

Cajones flotantes de hormigón para la terminal de GNL en Portovaya, Golfo de Vyborg, Rusia*

Detail Engineering of concrete floating caissons for the new LNG Terminal in Portovaya, Vyborg Gulf, Russia.

Alberto Uña Uña^a, Javier Rueda Gallego^b, Jose Manuel García Muiña^c, Marta Cortiguera Gómez^d, Roberto Pillado González^e

^a Director de proyectos en Proes y Profesor asociado en la ETS. Ingeniería Civil de la UPM

^b Ingeniero de proyecto en Proes y coordinador del grupo estructural en el CIP GT07 de la ATPYC

^c Director de departamento en Proes e Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos en UPM

^d Directora de Proyecto en Proes y Licenciada en Ciencias del Mar en la ULPG

^e Director de departamento en Proes e Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos en UPM

RESUMEN

La presente comunicación expone el diseño de los cajones flotantes de hormigón para la terminal de GNL en Portovaya, Golfo de Vyborg, Rusia, y las particularidades del mismo, en especial en lo relativo a cuatro aspectos: las diferentes normativas a aplicar, la durabilidad del hormigón en esas condiciones extremas, las acciones a las que se veía sometido (carga de hielo e iceberg de 1830 kN/m), y el hormigonado submarino de la pieza de cierre de los dos brazos que tenía el dique de abrigo.

ABSTRACT

This paper shows the design of the concrete caissons for the LNG terminal in Portovaya, Vyborg Gulf, Russia, and their characteristics, primarily in four aspects: the different standards to be applied, the durability of the concrete in these extreme conditions, the load of ice and iceberg (1830 kN/m), and the underwater concrete for the closing corner of the two dock's arms.

PALABRAS CLAVE: cajones flotantes, iceberg, hielo, hormigón submarino, durabilidad, normas rusas

KEYWORDS: floating caissons, hummock, ice, underwater concrete, durability, russian standards.

1. Introducción

Actualmente, Rusia es el principal suministrador de gas que atiende la demanda de la Unión Europea, abasteciendo el 46% de las importaciones totales extracomunitarias, y lo hace vía gaseoductos con el 40% [1], y otro 6% mediante GNL [1,2].

A partir de las cifras anteriores se pone de manifiesto la actual dependencia de las redes de gaseoductos, las cuales excepto la “Nord Stream 1” bajo el mar báltico, atraviesan otros países, como Ucrania, Bielorrusia, etc. los cuales aparte de cobrar su correspondiente tarifa de

paso, generan una cierta inestabilidad al suministro.

El plan estratégico energético de Rusia para limitarlo incluye la construcción de un segundo gasoducto submarino bajo el mar báltico, evitando otros países, para llegar a las costas de Alemania (Nord Stream 2), así como la construcción de la terminal de GNL de Portovaya, objeto del presente documento.

La construcción de la Terminal de Portovaya, junto a la nueva planta que licuará 1,5 millones de toneladas, se ubica en el Golfo de Vyborg,

cercano a la frontera de Finlandia y junto a la estación de compresión ya existente que alimenta el actual gasoducto submarino Nord Stream 1, del cual formará parte.

El gas natural licuado (GNL) es gas natural que ha sido procesado para ser transportado en forma líquida a $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$, de esta forma se hace rentable su transporte ya que en dichas condiciones el volumen ocupado es 1/600 el que ocupará en el momento de su consumo.



Figura 1. Ubicación de la Terminal

El alcance de los trabajos desarrollados por Proes incluye el diseño de detalle de la obra civil marítima de la terminal, formada por cajones flotantes, así como los cálculos de estabilidad necesarios, transporte y fondeo, además de los cálculos estructurales y las especificaciones técnicas.

La terminal marítima, incluyendo área de operación y atraque, duques de amarre y dique de abrigo, se discretizó en 22 cajones, unificados en 9 tipos de 4 secciones diferentes, y una pieza especial a realizar in situ, para el entronque entre los dos brazos del dique de abrigo.

2.1 Secciones cajón

Estas tipologías de cajones fueron diferenciadas en el cálculo ya que aun compartiendo en algunos casos las mismas dimensiones en planta (eslora, manga y distribución de celdas) disponían de un puntal diferente (altura), obligando a generar nueve modelos diferentes para calcular sus correspondientes armados. A continuación, detallamos cada una de las 4 secciones tipo.

2.1.1. Cajón tipo "A"

Los cajones tipo "A", concretamente los llamados A-3 (3 ud) y A-4 (2 ud), conformaban la terminal propiamente dicha, esto es, la estructura civil que recibe las defensas que absorben el impacto del buque, el lugar donde se situaban los ganchos para las líneas "esprín",

el área en la que se instalan las líneas de proceso y la zona en la que se ubicarían los brazos de descarga, entre otras diferentes sobrecargas de equipos.

Los cajones tipo “A” (los representados en azul en la Figura 2) tienen una sección de 58,20 m de eslora por 24,00 de manga, diferenciándose entre ellos en el puntal, donde el A-3, que son los más exteriores tienen 20,00 m de puntal y el A-4, que es la transición a la mota de terreno, 17,00 m.

2.1.2. Cajón tipo “B-1”

Los cajones tipo “B-1”, concretamente los llamados B-1 (5 uds), B-1-1 (1 ud) y B-1-2 (3 uds), conformaban el dique de abrigo, excepto el morro del mismo. Estos cajones no tienen tuberías de proceso, ni equipamiento y únicamente su función es la de abrigo de la terminal.

Los cajones tipo “B-1” (los representados a cuadros rosas y amarillos en la Figura 2) tienen una sección de 50,86 m de eslora por 28,65 de manga, diferenciándose entre ellos en el puntal, donde el B-1-2 tiene 17,00 y son los que se sitúan a continuación de la mota de acceso, el B-1-1 tiene 19,50 m y el B-1 tiene 21,00 m.

2.1.3. Cajón tipo “B-2”

El cajón tipo “B-2” constituye el morro del dique de abrigo (los representados a cuadros rosas y amarillos en la Figura 2), al igual que los “B-1”, si bien estos son los que están colocados transversalmente en el morro.

Tienen una sección de 45,05 m de eslora por 28,65 de manga y un puntal de 23,00 m.

2.1.4. Cajón tipo “E”

Los cajones tipo “E”, concretamente los llamados E-1 (2 uds), E-2 (1 ud) y E-3 (3 uds), conformaban los duques de alba de amarre, siendo estas las estructuras donde se ubicaban los ganchos para las amarras de través y largo.

Los cajones tipo “E” (los representados en naranja y también en amarillo en la Figura 2) tienen una sección de 24,00 m de eslora por 19,35 de manga y se diferencian entre ellos en el puntal, ubicándose los más pequeños hacia tierra por disponer de menos calado y los más altos hacia el dique de abrigo. Concretamente el E-1 tiene 14,50 m de puntal, el E-2 tiene 17,00 m y el E-3 tiene 19,50 m.

2.2 Cierre de esquina

El dique de abrigo tenía forma quebrada, que obligaba a realizar algún elemento que permitiera la transición entre las dos alineaciones rectas de cajones.

Debido a los plazos que se comentan posteriormente en el apartado 7. Diseño y Proceso Constructivo, se desecharon las opciones de construir un cajón especial de esquina, o modificar los dos rectangulares adyacentes y convertirlos en trapezoidales, ya que hubiera significado un cambio mayor en los encofrados que hubiese derivado en una demora en plazos inviable para la ejecución de la obra.

Finalmente se escogió la opción de realizar un hormigonado submarino in situ, ejecutado contra los cajones ya situados y un encofrado de cierre, que permitiera el entronque final.

Tabla 1. Dimensiones cajones flotantes

Tipo	Eslora (m)	Manga (m)	Puntal (m)
A-3	58,20	24,00	20,00
A-4	58,20	24,00	17,00
B-1	50,86	28,65	23,00
B-1-1	50,86	28,65	21,50
B-1-2	50,86	28,65	17,00
B-2	45,05	28,65	23,00
E-1	24,00	19,35	14,50
E-2	24,00	19,35	17,00
E-3	24,00	19,35	19,50

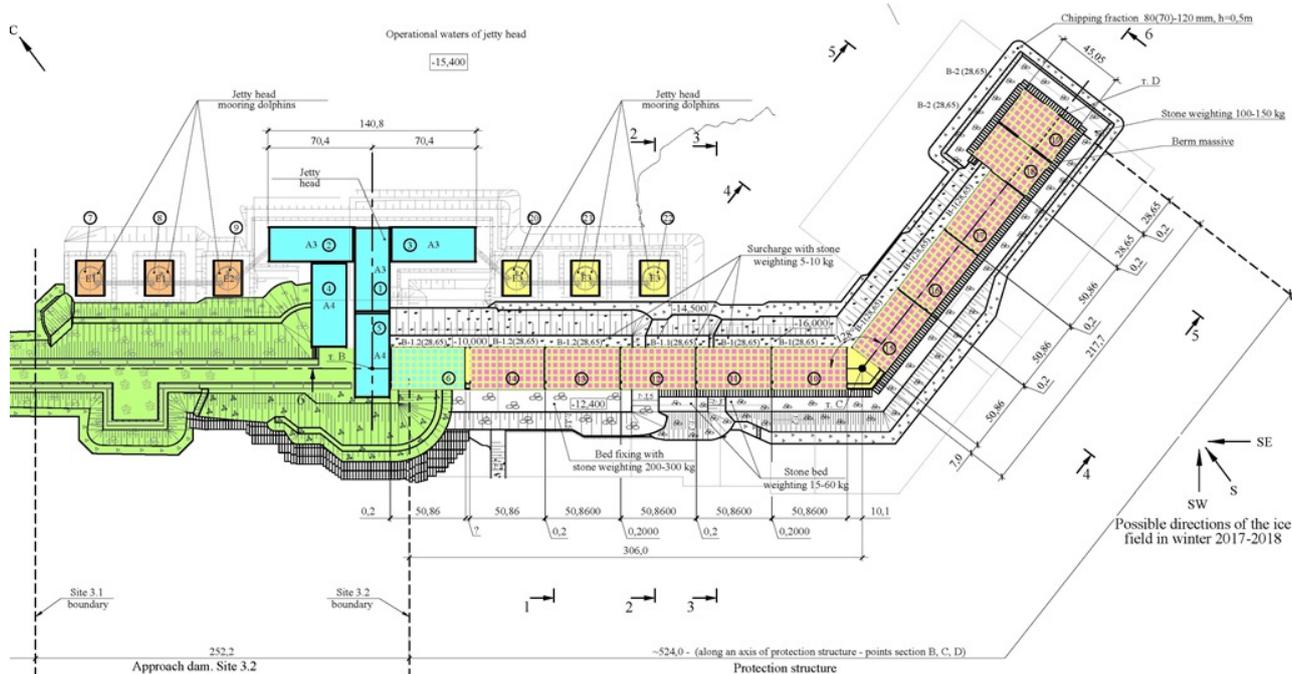


Figura 2. Disposición de los distintos tipos de cajones

3. Normativas

La legislación de aplicación en el proyecto se centraba inicialmente en el cumplimiento de las normativas rusas, concretamente en el pliego se establecía que se debía cumplir con:

- Las “SP” que son las Recomendaciones o el código de prácticas en la construcción de estructuras. En ellas se definían las cargas, vida útil, etc., concretamente se emplearon:
 - SP 131.13330.2012 *Building climatology*
 - SP 20.13330.2011 *Loads and Impacts*
 - SP 14.133330.2014 *Construction in Seismic Regions.*
 - SP 58.133330.2012 *Hydraulic Structures. Basic Provisions.*
 - SP 41.13330.2012 *Concrete and Reinforced Concrete Structures. Hydraulic structures.* En ella se estable que el hormigón debe cumplir con la GOST 26633 y 31384.
 - SP 52-101-2003 *Concrete and reinforced concrete structures made without reinforcement prestressing*

- Las “GOST” que son las normas nacionales de la Federación Rusa. En ellas se establecen los requerimientos al material, en este caso al hormigón y al acero. Las GOST que se aplicaron fueron:

- GOST 31384-2008. *Structural concrete and reinforced concrete protection against corrosion. General Technical requirements*
- GOST 26633-2015. *Heavy-weight and sand concretes. Specifications.*

Para el objeto del proyecto, los requerimientos tenidos en cuenta de las normativas “SP” se limitaron a la definición de cargas de diseño y la determinación de la vida útil de 100 años para la terminal de GNL, vida útil muy superior a proyectos similares en Europa y Oriente, donde se exige una vida útil entre 30-50 años para terminales similares.

Respecto las normativas GOST que hacen referencia al material y con ello la durabilidad, se trata en el punto siguiente.

4. Materiales y Durabilidad

4.1 Acero de armar

Los requerimientos de capacidad mecánica del acero se establecían en la SP 52-101-2003, donde se indicaba que los aceros para barras corrugadas podían ser:

Tabla 2. Tipos acero

Tipo	Diametro (mm)	fy (MPa)	Coef. Parcial seg.
A-240	6-40	240	1,10
A-300	6-40	300	1,10
A-400	6-40	400	1,10
A500	10-40	500	1,15
B500	3-12	500	1,20

Se puede observar que hay bastante analogía con la normativa actual europea, en particular escogiendo el A500 equivale al B-500-B europeo (B-500-S español), no presentándose ningún problema con el acero a utilizar.

4.2 Hormigón y durabilidad

Igualmente, en lo relativo al hormigón, las normativas eran bastante análogas, la GOST 31384-2008 considera las mismas clases de exposición de las normas europeas EN 1992:2004 y EN 206, como se puede ver en las imágenes a continuación.

4 Коррозия, вызванная действием морской воды		
В случае, когда бетон, содержащий стальную арматуру или закладные детали, подвергается действию морской воды или аэрозольной морской воды, агрессивная среда классифицируется по следующим показателям:		
XS1	Воздействие солей, но без прямого контакта с морской водой	Береговые сооружения
XS2	Постоянно находящийся в воде	Фундаменты морских сооружений
XS3	Приливная зона, действие соляных брызг, волн	Части морских сооружений в зоне переменного уровня воды
Индекс	Среда эксплуатации	Примеры сред эксплуатации
XF2	Умеренное водонасыщение с применением антиобледенителей	Вертикальные поверхности транспортных сооружений
XF3	Сильное водонасыщение без антиобледенителей	Горизонтальные поверхности дорог и других сооружений при действии дождя и мороза
XF4	Сильное водонасыщение (в том числе морской водой) с применением антиобледенителей	Горизонтальные поверхности дорог и мостов, ступени наружных лестниц и др. Зона переменного уровня для морских сооружений при действии мороза

Figura 3. Clases de exposición según GOST 31384 similares a las definidas en la EN 1992 y EN 206

Требования к бетонам и железобетонным конструкциям

Т а б л и ц а Г 1 — Требования к бетонам¹⁾ в зависимости от классов сред эксплуатации

Требования к бетонам	Нормативная среда	Классы сред эксплуатации																		
		Характерная среда										Загрязненная — оттаивание				Химическая среда				
		Коррозия					Морская вода					Прочие химические воздействия								
		XS1	XS2	XS3	XS4	XS5	XS1	XS2	XS3	XS4	XS5	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2			
Максимальная S _{td}	—	0,85	0,6	0,56	0,5	0,5	0,45	0,45	0,55	0,5	0,45	0,55	0,5	0,45	0,55	0,5	0,45			
Минимальный класс по прочности В	15	25	30	37	37	45	45	45	37	37	45	37	30	37	37	37	45			
Минимальный расход цемента, кг/м ³	—	280	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320			
Минимальное водопоглощение, %	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,0 ²⁾	4,0 ²⁾	4,0 ²⁾	—	—			
Прочие требования	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			

¹⁾ Для эксплуатации в условиях попеременного замораживания—оттаивания бетон должен быть испытан на морозостойкость.
²⁾ Когда содержание S_{td} соответствует XA2 и XA3, целесообразно применение сульфатостойкого цемента.
³⁾ Значения величин в данной таблице относятся к бетону на цементе СЕМ I по ГОСТ 30515 и заполнителем с максимальной крупностью 20...30 мм.

Figura 4. Hormigón recomendado según clase exposición. Tabla Г1 (análoga tabla F.1 de la EN 206)

No obstante, a pesar de sus similitudes hay algunas diferencias importantes:

En las normas europeas EN 1992 y EN 206, el hormigón es clasificado por su resistencia a compresión en probeta cilíndrica/cúbica, de forma que, en esta situación, XS-2/3 y XF4 se requeriría un hormigón C35/45, y además se exigen unas determinadas características y recubrimientos. Centrándonos en el proyecto, por la clase XF4 (ataque hielo-deshielo) la normativa EN-206 valida la mezcla de hormigón para este ambiente si se cumple al menos con un 4% de aire mínimo ocluido. Por el contrario, si no se consigue dicho porcentaje mínimo se requerirá verificar la resistencia hielo-deshielo por la normativa EN 12390-9.

En cambio, la normativa rusa GOST 31384 clasifica el hormigón en base a tres parámetros: Resistencia a compresión en probeta cúbica, resistencia al hielo y permeabilidad al agua, es decir, la durabilidad cobra una mayor y especial importancia respecto a las normas europeas antes citadas, y pasa a ser un requerimiento y con una importancia similar a la resistencia. Particularizando el caso, se exige un hormigón B45/F600/W10, siendo:

La resistencia al hielo (Fxxx), el número máximo de sucesivos ciclos de hielo-deshielo que la muestra de hormigón saturada puede soportar sin perder más del 5% de su resistencia. En nuestro caso F600 debería resistir 600 ciclos.

La permeabilidad al agua (W_{xx}) indica la máxima presión de agua en kg/cm^2 a la cual el agua no debe penetrar en un cilindro de hormigón de altura 150 mm. En nuestro caso W_{10} establecía que una probeta cilíndrica de altura 150 mm debía ser impermeable ante una presión de $10 \text{ kg}/\text{cm}^2$.

Pero las diferencias no sólo se limitan a la clasificación del hormigón, en la tabla Γ_1 antes indicada, donde se establecían las recomendaciones para los hormigones en función de la clase exposición y que era similar a la EN-206, existe una diferencia sustancial, y es en lo referente al hielo-deshielo. Mientras que la EN-206 no impone verificaciones adicionales siempre que se cumpla un mínimo del 4%, la norma rusa GOST 31384 exige cumplir ese 4% pero además obliga a verificar la resistencia hielo-deshielo siempre que vaya a operar en condiciones de congelación y descongelación alternantes, siendo dicho parámetro el indicado en la clasificación del hormigón.

Por tanto, se puede observar que los efectos de hielo-deshielo cobran mayor importancia que los prescritos en la norma europea.

Por último, estaba la vida útil requerida de 100 años. Desde el punto de vista de requerimientos en el hormigón, en las normas europeas EN 1992 y EN 206, las tablas expuestas vienen referenciadas a una vida útil de 50 años, afectando una mayor vida útil únicamente al recubrimiento del armado (tablas 4.3N y 4.4 N de la EN 1992-1-1), pero no a las características del hormigón. En las normas rusas tampoco se observó algo nada diferente en este ámbito.

No obstante, en este aspecto, y tras ser aceptado por el cliente, se decidió utilizar la normativa británica BS 6349, específica para obras marítimas, la cual es algo más restrictiva respecto a las características a exigir al hormigón. En la citada norma se presentan diferentes requerimientos en función de varias vidas útiles normalizadas, 30, 50 y 100 años. Aplicado a nuestro caso particular de 100 años, obliga a un contenido mínimo de cemento de

$380 \text{ kg}/\text{m}^3$ (superior a los $340 \text{ kg}/\text{m}^3$ exigidos por la EN-1992 y EN-206), una relación a/c máxima de 0,40 (más restrictiva que los 0,45), y un recubrimiento de 60 mm para las paredes interiores y 70 mm para las exteriores.

Por tanto, en este aspecto, podría surgir la duda de si las normas europeas EN 1992-1-1 y EN-206 son más permisivas con el aspecto de durabilidad en estructuras marítimas o de exposición "XS-2/3".

5. Diseño de cajones. Carga de hielo e icebergs

La terminal portuaria está compuesta de varios cajones flotantes de hormigón armado, actuando estas estructuras por gravedad. Cada cajón está compuesto a su vez por diferentes celdas en su interior, separadas entre sí mediante muros perpendiculares de menor espesor que los muros exteriores. Este menor espesor se debe a que los interiores no tienen que soportar los grandes desniveles hidráulicos. El concepto de construcción de celdas/muros interiores tiene varias funciones, entre las que destacan el control de la flotabilidad del cajón durante sus fases de transporte y fondeo mediante el lastrado diferencial entre las mismas mediante bombas de lastre, y el control de la disposición del relleno de árido en el interior durante su fase de instalación.

Centrándonos en el proyecto, la primera hipótesis destacable respecto a otros proyectos de la misma naturaleza fue el requerimiento de considerar el impacto de icebergs sobre el paramento vertical exterior de la estructura. Esta carga no sólo se tuvo en cuenta en la cara exterior del dique de abrigo sino en todas las celdas exteriores de cualquier cajón instalado (menos en las celdas exteriores entre cajones adyacentes). La carga de hielo tenía dos hipótesis:

- Una carga concentrada en un área de $4 \times 0,8$ metros y valor $3100 \text{ kN}/\text{m}^2$, que simulaba el impacto de un iceberg.

- Y una carga lineal uniforme ilimitada de valor 1830 kN/m, es decir, podía ejercer una presión sobre toda la eslora del cajón, lo que equivale en los cajones de 50,86 m de eslora, a una carga total de 93073 kN, carga muy superior a la carga de atraque del buque, o para tener un orden de magnitud, equivalente a la carga de 155 “carros tipo 1” de 600 kN de la instrucción de puentes o eurocódigo.

Diagrams of ice loads application to the protection structure

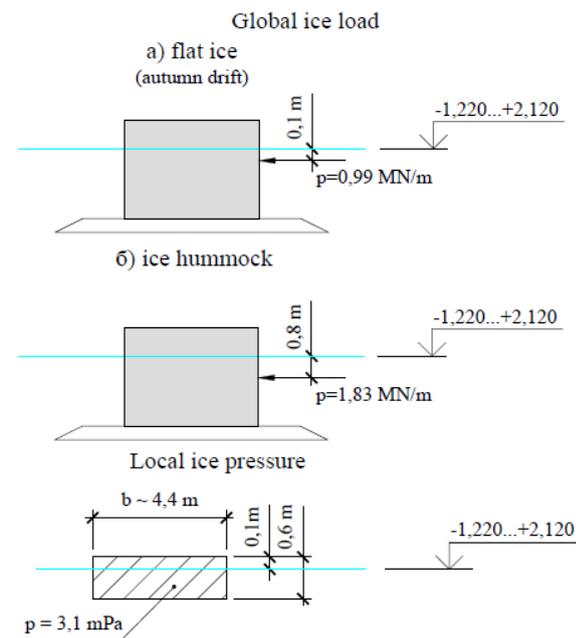


Figura 5. Carga de hielo

Durante el desarrollo del proyecto se desarrollaron varias alternativas para solventar este problema y finalmente se decidió rellenar dichas celdas con hormigón en masa. Este relleno se limitó a los niveles comprendidos entre bajamar y pleamar, sumándole un resguardo del lado de la seguridad. De esta manera se abarataban costes frente a otras soluciones estructurales planteadas, asegurando la durabilidad de la estructura bajo las condiciones de proyecto.

La consideración del impacto de un iceberg sobre el paramento vertical del cajón proyectado se llevó a cabo sin tener referencias

previas, ante esa falta de antecedentes se decidió abordarlo mediante la realización de diferentes modelos de elementos finitos que permitieran el estudio correcto del comportamiento esperado del sistema (muro exterior más celda de hormigón en masa) cuando recibe la aproximación del mismo.

De los resultados se observa que se produce un encauzamiento de las cargas a través del sólido rígido del bloque de hormigón en masa hacia las cartelas interiores de los muros paralelos de la segunda alineación (Figura 7 y Figura 10). Esta transferencia directa de la carga a los muros perpendiculares traseros deriva en que: el muro frontal exterior (el que recibe la carga) no sufre las elevadas flexiones esperadas, puesto que el hormigón en masa confinado en la celda exterior se lo impide parcialmente por compatibilidad de deformaciones; y además, el muro interior paralelo tampoco se ve sometido a importantes flexiones, pues las fuerzas se canalizan hacia las cartelas, y no entran a la pared.

No obstante, en el caso del impacto local del iceberg (3100 kN/m² en 4 x 0,8 m) se observa que si bien la apertura de cargas se desarrolla de la misma forma, su carácter local hace que se concentre en sólo cuatro cartelas interiores, las más cercanas al impacto. Dicha carga local produce unas importantes tracciones en el muro paralelo interior de la segunda alineación (Figura 8) y en los muros perpendiculares en su primer tramo, el que hay entre el muro exterior y el primer muro interior (Figura 7). Esto derivó en un importante incremento del armado frente a situaciones normales donde vendría definido por las condiciones de silo.



Figura 6. Hipótesis de impacto local en 4 m

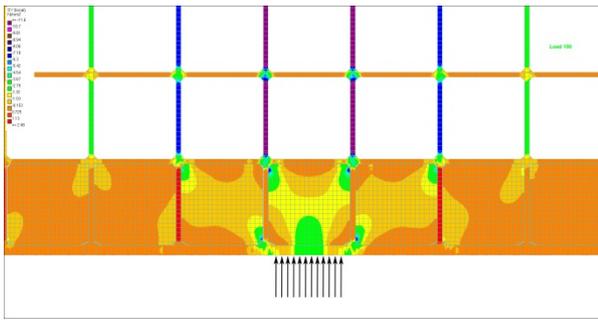


Figura 7. Esfuerzos SY Hip. Local (perpendicular al exterior). Concentración carga en las cartelas interiores

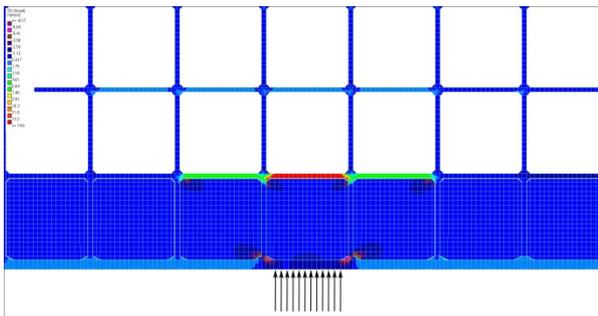


Figura 8. Esfuerzos SX Hip. Local (paralelos al exterior). Tracciones segunda alineación

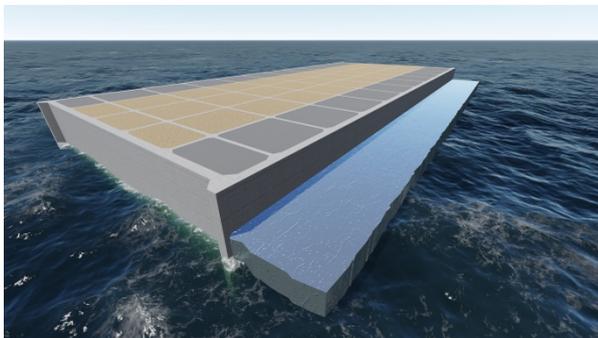


Figura 9. Hipótesis de impacto global

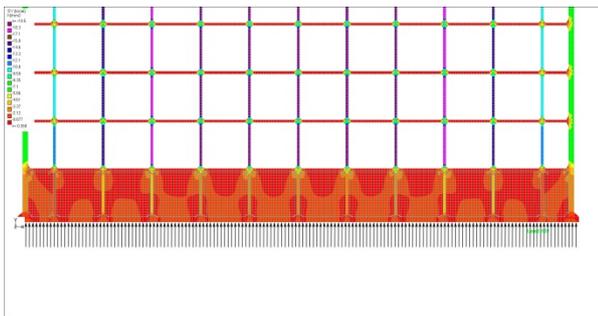


Figura 10. Esfuerzos SY Hip. Global (perpendicular al exterior)

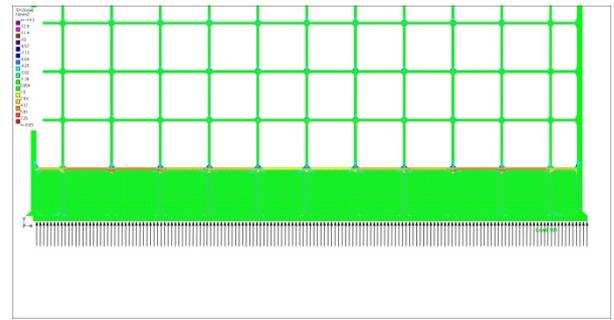


Figura 11. Esfuerzos SX Hip. Global (paralelos al exterior)

El empleo de hormigón en masa para rellenar las celdas exteriores tiene como desventaja un empuje mayor sobre los muros interiores respecto al empuje que haría un árido confinado. Por este motivo también se limitó el espesor máximo de tongada a verter sobre la celda y que nunca hubiera una diferencia mayor a una tongada entre celdas adyacentes, de forma que no hiciera falta disponer de un armado extra (sobrecoste) en las paredes perpendiculares a la cara exterior en su primera alineación, frente al resto de paredes perpendiculares con áridos.

Desde el punto de vista del análisis numérico, el cálculo del resto de cargas y estados fue igualmente abordado mediante un modelo de elementos finitos tridimensional (Figura 12) empleando un software desarrollado ad hoc para este tipo de estructuras. Dicho modelo representa lo más fidedignamente posible los conceptos estructurales mencionados anteriormente, de cara a dar validez al mismo. La definición de las cargas comunes en cajones como el efecto silo del relleno, diferencias de presiones hidrostáticas, etc. se separaron en diferentes estados de cargas que actuaban de forma simultánea combinándolas posteriormente en hipótesis de cálculo. Se seleccionó esta metodología para facilitar el control del modelo, ya que se contaba con diferentes geometrías de celdas y naturaleza de cargas en cada una de ellas. La naturaleza de estas cargas es ampliamente conocida y existen diferentes recomendaciones en las que apoyarse para su consideración.

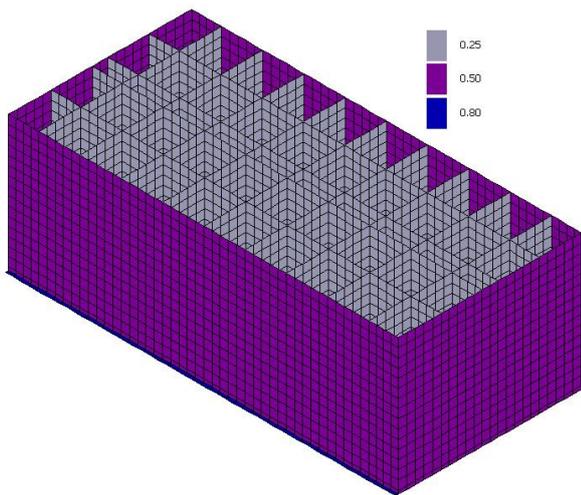
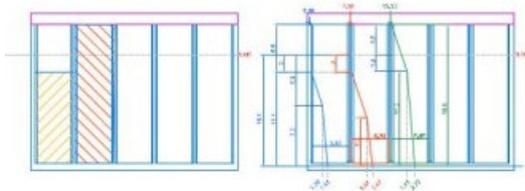


Figura 12. Modelo de elementos finitos tridimensional

Sólo relleno granular

- Pequeña (-15.70 m a -2.00 m)
- Grande interior (-15.70 m a +3.50 m)



Relleno granular + HE en celda de esquina

- Pequeña HDR (-15.70 m a 3.50 m)
- Grande exterior (-15.70 m a -2.00 m)
- Pequeña (-15.70 m a -2.00 m)
- Grande interior (-15.70 m a +3.50 m)

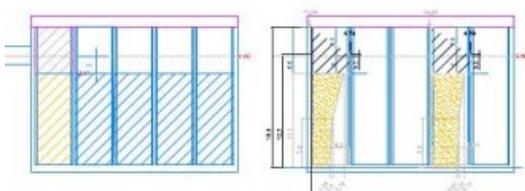


Figura 13. Ejemplo de presiones por las cargas de silo (construcción) consideradas

6. Hormigonado Submarino

En el caso del hormigonado submarino al no haber ninguna normativa rusa al respecto, se siguieron las Recomendaciones noruegas para hormigonado submarino en aguas frías, donde las características exigidas al hormigón se mantenían similares a las anteriormente definidas, excepto en dos aspectos: el contenido

mínimo de cemento, que se ve aumentado hasta los 400 kg/m³ (la norma EN-206 exige 340 kg/m³) y el uso de superplastificantes, donde se exigía su uso en un 2%.

Respecto a su puesta en servicio, también había algunas limitaciones resumidas en las siguientes:

- Los áridos deberán ser calentados previamente a una temperatura entre 20-65°C.
- El agua a utilizar estará entre 55-65°C.
- De forma que la mezcla de hormigón antes de ser vertida se encuentre entre 15-25°C.
- Por otro lado, se usarán calentadores para conseguir que el encofrado, así como el agua marina encerrada, previamente a hormigonar esté al menos a 5°C.
- Y posteriormente al hormigonado, y durante al menos 7 días, se protegerá y cubrirá para asegurar su correcto curado, garantizando una temperatura superior a 10°C.

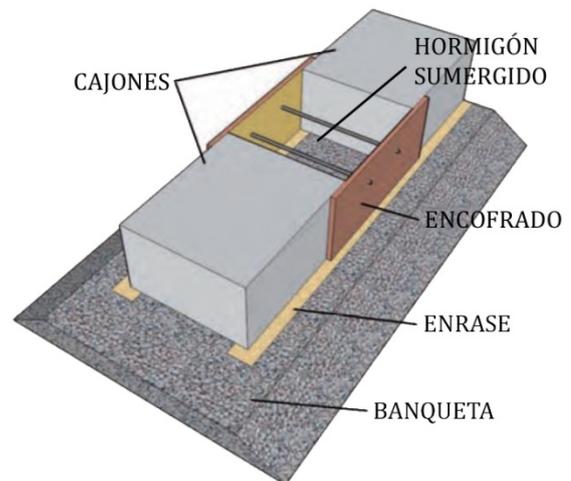


Figura 14. Ejemplo del sistema utilizado

7. Diseño y Proceso Constructivo

A este respecto existía el compromiso con la Propiedad de que la parte marítima de la terminal estuviera acabada para finales de 2018, si bien la firma del contrato, tanto de ingeniería, como de construcción no se concretó hasta noviembre de 2017, ello unido a las condiciones extremas del lugar, las cuales hacían que no se pudiera garantizar la entrada del buque carguero “White Marlin”, que transportaba los cajones

desde Algeciras a Portovaya, más allá de mediados de octubre, obligó a una gran celeridad en el desarrollo de cara a cumplir con los plazos acordados.

Por el lado del diseño se obligaba a definir un cajón tipo por semana, y por la parte constructiva, los cajones fueron fabricados por FCC Construcción en el puerto de Algeciras, siendo capaz de ejecutar cada unidad en menos de 15 días, de forma que los 22 unidades de los diferentes 9 tipos se realizaron dentro del plazo.



Figura 15. Cajonero “Mar de Enol” de FCC Construcción en Algeciras



Figura 16. “White Marlin” de Dockwise cargando los cajones en Algeciras

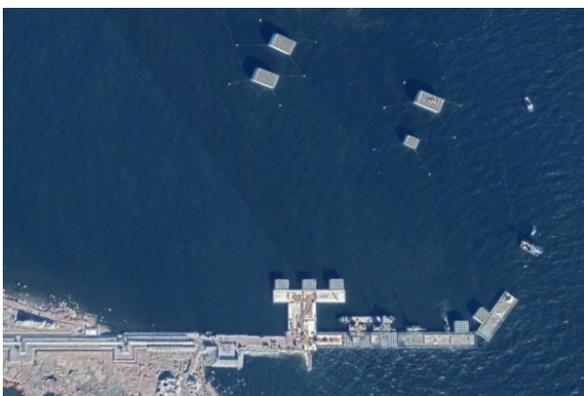
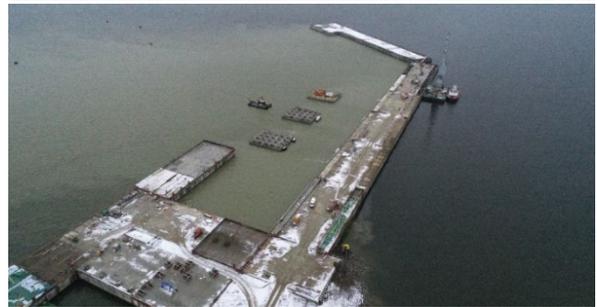
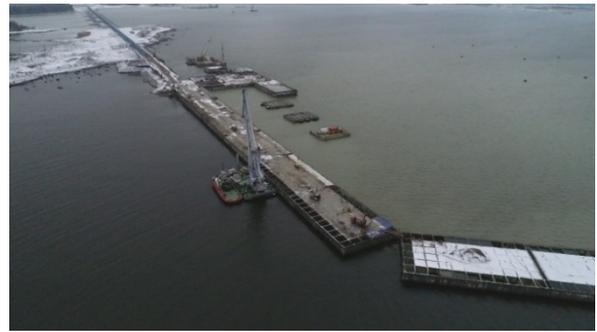


Figura 17. Situación obra a 15 de octubre de 2018, con todos los cajones en puerto profundados



Figuras 18. Situación a noviembre de 2018



Figura 19. Situación a junio de 2019

Agradecimientos

A la Propiedad e Ingeniería de Proceso que nos encargó la parte marítima del mismo.
Y a FCC Construcción y la inestimable ayuda de sus trabajadores de oficina técnica y construcción, sin los cuales no se hubiera podido acabar en plazo.

Referencias

- [1]<https://elperiodicodelaenergia.com/espana-entre-los-paises-de-la-ue-que-mas-desciende-su-consumo-de-gas-en-2018-por-una-mejor-disponibilidad-de-energia>
- [2]<https://www.worldenergytrade.com/4111-rusia-es-proveedor-lider-de-gnl-para-la-union-europea>