

PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE GRANDES MUELLES DE ATRAQUE

AUTORES

Juan M. Fernández, ICCP. *Jefe Control Ejecución, Ampliación del Puerto de Gijón. TYP SA*

Juan R. Acinas, ICCP. *Profesor de Puertos y Costas, GPC. ETSICCP, Universidade da Coruña*

David Moral Espin, ITM. *Departamento de Control de Obra, Ampliación del Puerto de Gijón. TYP SA*

RESUMEN

El artículo propuesto describe el proyecto, las acciones, las variables de diseño, las funciones, las tipologías y los métodos constructivos de muelles de atraque de grandes buques. Todo lo anterior, además, se ejemplariza a través del proyecto y construcción de la terminal de graneles sólidos del nuevo puerto de Gijón y se presta atención especial a la viga cantil de dicho muelle.



La ampliación del Puerto de Gijón consiste en un nuevo dique de abrigo mixto con una longitud total de 3.834 m en profundidades de hasta 30 m. Infraestructura que albergará, entre otras, una nueva terminal de graneles sólidos, con una capacidad de descarga de 25 millones de toneladas año y una superficie de 60 Ha destinada al almacenamiento de mineral de hierro y carbón. Permite el atraque simultaneo de tres bulkcarriers de 325 m de eslora, 230.000 TPM y 20 m de calado en 145 Ha de aguas abrigadas a lo largo de una línea de atraque de 1.350 m de longitud.

Se detalla el diseño y el procedimiento constructivo del muelle de atraque de la terminal, exponiendo los problemas de ejecución y las medidas correctoras empleadas. Finalmente se realizan recomendaciones generales para el diseño y construcción de los muelles de atraque de grandes terminales portuarias.

1. Introducción

El Sistema Portuario Español está formado por 45 puertos comerciales gestionados por 29 Autoridades Portuarias, actuando el Organismo Público Puertos del Estado como ente de coordinación general del sistema. Durante el año 2008 el Sistema Portuario de Titularidad Estatal ha movido 473,8 millones de toneladas, repartidas de acuerdo con el siguiente cuadro.

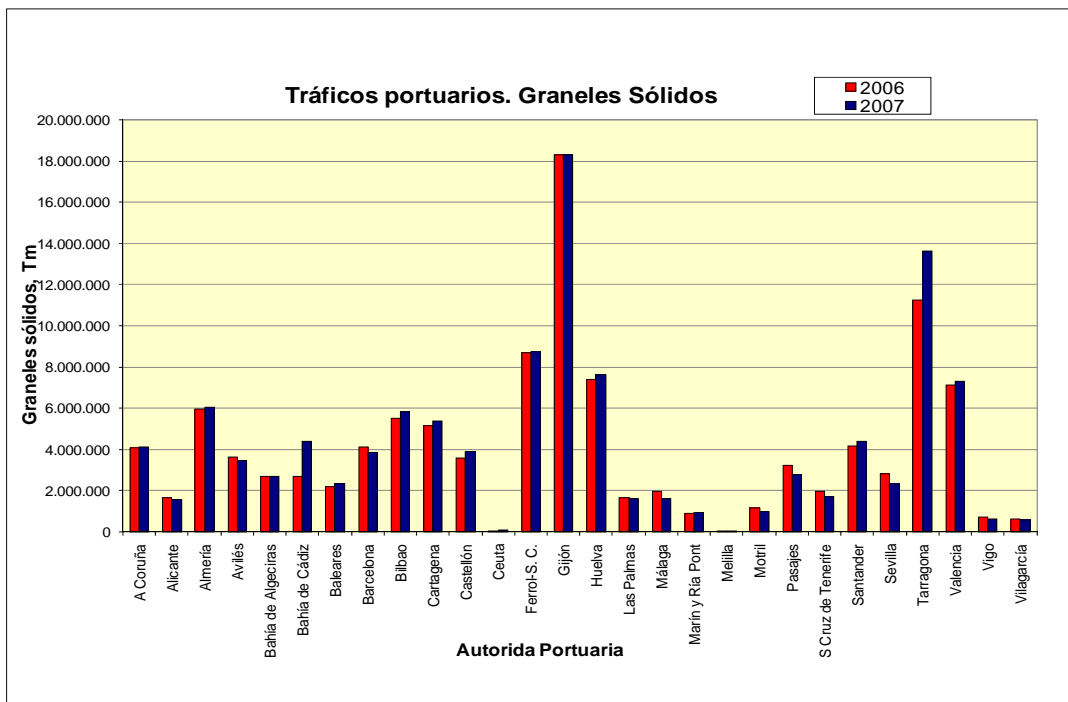
CONCEPTO			VARIACIÓN			
			2008	2007	DIFERENCIA	%
Mercancías según su presentación	Graneles líquidos	P. Petrolíferos	119.809.859	120.123.307	-313.448	-0,26
		Otros líquidos	34.154.241	30.287.770	3.866.471	12,77
		TOTAL	153.964.100	150.411.077	3.553.023	2,36
	Graneles sólidos		101.352.636	116.860.986	-15.508.350	-13,27
	Mercancía general	Convencional	58.333.296	61.357.446	-3.024.150	-4,93
		En contenedores	145.403.135	139.349.731	6.053.404	4,34
		TOTAL	203.736.431	200.707.177	3.029.254	1,51
TOTAL		459.053.167	467.979.240	-8.926.073	-1,91	
Otras mercancías	Pesca capturada		215.039	229.842	-14.803	-6,44
	Avituallamiento	P. Petrolíferos	7.594.991	7.656.294	-61.303	-0,80
		Resto	3.233.552	3.296.432	-62.880	-1,91
		TOTAL	10.828.543	10.952.726	-124.183	-1,13
	Tráfico interior		3.725.369	3.975.407	-250.038	-6,29
TOTAL		14.768.951	15.157.975	-389.024	-2,57	
TOTAL TRÁFICO PORTUARIO		473.822.118	483.137.215	-9.315.097	-4,93	
Otros datos	Nº de contenedores (miles de TEUS)		13.335	13.189	146	1,11
	Buques	Número	121.713	130.211	-8.498	-6,53
		G.T. (Miles)	1.640.842	1.604.381	36.462	2,27
	Pasajeros		26.202.193	26.287.293	-85.100	-0,32

El puerto de Gijón, situado en el mar Cantábrico, en la costa norte de España, destaca por ser el mayor puerto granelero del Sistema Portuario Español, con un tráfico total que ha fluctuado entre 14,6 y 20,8 millones de toneladas en los diez últimos años.



TRÁFICO TOTAL	
Miles de tm.	
2010	15.753
2009	14.633
2008	19.331
2007	20.782
2006	20.488
2005	21.791
2004	20.060
2003	19.165
2002	20.525
2001	19.203

En la actualidad continúa su liderazgo en el movimiento de graneles sólidos con un tráfico de 13,4 millones de toneladas en 2010, cifra que representa el 17,2% de este tráfico a nivel nacional. El 80% son descargados a través de la terminal de graneles sólidos EBHISA, diseñada en 1992 para soportar un máximo de 12 millones de toneladas.



En el año 2000 dicha terminal presentaba unos índices de ocupación superiores a lo aconsejable, demoras crecientes en el servicio de descarga al buque y limitaciones en el número de atraques y en su calado, todo ello provocaba un detrimento importante del servicio prestado y una falta de competitividad en relación con otros puertos.

Esta situación planteó la necesidad de acometer una ampliación de las instalaciones portuarias que resolviese las demandas actuales y futuras, ganando superficie y calados. La Ampliación del Puerto de Gijón permite mejorar las instalaciones, satisfacer las necesidades de sus clientes, adaptarse a la demanda futura y servir a la modernización de la industria dentro de su zona de influencia.

Las obras del nuevo Puerto de Gijón suponen un hito tecnológico desde el punto de vista portuario, debido principalmente a la complejidad técnica de la obra, formada por un dique mixto, vertical y en talud, en el Cantábrico y en grandes profundidades, con un plazo de ejecución reducido de 5 años y también debido a las grandes magnitudes a ejecutar en volúmenes de materiales pétreos y hormigón.

2. Nuevo Puerto de Gijón en cabo Torres

Las Obras de Ampliación del Puerto de Gijón consisten en la ejecución de un nuevo dique de abrigo, partiendo del Cabo de Torres, con una longitud total de 3.834 m y formado por tres alineaciones principales con tipologías estructurales de dique en talud y vertical, que conforma una dársena de 140 Ha. El buque de proyecto es un bulk-carrier de 230.000 TPM, 325.0 m de eslora, 47.5 de manga y 20.0 m de calado.

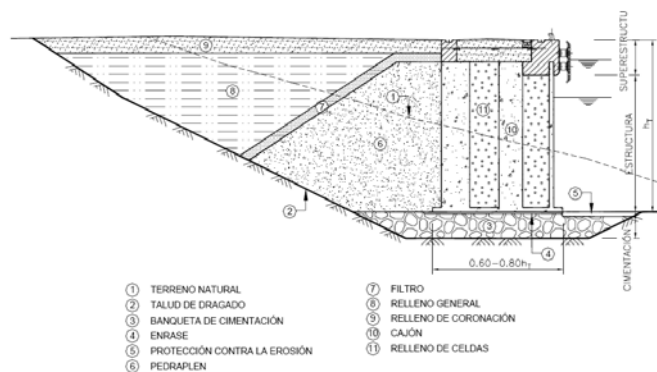
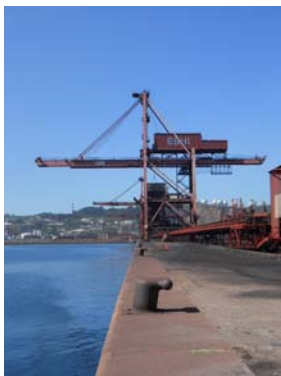
El Muelle Norte del Puerto de Gijón está formado por 41 cajones de 32.00 m de eslora, 20.80 m de manga y 28.75 m y 29.45 m de puntal para los tipos D1 y D2, respectivamente. Está localizado en la parte Norte de la dársena, con una longitud efectiva de 1.250 m de longitud, orientación E-W, con un fondo marino con profundidades de entre -23.0 y -27.0 m referidos al Cero del Puerto (y situado éste a -0.36 m respecto de la BMVE) y una anchura de muelle superior a los 400 m permitiendo el atraque simultaneo de tres bulkcarriers como el de proyecto. La nueva terminal de graneles sólidos del Muelle Norte tendrá una capacidad de 25 millones de toneladas.



Completan la protección de los rellenos los taludes interiores, ubicados en la parte Oeste y Sur de la dársena, obteniéndose una superficie total emergida de 145 Ha con terrenos ganados íntegramente al mar. En estos taludes se construirán dos pantalanés de atraque formados por 4 cajones cada uno.

3. Terminales de graneles sólidos

El tráfico marítimo de graneles sólidos se realiza mediante grandes buques, denominados graneleros, bulk-carrier en la literatura anglosajona, caracterizados por cubiertas corridas con escotillas. Los sistemas de carga-descarga discontinuos, como las grúas pórtico móviles dotadas de cuchara, requieren líneas de atraque continuas de mayor longitud que la suma de las esloras de los buques que cargan o descargan simultáneamente en la terminal. Para facilitar el servicio a este tipo de buque y mercancía la configuración idónea de atraque es la de muelle.

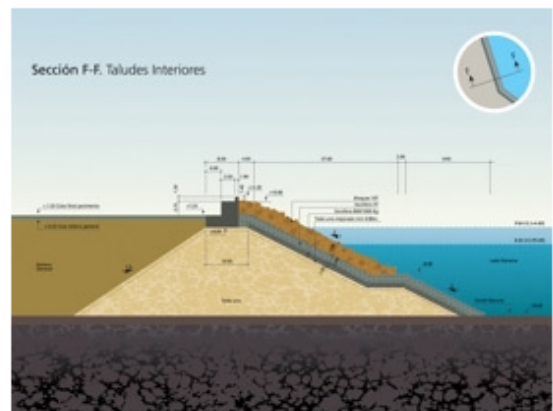
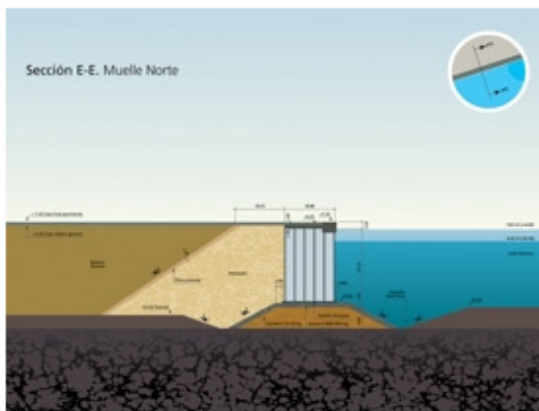
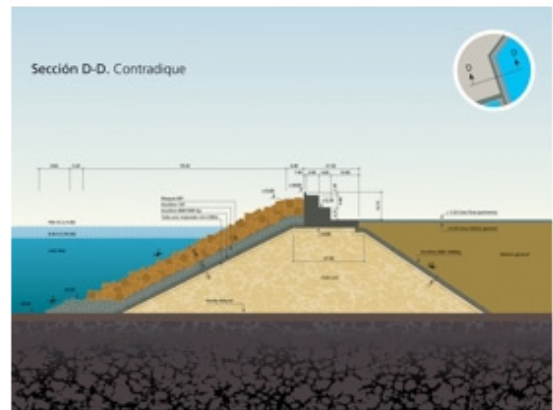
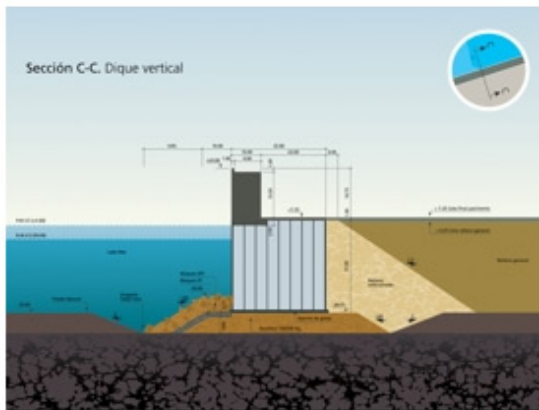
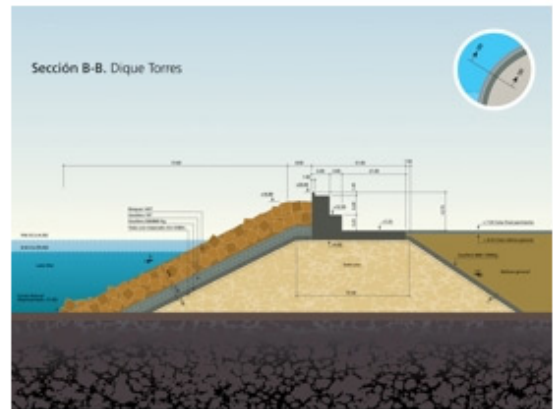
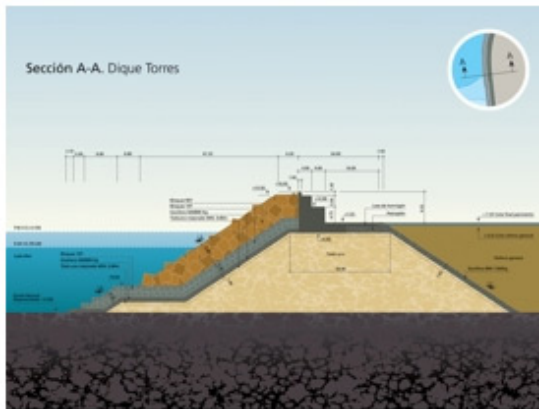


Este tipo de muelles constan de una cimentación que transmite cargas al terreno, una estructura o cuerpo central cuya misión es trasladar cargas a la cimentación y una superestructura que debe formar una línea de atraque uniforme, absorbiendo irregularidades entre los tramos estructurales formados por cajones, soportando y transmitiendo cargas de uso y explotación. En su trasdós se dispone material granular

de todo uno de cantera permeable que evite empujes excesivos y soporte las cargas de los elementos que trabajan en el área de operación. Tras este material granular se coloca el relleno general que forma la explanada anexa.

La viga cantil es la superestructura destinada al uso y explotación del muelle. En ella se instalan las defensas, que absorben la energía cinética del buque durante la maniobra de atraque, y los puntos de amarre o bolardos, sometidos a tensión por el tiro de las estachas y que disminuyen los movimientos del buque transmitiendo las cargas a la superestructura.

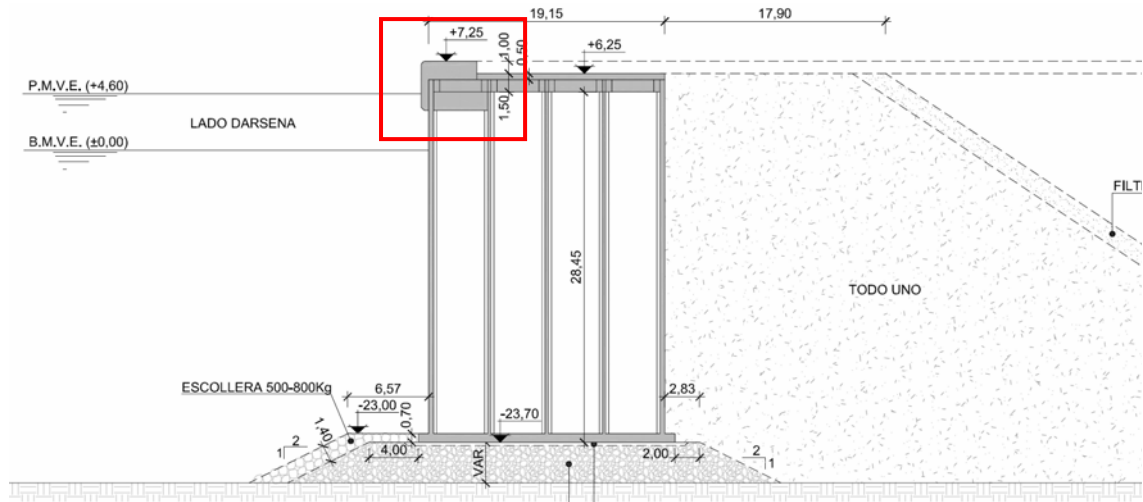
Por su importancia y singularidad, a continuación presentamos las características de la viga cantil y las condiciones especiales que hay que considerar en su proyecto y construcción.



4. Viga cantil del Muelle Norte del Puerto de Gijón

Definición

Se denomina viga cantil a la superestructura, generalmente de hormigón armado y ejecutada in situ sobre los muelles de gravedad, que rigidiza y define la línea de atraque de muelles o pantalanés. Absorbe las desviaciones geométricas de la infraestructura formada por cajones protegiéndolos de la acción directa de los buques. Aporta rigidez estructural en la coronación del muelle, albergando a los elementos de defensa del casco de las embarcaciones, a los dispositivos de atraque, amarre y servicios, y a las instalaciones necesarias para la carga y descarga de mercancías.



Existen diferentes tipologías constructivas que se pueden clasificar en prefabricadas o ejecutadas *in situ*, secas o sumergidas, ejecutadas en fases y de altura de babero uniforme o variable.

Descripción

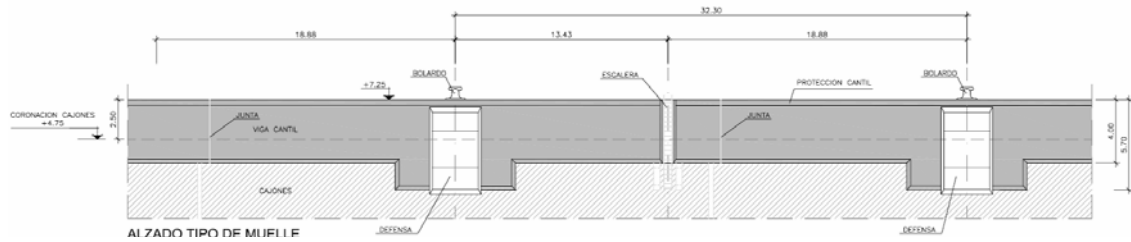
La línea de atraque del Puerto de Gijón se ubica en el denominado Muelle Norte, que está formado por 41 cajones de 32,00 m de longitud unitaria, formando una alineación de 1.350 m de longitud total. Esta alineación permite el atraque simultáneo de 3 bulk-carriers de 325 m de eslora, y dispone de 41 defensas dobles y dos tipologías de bolardos.



Vista general

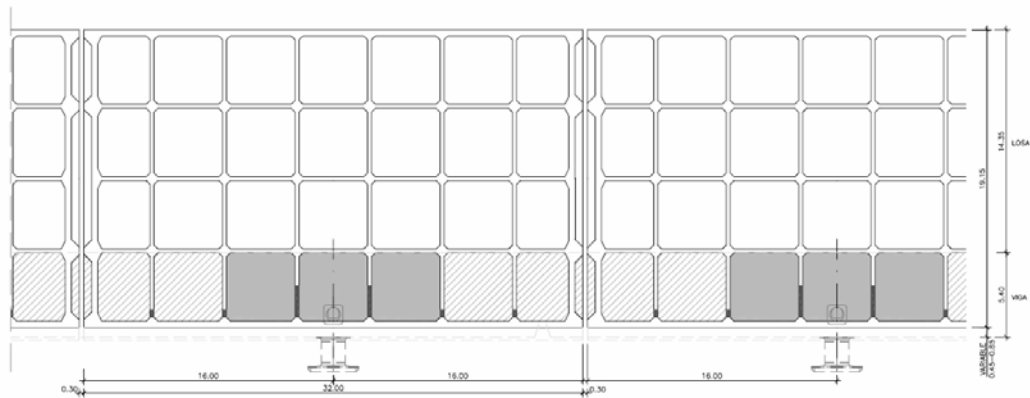
La longitud total para la viga de cada cajón es variable, siendo la suma de la longitud del cajón y de la junta entre el contiguo, aproximadamente de 32.00 m. La cota inferior de

hormigonado es +1.55 m, referido al cero del puerto, -0,35 m por debajo de la BMVE, en la zona central de babero largo y a lo largo de 7.11 m de longitud.



Alzado del muelle. Detalle de baberos largos en zona de defensas.

Las tres celdas centrales se excavan y macizan de hormigón también desde la cota +1.55. Las dos celdas iniciales y las dos finales constan de un babero corto desde la cota +3.25 m y se macizan también desde esta cota.



Planta de cajón con celdas afectadas por la ejecución de la viga cantil

Los baberos absorben las desalineaciones entre cajones, siendo su ancho variable y comprendido entre 0.45 y 0.85 m. La cota de coronación del muelle es +7.25 m, y el ancho de la viga, constante en toda la alineación, es de 5.40 m. Por cada 30 m longitudinales de viga cantil el volumen promedio de hormigón es de 740 m³ y el peso del acero de 20.5 t.

Se disponen juntas de dilatación coincidentes con las juntas entre cajones. De esta forma cada viga es independiente de la de los cajones contiguos. Se trata de juntas de desplazamiento, también denominadas de asiento o articulación, ya que absorben los posibles asientos y movimientos relativos entre los cajones.

Los hormigones empleados son HA-35/B/20/IIIc+Qb, con cemento rápido CEM III/A 42.5 N/SR y dos fórmulas de dosificación. En cuanto a la protección del cantil se realiza mediante una cantonera de acero galvanizado tipo A-42-b.

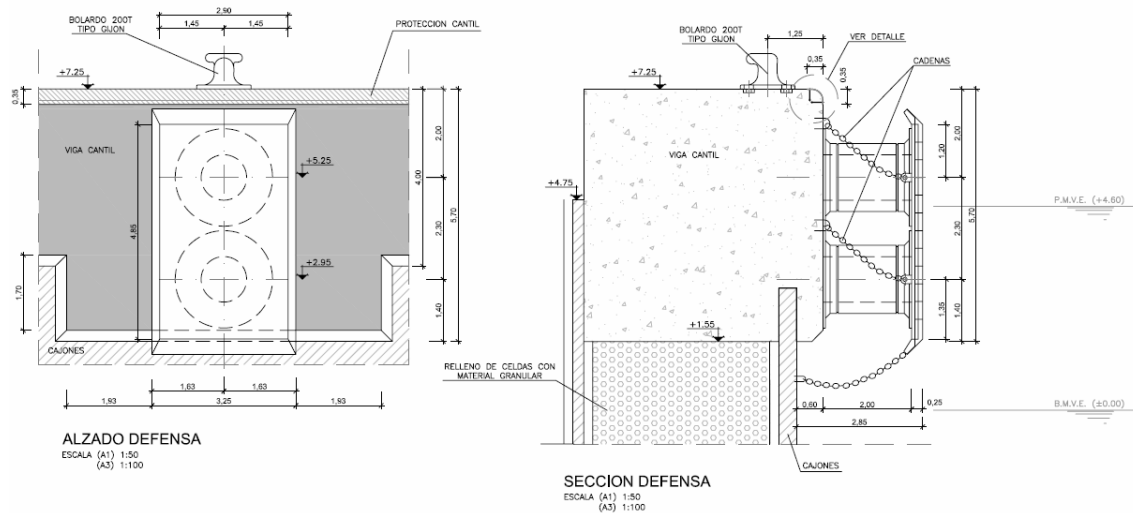
El cálculo de armadura se realiza en función de las dimensiones y en base a la norma EHE-08: cálculo clásico para vigas de dimensiones convencionales o método biela-tirante para vigas de gran canto

Por último, los bollardos son de acero moldeado AM-52 de una sola pieza y 200 t de tiro admisible, y las defensas corresponden al tipo SC-2000 con dos amortiguadores.

Acciones principales durante el proyecto, construcción y vida útil:

- Oleaje, corrientes y viento
- Acción del buque de proyecto durante el atraque

- Sistema de amarre/tiro de bolardos
- Acopio de mercancías
- Acciones de instalaciones de transporte, carga y descarga de mercancías
- Empuje de tierras en el trasdós



Alzado y sección tipo de defensas

Variables de Diseño

- Monolíticas o machiehembradas
- Juntas independientes del cajón, o coincidentes
- Dimensiones del ancho del babero
- En zona seca o en carrera de marea
- Tipo y procedimiento de instalación de defensas
- Tipo de bolardos: armadura requerida
- Instalación de galería de servicios interior: abastecimiento, red de pluviales, electricidad
- Requisitos de grúas/ferrocarril/cintas
- Tipo de protección del cantil: metálica o de hormigón
- Disposición de escalas
- Interacción con paredes del cajón: demolición o no,
- Cota en coronación de la viga

Construcción

La tipología común de los cajones portuarios en muelles de atraque suele ser de planta rectangular y celdas rectangulares o circulares. La geometría del cajón portuario condiciona el diseño y el procedimiento constructivo de la viga. Es necesario considerar la excavación del material de relleno y la demolición parcial de paredes del cajón.

Procedimiento constructivo

Las vigas *in situ* se ejecutan mediante un carro de encofrado móvil autoportante. Se dimensiona de forma que permita ritmos de hormigonado superiores a la subida de la marea. Los dispositivos de cierre del carro contra el cajón deben ajustarse a la pared, siendo su ancho variable en una misma puesta. Los anclajes y armadura de dispositivos de amarre, como bolardos o ganchos de escape rápido, se ejecutan simultáneamente al hormigonado para quedar perfectamente embebidos en la viga cantil. Las defensas y escaleras pueden instalarse posteriormente.

Las fases del procedimiento se detallan a continuación:

1. Excavación de celdas y vertido del hormigón de limpieza:

Se preconsolida la arena y se nivela la superficie sobre la que se colocará la armadura.



2. Demolición de paredes:

Debido a las desviaciones de los cajones durante el fondeo respecto de las alineaciones teóricas, la demolición será variable para cada cajón. Se realiza con una retroexcavadora dotada de una cizalla.



3. Losa y muretes auxiliares:

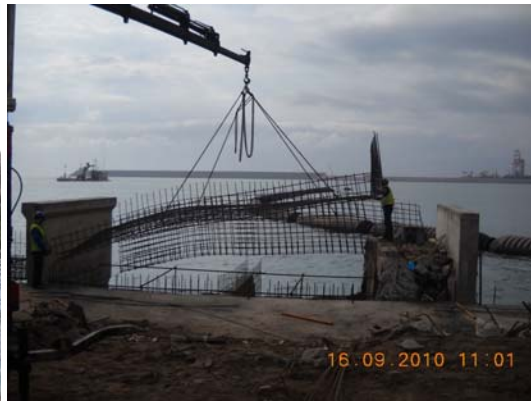
Permiten el desplazamiento, apoyo y encofrado de las puestas. El carro de viga cantil consta de dos paneles correspondientes al lado mar y al lado tierra. Los muretes auxiliares son tapes entre puestas y sirven de apoyo al carro. Dada la dificultad de uso y ejecución de un encofrado continuo a lo largo de los 32.00 m del cajón, se realizan 3 puestas por cajón.



4. Premontaje y montaje de armadura.

El despiece se diseña para facilitar los trabajos de montaje, especialmente los correspondientes a las zonas de carrera de marea. La armadura es variable para cada cajón, dependiendo de la desviación en el fondeo y de la ubicación de la escalera.

El recubrimiento mínimo es de 5 cm y el máximo de 10 cm, y se debe cumplir en toda la viga, prestando especial atención a la zona afectada por la marea y el oleaje.



5. Posicionamiento del carro.

El carro consta de dos paneles, lado mar y lado tierra, y dos vigas lanzaderas sobre las que avanza. Cuenta con un sistema hidráulico de apertura y cierre y barras diwydag de ajuste. Los movimientos del carro son:



- Posicionamiento de paneles
- Cierre y apertura mediante sistema hidráulico
- Desplazamiento de vigas
- Desplazamiento del carro sobre las vigas

6. Ajustes

Consisten en la limpieza de paneles, la aplicación de desencofrante, colocación de separadores, juntas de poliexpan, ajuste de la cantonera, apriete de las barras diwydag y sellado de la puesta

7. Hormigonado de la puesta

Se bombea el agua de las celdas y el hormigonado comienza una vez que el nivel de mar y agitación en dársena en vaciante, no contacta con la base del babero largo.



El hormigonado se realiza mediante cintas que permiten alcanzar distancias de hasta 38 m, cumpliendo la altura de vertido mediante trompas.



8. Curado y desencofrado

En la coronación se emplea un producto de curado superficial para evitar figuraciones.

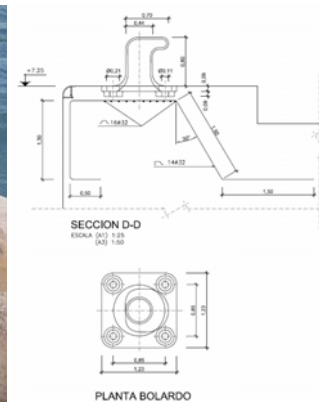
9. Apertura del carro

Los dispositivos hidráulicos del carro se accionan separando los paneles de los paramentos verticales hormigonados.



10. Colocación de bolardos

Una vez desencofrada la puesta se coloca el bolardo.



11. Colocación de defensas

Tipo SC y formadas por dos amortiguadores cada uno de 2.00 m de longitud y diámetro. El escudo tiene unas dimensiones de 5.50 x 2.90 m. La energía absorbida debe ser al menos de 281 tm y la reacción menor de 321 t.

La instalación de las defensas se realiza tras el hormigonado, preparando y perforando el paramento vertical de la viga, aplicando la resina de fijación e instalando los anclajes, colocando los sistemas de defensas ya premontados y rematando cadenas, grilletes y tensores. Finalmente se realiza una verificación del montaje.

- Limpieza de la armadura en acopios
- Presencia de vida marina en los cajones: peces y verdín
- Exposición de la armadura a ciclos de mojado-secado
- Continuidad de la armadura en juntas constructivas
- Alteración de la armadura por el apoyo del carro
- Variación de la geometría de la armadura debido a grandes luces
- Recubrimiento de la armadura en la zona de carrera de marea
- Singularidades de las juntas entre cajones
- Acción de la marea, corrientes de lavado de desencofrante y mortero
- Ajuste del carro a la pared del cajón
- Alineación de la cantonera galvanizada
- Ejecución de los negativos de los bolardos



Durante el hormigonado:

- Nivel de mar y agitación en dársena debida a mar de viento
- Ritmo de hormigonado y subida de la marea
- Altura de vertido
- Uniformidad de las tongadas en grandes superficies.
- Vibrado excesivo: segregación del hormigón
- Deformaciones/asientos del carro
- Regularidad en los tiempos de llegada y espera de las cubas
- Definición de una secuencia de hormigonado específica



Tras el hormigonado:

- Tiempo de desencofrado y curado eficaz
- Fisuración debida a asentos y retracción
- Esfuerzos mecánicos durante el desencofrado
- Acción del oleaje en la zona de carrera de marea.



Procedimiento de reparación:

El procedimiento contempla el saneo de armaduras y hormigón, la colocación del molde de encofrado y el vertido de microhormigón.



Guía de buena práctica. Conclusiones

A modo de conclusión, a continuación presentamos un resumen de las recomendaciones particulares de buena práctica que deben tenerse en cuenta a la hora de proyectar y construir el cantil de un muelle de atraque:

- El diseño de la viga cantil debe evitar esquinas pronunciadas que sufrirán concentraciones de tensiones, sollicitaciones indeseables y fisuración
- Diseñar un mecanismo y procedimiento de sellado, cierre y desencofrado eficiente. Es imprescindible evitar la presencia de corrientes de agua dentro del encofrado, pérdidas de mortero durante el hormigonado y lavados de hormigón durante el curado
- Evitar hormigonar piezas de pequeño espesor y gran superficie en contacto con el agua de mar. El calor de hidratación es bajo y las resistencias disminuyen
- Valorar el empleo hormigón bombeado en zonas sumergidas
- Es recomendable el lavado con agua dulce de la armadura, así como de las superficies en contacto con el hormigón fresco que no requieran desencofrante
- Deben evitarse los ciclos de secado-mojado y corrosión, perniciosos para las armaduras.
- En tramos en zona de carrera de marea se debe comenzar el hormigonado antes de la bajamar, de forma que el hormigón adquiera resistencia en seco y evitar lavados.
- El tiempo mínimo para el desencofrado va desde las 8 horas en verano, y 16 o 24 h en tiempo frío. Se recomienda disponer probetas en la zona de carrera de marea y comprobar su resistencia previo a la apertura del carro
- El curado es de gran importancia para garantizar la durabilidad de la estructura
- El producto desencofrante debe resistir el lavado por agitación y carrera de marea
- Comprobar el Ph del agua de mar
- Controlar la excentricidad, cota y oxidación de los pernos embebidos

Generalmente se acomete la ejecución de la viga cantil en la recta final de la construcción de un puerto, con plazos de ejecución ajustados. Se trata de una superestructura que absorbe las desalineaciones de los cajones, y que por tanto está sometida a gran cantidad de imprevistos que deben ser resueltos en obra. Además, al tratarse de una obra lineal, los retrasos en producción son difícilmente recuperables.

Por todo lo anterior, y teniendo en cuenta la dependencia de las condiciones de la mar, es necesaria planificar con detalle los trabajos. Por último indicar que, para afrontar con éxito el diseño y ejecución de un muelle de atraque se recomienda el estudio y discusión en profundidad del proyecto, el procedimiento constructivo y las consideraciones particulares presentadas en el presente artículo.