

# INFRAESTRUCTURA MARÍTIMA DEL PROYECTO ARZEW GNL 3Z, ARGELIA

José Antonio Martínez Prieto<sup>1</sup>  
 Pablo Molinero Guillén<sup>2</sup>  
 José Manuel García Muiña<sup>2</sup>

## ABSTRACT

The Algerian Government decided to increase the national LNG exports. A new facility close to Oran is being erected: Arzew GNL 3Z. Two Spanish companies have been involved in the marine works for the project. **PROES Consultores** has been appointed by the Owner, the state's owned Sonatrach, as basic design engineering outsourcing and EPC supervisor and **Flota Proyectos Singulares** appointed by the EPC contractor, the Italian company Saipem, for the execution of the marine infrastructure.

The 36-months project included the construction of a marine facility for LNG vessels loading including RC caissons (46 units). The special characteristics of the project and its location have led to a series of innovations to cope with the project's challenges.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha venido observando un continuo aumento en el consumo de gas natural como fuente energética. Los países productores tratan de obtener ventajas de la capacidad de transporte del gas por vía marítima, frente al tradicional transporte por tubería.



Figura 1. Instalaciones existentes y GNL3Z.

<sup>1</sup> Flota Proyectos Singulares.

<sup>2</sup> PROES.

# INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

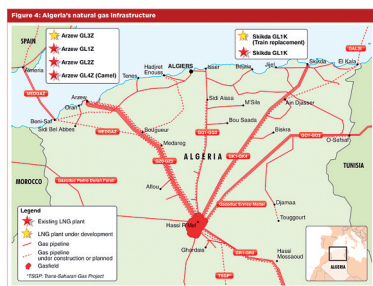


Figura 2. Red de transporte de gas argelina.



Figura 3. Buque para el transporte de GNL.

En los modelos de transporte por tubería tanto oferta como demanda están obligadas por la propia configuración del trazado, no siendo posible cambiar de mercado potencial. Por ello se vinculan en contratos de largo plazo que siempre terminan perjudicando a una de las partes. El proyecto **Arzew GNL 3Z** surge por el interés de **Sonatrach** en hacer líquido el mercado del gas natural, es decir, que exista un mercado de libre intercambio como tal.

Con la distribución por vía marítima, el gas puede ser vendido en cualquier lugar del mundo y el precio se fija libremente en el mercado, según la oferta y demanda, permitiendo obtener el mejor precio y accediendo a un mercado global. Para permitir este mercado se están construyendo instalaciones en todo el mundo para la carga y para la descarga del preciado recurso. Esto exige la construcción de nuevas terminales para los gaseros actuales, que fijan el nivel actual de costes en el transporte marítimo de GNL.

## PROYECTO ARZEW GNL 3Z

El proyecto **Arzew GNL 3Z** está promovido por la sociedad estatal argelina del gas y el petróleo, **Sonatrach**. La ejecución del global del proyecto, en modalidad EPC (*Engineering, Procurement & Construction*) corre a cargo de la italiana **Saipem**.

Los trabajos consisten en la construcción de una instalación de licuefacción de gas natural y carga en buques en la zona industrial de Arzew, cerca de Orán, junto a las existentes instalaciones para LPG de El Djedid "El Nuevo" en árabe.

La zona industrial de Arzew es el punto de salida del 90% de las exportaciones de productos energéticos de Argelia. La nueva instalación se encuentra al este de las instalaciones actuales.

Está previsto para operación de buques de hasta 220.000 m<sup>3</sup>, en línea con los proyectos en ejecución actualmente, y cuenta con un calado en la banqueta de la plataforma de carga de 19 metros. La dársena de maniobra, de 310 metros de anchura posee una profundidad de hasta 18,5 metros.



*Figura 4. Vista general de la instalación marítima del proyecto en fase de ejecución del espaldón.*

### **La infraestructura marítima**

Los datos de partida de diseño han sido:

- Altura de ola de 8,30 m y Tp de 14 s
- Terreno: superposición de calcarenitas y margas cubiertas de arena

La obra presenta dos zonas de afección marítima: la antorcha, formada por un área protegida por escollera más acrópodos y las instalaciones portuarias para recepción de gaseros. La infraestructura portuaria está centrada en la plataforma de carga, formada por tres cajones. En ellos se instalan todos los equipos mecánicos necesarios para el trasiego del GNL en estado criogénico, así como el cubeto de recogida de derrames de GNL. Las instalaciones marítimas se completan con 8 cajones circulares concebidos como duques de alba, dos para atraque y otros seis para amarre.

La conexión de la plataforma con la planta tiene 894 m, divididos en dos zonas diferenciadas según su tipología, una primera en el arranque en talud, protegida con escollera y acrópodos, de 387 m y la segunda, formada por ocho cajones a modo de pilas que soportan nueve vanos con vigas salvando los 507 m restantes.

Finalmente, para dar protección a la instalación, se dispone un dique exento, formado por 27 unidades de cajones tetralobulares con una longitud total de unos 760 metros lineales. Los cajones de dique coronan a dos cotas diferentes, quedando el lado mar 3 metros más bajo que las celdas de lado tierra. El dique está dotado, en superestructura, con un muro de coronación a la cota 9,55 m.

### **LA PARTICIPACIÓN ESPAÑOLA EN EL PROYECTO ARZEW GNL 3Z**

La industria española de obras marítimas está representada en este proyecto de forma muy destacada, tanto en el diseño y control como en la ejecución. El diseño previo y seguimiento del EPC para Sonatrach ha sido desarrollado por PROES Consultores. Entre los trabajos desempeñados se pueden destacar:

# INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD



Figura 5. Encofrado colgante para ejecución de la losa en voladizo de la plataforma de carga y estado final.

- Estudio Conceptual y de Alternativas
- Redacción del Proyecto Básico y Estudios FEED
- Especificación y seguimiento de la campaña geotécnica
- Supervisión del EPC

En la fase de ejecución, para Saipem, ha intervenido FPS en los siguientes puntos:

- Ingeniería de detalle y ejecución de 46 cajones en Cartagena
- Suministro y fondeo de los cajones en Arzew
- Fabricación y suministro de losas de hormigón para acceso rodado
- Lastrado de las celdas con arena (primera fase) y protección con escolleras del pie de los cajones
- Ejecución de superestructura, montaje de pasarelas y equipos en el pantalán

## FASE DE DISEÑO Y PROYECTO

### El proyecto y diseño general

Durante un proyecto tan complejo y multidisciplinar como la construcción de un Terminal marítimo de exportación asociado a un *Tren de Licuefacción de Gas Natural*, el volumen de información manejada es muy grande. Los trabajos comenzaron con los estudios previos *in situ* y continuaron con la secuencia habitual: definición de ingeniería básica, ensayos de caracterización y de definición en modelo físico para evaluar rebases y estabilidad en diversas partes de la obra sobre los diseños básicos y, final-





Figura 6. Puente de acceso de acceso con instalaciones completadas.

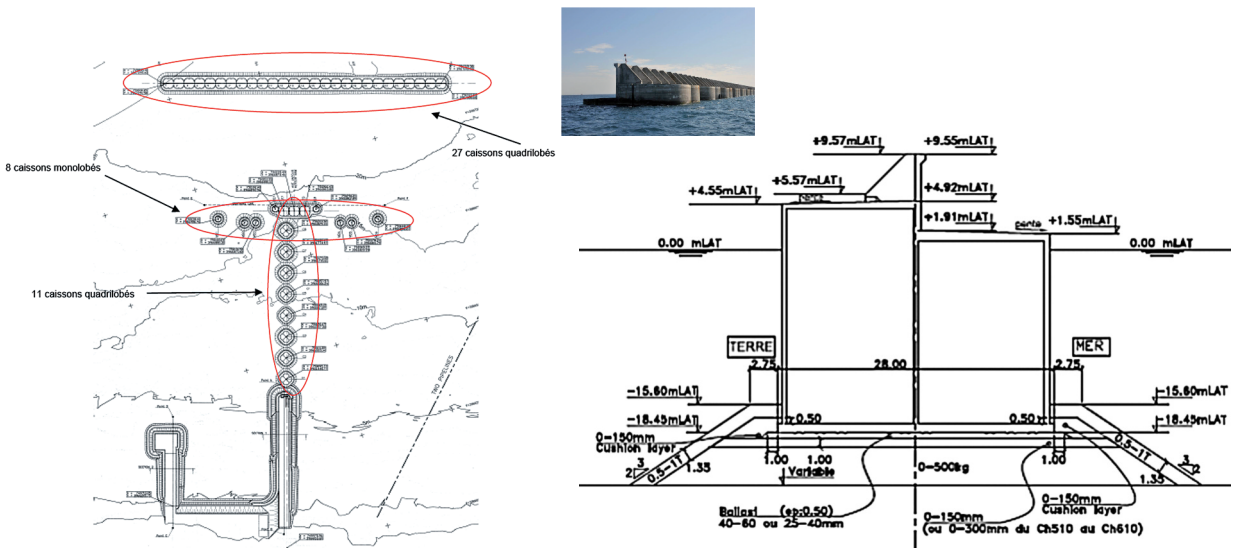


Figura 7. Disposición general de las instalaciones marítimas y sección del dique

mente, desarrollo y supervisión de la ingeniería de detalle. La generación y aprobación de la documentación básica, en este caso, requirió más de 700 documentos técnicos, con una media de más de cuatro revisiones previas a la de ingeniería. Adicionalmente se cuenta con información generada por el contratista del EPC.

Ante las exigencias operativas, de espacio y de tipo técnico se decide ejecutar las instalaciones en talud hasta los 5 metros de profundidad y en obra vertical para el resto: cajones apoyados en banqueta en zanja dragado en el material suelto. La fosa de atraque se dispone en una zona de 20 metros de calado para evitar dragados de arsena, al ser una zona de mucho transporte de sedimento.

### El diseño de los cajones

Uno de los elementos reseñables del proyecto es la tipología de los cajones. Se usaron dos tipologías básicas, el cajón tetralobular y el circular. En la Tabla 1. Dimensiones de los cajones, se sintetizan las dimensiones principales de los cajones de proyecto.

# INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

Tipo		Uds.	Eslora	Manga	Puntal	
					Solera	Fuste
Tetralobulares	Dique Tipo 1	4	28	28	1,00	25,0/22,0
	Dique Tipo 2	23	28	28	1,00	21,5/19,0
	Plataforma	3	28	28	1,00	22,5
	Puente de acceso	8	28	28	0,6/0,80	11,37 a 14,87
Circulares	Duques de alba de atraque	2	16	16	0,60	18,90
	Duques de alba de amarre	6	16	16	0,60	14,90

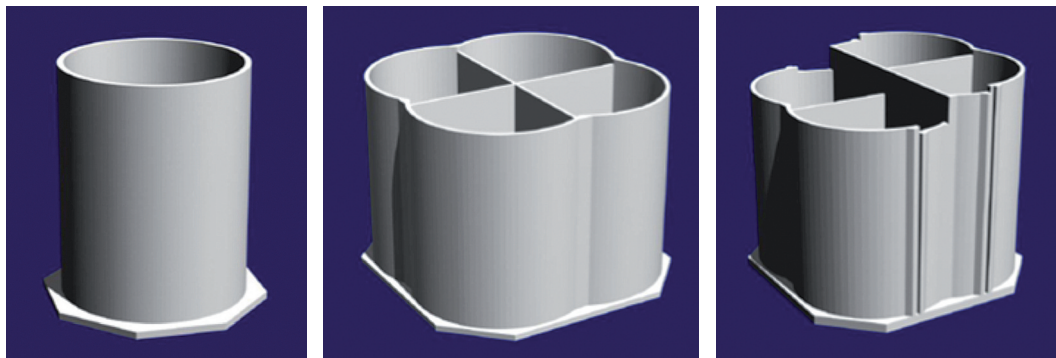
**Tabla 1. Dimensiones de los cajones.**

Los cajones de tipo tetralobular corresponden al puente de acceso, la plataforma de carga y el dique. Poseen una planta formada por cuatro lóbulos secantes reforzados en los nudos y con unas paredes transversales uniendo los mismos. En la zona de contacto entre unidades contiguas la pared exterior está reforzada por medio de unas orejetas en las llaves para la formación de la junta entre cajones.

Disponen de una pared exterior de 50 cm y paredes ortogonales interiores de 40 cm de espesor. Con ello se logra una reducida sección transversal, de unos 68 m<sup>3</sup>/m fuste muy inferior a los valores habituales, pero con una cuantía de armado muy alta, de media 226 kg/m<sup>3</sup> en los tetralobulares y 207 kg/m<sup>3</sup> en los circulares.

Este armado tan denso hace que los nudos sean especialmente complejos de ejecutar en cuanto al armado, por la gran concentración de barras y solapes y la presencia de los yugos de cuelgue del encofrado. Para garantizar la viabilidad del diseño se efectuaron las simulaciones correspondientes y se modificaron algunas barras antes del comienzo de los trabajos.

Dentro de los cajones de cuatro celdas existen dos tipos principales, según la cota de coronación de los lados mar y tierra. En el primer tipo corona todo el cajón a la misma



**Figura 8. Esquemas de las diversas tipologías de cajón: Circular, Tetralobulares: simétrico (pantalán) y asimétrico (dique).**

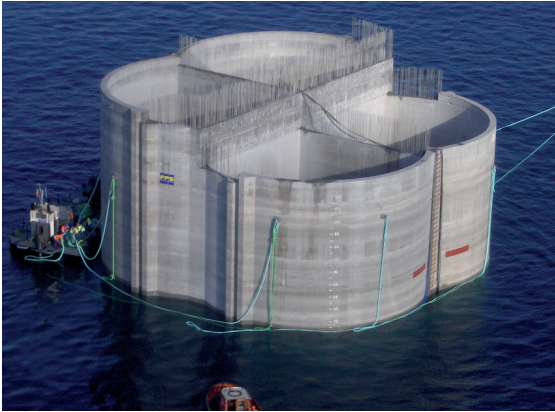


Figura 9. Cajón tetralobular asimétrico, en que se aprecian los dos niveles de coronación destinado al dique de abrigo.

cota, a él pertenecen los cajones del puente de acceso y los cajones de la plataforma de carga. El segundo tipo corresponde a los cajones del dique rompeolas, en los que las celdas de lado tierra se elevan por encima de las del lado mar, de forma que la pared central sirve de parte inferior del espaldón. Esto tiene repercusión en el remolque y el fondeo, al variar las condiciones de estabilidad a flote del cajón.

Los cajones de tipo circular corresponden a los duques de alba de atraque y amarre. Tienen un diámetro exterior de 16,0 m. y, al carecer de divisiones interiores, el estudio de estabilidad naval tanto en fabricación como durante la navegación y el fondeo se hizo mucho más relevante. Debido al tamaño de estas unidades se pudo realizar la construcción en tándem, en deslizados simultáneos de dos cajones por operación.

## ASPECTOS SINGULARES EN LA PREFABRICACIÓN DE CAJONES

Sobre la base habitual de un proyecto de deslizado de cajones, tecnología muy habitual en España, cabe destacar algunos aspectos especiales de este proyecto, que se alejan del método de ejecución habitual. Éstas características especiales se refieren al encofrado, al ensayo a escala 1:1, a la ubicación del punto de fabricación, al análisis climatológico para el remolque y al tapado de cajones.

### Requerimientos de diseño y producto

Debido a las especiales características de la obra, con criterios de ejecución provenientes de los estándares de control de ejecución de la industria del petróleo y el gas, se tuvo que adaptar el diseño de modo que se diera cumplimiento a la normativa de referencia de diseño, fabricación y explotación, esto es las normativas francesa, española y argelina, además de criterios propios de las empresas intervinientes.

El diseño del hormigón comenzó con 8 meses de anticipación. Cada componente fue analizado y comprobado individualmente. Posteriormente se realizó un completo estudio de caracterización de la mezcla, con ensayos de deslizamiento y finalmente se validaron las instalaciones de fabricación.

# INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

## **Análisis y selección de componentes, diseño y caracterización de la mezcla**

La primera fase fue la selección de componentes de acuerdo a las normativas de proyecto. Se localizaron las canteras potenciales de suministro salvo para la arena correctora, que no se localizó localmente por lo exigente de los requisitos y cuyo suministro se obtuvo desde Valencia.

Una vez validados los componentes por separado se procedió a definir la mezcla, de forma que cumpliera con los requisitos mecánicos, de durabilidad y de puesta en obra. En el diseño del hormigón, así como en los ensayos de caracterización se contó con la colaboración habitual de Geocisa. Las propiedades mecánicas no representaron problema al ser el contenido en cemento muy alto para poder garantizar los requisitos de durabilidad, por penetración de cloruros. Estos ensayos de penetración de cloruros, se desarrollaron en la ETSICCP de la Universidad Politécnica de Madrid, para los diversos escenarios de tiempo de primera inmersión en el agua del mar.

En relación a la puesta en obra del material se realizaron ensayos de deslizado en laboratorio, simulando paradas de deslizado para comprobar la validez de la curva de endurecimiento propuesta y los procedimientos de actuación en cuanto a juntas. Para una adecuada valoración se realizó el corte de los bloques de prueba con el fin de estudiar las juntas de hormigonado. También se analizó la influencia de la temperatura en la velocidad de curado y, por tanto en la velocidad de deslizamiento.

Una vez aprobada la mezcla definitiva fue analizada con ensayos de sensibilidad, simulando desviaciones del  $\pm 5\%$ ,  $\pm 10\%$  y  $\pm 15\%$  de cada componente para un conocimiento preciso del comportamiento, permitiendo la toma de decisiones automática.

## **Instalaciones de obra y encofrado**

La última fase corresponde a la aprobación de las instalaciones de fabricación de la obra, pues el control exigido descartaba el suministro exterior. Para la producción de los 80.000 metros cúbicos del proyecto se instaló una planta de hormigonado de 90 m<sup>3</sup>/h de capacidad, habilitada para la lectura de las sondas de humedad de manera automática.

El análisis de riesgos de la producción determinó la necesidad de analizar: los acopios, la variabilidad en la humedad de áridos, la temperatura del hormigón y el comportamiento del encofrado.

La capacidad de los **acopios** se diseñó para poder completar el fuste más grande, de modo que el deslizado no dependiese de suministros.

La **variabilidad en la humedad** de los áridos finos se acotó mediante la construcción de acopios cubiertos. Adicionalmente se realizaba el control con sondas higrométricas en los acopios de modo que la planta se compensase resultando un hormigón fresco con fluidez constante. Esta propiedad es crítica para lograr un deslizado homogéneo y un acabado acorde a los requisitos.

La **temperatura del hormigón** fresco se controló ejecutando controles regulares, en las horas más relevantes del mediodía y la tarde así como con medidas preventivas



de la insolación como la cubrición de acopios de áridos, control de la temperatura del suministro de cemento, silos pintados en blanco y, para casos necesarios en que se alcanzasen temperaturas más altas, una tolva para suministro de agua de amasado con escamas de hielo.

El **encofrado** supone un cambio en la concepción habitual, por la particular disposición y tipología del cajón, con muros de 13 metros entre nudos el comportamiento del encofrado es mucho más flexible. Por ello el diseño del encofrado elimina cualquier deformación es durante el deslizado, con una chapa más rígida de lo habitual para lograr mantener las propiedades geométricas invariables durante los 920 metros de deslizado. Se diseñó una estructura despejada en el centro de la celda, independiente del encofrado para evitar deformaciones, donde se acopiaba armadura suficiente para 3 días de deslizado y minimizando la dependencia de la grúa torre y por tanto el riesgo de parada por viento.



*Figura 10. Encofrado especial y diseñado según criterios de la industria del Gas y Petróleo.*

Los tratamientos superficiales de curado y de protección externos se aplicaban desde unos andamios rígidos equipados de sistema perimetral de línea de vida e iluminación. La humedad en el interior en las celdas se controlaba para asegurar la humedad necesaria para el curado del hormigón mediante el riego con agua dulce.

### **Ensayo a escala 1:1 "In situ"**

Durante la fase final de los preparativos, se ejecutó un ensayo a escala 1:1 en obra. En el citado ensayo se comprobaron, de forma conjunta, los diversos elementos singulares diseñados para este proyecto: encofrado, comportamiento del hormigón fabricado "in situ", productos de curado, disposición de la armadura en los nudos, procedimientos de parada, monitorización de temperaturas durante el curado, así como los procedimientos de ejecución de parada, de junta y los tratamientos superficiales.

Se eligió una sección singular del cajón, el nudo entre dos paredes perimetrales y la interior, por ser la zona más compleja para el deslizado, de mayor densidad de armado y de mayor espesor (temperaturas). Se deslizó con gatos y barras de trepa simulando los cuelgues reales del dique.

# INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

## Ubicación del punto de Fabricación

Uno de los aspectos más reseñables de este proyecto ha sido la separación entre los puntos de fabricación y de fondeo. Según criterios de calidad de producto, para dar una respuesta satisfactoria a las exigencias de acabado del cajón era necesario elegir un punto de fabricación idóneo. Tras el análisis inicial se descartó la fabricación en la ubicación de la obra.

Las lógicas reticencias iniciales del cliente se disiparon al comprobar que no sólo se lograba asegurar un nivel muy superior en calidad sino también una propuesta más ventajosa en coste comparada con el coste real conocido por sus experiencias previas en este tipo de contratos. Una vez identificada la necesidad se comenzó la búsqueda de un emplazamiento para la prefabricación de cajones. Entre los condicionantes que se valoraron cabe destacar:

- Existencia de un área suficiente para las instalaciones.
- Existencia de calados para fabricación.
- Acceso a materiales de calidad.
- Acceso a mano de obra cualificada.
- Existencia de zonas de acopio temporal del producto terminado.
- Se valora también la cercanía al lugar de destino, pero se ha comprobado que este factor no es crítico.

Se eligió la dársena de Escombreras, del Puerto de Cartagena, como lugar idóneo para la fabricación de los cajones, al cumplir con los requisitos exigidos y contar con la inestimable colaboración de la Autoridad Portuaria de Cartagena.



Figura 11. Ejecución de la prueba de deslizado y tratamiento superficial.



Figura 12. Vista general de la implantación de la planta de prefabricación.

### Remolque a destino

Debido a la disociación entre punto de fabricación y punto de fondeo toma relevancia una nueva actividad: el remolque de los cajones terminados hasta el punto de destino. Para ello se diseña, por parte del Departamento Técnico, la operación de remolque, desde los estudios de estabilidad naval y estudio de remolque del cajón al diseño de los anclajes de tiro (de carga 250 t) y su integración en los cajones.

Para el diseño del remolque, ante la ausencia de normativa o métodos específicos, se hizo uso de una combinación de los métodos propios de la empresa, basados en la experiencia en remolques de cajones y en la literatura existente, así como en la aplicación, para análisis parciales, de las metodologías generales de cálculo de remolques de buques de *Det Norske Veritas (DNV)*, *Bureau Veritas (BV)* y *Noble Denton (ND)*.

Se analizaron otras posibilidades de remolque como los transportes de gran tonelaje, pero se descartaron por el programa de obra y el coste en comparación con el remolque tradicional, debido a lo reducido del trayecto. Los estudios de estabilidad y cálculos de resistencia al remolque contaron con las especiales formas de los cajones, que favorecieron la navegación debido a una relación calado/puntal de 0,36 en los cajones de plataforma de carga y de 0,42 en los cajones de dique.

Para minimizar los posibles efectos dinámicos del remolque y de acuerdo a la experiencia previa se definen el tiro de cálculo para alcanzar una velocidad de remolque de 2,5 nudos. El trayecto, de 110 millas náuticas, (unos 205 kilómetros) se completaría en aproximadamente 48 horas. El remolque de los 46 cajones se realizó por el remolcador Monfort, de 77 t de tiro a punto fijo, fletado durante la duración de los trabajos.



# INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD



Figura 13. Partida de un cajón del dique hacia Argelia. Figura 14. Situación del punto de datos para análisis.

## Análisis meteorológico

También fue necesario analizar los condicionantes meteorológicos, para asegurar el cumplimiento del programa de trabajos. Se procedió a un análisis probabilístico-meteorológico para la identificación de ventanas de trabajo. De este análisis se obtuvieron los datos de partida para el diseño de las operaciones de remolque.

La única fuente disponible de datos de clima marítimo, al no existir registros de instrumentos de medición en la ruta de remolque, es el punto SIMAR 2044016, de coordenadas 0,500 E; 37,000 N, incluido en el grupo de datos SIMAR 44, que es la base de datos de reanálisis de alta resolución de atmósfera, nivel del mar y altura de ola en torno a la derrota de los cajones. Esta simulación ha sido realizada por Puertos del Estado y se enmarca en el proyecto europeo HIPOCAS.

Partiendo de las series de datos proporcionadas por ese punto se realizó un análisis de disponibilidad de ventanas para el remolque de cajones. En el estudio se buscaron ventanas de operación con alturas de ola menores de 1 metro durante periodos de 60 horas.

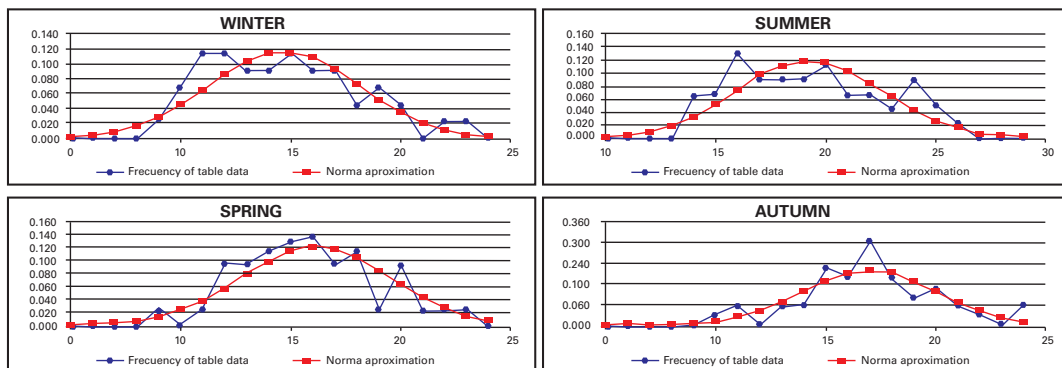


Figura 15. Resultados del análisis de probabilidad de ventanas de remolque por estaciones.



### Tapado de cajones

Debido a las condiciones de estabilidad de los cajones el francobordo es muy elevado, para la mayoría de ellos. Sin embargo, para las unidades del puente de acceso C1 a C4, de hasta 13,5 metros de puntal, las condiciones de remolque exigen que se cubran los mismos para evitar el riesgo de un eventual embarque de agua por el oleaje durante la navegación.

Se diseñó un sistema de tapado que resista el paso de una ola de 1 metro de altura. Al no disponer de muelle en destino las cubiertas se diseñan para ser desmontadas desde pontona con grúa usada para el fondeo. Con el fin de aminorar el peso y lograr una solución modular fácilmente desmontable se diseñó una cubierta en base a unas vigas de celosía modulares tipo Acrow (ocho módulos por cajón) soportando una cubierta de madera estructural y tablero OSB.

Con ello se logró una cubierta muy ligera y cuyo material pudo utilizarse a posteriori como pasarelas de acceso entre cajones en la fase de ejecución de la superestructura *in situ*.

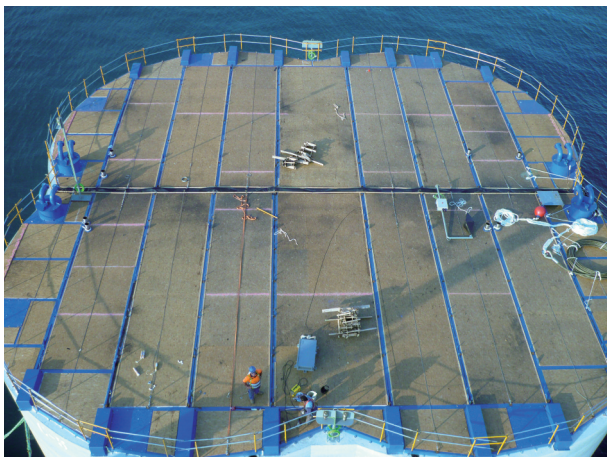


Figura 16. Cajón tapado para remolque.

### Trámites aduaneros

Debido a la localización de los puntos de fabricación y de la obra el tratamiento de los envíos es de exportación extracomunitaria, convirtiéndonos de esa manera en un exportador de productos, reteniendo la inversión de fabricación en el Puerto de Cartagena y vendiendo el producto acabado a un tercero.

### EJECUCIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA EN ARZEW

La superestructura construida sobre los cajones consta de 4 tramos claramente diferenciados: puente de acceso, plataforma de carga, estructuras de atraque y amarre y dique rompeolas.

# INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

## Puente de acceso

Los 8 cajones se coronan, mediante una losa de hormigón armado *in situ* sobre el relleno de los mismos. Sobre ella se alojan la vía de servicio y la línea de apoyo de la estructura soporte de los equipos mecánicos o *pipe rack*.

El puente de acceso dispone de una superestructura con dos áreas: a levante un acceso rodado y a poniente el poliducto e instalaciones de transporte y servicio. El segundo cajón desde tierra se usa adicionalmente de casa de bombas.



Figura 17. Superestructura en el puente de acceso: soportes de la vía de acceso y montaje del poliducto desde la misma.

La vía de servicio está soportada por dos alineaciones de muro, de 2,10 m de alto y 0,50 m de ancho. Presenta un ensanchamiento en los 5 primeros cajones en los que el número de líneas de apoyo se amplía a cuatro para permitir el cambio de sentido. Sobre cada dos alineaciones de muro apoyan 9 losas prefabricadas en España de hormigón armado, de 0,38 m de espesor y 6,00 m de ancho, que conforman la vía de rodadura.



Figura 18. Vista general del proyecto con la superestructura ejecutada.



Figura 19. Vista interior de la casa de bombas.

En cada extremo del cajón se disponen los estribos para apoyo de las 7 vigas que constituyen los tableros, así como los bloques de anclaje antisísmicos. El vano entre los cajones se resuelve mediante un tablero de vigas prefabricadas pretesas, de 33 m de longitud, colocadas a testa, rematadas por una losa de compresión de 0,25 m de espesor y unos rigidizadores en las cabezas, ambos ejecutados *in situ*. Lateralmente, la vía de servicio se encuentra confinada por un bordillo que sirve para el anclaje del pretil BN4. La línea de equipos o poliducto, se encuentra cimentada sobre 12 soportes de hormigón armado en los cajones pares y 20 en los cajones impares, en los que se disponen los ensanchamientos de la línea para alojar las liras de dilatación de las tuberías.

En el segundo cajón se ubica la toma del sistema contraincendios para lo que se construye en su interior una estructura de hormigón para alojar las bombas, los filtros y demás equipos mecánicos propios del sistema.

### Plataforma de carga

La plataforma de carga está formada por los 3 cajones. En coronación se construye una losa de 0,50 a 1,00 m de espesor, según secciones, sobre la que se distribuyen los apoyos de hormigón armado que servirán de cimentación al equipamiento mecánico y marítimo necesario para operar el terminal.

El cajón Oeste es atravesado, en toda su longitud, por un canal, de 2,42 m de alto por 1,62 m de ancho y muros de 0,40 m de espesor, para la recogida de los derrames que pudieran producirse durante la operación de carga del gas licuado a temperatura criogénica.

El paramento exterior de los cajones extremos se modifica debido a la interferencia entre la geometría del fuste de construcción con el desembarco de la vía de servicio



# INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

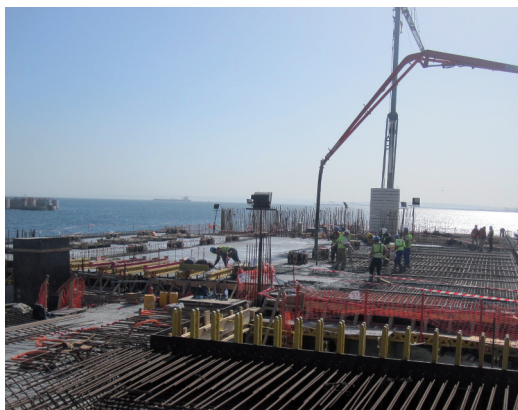


Figura 20. Plataforma de carga. Fase de ejecución de la losa y demolición de paredes para los macizos de las defensas.

en el cajón Oeste y con los macizos de las defensas en los cajones extremos. La distinta geometría en planta del conjunto formado por los cajones y de la losa de la superestructura de la plataforma de carga da lugar a un voladizo perimetral de la losa de longitud variable que llega a alcanzar los 4 m.

## Duques de Alba de atraque y amarre

El equipamiento adicional de maniobra marítima, necesario para el atraque y amarre de los buques se dispone en 8 cajones (6 de amarre, y 2 de atraque), conectados entre sí y con la plataforma de carga mediante pasarelas metálicas.

En cada uno de los cajones se ubica un conjunto de ganchos de escape rápido para el amarre y en los cajones de atraque, situados en la misma alineación del cantil a ambos lados de la plataforma de carga, se colocan defensas elastoméricas equipadas



Figura 21. Montaje de las pasarelas y equipos en la plataforma de carga.



Figura 22. Muro de coronación en el dique. Sección sencilla y sección con contrafuertes



con escudo para el atraque de buques. En total se disponen 4 defensas, 6 ganchos de escape rápido y 8 pasarelas de acceso peatonal, siendo la mayor de 68 metros de luz.

## Dique rompeolas

La terminal marítima está abrigada por un dique rompeolas, que paralelo a la línea de atraque, dota al conjunto de una canal libre de 310 m de ancho y calado en el frente de atraque variable entre los 14,50 y 18,50 m.

El dique rompeolas tiene 2 secciones diferentes: la principal sección tipo 1 en los 4 cajones Este, que coronan a la + 4,55 m en el lado mar y a la + 7,50 m en el lado tierra y en su extremo Oeste la sección tipo 2 en los 23 cajones, que coronan a la +1,55 m el lado mar y a las + 4,55 m el lado tierra. En ambas secciones el espaldón alcanza la cota + 9,55 m mediante un muro de coronación de 2 m en los 4 cajones Oeste y de 5,00 m con contrafuertes cada 5,60 m en los 23 cajones Este.

En las dos secciones constructivas del dique los cajones se cubren con una losa de hormigón armado, conectada con los paramentos verticales. En los cajones correspondientes a la sección tipo 2 la superestructura del lado mar se ejecutó tras su botadura y previo al remolque del mismo en Cartagena. En ese caso se cierran *in situ* los huecos habilitados para el fondeo y relleno tras instalar el cajón en su posición definitiva. La junta entre cajones está diseñada en voladizo a nivel de losa lado mar, losa lado tierra y espaldón.



Figura 23. Vista desde lado mar del dique.



Figura 24. Detalle de la fase de ejecución de la junta entre cajones.

## PRINCIPALES UNIDADES

- Más de 700 documentos de Proyecto y más de 3.000 versiones revisadas.
- Ensayos en modelo físico en varios laboratorios y Campaña geotécnica.
- 80.000 m<sup>3</sup> de hormigón en cajones y 920 metros lineales de deslizado.

## INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

- 5.060 millas de remolque de cajones y prácticamente  $\frac{1}{4}$  circunferencia terrestre.
- 24.000 m<sup>3</sup> de hormigón colocado con medios marítimos.
- 3.302 t de armadura corrugada B500S.
- 8 pasarelas de conexión entre estructuras de atraque y amarre.
- 27.000 t de escollera de protección de banqueta de cimentación de cajones.

### CONCLUSIONES

La fabricación de 46 cajones para el proyecto Arzew GNL 3Z ha supuesto la adaptación del sistema tradicional de cajones a unas nuevas exigencias: fabricación de cajones bajo criterios de la industria del gas y el petróleo, adaptación de los procedimientos habituales a la fabricación de cajones tetralobulares con celdas de 13,3 m de luz y diseño y ejecución de la operación de remolque de cajones desde el punto de fabricación al de fondeo, de forma consistente con el plan de obra.

Este proyecto ha permitido diseñar y poner a punto unos sistemas de control de calidad intensivos en cuanto a los materiales y al producto. Ello ha quedado reflejado en la escasez de incidencias durante los 920 metros deslizados y la absoluta satisfacción del cliente. Cabe destacar la importancia de los trabajos de selección de materiales y en el diseño de las instalaciones de obra. Se han aplicado técnicas innovadoras, en cuanto a materiales y tipología, en la cubrición de los cajones, de forma completamente modular y reutilizable.

También ha quedado demostrado que las operaciones de remolque, con un diseño específico, son perfectamente compatibles con el programa de trabajos, dando muestra de la fiabilidad del sistema y de su eficiencia en coste frente a otras alternativas.

Por último destacar que la combinación de entidades públicas como la Autoridad Portuaria de Cartagena, y empresas privadas como PROES y FPS ha permitido que esta operación se haya culminado con éxito, empleando recursos humanos y materiales, que aportan impulso a la sociedad española. El trabajo en las duras condiciones del personal en proyecto y obra ha permitido trabajar durante 3 años a cientos de empleos directos y miles indirectos incluyendo los materiales y transporte a obra.