturado. El valor de ambos será distinto en el caso de terrenos, estableciendo el programa la separación entre ambos en función de las alturas de saturación de los rellenos del trasdós definidos en las cargas hidráulicas. El valor será coincidente cuando estemos definiendo hormigones (ej: viga cantil). El valor será coincidente y negativo cuando se quiera restar un rectángulo definido en el interior de otro.

Las cargas muertas únicamente transmiten cargas verticales y su consiguiente momento estabilizador al punto de vuelco.

La figura 1.6 muestra la definición de rectángulos simplificados utilizada para simular el peso de la superestructura sobre el cajón.

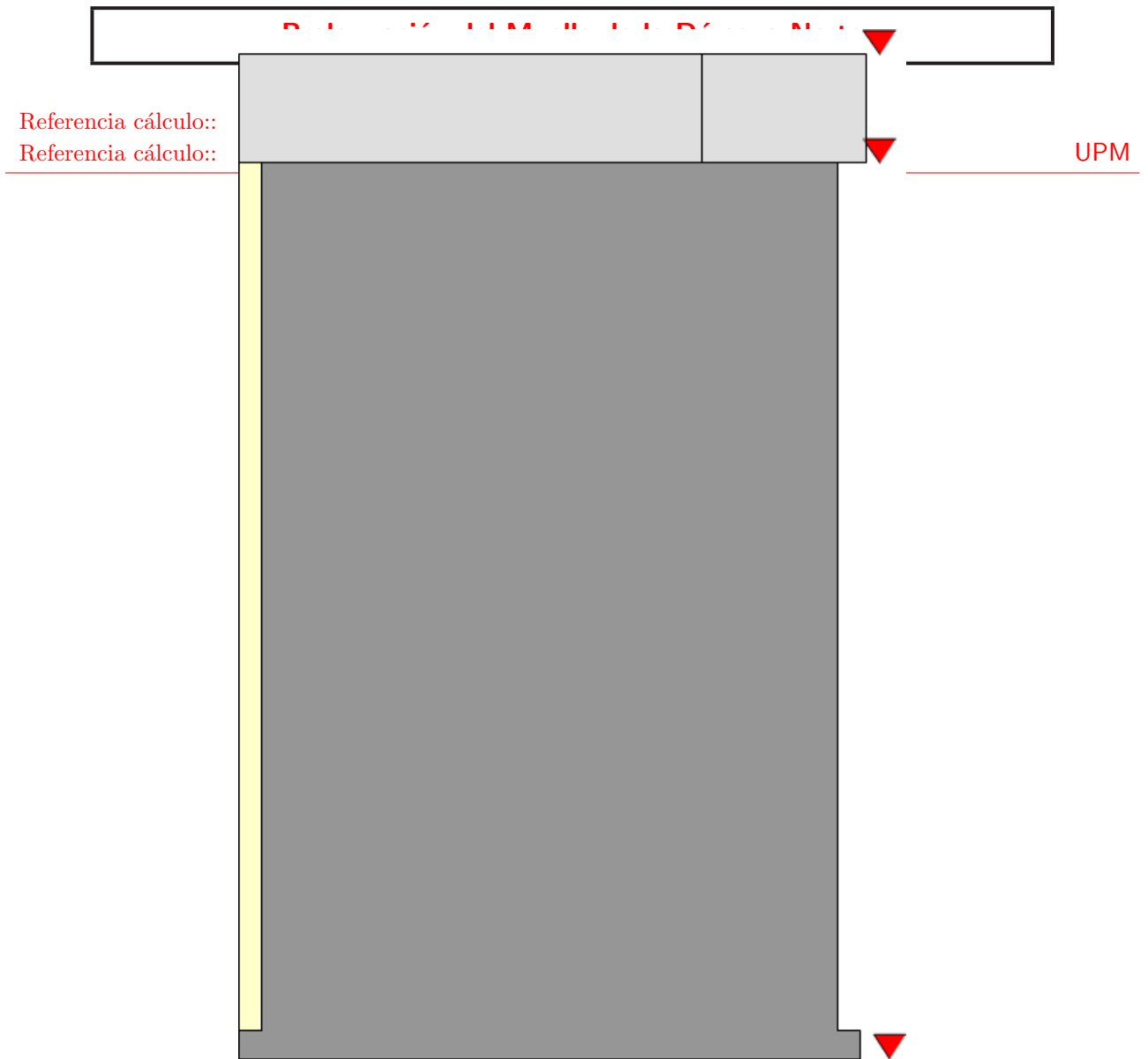


Figura 1.6: Esquema simplificado de la superestructura

7.3. Resumen de esfuerzos de las cargas permanentes de la superestructura

La tabla 1.7 resume los valores obtenidos de los esfuerzos transmitidos por las cargas permanentes de la superestructura en los tres niveles de agua, considerando el posible vuelco y/o deslizamiento de la estructura tanto hacia el lado tierra como hacia el lado mar.

Localización punto vuelco	Nivel de marea	V (t/m)	H (t/m)	Me (mt/m)	Mv (mt/m)
Zapata mar	Bajamar	44.54	0,00	227.04	0,00
	Pleamar	44.54	0,00	227.04	0,00
	Otro nivel	44.54	0,00	227.04	0,00
Zapata tierra	Bajamar	44.54	0,00	268.32	0,00
	Pleamar	44.54	0,00	268.32	0,00
	Otro nivel	44.54	0,00	268.32	0,00

Tabla 1.7: Esfuerzos transmitidos por al cimiento en el punto de vuelco

8. Empuje de tierras

8.1. Introducción

El empuje activo de tierras se calcula según el método de Coulomb descrito en la tabla 3.4.2.2.2 de la ROM 0.2-90 en su apartado 3.4.2.2. y que se muestra en la figura 1.7

La normativa considera esta carga como variable con coeficiente de combinación unitario dada su permanencia en el tiempo.

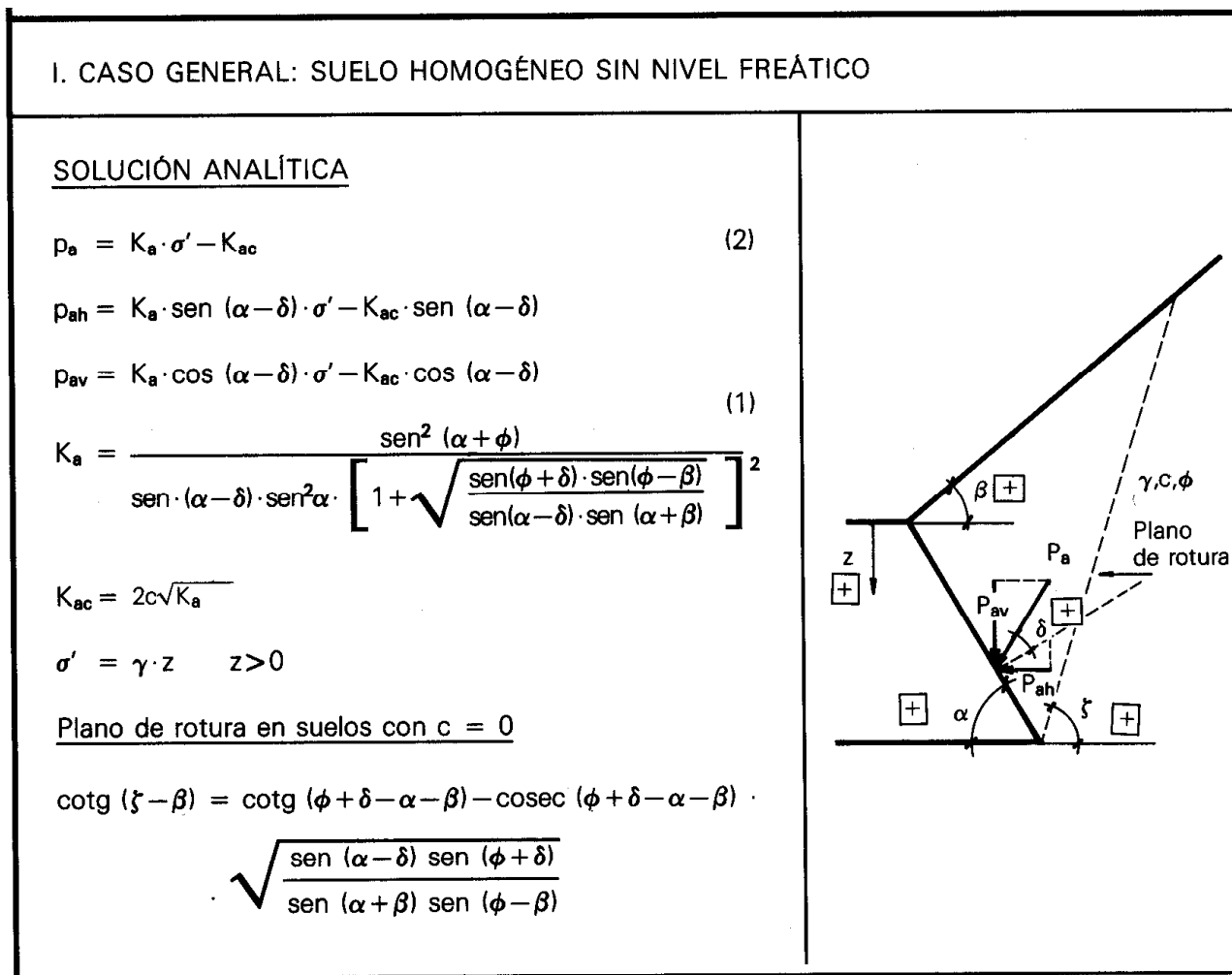


Figura 1.7: Determinación de empujes activos. Teoría de Coulomb

En la hoja de cálculo se facilitan los empujes pasivos según la misma teoría y normativa (tabla 3.4.2.2.5), aunque no se aplican en el resto del cálculo.

El plano de rotura del empuje activo, definido por su ángulo ζ , solo se facilita para el caso de suelos no cohesivos, y es necesario para el cálculo de los empujes de cargas a través del trasdós de la estructura, por lo que únicamente se considerará el coeficiente de empuje activo sin cohesión en este

tipo de cargas.

8.2. Datos de entrada

Los principales datos de entrada para la determinación del empuje de tierras son:

$\phi = 37,50$	Angulo de rozamiento interno del terreno del trasdós	(°)
$\delta = 12,50$	Angulo de rozamiento tierras muro	(°)
$\alpha = 90,00$	Angulo entre la base de la estructura y el trasdós virtual	(°)

Los desniveles de agua en trasdós se obtienen de las cargas hidráulicas afectando al empuje al considerarse un terreno seco empujando en la parte superior y un terreno sumergido desde la cota del nivel de saturación en trasdós hasta la cimentación de la estructura.

8.3. Resultados generales del empuje activo

Los parámetros a destacar dentro del empuje activo sin cohesión, y que se utilizan posteriormente para el cálculo de empujes a través del terreno del trasdós son:

$$K_a = 0,23 \quad \text{Coeficiente de empuje activo} \quad (-)$$

cuya descomposición en los ejes horizontal y vertical respectivamente es:

$$K_{ah} = 0,22 \quad \text{Coeficiente de empuje activo horizontal} \quad (-)$$

$$K_{av} = 0,05 \quad \text{Coeficiente de empuje activo vertical} \quad (-)$$

Finalmente, se tiene también:

$$\zeta = 61,96 \quad \text{Angulo del plano de rotura, de la zona activa, en suelos no cohesivos} \quad (°)$$

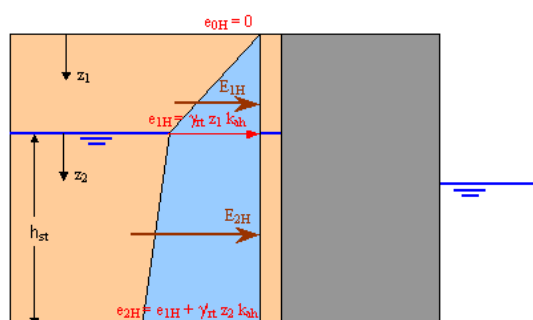


Figura 1.8: Esquema simplificado del empuje de tierras en terreno saturado no cohesivo

La distribución de empujes activos horizontales actuando sobre la estructura debido a la existencia de un terreno saturado no cohesivo puede verse en la figura 1.8

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulaes de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

8.4. Resumen de esfuerzos

La tabla 1.8 resume los valores obtenidos de los esfuerzos transmitidos por las tierras al punto de vuelco situado en el extremo libre de la zapata mar. En este caso no se estudia el vuelco en sentido inverso al no tener sentido dada la resistencia del terreno ante el empuje pasivo.

Localización punto vuelco	Nivel de marea	V (<i>t/m</i>)	H (<i>t/m</i>)	Me (<i>mt/m</i>)	Mv (<i>mt/m</i>)
Zapata mar	Bajamar	10.56	47.62	117.43	309.28
	Pleamar	10.42	47.02	115.94	304.37
	Otro nivel	10.49	47.32	116.69	306.84

Tabla 1.8: Esfuerzos transmitidos al cimiento en el punto de vuelco

9. Cargas variables de uso y explotación

9.1. Introducción

La ROM 0.2-90 considera en su apartado 3.4.2.3 las cargas variables de uso y explotación. Las cargas consideradas en el caso de muelles son:

- *Equipos de rodadura restringida. Trenes de carga tipo A:*
 - *Sobrecargas de estacionamiento y almacenamiento:* Considera dos sobrecargas dependiendo de la situación respecto a la línea de cantil de muelle y el uso del mismo, así, se tiene:
 - *En area de operación:*
 - *En area de almacenamiento:*
 - *Sobrecarga compatible en estructura:*
- *Equipos de rodadura no restringida. Trenes de carga tipo B:*

Cada una de estas cargas se tratan en una misma hoja de cálculo, y se detallan en cada de las secciones que hay a continuación

9.2. Datos de entrada

El principal dato de entrada que se debe considerar es el uso que se le va a dar al muelle durante su vida útil mínima, siendo éste el condicionante principal para la definición de las sobrecargas que actuarán sobre él y los trenes mínimos de carga que habrá que considerar. En el proyecto actual se ha definido un uso Comercial: Contenedores compatible con las tablas 3.4.2.3.1.3 y la existente en la página 163 de la ROM 0.2-90. El otro dato de entrada se refiere al vuelo de la línea de cantil respecto del extremo libre de la zapata mar, con el fin de referir todos los esfuerzos al punto de vuelco.

9.3. Equipos de rodadura restringida. Trenes de carga tipo A

La tabla 3.4.2.3.2.5 de la ROM 0.2-90 da los trenes de carga mínimos, equivalentes a sobrecargas de equipos e instalaciones de mercancías. El presente proyecto define la siguiente grúa sobre carriles:

- Distancia del carril delantero al cantil: 3.00 m
- Distancia entre carriles de la grúa: 18.00 m
- Distancia de desarrollo de cada uno de los boggies: 10.50 m

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro
 Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

- Distancia entre boggies situados en un mismo carril: 6.00 m
- Número de boggies de la grúa: 2.00
 El carril delantero tiene una carga caracterizada por:
- Carga vertical lineal equivalente por boggie: 32.00 t/m
- Carga horizontal lineal equivalente por boggie: 0.50 t/m
 Lo que resulta en una carga lineal equivalente por metro lineal de estructura de 17.05 t/m.
 El carril trasero de la grúa tiene una carga caracterizada por:
- Carga vertical lineal equivalente por boggie: 8.00 t/m.
 Lo que resulta en una carga lineal equivalente por metro lineal de estructura de 0.00 t/m.

Un esquema simplificado puede verse en la figura 1.9

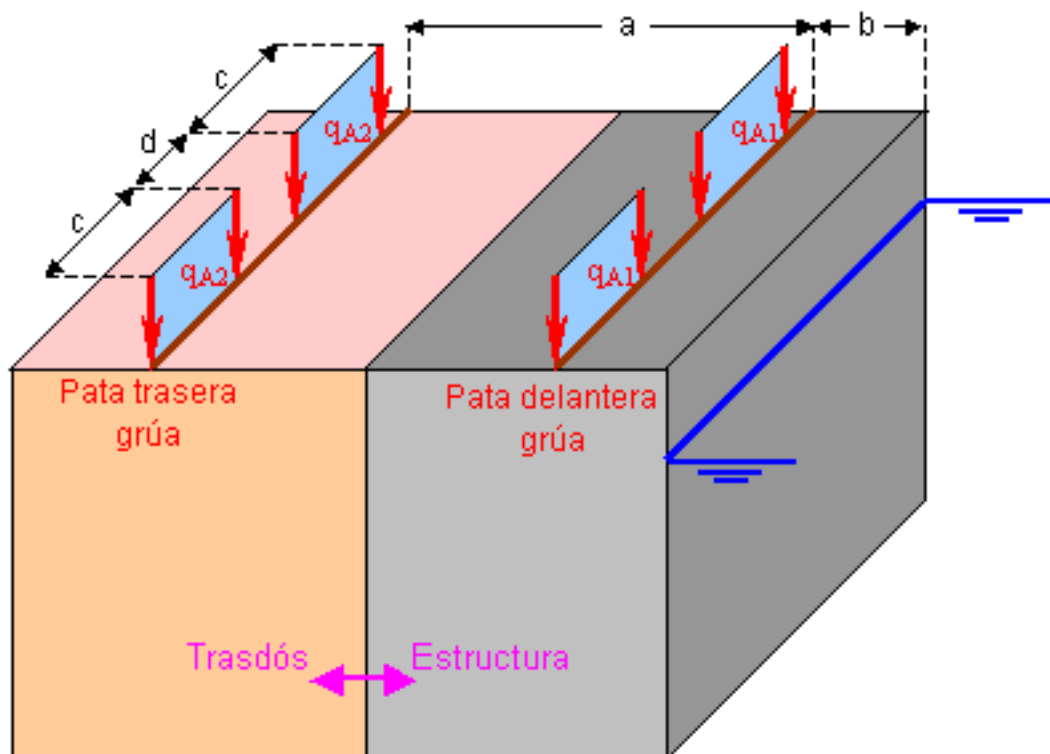


Figura 1.9: Esquema simplificado de la distribución de cargas de grúa sobre la estructura

9.4. Sobrecargas de estacionamiento y almacenamiento

Esta sobrecarga tiene una distribución como la mostrada en la figura 1.10, estableciéndose la separación de la línea de operación a 26.00 metros de la línea de cantil.

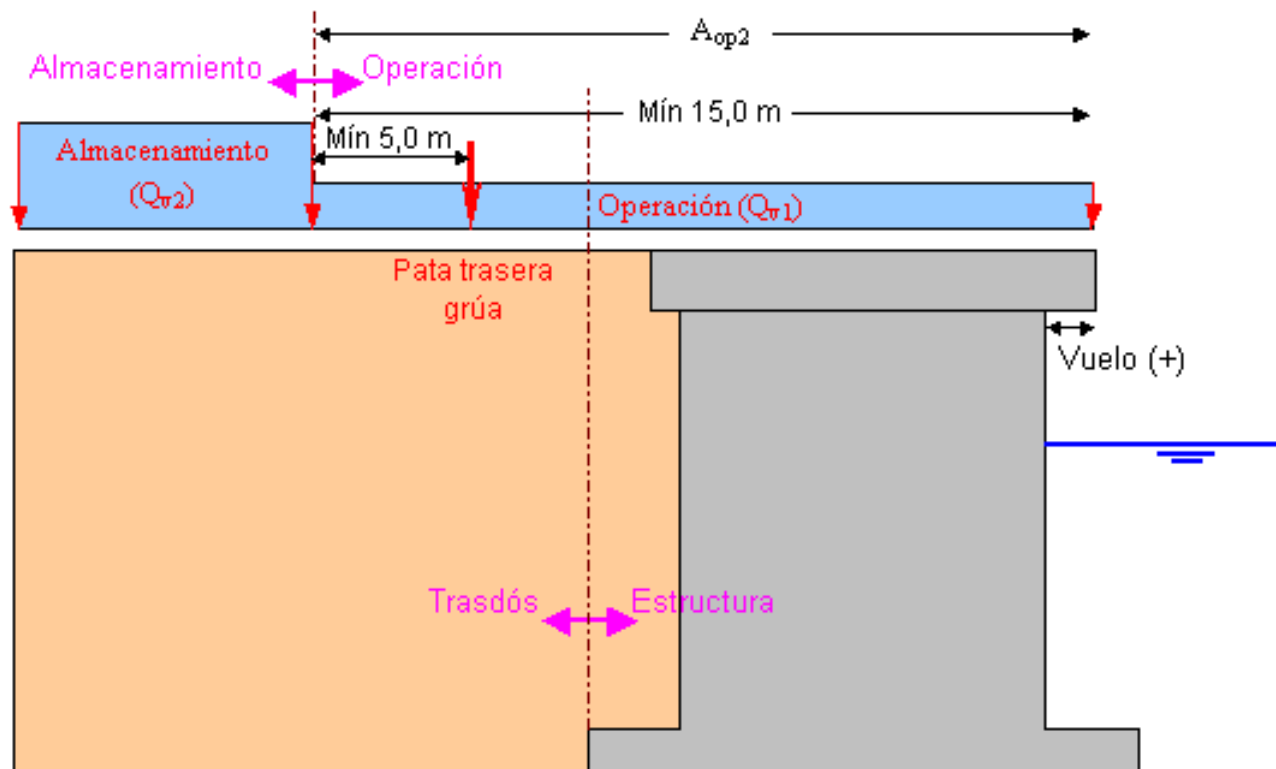


Figura 1.10: Esquema simplificado de las sobrecargas de estacionamiento y almacenamiento

El valor de las sobrecargas puede obtenerse de la ROM 0.2-90 en la tabla 3.4.2.3.1.3 en función del uso del muelle, siendo en este caso las sobrecargas:

- En area de operación: 3.00 t/m^2
- En area de almacenamiento: 6.00 t/m^2

9.5. Equipos de rodadura no restringida. Trenes de carga tipo B

Los trenes de rodadura no restringida pueden moverse libremente en toda el área de operación, siendo difícil establecer, a priori, cual es la posición más desfavorable a efecto de estabilidad del muelle. Por ello la ROM 0.2-90 simplifica este caso considerando dos hipótesis de carga no compatibles entre sí, que se muestran en el esquema de la figura 1.11

El valor de las sobrecargas, es igual que en el caso de las sobrecargas de estacionamiento y almacenamiento, función del uso que se le vaya a dar al muelle, definiendo la normativa para este caso que el tren de cargas es el B2, correspondiente a un muelle Comercial: Contenedores (páginas 163 y 171 de la ROM 0.2-90).

El tren B2 consta de una sobrecarga vertical máxima de $q_B = 12,00 \text{ t/m}^2$, extendida en los 1,50 primeros metros del trasdós y de $1,00 \text{ t/m}^2$ en el resto de la zona de operación, con una carga

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

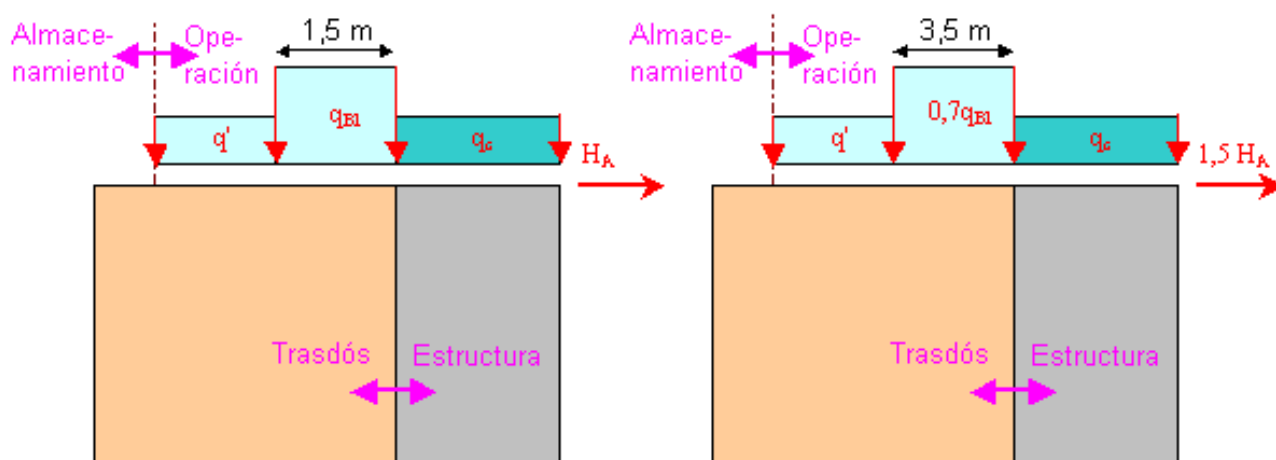


Figura 1.11: Esquema simplificado de las cargas equivalentes a los trenes de rodadura no restringida

horizontal a la altura del cantil de $0,90 \text{ t/m}$ para el caso 1 y de una sobrecarga vertical máxima de $q_B = 0,7 \cdot 12,00 = 8,40 \text{ t/m}^2$, extendida en los 3,50 primeros metros del trasdós y de $1,00 \text{ t/m}^2$ en el resto de la zona de operación, con una carga horizontal a la altura del cantil de $1,50 \cdot 0,90 = 1,35 \text{ t/m}$ para el caso 2.

9.6. Sobrecarga compatible

La sobrecarga compatible se considera con un valor de $q = 1,00 \text{ t/m}^2$ repartidas en la zona de superficie horizontal de la estructura.

9.7. Amarre

Se ha considerado la existencia de 150 bolardos por cajón de 1.00 toneladas de tiro máximo. Estos bolardos se situarán a 2.00 metros del cantil y 1.50 por encima de la cota de coronación del muelle.

Se considera un ángulo de 0.40 grados entre la amarra y el plano horizontal.

La carga total de tiro de bolardo se reparte por metro lineal de estructura monolítica.

9.8. Resumen de resultados

Los resultados correspondientes a cada una de las cargas descrita en este apartado de cargas variables de uso y explotación puede consultarse en la tabla 1.9

Las componentes en la zapata tierra no se muestran por no tener sentido en el caso de muelles. En cualquier caso los esfuerzos vertical, horizontal y momento volcador son los mismos al no estar

Prolongación del Muelle de la Dársena Norte

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulaes de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

Punto vuelco	Tipo de sobrecarga	V (t/m)	H (t/m)	Me (mt/m)	Mv (mt/m)
Zapata mar	Tren A de rodadura restringida. Grúa sobre carriles	18.39	6.30	61.76	28.33
	Sc. est. y alm. en área operación estructura	34.12	0.00	185.45	0.00
	Sc. est. y alm. en área almacenamiento estructura	0.00	0.00	0.00	0.00
	Sc. est. y alm. en área operación trasdós	2.71	12.21	30.12	112.98
	Sc. est. y alm. en área almacenamiento trasdós	0.48	2.15	5.31	5.22
	Sobrecarga compatible en estructura	11.37	0.00	61.82	0.00
	Tren B de rodadura no restringida. Caso 1	2.87	13.83	31.89	202.11
	Tren B de rodadura no restringida. Caso 2	4.04	19.59	44.97	255.69
	Carga bolardo por metro lineal de dique	-3.81	6.59	-4.76	124.60

Tabla 1.9: Esfuerzos transmitidos por las cargas de uso y explotación al cimiento en el punto de vuelco

influenciados por los niveles de marea, cambiando únicamente el valor del momento estabilizador al referir la carga vertical al extremo de la zapata tierra. Este valor es fácilmente determinable.

10. Cálculos de estabilidad

Una vez definidas cada una de las cargas que afectan a la estabilidad de la estructura de gravedad se procede a la combinación de las mismas de acuerdo a los criterios prescritos en la ROM 0.2-90.

Para las hipótesis de servicio se utilizan los valores de combinación dados por la ROM 0.2-90 en la tabla de la página 71 en su apartado 3.2.3.2.

Cuando se aplica una carga variable de uso y explotación con coeficiente de combinación 1,0 (carga predominante), el resto de las cargas de esa tipología, en esa combinación, se verán afectadas del coeficiente reductor que prescribe la normativa.

Se aplican las restricciones facilitadas en la tabla 3.4.2.3.2.4 (compatibilidad de sobrecargas de estacionamiento y almacenamiento (Q_{v_1}) y sobrecargas de equipos e instalaciones de manipulación de mercancías (Q_{v_2})) de la ROM 0.2-90.

Con los esfuerzos combinados se determinan los siguientes valores, cuya formulación se explica en las siguientes secciones:

- Tensiones máxima, mínima y de comparación, además del ancho efectivo aplicable a esta última (Sección 11).
- Coeficiente de seguridad a deslizamiento (Sección 12).
- Coeficiente de seguridad a vuelco tradicional (Sección 13).
- Coeficiente de seguridad a vuelco según ROM 0.5-94 (Sección 14).
- Coeficiente de seguridad a hundimiento de la banqueta y del terreno natural. Este último tanto a corto como a largo plazo (Sección 15).

A continuación se detalla la formulación general para la obtención de cada uno de estos valores, para posteriormente desarrollar cada una de las combinaciones de carga y los resultados obtenidos a partir de ella.

11. Tensiones transmitidas a cimentación

Con los esfuerzos resultante de cada combinación de cargas se pueden establecer dos diagramas de tensiones:

- *Tensiones máximas y mínimas:* Es el diagrama trapezoidal equivalente al reparto lineal de la carga vertical mas el momento actuantes sobre la cimentación.
 Da información sobre la tensión máxima transmitida a la banqueta de cimentación, que sirve para comprobar que no se excede la capacidad portante del terreno y la mínima, que de ser nula indica el posible levantamiento de la estructura.
- *Tensión de comparación y ancho efectivo:* Es la tensión utilizada para el cálculo del hundimiento según la fórmula de Brinch-Hansen, y es equivalente a la carga vertical aplicada mediante una distribución rectangular constante en un ancho efectivo igual a dos veces la excentricidad de la carga vertical medida desde el punto de vuelco.

A continuación se detallan cada una de las formulaciones para la obtención de estas tensiones.

11.1. Tensiones máximas y mínimas

El valor de la tensión máxima obtenida a través de los esfuerzos combinados depende de si hay levantamiento (diagrama triangular) o no (diagrama trapezoidal).

La formula 1.1 permite obtener ambos casos.

$$\sigma_{\text{máx}} = \begin{cases} \text{si } 3dx > A_c & \sigma_{\text{máx}} = 2\frac{V}{A_c} (2A_c - 3dx) \\ \text{si } 3dx \leq A_c & \sigma_{\text{máx}} = \frac{2V}{3dx} \end{cases} \quad (1.1)$$

$$\sigma_{\text{mín}} = \begin{cases} \text{si } 3dx > A_c & \sigma_{\text{mín}} = 2\frac{V}{A_c} (3dx - A_c) \\ \text{si } 3dx \leq A_c & \sigma_{\text{mín}} = 0 \end{cases}$$

siendo:

$A_c = 11,12$	Anchura de la cimentación considerando zapatas (dato)	(m)
dx	Excentricidad de la carga medida desde el punto de vuelco	(m)
dx_c	Excentricidad de la carga medida desde el centro de la cimentación	(m)

$$dx = \frac{M_e - M_v}{V} \qquad dx_c = \frac{1}{2}A_c - dx \qquad (1.2)$$

11.2. Tensión de comparación y ancho efectivo

La tensión de comparación resulta de repartir mediante un diagrama rectangular la carga vertical en un ancho efectivo (b') igual a dos veces la excentricidad de la carga (dx), a partir del punto de vuelco.

Prolongación del Muelle de la Dársena Norte

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

El valor del ancho efectivo y la tensión de comparación se obtiene de:

$$b' = 2dx \quad (1.3)$$

$$\sigma_{comp} = \frac{V}{b'} \quad (1.4)$$

Esta tensión se utiliza para determinar el coeficiente de hundimiento de banquetta y del terreno natural bajo banquetta.

En el caso del terreno natural es necesario determinar la tensión resultante de la apertura de σ_{comp} con un ángulo $\omega_b = 30,00$ a través de la banquetta de cimentación, de altura $D = 6,00 \text{ m}$, más el peso añadido por la propia banquetta ($q' = D\gamma'_b = 6,00 \cdot 1,10$). Figura 1.12

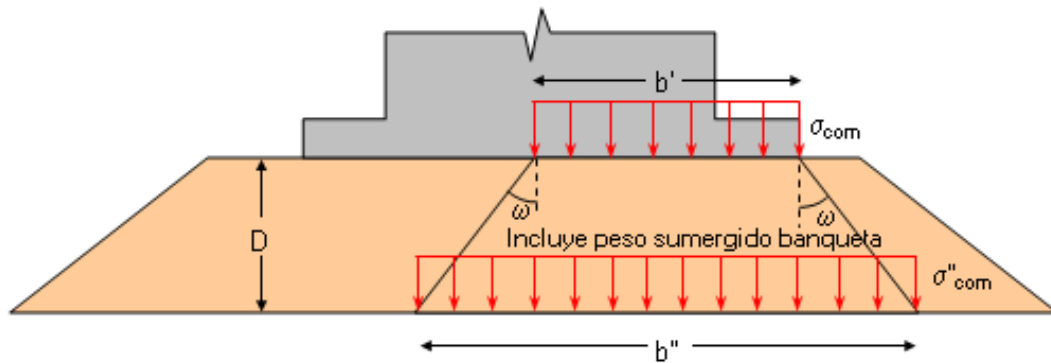


Figura 1.12: Esquema simplificado de la apertura de tensiones en banquetta

El nuevo ancho efectivo (b'') y la nueva tensión de comparación se calculan mediante:

$$b'' = b' + 2D \tan(\omega_b) \quad (1.5)$$

$$\sigma_{comp} = \frac{V}{b''} + q' \quad (1.6)$$

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

12. Coeficiente de seguridad a deslizamiento

Con los esfuerzos resultantes de las combinaciones de carga pueden obtenerse el coeficiente de seguridad a deslizamiento de la estructura para las diferentes hipótesis de carga y niveles de marea considerados mediante la siguiente formulación:

$$C_{SD} = \frac{\rho V}{H} \quad (1.7)$$

siendo $\rho = 0,70$ el coeficiente de rozamiento entre estructura y banqueta de cimentación. La ROM 0.5-94 en su página 141 recomienda este valor.

13. Coeficiente de seguridad a vuelco tradicional

El coeficiente de seguridad al vuelco tradicional, viene dado por la relación entre los momentos estabilizadores frente a los volcadores, mediante;

$$C_{SV} = \frac{M_e}{M_v} \quad (1.8)$$

14. Coeficiente de seguridad al vuelco según ROM 0.5-94

El vuelco que considera la ROM 05-94 en su apartado 3.7.11.3 estudia el vuelco de los muros de gravedad considerando la plastificación de los terrenos existentes bajo la zapata en su zona de tensiones máximas, próxima al punto de vuelco, suponiendo una distribución tensional rectangular en la zona plastificada.

Se considera que el punto de vuelco se desplaza hacia el interior de la estructura a diferencia de los criterios tradicionales de cálculo que lo mantenían en el extremo del cajón admitiendo que el terreno era completamente rígido frente al vuelco del cajón.

Dadas las combinaciones de cargas obtenidas en apartados anteriores, se requieren para la resolución del vuelco las siguientes variables:

De las combinaciones calculadas:

V	Componente vertical de la fuerza actuante resultante de la combinación de hipótesis	(t)
H	Componente horizontal de la fuerza actuante resultante de la combinación de hipótesis	(t)
M_e	Momento estabilizador resultante de la combinación de hipótesis	(m · t)
M_v	Momento volcador resultante de la combinación de hipótesis	(m · t)

Se requieren además:

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

$$\begin{aligned} \Phi &= 42,00 && \text{Angulo de rozamiento de la banqueta de cimentación} && (\text{°}) \\ \gamma_q &= 1,80 && \text{Peso específico de la banqueta de cimentación} && (\text{t/m}^3) \end{aligned}$$

La formulación seguida para la realización de los cálculos se desarrolla detalladamente en la Tabla 3.5.2 de la ROM 05-94 en su apartado 3.5.4.3.1. De ella únicamente se consideran el término de resistencia del terreno de la banqueta sin cohesión, resultando:

$$N_\gamma \quad \text{Coeficiente de capacidad de carga según la fórmula de Brinch-Hansen} \quad (-)$$

$$N_\gamma = \begin{cases} 0 & \text{Si } \Phi = 0 \\ \frac{3}{2}(N_q - 1) \tan \Phi & \text{Si } \Phi \neq 0 \end{cases} \quad (1.9)$$

En este caso se tiene:

$$N_\gamma = \frac{3}{2} \left(\frac{1 + \sin \Phi}{1 - \sin \Phi} \exp^{\pi \tan \Phi} - 1 \right) \tan \Phi = 113,96 \quad (1.10)$$

Los coeficientes de capacidad de carga son comunes a todas las combinaciones estudiados al no depender de los esfuerzos transmitidos por la estructura al terreno de cimentación.

$$\delta_v \quad \text{Angulo de desviación de la carga respecto a la vertical} \quad (\text{rad})$$

$$\tan \delta_v = \frac{H}{V} \quad (1.11)$$

Al desconocerse el punto real de vuelco de la estructura, la anchura efectiva de cimentación B^* se calcula como solución de la ecuación no lineal de la ecuación siguiente:

$$P_{v,h} - \frac{V}{B_v^*} = \frac{1}{2} \gamma'_{ban} B_v^* N_\gamma \left[1 - \left(M_e - \frac{1}{2} V B_v^* \right) \frac{\tan \delta_v}{M_v} \right]^3 - \frac{V}{B_v^*} \quad (1.12)$$

siendo:

$$P_{v,h} \quad \text{Componente vertical de la presión que produce hundimiento} \quad (\text{t/m}^2)$$

15. Hundimiento

15.1. Introducción

El hundimiento se determina siguiendo la ROM 05-94 en su apartado 3.5.4.3.1. según la fórmula de Brinch-Hansen. En el cálculo se han considerado los tres casos siguientes:

1. A corto plazo en el contacto de la banqueta y el terreno natural situado por debajo de ésta.
2. A largo plazo en el mismo contacto que en el caso anterior.

Prolongación del Muelle de la Dársena Norte

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

3. A largo plazo en el contacto entre la cimentación del cajón y la banqueta.

La banqueta al ser de escollera no tiene parámetros de comportamiento a corto plazo, por lo que no se ha considerado.

La formulación de Brinch-Hansen se explica en la sección 16 y es común a los tres casos anteriores siendo las variaciones entre ellos:

- Los parámetros de suelo que se aplican a cada uno de los casos anteriormente descritos son:

Parámetros del terreno	Banqueta (largo plazo)	Terreno natural (largo plazo)	Terreno natural (corto plazo)
Ang. rozamiento interno	$\phi_b = 42,00$	$\phi_{tn} = 30,00$	$\phi_{tb}^* = 30,00$
Cohesión	$c_b = 0,00$	$c_{tn} = 0,00$	$c_{tn}^* = 0,00$
Densidad sumergida	$\gamma'_b = 1,10$	$\gamma'_{tn} = 1,10$	

Tabla 1.10: Parámetros de los suelos de cimentación

- Las tensiones de comparación actuantes, tanto en la banqueta de cimentación como sobre el terreno natural se calculan mediante las fórmulas dadas en la sección 11.
- La inclinación de la carga aplicada sobre la banqueta es $\tan(\delta) = \frac{H}{V}$, siendo H y V las resultantes de esfuerzos horizontales y verticales transmitidas por la estructura de gravedad al terreno de cimentación, mientras que la transmisión a través de la banqueta de esos esfuerzos tiende a disipar la componente horizontal (H) que se pierde en rozamientos de los elementos de escollera que forman la banqueta. Dada la dificultad para evaluar este fenómeno se ha optado por aplicar un coeficiente F_δ que expresa el porcentaje (en tanto por uno) de conservación de la inclinación en su paso a través de la banqueta. El valor de $F_\delta = 1$ (100%) representa un valor conservador en el cálculo, sobre todo cuanto mayor es el espesor de banqueta.

Además del efecto anterior, al sumarse la componente vertical (q') del peso de la banqueta, también se disminuye el coeficiente de inclinación en un valor:

$$\tan'(\delta) = \frac{H}{V + q'} = \frac{F_\delta \tan \delta}{1 + \frac{q'}{V}} \quad (1.13)$$

Por lo tanto los esfuerzos equivalentes actuantes sobre el terreno natural son:

$$V'' = \sigma''_{com} b'' \quad (1.14)$$

$$H'' = V'' \tan''(\delta) \quad (1.15)$$

- Existe diferencia entre el espesor del terreno actuante sobre la cuña de deformación, situado por encima de la cota de separación de los terrenos, y que se considera como una sobrecarga

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

favorable. Este espesor es generalmente mayor en el contacto de la banqueta con el terreno natural.

Conocidas las diferencias entre los parámetros de entrada y las tensiones y esfuerzos actuantes en el contacto de la estructura de gravedad y la banqueta de cimentación y de ésta con el terreno natural, el paso siguiente es aplicar la formulación de Brinch-Hansen.

16. Formulación de Brinch-Hansen para hundimiento

Dadas las combinaciones de cargas obtenidas en apartados anteriores, se requieren para la resolución del vuelco las siguientes variables:

De las combinaciones calculadas:

V	Componente vertical de la fuerza actuante	(t)
H	Componente horizontal de la fuerza actuante	(t)
M_e	Momento estabilizador	(m · t)
M_v	Momento volcador	(m · t)

Se requieren además:

Φ	Angulo de rozamiento del terreno	(°)
c	Cohesión del terreno	(t/m ²)
γ'	Peso específico sumergido del terreno	(t/m ³)

El valor de estos parámetros variará según se trate de la banqueta, o el terreno de cimentación, a largo o corto plazo.

Las hipótesis realizadas en el cálculo actual son:

- El contacto entre estructura y banqueta o banqueta y terreno natural es una superficie horizontal indefinida.

La formulación utilizada es la siguiente:

Coefficientes de capacidad de carga (Tabla 3.5.2)

$$N_q = \begin{cases} 1 & \text{Si } \Phi = 0 \\ \frac{1+\text{sen}\Phi}{1-\text{sen}\Phi} \exp^{\pi \tan \Phi} & \text{Si } \Phi \neq 0 \end{cases} \quad (1.16)$$

$$N_c = \begin{cases} \pi + 2 & \text{Si } \Phi = 0 \\ \frac{N_q - 1}{\tan \Phi} & \text{Si } \Phi \neq 0 \end{cases} \quad (1.17)$$

$$N_\gamma = \begin{cases} 0 & \text{Si } \Phi = 0 \\ \frac{3}{2} (N_q - 1) \tan \Phi & \text{Si } \Phi \neq 0 \end{cases} \quad (1.18)$$

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

Los coeficientes de capacidad de carga son comunes a todas las combinaciones estudiados al no depender de los esfuerzos transmitidos por la estructura al terreno de cimentación, no así los coeficientes de forma o los de inclinación de la carga que vienen dados por:

Coeficientes de forma (Tabla 3.5.3 de la ROM 0.5-94)

$$s_q = 1 + \frac{b''}{L^*} \quad (1.19)$$

$$s_c = S_q \quad (1.20)$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4 \frac{b''}{L^*} \quad (1.21)$$

siendo $L^* = 900,00$ la longitud de la cimentación en la dirección paralela a la línea de cantil.

Si existe cohesión en el terreno sobre el que actúan las tensiones, el valor de la inclinación de la carga puede disminuirse mediante:

$$\tan \delta^* = \frac{\tan \delta}{1 + \frac{b''c}{V \tan(\delta)}} \quad (1.22)$$

Esta fórmula puede parecer que difiere de la dada en la Tabla 3.5.4 pero es idéntica ya que la componente vertical de la carga (V) considerada en este cálculo es por metro lineal de estructura, mientras que en la ROM el valor de V_{ROM} es el transmitido por la totalidad de la estructura de longitud L^* . La relación entre ambas sería $V_{ROM} = VL^*$

Coeficientes de inclinación:

$$i_q = (1 - 0,7 \tan \delta^*)^3 \quad (1.23)$$

$$i_c = \begin{cases} 0,5 \left(1 + \sqrt{1 - \frac{H}{b''L^*c}} \right) & \text{Si } \Phi = 0 \\ \frac{i_q N_q - 1}{N_q - 1} & \text{Si } \Phi \neq 0 \end{cases} \quad (1.24)$$

$$i_\gamma = (1 - \tan \delta^*)^3 \quad (1.25)$$

Finalmente el coeficiente de seguridad se obtiene aplicando:

$$P_{v,h} = C_{SH} \sigma_{com} \quad (1.26)$$

siendo,

$P_{v,h}$	Componente vertical de la presión que produce hundimiento	(t/m^2)
σ_{com}	Tensión de comparación transmitida al terreno	(t/m^2)

con $P_{v,h}$ obtenido de la fórmula de Brinch-Hansen:

$$P_{v,h} = q N_q s_q i_q + c N_c s_c i_c + \frac{1}{2} \gamma b'' N_\gamma s_\gamma i_\gamma \quad (1.27)$$

siendo,

Prolongación del Muelle de la Dársena Norte

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

q Sobrecarga a la cota del plano horizontal de hundimiento que hay que (t/m^2) movilizar en la zona de pasivos

En el cálculo del hundimiento de la banqueta el coeficiente de seguridad es la misma combinación de cargas que en el caso anterior, pero en la obtención de este coeficiente de seguridad solo se consideran los términos de subíndice γ de la ecuación de Brinch-Hansen.

17. Combinaciones de vuelco hacia el lado mar

A continuación se detallan las cargas y los coeficientes de combinación de cada una de la hipótesis, aplicada a los tres niveles de marea establecidos.

Los valores de las tensiones y de cada uno de los coeficientes de seguridad se han obtenido mediante la formulación desarrollada en las secciones 11 a la 15.

Los esfuerzos en el punto de vuelco situado bajo la zapata mar se determinan a partir de los esfuerzos de cada una de las cargas, expresadas en ese mismo punto mediante:

$$\begin{aligned}
 V &= \sum_{i=1}^N V_i C_i \\
 H &= \sum_{i=1}^N H_i C_i \\
 M_e &= \sum_{i=1}^N M_{e_i} C_i = \sum_{i=1}^N V_i d_{h_i} C_i \\
 M_v &= \sum_{i=1}^N M_{v_i} C_i = \sum_{i=1}^N H_i d_{v_i} C_i
 \end{aligned} \tag{1.28}$$

siendo

V	Sumatorio de las fuerzas verticales en la combinación	(t)
H	Sumatorio de las fuerzas horizontales en la combinación	(t)
M_e	Sumatorio de los momentos estabilizadores en la combinación	(m · t)
M_v	Sumatorio de los momentos volcadores en la combinación	(m · t)
N	Número de estados de carga	(-)
V_i	Fuerza vertical de la carga i	(t)
H_i	Fuerza horizontal de la carga i	(t)
M_{e_i}	Momentos estabilizador de la carga i	(m · t)
M_{v_i}	Momentos volcador de la carga i	(m · t)
C_i	Coefficiente de combinación de la carga i	(-)
d_{h_i}	Distancia horizontal del punto de vuelco a la carga i	(m)
d_{v_i}	Distancia vertical del punto de vuelco a la carga i	(m)

Prolongación del Muelle de la Dársena Norte

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

17.1. Hipótesis de combinación 1

Los coeficientes de combinación utilizados en esta hipótesis pueden consultarse en la tabla 1.11

Hipótesis de carga	Coef ψ
C. permanentes de estructura + rellenos interiores de celdas	1.00
Cargas hidráulicas estáticas	1.00
Cargas permanentes de la superestructura	1.00
Empuje de tierras en trasdós	1.00
Sc estac. y almacenamiento. Area almacenamiento en trasdós	1.00
Tren de rodadura no restringida. Tren tipo B2. Caso 1	0.70
Cargas de amarre	0.70

Tabla 1.11: Coeficientes de combinación de la hipótesis 1

Las acciones resultantes, en el extremo de la zapata del lado mar, para cada uno de los niveles de marea, y las tensiones máxima y mínima transmitidas por la estructura a la cimentación, así como la tensión de comparación para hundimiento junto con el ancho efectivo donde se aplica, pueden consultarse en la tabla 1.12

Nivel de marea	V	H	M_e	M_v	σ_{max}	σ_{min}	σ_{comp}	b'
Bajamar	259.04	67.04	1480.41	567.08	0.00	36.74	48.98	7.05
Pleamar	254.27	60.43	1456.13	513.14	0.01	34.28	45.71	7.42
Otro nivel	256.66	63.77	1468.27	540.76	0.00	35.51	47.35	7.23

Tabla 1.12: Esfuerzos resultantes de la hipótesis de combinación 1

Los coeficientes de seguridad resultantes en la hipótesis 1 pueden consultarse en la tabla 1.13

Nivel de marea	Deslizamiento	Vuelco		Hundimiento		
	C_{sd}	ROM 0.5-94 C_{vp}	Tradicional C_v	A corto C_{Hc}	A largo C_{Hl}	Banqueta C_b
Bajamar	2.70	1.59	2.61	4.54	4.54	4.88
Pleamar	2.95	1.73	2.84	5.07	5.07	5.99
Otro nivel	2.82	1.65	2.72	4.80	4.80	5.40

Tabla 1.13: Coeficientes de seguridad de la hipótesis de combinación 1

Prolongación del Muelle de la Dársena Norte

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

17.2. Hipótesis de combinación 2

Los coeficientes de combinación utilizados en esta hipótesis pueden consultarse en la tabla 1.14

Hipótesis de carga	Coef ψ
C. permanentes de estructura + rellenos interiores de celdas	1.00
Cargas hidráulicas estáticas	1.00
Cargas permanentes de la superestructura	1.00
Empuje de tierras en trasdós	1.00
Sc estac. y almacenamiento. Area almacenamiento en trasdós	0.70
Tren de rodadura no restringida. Tren tipo B2. Caso 1	1.00
Cargas de amarre	0.70

Tabla 1.14: Coeficientes de combinación de la hipótesis 2

Las acciones resultantes, en el extremo de la zapata del lado mar, para cada uno de los niveles de marea, y las tensiones máxima y mínima transmitidas por la estructura a la cimentación, así como la tensión de comparación para hundimiento junto con el ancho efectivo donde se aplica, pueden consultarse en la tabla 1.15

Nivel de marea	V	H	M_e	M_v	σ_{max}	σ_{min}	σ_{comp}	b'
Bajamar	259.76	70.55	1488.39	626.15	0.00	39.13	52.17	6.64
Pleamar	254.99	63.93	1464.10	572.21	0.00	36.45	48.60	7.00
Otro nivel	257.38	67.28	1476.25	599.83	0.00	37.79	50.39	6.81

Tabla 1.15: Esfuerzos resultantes de la hipótesis de combinación 2

Los coeficientes de seguridad resultantes en la hipótesis 2 pueden consultarse en la tabla 1.16

Nivel de marea	Deslizamiento	Vuelco		Hundimiento		
	C_{sd}	ROM 0.5-94 C_{vp}	Tradicional C_v	A corto C_{Hc}	A largo C_{Hl}	Banqueta C_b
Bajamar	2.58	1.47	2.38	4.21	4.21	4.10
Pleamar	2.79	1.59	2.56	4.69	4.69	5.04
Otro nivel	2.68	1.53	2.46	4.44	4.44	4.54

Tabla 1.16: Coeficientes de seguridad de la hipótesis de combinación 2

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

17.3. Hipótesis de combinación 3

Los coeficientes de combinación utilizados en esta hipótesis pueden consultarse en la tabla 1.17

Hipótesis de carga	Coef ψ
C. permanentes de estructura + rellenos interiores de celdas	1.00
Cargas hidráulicas estáticas	1.00
Cargas permanentes de la superestructura	1.00
Empuje de tierras en trasdós	1.00
Sc estac. y almacenamiento. Area almacenamiento en trasdós	1.00
Sobrecarga compatible en estructura	0.70
Tren de rodadura no restringida. Tren tipo B2. Caso 1	0.70
Cargas de amarre	0.70

Tabla 1.17: Coeficientes de combinación de la hipótesis 3

Las acciones resultantes, en el extremo de la zapata del lado mar, para cada uno de los niveles de marea, y las tensiones máxima y mínima transmitidas por la estructura a la cimentación, así como la tensión de comparación para hundimiento junto con el ancho efectivo donde se aplica, pueden consultarse en la tabla 1.18

Nivel de marea	V	H	M_e	M_v	σ_{max}	σ_{min}	σ_{comp}	b'
Bajamar	267.00	67.04	1523.69	567.08	0.00	37.26	49.68	7.17
Pleamar	262.23	60.43	1499.40	513.14	0.68	34.86	46.47	7.52
Otro nivel	264.62	63.77	1511.55	540.76	0.00	36.07	48.09	7.34

Tabla 1.18: Esfuerzos resultantes de la hipótesis de combinación 3

Los coeficientes de seguridad resultantes en la hipótesis 3 pueden consultarse en la tabla 1.19

Nivel de marea	Deslizamiento	Vuelco		Hundimiento		
	C_{sd}	ROM 0.5-94 C_{vp}	Tradicional C_v	A corto C_{Hc}	A largo C_{Hl}	Banqueta C_b
Bajamar	2.79	1.62	2.69	4.60	4.60	5.05
Pleamar	3.04	1.77	2.92	5.12	5.12	6.14
Otro nivel	2.90	1.69	2.80	4.84	4.84	5.56

Tabla 1.19: Coeficientes de seguridad de la hipótesis de combinación 3

Prolongación del Muelle de la Dársena Norte

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

17.4. Hipótesis de combinación 4

Los coeficientes de combinación utilizados en esta hipótesis pueden consultarse en la tabla 1.20

Hipótesis de carga	Coef ψ
C. permanentes de estructura + rellenos interiores de celdas	1.00
Cargas hidráulicas estáticas	1.00
Cargas permanentes de la superestructura	1.00
Empuje de tierras en trasdós	1.00
Sc estac. y almacenamiento. Area almacenamiento en trasdós	1.00
Tren de rodadura no restringida. Tren tipo B2. Caso 2	0.70
Cargas de amarre	0.70

Tabla 1.20: Coeficientes de combinación de la hipótesis 4

Las acciones resultantes, en el extremo de la zapata del lado mar, para cada uno de los niveles de marea, y las tensiones máxima y mínima transmitidas por la estructura a la cimentación, así como la tensión de comparación para hundimiento junto con el ancho efectivo donde se aplica, pueden consultarse en la tabla 1.21

Nivel de marea	V	H	M_e	M_v	σ_{max}	σ_{min}	σ_{comp}	b'
Bajamar	259.87	71.07	1489.57	604.59	0.00	38.15	50.87	6.81
Pleamar	255.10	64.45	1465.28	550.65	0.00	35.57	47.43	7.17
Otro nivel	257.48	67.80	1477.43	578.27	0.00	36.87	49.15	6.98

Tabla 1.21: Esfuerzos resultantes de la hipótesis de combinación 4

Los coeficientes de seguridad resultantes en la hipótesis 4 pueden consultarse en la tabla 1.22

Nivel de marea	Deslizamiento	Vuelco		Hundimiento		
	C_{sd}	ROM 0.5-94 C_{vp}	Tradicional C_v	A corto C_{Hc}	A largo C_{Hl}	Banqueta C_b
Bajamar	2.56	1.50	2.46	4.24	4.24	4.28
Pleamar	2.77	1.63	2.66	4.73	4.73	5.26
Otro nivel	2.66	1.56	2.55	4.47	4.47	4.73

Tabla 1.22: Coeficientes de seguridad de la hipótesis de combinación 4

Prolongación del Muelle de la Dársena Norte

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

17.5. Hipótesis de combinación 5

Los coeficientes de combinación utilizados en esta hipótesis pueden consultarse en la tabla 1.23

Hipótesis de carga	Coef ψ
C. permanentes de estructura + rellenos interiores de celdas	1.00
Cargas hidráulicas estáticas	1.00
Cargas permanentes de la superestructura	1.00
Empuje de tierras en trasdós	1.00
Sc estac. y almacenamiento. Area almacenamiento en trasdós	0.70
Tren de rodadura no restringida. Tren tipo B2. Caso 2	1.00
Cargas de amarre	0.70

Tabla 1.23: Coeficientes de combinación de la hipótesis 5

Las acciones resultantes, en el extremo de la zapata del lado mar, para cada uno de los niveles de marea, y las tensiones máxima y mínima transmitidas por la estructura a la cimentación, así como la tensión de comparación para hundimiento junto con el ancho efectivo donde se aplica, pueden consultarse en la tabla 1.24

Nivel de marea	V	H	M_e	M_v	σ_{max}	σ_{min}	σ_{comp}	b'
Bajamar	260.94	76.30	1501.47	679.73	0.00	41.43	55.24	6.30
Pleamar	256.17	69.69	1477.18	625.79	0.00	38.54	51.38	6.65
Otro nivel	258.55	73.03	1489.33	653.41	0.00	39.99	53.31	6.47

Tabla 1.24: Esfuerzos resultantes de la hipótesis de combinación 5

Los coeficientes de seguridad resultantes en la hipótesis 5 pueden consultarse en la tabla 1.25

Nivel de marea	Deslizamiento	Vuelco		Hundimiento		
	C_{sd}	ROM 0.5-94 C_{vp}	Tradicional C_v	A corto C_{Hc}	A largo C_{Hl}	Banqueta C_b
Bajamar	2.39	1.37	2.21	3.81	3.81	3.37
Pleamar	2.57	1.47	2.36	4.25	4.25	4.16
Otro nivel	2.48	1.42	2.28	4.02	4.02	3.73

Tabla 1.25: Coeficientes de seguridad de la hipótesis de combinación 5

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

17.6. Hipótesis de combinación 6

Los coeficientes de combinación utilizados en esta hipótesis pueden consultarse en la tabla 1.26

Hipótesis de carga	Coef ψ
C. permanentes de estructura + rellenos interiores de celdas	1.00
Cargas hidráulicas estáticas	1.00
Cargas permanentes de la superestructura	1.00
Empuje de tierras en trasdós	1.00
Sc estac. y almacenamiento. Area almacenamiento en trasdós	1.00
Sobrecarga compatible en estructura	0.70
Tren de rodadura no restringida. Tren tipo B2. Caso 2	0.70
Cargas de amarre	0.70

Tabla 1.26: Coeficientes de combinación de la hipótesis 6

Las acciones resultantes, en el extremo de la zapata del lado mar, para cada uno de los niveles de marea, y las tensiones máxima y mínima transmitidas por la estructura a la cimentación, así como la tensión de comparación para hundimiento junto con el ancho efectivo donde se aplica, pueden consultarse en la tabla 1.27

Nivel de marea	V	H	M_e	M_v	σ_{max}	σ_{min}	σ_{comp}	b'
Bajamar	267.83	71.07	1532.85	604.59	0.00	38.64	51.52	6.93
Pleamar	263.06	64.45	1508.56	550.65	0.00	36.12	48.16	7.28
Otro nivel	265.44	67.80	1520.70	578.27	0.00	37.38	49.84	7.10

Tabla 1.27: Esfuerzos resultantes de la hipótesis de combinación 6

Los coeficientes de seguridad resultantes en la hipótesis 6 pueden consultarse en la tabla 1.28

Nivel de marea	Deslizamiento	Vuelco		Hundimiento		
	C_{sd}	ROM 0.5-94 C_{vp}	Tradicional C_v	A corto C_{Hc}	A largo C_{Hl}	Banqueta C_b
Bajamar	2.64	1.53	2.54	4.30	4.30	4.44
Pleamar	2.86	1.67	2.74	4.78	4.78	5.42
Otro nivel	2.74	1.59	2.63	4.53	4.53	4.90

Tabla 1.28: Coeficientes de seguridad de la hipótesis de combinación 6

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

17.7. Hipótesis de combinación 7

Los coeficientes de combinación utilizados en esta hipótesis pueden consultarse en la tabla 1.29

Hipótesis de carga	Coef ψ
C. permanentes de estructura + rellenos interiores de celdas	1.00
Cargas hidráulicas estáticas	1.00
Cargas permanentes de la superestructura	1.00
Empuje de tierras en trasdós	1.00
Tren de rodadura restringida. Grúa sobre carriles. Tren tipo A	0.70
Sc estac. y almacenamiento Area operación en trasdós	1.00
Sc estac. y almacenamiento. Area almacenamiento en trasdós	0.70
Cargas de amarre	0.70

Tabla 1.29: Coeficientes de combinación de la hipótesis 7

Las acciones resultantes, en el extremo de la zapata del lado mar, para cada uno de los niveles de marea, y las tensiones máxima y mínima transmitidas por la estructura a la cimentación, así como la tensión de comparación para hundimiento junto con el ancho efectivo donde se aplica, pueden consultarse en la tabla 1.30

Nivel de marea	V	H	M_e	M_v	σ_{max}	σ_{min}	σ_{comp}	b'
Bajamar	272.47	73.34	1529.85	556.85	0.00	38.15	50.87	7.14
Pleamar	267.70	66.72	1505.56	502.91	0.49	35.74	47.65	7.49
Otro nivel	270.09	70.07	1517.71	530.53	0.00	36.95	49.26	7.31

Tabla 1.30: Esfuerzos resultantes de la hipótesis de combinación 7

Los coeficientes de seguridad resultantes en la hipótesis 7 pueden consultarse en la tabla 1.31

Nivel de marea	Deslizamiento	Vuelco		Hundimiento		
	C_{sd}	ROM 0.5-94 C_{vp}	Tradicional C_v	A corto C_{Hc}	A largo C_{Hl}	Banqueta C_b
Bajamar	2.60	1.58	2.75	4.27	4.27	4.57
Pleamar	2.81	1.72	2.99	4.74	4.74	5.54
Otro nivel	2.70	1.64	2.86	4.49	4.49	5.02

Tabla 1.31: Coeficientes de seguridad de la hipótesis de combinación 7

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

17.8. Hipótesis de combinación 8

Los coeficientes de combinación utilizados en esta hipótesis pueden consultarse en la tabla 1.32

Hipótesis de carga	Coef ψ
C. permanentes de estructura + rellenos interiores de celdas	1.00
Cargas hidráulicas estáticas	1.00
Cargas permanentes de la superestructura	1.00
Empuje de tierras en trasdós	1.00
Tren de rodadura restringida. Grúa sobre carriles. Tren tipo A	0.70
Sc estac. y almacenamiento Area operación en trasdós	0.70
Sc estac. y almacenamiento. Area almacenamiento en trasdós	1.00
Cargas de amarre	0.70

Tabla 1.32: Coeficientes de combinación de la hipótesis 8

Las acciones resultantes, en el extremo de la zapata del lado mar, para cada uno de los niveles de marea, y las tensiones máxima y mínima transmitidas por la estructura a la cimentación, así como la tensión de comparación para hundimiento junto con el ancho efectivo donde se aplica, pueden consultarse en la tabla 1.33

Nivel de marea	V	H	M_e	M_v	σ_{max}	σ_{min}	σ_{comp}	b'
Bajamar	271.80	70.32	1522.41	524.52	0.00	37.02	49.36	7.34
Pleamar	267.04	63.70	1498.12	470.58	1.82	34.70	46.20	7.70
Otro nivel	269.42	67.05	1510.27	498.20	0.64	35.86	47.81	7.51

Tabla 1.33: Esfuerzos resultantes de la hipótesis de combinación 8

Los coeficientes de seguridad resultantes en la hipótesis 8 pueden consultarse en la tabla 1.34

Nivel de marea	Deslizamiento	Vuelco		Hundimiento		
	C_{sd}	ROM 0.5-94 C_{vp}	Tradicional C_v	A corto C_{Hc}	A largo C_{Hl}	Banqueta C_b
Bajamar	2.71	1.65	2.90	4.49	4.49	5.05
Pleamar	2.93	1.81	3.18	4.99	4.99	6.12
Otro nivel	2.81	1.73	3.03	4.73	4.73	5.55

Tabla 1.34: Coeficientes de seguridad de la hipótesis de combinación 8

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

17.9. Hipótesis de combinación 9

Los coeficientes de combinación utilizados en esta hipótesis pueden consultarse en la tabla 1.35

Hipótesis de carga	Coef ψ
C. permanentes de estructura + rellenos interiores de celdas	1.00
Cargas hidráulicas estáticas	1.00
Cargas permanentes de la superestructura	1.00
Empuje de tierras en trasdós	1.00
Tren de rodadura restringida. Grúa sobre carriles. Tren tipo A	1.00
Sc estac. y almacenamiento Area operación en trasdós	0.70
Sc estac. y almacenamiento. Area almacenamiento en trasdós	0.70
Cargas de amarre	0.70

Tabla 1.35: Coeficientes de combinación de la hipótesis 9

Las acciones resultantes, en el extremo de la zapata del lado mar, para cada uno de los niveles de marea, y las tensiones máxima y mínima transmitidas por la estructura a la cimentación, así como la tensión de comparación para hundimiento junto con el ancho efectivo donde se aplica, pueden consultarse en la tabla 1.36

Nivel de marea	V	H	M_e	M_v	σ_{max}	σ_{min}	σ_{comp}	b'
Bajamar	277.18	71.56	1539.35	531.45	0.00	38.11	50.82	7.27
Pleamar	272.41	64.94	1515.06	477.51	1.34	35.76	47.65	7.62
Otro nivel	274.79	68.29	1527.21	505.13	0.16	36.94	49.25	7.44

Tabla 1.36: Esfuerzos resultantes de la hipótesis de combinación 9

Los coeficientes de seguridad resultantes en la hipótesis 9 pueden consultarse en la tabla 1.37

Nivel de marea	Deslizamiento	Vuelco		Hundimiento		
	C_{sd}	ROM 0.5-94 C_{vp}	Tradicional C_v	A corto C_{Hc}	A largo C_{Hl}	Banqueta C_b
Bajamar	2.71	1.64	2.90	4.41	4.41	4.87
Pleamar	2.94	1.80	3.17	4.89	4.89	5.88
Otro nivel	2.82	1.71	3.02	4.64	4.64	5.34

Tabla 1.37: Coeficientes de seguridad de la hipótesis de combinación 9

Prolongación del Muelle de la Dársena Norte

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

17.10. Hipótesis de combinación 10

Los coeficientes de combinación utilizados en esta hipótesis pueden consultarse en la tabla 1.38

Hipótesis de carga	Coef ψ
C. permanentes de estructura + rellenos interiores de celdas	1.00
Cargas hidráulicas estáticas	1.00
Cargas permanentes de la superestructura	1.00
Empuje de tierras en trasdós	1.00
Tren de rodadura restringida. Grúa sobre carriles. Tren tipo A	0.70
Sc estac. y almacenamiento. Area operación en estructura	1.00
Sc estac. y almacenamiento. Area almacenamiento en estructura	1.00
Sc estac. y almacenamiento Area operación en trasdós	1.00
Sc estac. y almacenamiento. Area almacenamiento en trasdós	0.70
Cargas de amarre	0.70

Tabla 1.38: Coeficientes de combinación de la hipótesis 10

Las acciones resultantes, en el extremo de la zapata del lado mar, para cada uno de los niveles de marea, y las tensiones máxima y mínima transmitidas por la estructura a la cimentación, así como la tensión de comparación para hundimiento junto con el ancho efectivo donde se aplica, pueden consultarse en la tabla 1.39

Nivel de marea	V	H	M_e	M_v	σ_{max}	σ_{min}	σ_{comp}	b'
Bajamar	306.59	73.34	1715.31	556.85	1.06	40.57	54.07	7.56
Pleamar	301.82	66.72	1691.02	502.91	3.35	38.34	50.92	7.87
Otro nivel	304.20	70.07	1703.17	530.53	2.18	39.46	52.53	7.71

Tabla 1.39: Esfuerzos resultantes de la hipótesis de combinación 10

Los coeficientes de seguridad resultantes en la hipótesis 10 pueden consultarse en la tabla 1.40

Nivel de marea	Deslizamiento	Vuelco		Hundimiento		
	C_{sd}	ROM 0.5-94 C_{vp}	Tradicional C_v	A corto C_{Hc}	A largo C_{Hl}	Banqueta C_b
Bajamar	2.93	1.73	3.08	4.44	4.44	5.12
Pleamar	3.17	1.88	3.36	4.88	4.88	6.06
Otro nivel	3.04	1.80	3.21	4.65	4.65	5.56

Tabla 1.40: Coeficientes de seguridad de la hipótesis de combinación 10

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

17.11. Hipótesis de combinación 11

Los coeficientes de combinación utilizados en esta hipótesis pueden consultarse en la tabla 1.41

Hipótesis de carga	Coef ψ
C. permanentes de estructura + rellenos interiores de celdas	1.00
Cargas hidráulicas estáticas	1.00
Cargas permanentes de la superestructura	1.00
Empuje de tierras en trasdós	1.00
Tren de rodadura restringida. Grúa sobre carriles. Tren tipo A	0.70
Sc estac. y almacenamiento. Area operación en estructura	0.70
Sc estac. y almacenamiento. Area almacenamiento en estructura	0.70
Sc estac. y almacenamiento Area operación en trasdós	0.70
Sc estac. y almacenamiento. Area almacenamiento en trasdós	1.00
Cargas de amarre	0.70

Tabla 1.41: Coeficientes de combinación de la hipótesis 11

Las acciones resultantes, en el extremo de la zapata del lado mar, para cada uno de los niveles de marea, y las tensiones máxima y mínima transmitidas por la estructura a la cimentación, así como la tensión de comparación para hundimiento junto con el ancho efectivo donde se aplica, pueden consultarse en la tabla 1.42

Nivel de marea	V	H	M_e	M_v	σ_{max}	σ_{min}	σ_{comp}	b'
Bajamar	295.68	70.32	1652.23	524.52	1.53	38.76	51.64	7.63
Pleamar	290.92	63.70	1627.94	470.58	3.82	36.56	48.49	7.96
Otro nivel	293.30	67.05	1640.09	498.20	2.64	37.67	50.10	7.79

Tabla 1.42: Esfuerzos resultantes de la hipótesis de combinación 11

Los coeficientes de seguridad resultantes en la hipótesis 11 pueden consultarse en la tabla 1.43

Nivel de marea	Deslizamiento	Vuelco		Hundimiento		
	C_{sd}	ROM 0.5-94 C_{vp}	Tradicional C_v	A corto C_{Hc}	A largo C_{Hl}	Banqueta C_b
Bajamar	2.94	1.76	3.15	4.61	4.61	5.44
Pleamar	3.20	1.94	3.46	5.08	5.08	6.48
Otro nivel	3.06	1.84	3.29	4.84	4.84	5.93

Tabla 1.43: Coeficientes de seguridad de la hipótesis de combinación 11

Prolongación del Muelle de la Dársena Norte

Referencia cálculo: Cajón de celdas circulares de 3.50 m de diámetro

Referencia cálculo: Ejemplo de clase. Curso 2004-2005

UPM

17.12. Hipótesis de combinación 12

Los coeficientes de combinación utilizados en esta hipótesis pueden consultarse en la tabla 1.44

Hipótesis de carga	Coef ψ
C. permanentes de estructura + rellenos interiores de celdas	1.00
Cargas hidráulicas estáticas	1.00
Cargas permanentes de la superestructura	1.00
Empuje de tierras en trasdós	1.00
Tren de rodadura restringida. Grúa sobre carriles. Tren tipo A	1.00
Sc estac. y almacenamiento. Area operación en estructura	0.70
Sc estac. y almacenamiento. Area almacenamiento en estructura	0.70
Sc estac. y almacenamiento Area operación en trasdós	0.70
Sc estac. y almacenamiento. Area almacenamiento en trasdós	0.70
Cargas de amarre	0.70

Tabla 1.44: Coeficientes de combinación de la hipótesis 12

Las acciones resultantes, en el extremo de la zapata del lado mar, para cada uno de los niveles de marea, y las tensiones máxima y mínima transmitidas por la estructura a la cimentación, así como la tensión de comparación para hundimiento junto con el ancho efectivo donde se aplica, pueden consultarse en la tabla 1.45

Nivel de marea	V	H	M_e	M_v	σ_{max}	σ_{min}	σ_{comp}	b'
Bajamar	301.06	71.56	1669.17	531.45	1.05	39.83	53.09	7.56
Pleamar	296.29	64.94	1644.88	477.51	3.34	37.60	49.94	7.88
Otro nivel	298.67	68.29	1657.02	505.13	2.16	38.72	51.55	7.71

Tabla 1.45: Esfuerzos resultantes de la hipótesis de combinación 12

Los coeficientes de seguridad resultantes en la hipótesis 12 pueden consultarse en la tabla 1.46

Nivel de marea	Deslizamiento	Vuelco		Hundimiento		
	C_{sd}	ROM 0.5-94 C_{vp}	Tradicional C_v	A corto C_{Hc}	A largo C_{Hl}	Banqueta C_b
Bajamar	2.94	1.75	3.14	4.52	4.52	5.25
Pleamar	3.19	1.92	3.44	4.98	4.98	6.23
Otro nivel	3.06	1.83	3.28	4.74	4.74	5.71

Tabla 1.46: Coeficientes de seguridad de la hipótesis de combinación 12