

## Nuevo puerto exterior de Punta Langosteira



**Pedro Canalejo Marcos**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.  
Consejero Delegado de ALATEC, Ingenieros  
Consultores y Arquitectos, SA



**Pedro Canalejo Rodríguez**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.  
Director General de ALATEC, Ingenieros  
Consultores y Arquitectos, SA

### Resumen

El proyecto del Nuevo Puerto Exterior de La Coruña nace en el año 1996. Entre 1996 y 1998 se estudiaron las posibles alternativas de ubicación y se efectuó la selección de la alternativa óptima para seguidamente desarrollar el Proyecto Básico que comprendió los estudios de Configuración en Planta y Alzado y el análisis de las soluciones estructurales aplicables a las obras de abrigo y muelles de atraque.

Entre los años 1999 y 2000 se lleva a cabo el desarrollo del Proyecto Constructivo de la solución original definida en el Proyecto Básico. Las severísimas condiciones meteorológico-marinas y los altos costes previstos impulsan a las Autoridades portuarias españolas a una reconsideración del proyecto. Para ello se constituye una comisión mixta de técnicos en que además de Alatec, ingenieros autores del Proyecto, participan representantes de la Autoridad Portuaria de La Coruña, Puertos del Estado de España y otros especialistas en diversas materias. Tras una exhaustiva revisión de la definición de clima marítimo, la accesibilidad marítima, la operatividad del puerto, la configuración, la viabilidad constructiva y los costes de construcción, llevados a cabo entre los años 2001 y 2002, en el año 2003 se desarrolla el proyecto constructivo de la solución final que inició su construcción en marzo de 2004. El trabajo desarrollado a lo largo de estos años sería prácticamente imposible de describir en la limitada extensión del presente artículo; pero a lo largo de sus diferentes capítulos trataremos de señalar los aspectos más característicos que permitan entender la magnitud del reto tecnológico que ha sido superado por la ingeniería marítima española.

### Palabras clave

Punta Langosteira, Alatec, nuevo puerto exterior, dique rebasable, optimización medioambiental puerto de La Coruña

### Abstract

*The original project for the New Outer Port at La Coruña dates back to 1996. Between 1996 and 1998 different alternatives were considered regarding location and a selection made of the optimum alternative for the ensuing development of the Preliminary Planning Stage that included studies of Plan, Elevation and General Arrangement and the analysis of corresponding structural solutions for harbour and dock works.*

*Between 1999 and 2000, Detailed Design and Planning was made on the basis of the original solution defined at the Preliminary Planning Stage. The very severe sea and weather conditions and the estimated high costs subsequently led the Spanish port authorities to reconsider the project. A joint technical committee was established to this end, formed by Alatec, the consultant engineers responsible for the design work, representatives from La Coruña Port Authority and other specialists in diverse fields. Following a thorough review and definition carried out over 2001 and 2002 of the marine climate, port operation, arrangement, building feasibility and construction costs, detail plans were drawn up in 2003 of the final solution that was eventually started in March 2004. It would be practically impossible to describe all the work carried out over these years within the confines of the present article, but in the different chapters that follow we shall attempt to indicate the most relevant aspects in order to give some indication of the scale of the technological challenges that were successfully met by Spanish marine engineering.*

### Keywords

*Punta Langosteira, Alatec, new outer port, overtopped breakwater, environmental optimisation, port of La Coruña*



Fig. 1. Puerto actual de La Coruña

### 1. El puerto de La Coruña

El puerto histórico de La Coruña situado en el noroeste de la costa de la península ibérica congrega una serie de circunstancias que condicionan de forma determinante su posible expansión.

a) Difícil y arriesgada accesibilidad marítima.

Las arriesgadas condiciones de accesibilidad han sido histórica y lamentablemente puestas de relieve por siniestros de graves consecuencias tales como los de los petroleros Urquiola (1976) de 100.000 TPM y Mar Egeo (1992) de 75.000 TPM.

b) Naturaleza peligrosa y potencialmente contaminante de los tráficos que constituyen el 80 % del volumen total: petróleo y productos hidrocarburoados; y graneles sólidos de carbón energético.

c) Agotamiento de espacios portuarios tanto terrestres como acuáticos.

d) Conflicto puerto-ciudad generado por la existencia de un espacio industrial portuario sin solución de continuidad con el espacio urbano inmediato, expuesto a los riesgos derivados de la manipulación de tráficos de la naturaleza señalada.

Todo lo anterior condujo a la Autoridad Portuaria de La Coruña, con la colaboración de Alatec, a abordar un estudio de alternativas para encontrar el emplazamiento óptimo de un nuevo puerto exterior que permitiera resolver los problemas descritos a la luz del siguiente criterio de prioridad:

- Mercancías sucias o potencialmente peligrosas y contaminantes al nuevo puerto.
- Mercancía general limpia, tráfico de pasajeros, cruceros, actividades náutico-deportivas y pesca en el puerto existente.

Los criterios utilizados para determinar el emplazamiento óptimo del nuevo puerto fueron: proximidad al puerto existente de La Coruña, proximidad al principal generador de tráficos (refinería de Repsol-YPF en Bens, La Coruña), accesibilidad terrestre tanto viaria como ferroviaria, accesibilidad marítima, amplia disponibilidad de suelo, mínimo impacto ambiental y mínimo coste de inversión.

De las alternativas investigadas, fue seleccionada la situada al abrigo de Punta Langosteira que reunía las siguientes características: ausencia de núcleos urbanos próximos, proximidad a la Refinería de Repsol YPF (≈ 4 km), proximidad a la Red de Autopistas y Red Nacional de Ferrocarriles, aceptables condiciones topobatemétricas, proximidad de núcleos de desarrollo industrial con amplia disponibilidad de suelos, mínimo impacto ambiental y menor coste de todos los emplazamientos analizados.

### 2. Las características del nuevo emplazamiento



Fig. 2. Emplazamiento seleccionado de Punta Langosteira

A pesar de ser el área de Punta Langosteira el mejor de todos los emplazamientos analizados, el proyecto debía resolver dos graves problemas que se dan cita en dicho emplazamiento:

- Cierta complejidad topobatimétrica de la costa.
- Condiciones climatológico-marinas de gran severidad.

El nuevo emplazamiento fue exhaustivamente investigado mediante la realización de las siguientes campañas:

- Investigaciones cartográficas, topográficas y batimétricas (1997, 1999, 2000).
- Investigación geofísica y morfológica (1997, 1999).
- Investigaciones geológico-geotécnicas marinas y terrestres (1999, 2000).

Fruto de las investigaciones realizadas se concluyó en la existencia de una zona arenosa de batimétricas paralelas hasta alcanzar una zona a unos 1.000 m de la costa con batimetría que denuncia la presencia de afloramientos rocosos. La potencia del estrato arenoso varía entre los 5 metros y los 10 metros.

### 2.1. Caracterización del clima marítimo

Se realizó un análisis de oleaje utilizando los datos de las boyas existentes (de Finisterre a Bares), así como los datos Wasa. Se estudiaron los 75 mayores temporales de los últimos 25 años y se definió el clima marítimo esperado en el emplazamiento. Para su establecimiento, se propagaron los citados temporales, una vez definidas sus características en aguas profundas mediante un análisis Hindcast de los planos de viento, hasta las boyas de Langosteira, La Coruña y Vilán. Conocido el régimen en la de La Coruña, que aunque escalar, poseía datos de más de 20 años, se pudo establecer una relación entre ambas boyas.

De esa forma, se compuso un régimen extremal para la boya de Langosteira, en el emplazamiento de las obras y, una vez establecidos los criterios de diseño, se pudo conocer la altura de ola que iba a ser utilizada en los sucesivos estudios de estabilidad y operatividad en la nueva dársena.

Finalmente, establecida una vida útil de 50 años y asumiendo las probabilidades de fallo establecidas por la ROM 0.2.90, de 0,30, se definió el período de retorno de 140 años para el cálculo de la altura de ola significativa de diseño. Se programó el dique por tramos para conocer en todo su desarrollo el oleaje de cál-

culo, siendo el punto crítico el tramo principal; los últimos 1.800 metros de dique, con una altura significativa de 15,1 metros, que representa una altura máxima cercana a los 26 metros.

### 2.2. Regímenes de Marea

De acuerdo con la información disponible correspondiente al mareógrafo de La Coruña, la carrera de marea en el área del proyecto resulta de 4,38 m situándose el nivel medio del mar (NMM) a la cota + 2,20 m respecto a la bajamar viva equinoccial.

### 3. Tipología del dique de abrigo

La tipología de dique elegida fue la de dique en talud rebasable. Este tipo de solución, flexible en su concepto, es la razonable conceptualmente cuando se tiene un grado de desconocimiento de las acciones a que está sometida la estructura. Por otro lado, en aquella fecha, no existían referencias de diques verticales construidos en el océano Atlántico (el dique del puerto de Gijón es el primero construido en el Cantábrico). También fueron consideradas otras razones para la elección de la tipología en talud. Además, fue estudiada la búsqueda de la rotura del oleaje para mejorar las condiciones de navegación en el entorno.

El dique de Langosteira se convirtió así en un referente constructivo en el mundo al estar sometido a las mayores acciones del oleaje conocidas en un dique en talud.

Como consecuencia de lo anterior, se decidió la realización de estudios redundantes, tanto en modelo físico como numérico, que permitieron confiar razonablemente en los resultados.

De este modo, para el conocimiento del oleaje en el emplazamiento, se utilizaron los modelos numéricos de propagación de oleaje irregular Refdif, Props y Ghost contrastados a partir de registros simultáneos de las boyas direccionales de Langosteira y Vilán. Además, para reducir la incertidumbre, dadas las especiales condiciones de la batimetría, se desarrolló un modelo físico de contraste en el tanque 3D multidireccional de WL Delft Hydraulics (Holanda), que permitió conocer que se producía una ampliación del oleaje del 13 % por la influencia del fondo marino, muy afectada por la dispersión direccional.

Para el conocimiento de la estabilidad del dique en talud se desarrollaron sendos ensayos en canal bidimensional en la Universidad de Aalborg (Dinamarca) y en las instalaciones del Cedex, del Ministerio de Fomento. Estos ensayos permitieron diseñar las estructuras de los diques en talud, tanto en lo que se refiere a la estabilidad de los bloques del manto principal, como de sus bermas, las fuerzas sobre el espaldón y el rebase existente.

### 3.1. Características de la sección del dique de abrigo

La sección diseñada consistió en un manto exterior con un talud 1:2 de bloques cúbicos de 150 toneladas, con sus correspondientes filtros. Primero de bloques de 15 toneladas y uno secundario de escollera de una a cinco toneladas, que protegen el todo uno de cantera del núcleo. La sección estaba dotada de sendas bermas, a la cota -17 metros de bloques de 50 toneladas, y a la cota -25 metros formada por escollera de cinco toneladas, respectivamente.

Se diseñó un espaldón masivo, cimentado a la cota +10 respecto la bajamar máxima viva equinoccial y coronado a la cota +25 metros, de una anchura de 12 metros en coronación, y solidariamente unido al vial del dique.

Como consecuencia de todo esto y considerando el intenso rebase por encima de la estructura, se pudo conocer el punto crítico en el diseño del dique, en este caso, su trasdós. Así se pudo prepararlo y reforzarlo.

El trasdós se conformó con un sistema bicapa de bloques adoquinados de 15 toneladas. De esta forma, se consiguió un talud suave para reducir el impacto del rebase producido.

### 4.- La agitación en el interior de la dársena

Para el conocimiento de la agitación interior de la dársena y de los esfuerzos en amarras de buques atracados, se desarrollaron sendos estudios en las instalaciones del Cedex y del Danish Hydraulic Institute (Dinamarca), en tanque 3D unidireccional, que permitieron conocer la necesidad de construcción de un martillo en el dique que permitiera reducir las tensiones en amarras en condiciones extremas. Se comprobó que las condiciones de agitación interior eran las convenientes.

Asimismo, se realizaron análisis redundantes en modelo numérico, utilizando el sistema MIKE 21 del Danish Hydraulic Institute que, calibrado con el modelo físico, permitió implementar un modelo numérico para el cálculo de los esfuerzos en buques amarrados. El resultado de la dársena fue satisfactorio, obteniendo unas inactividades de las operaciones muy reducidas. También fue estudiado el efecto de la posible resonancia producida en la dársena. Las dársenas portuarias, dadas sus dimensiones, pueden entrar en resonancia si se produce su acoplamiento a determinados períodos altos de oleaje.

#### 4.1. Maniobrabilidad

Para el conocimiento de la maniobra de acceso y salida de buques se utilizaron, sucesivamente, el modelo numérico

Shipma, que permitió definir las zonas de maniobra necesarias, y un simulador a tiempo real en las instalaciones de Siport XXI en Madrid, que permitió conocer las condiciones límite de operación. En general, con olas de 4 a 4,5 metros y viento de 20 nudos, las dificultades de maniobra son de limitadas a medias.

### 5. Características del nuevo puerto exterior

Las características del nuevo puerto resultan determinadas por las condiciones del emplazamiento y la naturaleza y magnitud de los tráficos a manejar así como las flotas que previsiblemente transportarán las mercancías.

Los volúmenes del tráfico considerados corresponden a aquellas mercancías que han de trasladarse al nuevo Puerto y que corresponden a las que se describen en el cuadro siguiente: La flota de buques de diseño prevista para estos tráficos es la siguiente:

- Graneles líquidos:
  - Crudo de Petróleo: 150.000 TPM
  - Productos Petrolíferos: 35.000 TPM
  - Gases licuados: 10.000 TPM
- Graneles sólidos:
  - Tamaño Máximo: 200.000 TPM
  - Tamaño Medio: 60.000 TPM

### 6. Proyecto constructivo, año 2000

En 1999 la Autoridad Portuaria contrató nuevamente a ALATEC para la redacción del proyecto constructivo de las nuevas instalaciones portuarias de punta Langosteira. El proyecto fue redactado entre 1999 y el 2000, siendo autores del mismo los ingenieros de Caminos, Pedro Canalejo Marcos y Pedro Canalejo Rodríguez, dirigido por Enrique Maciñeira Alonso, con la asesoría del eminente catedrático Dr. Hans F. Burcharth, de la Universidad de Aalborg, Dinamarca.

La redacción de un proyecto de un puerto supone un proceso cíclico en el que, una vez conocidas las condiciones océano-meteorológicas y las características geotécnicas, tanto terrestres como marinas, se investigan, no sólo las capacidades estructurales requeridas a las obras de abrigo, en este caso, sino también las posibilidades desde el punto de vista operativo.

El primero de ellos, el estructural, parte de un primer prediseño utilizando el conocimiento del estado del arte y las fórmulas

GRUPO GENERAL	PRODUCTOS	CUANTÍAS (Tm/año)
Graneles líquidos	Petróleo Crudo	6.740.562
	Fuel Oil	750.000
	Gas-Oil	702.000
	Gasolina	484.000
	Otros productos petrolíferos	698.944
	Gases energéticos de Petróleo	344.729
	Aceites y Grasas	12.000
Graneles sólidos con y sin instalación especial	Cemento y Clinker	530.578
	Coke de Petróleo	100.000
	Habas y Harinas de Soja	765.690
	Otros productos alimenticios	79.349
	Cereales y sus harinas	595.773
	Piensos y forrajes	1.042.616
	Minerales	535.000
	Productos metalúrgicos	7.000
	Abonos naturales y artificiales	103.890
	Carbones	2.400.000

## Tráficos previstos para el nuevo puerto exterior

apropiadas en función de las características de la estructura, y un posterior contraste en modelo físico, inicialmente en canal 2D y, posteriormente, una vez revisada la estructura, en tanque multidireccional 3D. Este proceso es cíclico, porque los efectos tridimensionales afectan a su vez a la estabilidad de determinadas partes de los diques y procede su revisión en canal nuevamente.

El segundo de ellos, el operativo, pretende dar respuesta tanto al acceso a la dársena como a la protección de la misma. Estas dos variables son opuestas de tal forma que, a una mayor dificultad en el acceso, corresponden unas mejores condiciones internas de la dársena, y al contrario. Por ello, es preciso un análisis de ambos factores, primero en modelos numéricos, que permiten un primer diseño rápido analizando ambos problemas y, posteriormente, utilizando el modelo físico en tanque 3D unidireccional o multidireccional, en función de las posibilidades y dimensiones de la dársena y el simulador en tiempo real, para conocer las capacidades de respuesta y la intervención del

factor humano en el proceso de acercamiento del buque. Este último es decisivo para el dimensionamiento de las áreas de flotación y de las áreas de emergencia. Los resultados de los modelos nos permiten, a su vez, el calibrado de los modelos numéricos utilizados y la implementación de modelos matemáticos de esfuerzos en amarras de buques atracados, con una gran versatilidad y capacidad.

Se investigaron los siguientes datos: topografía, parcelario y geotecnia, en la zona terrestre, que permitió concluir que existían materiales aptos y en cantidad suficiente para realizar las obras, aunque la cantera sería de difícil explotación (no existía un frente franco y había mucha roca meteorizada que no era válida para hormigones y escolleras) y batimetrías y geotecnia marina, en la zona marítima. Este hecho se ha manifestado de absoluta relevancia una vez comenzadas las obras. También fue necesaria la tramitación de sucesivas expropiaciones para contar con materiales en cantidad suficiente para la ejecución del proyecto.

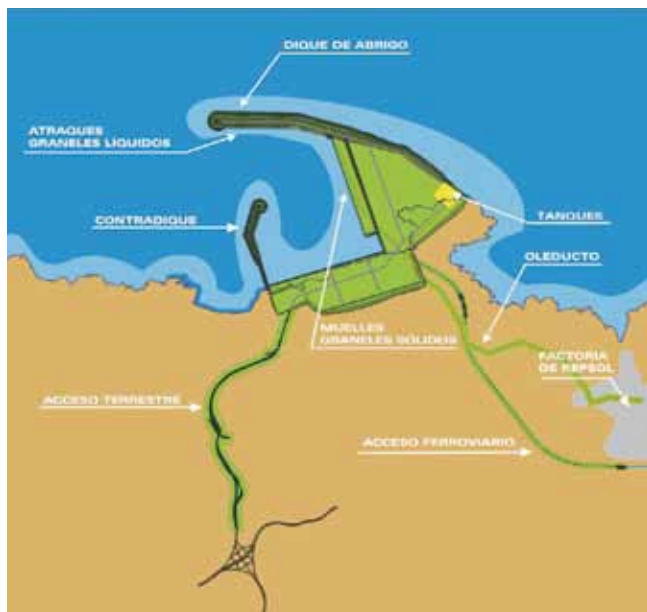


Fig. 3. Planta del nuevo puerto definida en el Proyecto Básico

### 6.1. Estudios de accesibilidad náutica

Los estudios fueron llevados a cabo en conformidad con los criterios establecidos en el documento ROM 3.1-99 (“Proyecto de la configuración marítima de los puertos, canales de acceso y áreas de flotación”).

La accesibilidad marítima se analizó para un B/T petrolero de 150.000 TPM elegido como buque de diseño por la A.P. de La Coruña. Los dimensionamientos en planta se llevaron a cabo a partir de tres procedimientos:

- Criterios PIANC.
- Procedimiento determinístico ROM 3.1-99.
- Estudios en simulador ‘fast-time’ con autopiloto.

El dimensionamiento en alzado de la ruta de navegación se estudió a partir del método determinístico establecido en la ROM 3.1-99 y el procedimiento de determinación del “Operador de Amplitud de Respuesta” (RAO) para el cálculo de sobrecargados por oleaje producidos por fenómenos de resonancia inducidos por aproximación de frecuencias del oleaje incidente y del buque de diseño. Los riesgos considerados en los diseños de las áreas de navegación fueron los que se describen en la tabla siguiente:

ÁREA DE NAVEGACIÓN	Vida útil	Riesgo máximo
Aproximación a puerto	40	0,30
Cruce de Bocana	40	0,10
Resto de áreas de navegación	40	0,30

### 7. Proyecto constructivo, año 2004

La Autoridad Portuaria contrató a la consultora Alatec para la concreción del proyecto que iba a ser licitado. El proyecto, cuyos autores fueron los ingenieros de Caminos Pedro Canalejo Marcos y Pedro Canalejo Rodríguez, fue dirigido por Fernando Noya Arquero, bajo la supervisión del Dr. Hans Burcharth. El proyecto redujo el alcance del diseñado en el año 2000 recogiendo aquellas modificaciones y decisiones tomadas desde ese año. El presupuesto de inversión establecido fue de 434 millones de euros y un plazo de 96 meses de construcción.

Para el conocimiento de la estabilidad del morro y del efecto de la direccionalidad en puntos singulares, se utilizó el tanque 3D multidireccional del Cedex. A la vista de los resultados obtenidos, se decidió proyectar dos alternativas diferentes, que deberían ser estudiadas en profundidad en su momento: el morro en talud y el morro vertical.

Este proyecto, que es el que finalmente se licitó en febrero de 2004, supuso la movilización de más de 32 millones de metros cúbicos de material, la fabricación y puesta en obra de cerca de 2,5 millones de metros cúbicos de hormigón, con la fabricación de más de 130.000 bloques de diferentes tamaños, y la utilización de más de 15 millones de kilogramos de acero, convirtiéndose, por tanto, en una de las mayores obras de ingeniería portuaria realizadas en España.

Una vez rematadas las obras, se dispone de una superficie de tierra de 143 hectáreas, con un frente de atraque de 920 metros y 22 de calado, y un trasdós del dique de más de 1.300 metros, que permite la construcción de los pantalanes para el movimiento de graneles líquidos requeridos. Con este proyecto, una vez dotada la dársena de accesibilidad ferroviaria y viaria, podrá acoger el traslado de los productos energéticos que actualmente se trasiegan por las instalaciones del puerto de La Coruña.

En esta fase se desarrollaron los siguientes estudios complementarios:



a) Análisis de la estabilidad del morro: desde el año 2002 y hasta el 2004, la Autoridad Portuaria utilizó el tanque 3D multidireccional de la Universidad de Aalborg para el estudio y análisis de los factores críticos en la estabilidad del morro del dique. Como consecuencia de estos estudios, se concluyó la viabilidad de cualquiera de las opciones planteadas: morro vertical y en talud, siempre y cuando se actuara sobre la densidad del hormigón, factor crítico en la estabilidad.

b) Reanálisis de la estabilidad del dique y la configuración en planta: teniendo en cuenta lo singular del dique y su situación extrema, la Autoridad Portuaria procedió a reanalizar la estabilidad del dique de punta Langosteira y la configuración en planta de la dársena con el objeto de optimizar, en alguna medida, la inversión a realizar. Utilizando las instalaciones del Cedex, el gran canal 2D y el tanque 3D multidireccional, se volvió a estudiar el dique de punta Langosteira. Se detectó que el trasdós del dique era la parte crítica de la estructura y se observó la importancia de la construcción de una berma trasera, a la cota -11 metros respecto a la bajamar, y se aumentó el tamaño de los bloques hasta las 50 toneladas, agujereándolos para reducir las presiones hidráulicas del núcleo. Se volvieron a definir los objetivos básicos del proyecto, concretando el traslado de la terminal petrolífera y de la carbonera, como objetivos iniciales de la primera fase de las obras. De este modo, se estudió cuál era la configuración en planta mínima que permitiría acoger los tráficlos previstos.

c) Análisis económico-financiero: en el año 2000, ante las dificultades de obtener fondos comunitarios para la ejecución de las obras, se analizaron las posibles vías financieras que



Fig. 4. Planta definitiva

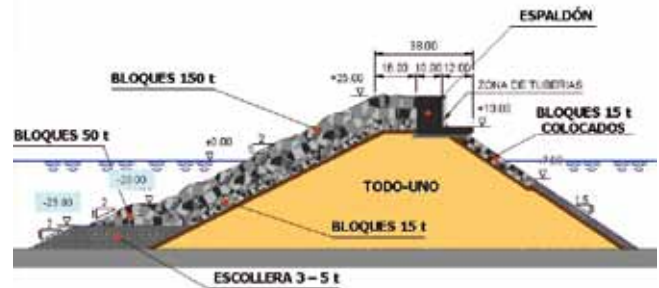


Fig. 5. Sección principal Dique de Abrigo

permitieran desarrollar el proyecto. Se retomó la desafectación de terrenos de la dársena interior y su posterior enajenación. Es, en este momento, cuando se concretan las dos zonas posibles de actuación que, posteriormente, una vez decidida la ejecución de las obras, fueron incluidas en el convenio suscrito entre la Xunta de Galicia, el Ministerio de Fomento y los ayuntamientos de Arteixo y La Coruña para la ejecución de las obras.

Se definieron cuatro fuentes de financiación que debían soportar la operación: el negocio inmobiliario, los fondos comunitarios, la generación de energía eólica en el puerto y la capacidad de endeudamiento y los fondos propios de la Autoridad Portuaria.

### 8. Ejecución de la obra, años 2005-2011

La optimización de la propuesta planteada en el proyecto para el dique de abrigo no se ha detenido con el comienzo de las obras en 2005, si cabe se han incrementado los ensayos desde entonces con el fin de encontrar la solución que mejor se comporte frente al oleaje y, al mismo tiempo, facilite su ejecución.

Desde 2005 hasta 2009, se llevaron a cabo diferentes estudios en modelo físico en canal de oleaje para optimizar el diseño de la sección tipo del dique y del espaldón del mismo, así como la sensibilidad a condiciones extremas. Dichos estudios se desarrollaron en las instalaciones del Centro Estudios de Puertos y Costas del Ministerio de Fomento.

Asimismo, entre 2007 y 2009, se analizó el comportamiento funcional del dique, y las condiciones de rebase del mismo, en diferentes tramos del mismo, así como el proceso constructivo a desarrollar, teniendo en cuenta la ubicación de la obra. Dichos estudios, consistentes tanto en análisis en modelo físico en gran canal de oleaje en el Centro Estudios de Puertos y Costas del Ministerio de Fomento, como en modelo físico en tanque con oleaje unidireccional en el Instituto de Hidrodinámica Aplicada

(INHA) y en tanque con oleaje tridimensional en HR Wallingford, en el Reino Unido.

Posteriormente, en 2008 se analizó una nueva solución de morro en talud, que fue la finalmente construida, en la Universidad de Aalborg (Dinamarca), en tanque con oleaje tridimensional, dirigido por el Profesor Hans Burcharth, de la Universidad de Aalborg (Dinamarca), diseñada a partir de la fórmula de Maciñeira y teniendo en cuenta la limitación de la grúa que se utiliza para la colocación de los bloques.

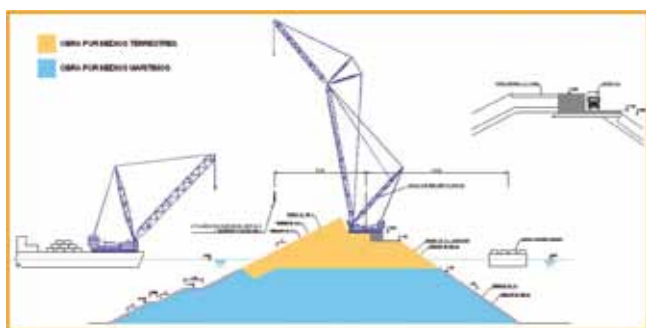


Fig. 6. Esquema constructivo

## 9. Innovación en la construcción

Se pueden señalar las siguientes herramientas tecnológicas y nuevos métodos desarrollados para la ejecución del dique:

### 9.1. Predicción meteorológica

SAPO. Es un sistema desarrollado por Puertos del Estado capaz de realizar predicciones de oleaje, de escala local a 72 horas. Se ha diseñado específicamente para la Autoridad Portuaria de La Coruña y su entorno más próximo. El sistema está basado en el modelo Swan y tiene en cuenta las transformaciones sufridas por el oleaje al aproximarse a la costa. Los parámetros que facilita son los siguientes: altura de ola significativa, dirección media, período medio, período pico, velocidad y dirección del viento

SPOL. Al inicio de las obras se planteó el desarrollo de un sistema en el cual se pudiera predecir la interacción del oleaje con la estructura del dique de abrigo y el resto de estructuras que se pudieran ver afectadas por las olas. En una primera fase, para la realización de este estudio fue necesaria la colaboración de la Escuela de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de La Coruña, que analizó diversos casos de propagación del oleaje y su afección en las distintas fases de avance en el dique de abrigo.

También se desarrollaron modelos numéricos y físicos para definir las diferentes secciones que iban a estar expuestas a las olas, en función del grado de avance del dique. La sección no es constante a lo largo del mismo. Se tuvo en cuenta, además, que algunas secciones del dique no estarán protegidas con todos los mantos durante un determinado tiempo, y, por tanto, expuestas de manera más delicada a los temporales. Se incorporaron al análisis secciones de avance del dique únicamente con todo uno, protegidas con manto de escollera, o bien ya con manto de filtro de bloques de 15 toneladas.

Una vez que se obtuvieron los datos propagados en el dique, se analizó el remonte para cada sección. Para ello se utilizaron diferentes formulaciones, según se adaptaban mejor al tipo de material expuesto. Con estos resultados se calculó la altura de ola según la cual no resultaba seguro operar en el dique y se establecieron los umbrales de trabajo.

Con los resultados obtenidos, se desarrolló directamente en la obra el programa SPOL (Sistema de Predicción de Oleaje en Langosteira), cuyo objetivo es obtener, a través de los datos de predicción de viento y oleaje facilitados por la Agencia Estatal de Meteorología (Aemet) y después de un proceso que se explicará a continuación, un parte de trabajo para las diferentes actividades que se desarrollan en la obra. En este parte, se detallan exactamente qué tajos son aptos para trabajar en condiciones adecuadas de seguridad y cuáles no. Se realizan dos partes de trabajo al día y se reparten a todo el personal implicado en la obra.

El procesado de los datos hasta llegar al parte de trabajo es como sigue. Se reciben los datos de predicción meteorológica procedentes de la Aemet de forma particularizada para la obra y con un margen de 72 horas. Previamente se han definido unos puntos en la obra, que coinciden con los tres morros de invernada previstos y con el morro definitivo del dique de abrigo. Mediante un modelo numérico, los datos de la Agencia se propagan a estos puntos, dando como resultado los datos previstos de oleaje y viento a pie de dique para los próximos días.

Cotejados los datos obtenidos con las alturas de ola límite que definen los umbrales de trabajo, se determinan las zonas en las cuales no se superan y, en consecuencia, es posible trabajar en condiciones de seguridad. Además, y con el fin de asegurar las condiciones de trabajo, dos horas antes y dos horas después de la previsión de superación de umbrales, está prohibido trabajar, por si la predicción se adelanta o atrasa.



Por último, la UTE Langosteira ha instalado una boya a pie de dique, que proporciona unos valores de oleaje a tiempo real, un instrumento muy útil para comprobar la bonanza de la previsión. Aun así, en caso de que la altura de ola real superara la prevista, y por lo tanto el remonte pudiera ser mayor que el umbral definido, se activa automáticamente en la boya un sistema de aviso para la evacuación inmediata del dique y la paralización de los trabajos que en ese momento se estén desarrollando.

SAYOM. En paralelo al desarrollo del sistema Spol, la empresa Dragados, que forma parte de la UTE, la Universidad de Cantabria y el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, perteneciente a la Universidad Politécnica de Cataluña, en colaboración con Puertos del Estado y la Autoridad Portuaria de La Coruña han desarrollado, a través de un proyecto de I+D+i avalado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), un sistema más avanzado de predicción meteorológica: el proyecto Sistema de Ayuda a la Obra Marítima (Sayom).

La diferencia con el sistema Spol estriba en que permite tener un número mucho mayor de casos posibles de clima marítimo, y por ello, un mayor conocimiento de las posibles afecciones a la estructura del dique de abrigo. Además, mediante un complejo sistema, es capaz de analizar la interacción de la predicción con la estructura en tiempo real. Es decir, es una versión optimizada del anterior.

La interacción de tales estados de la mar con la estructura se realizó en planta y para las diferentes secciones tipo, utilizando para cada caso un modelo numérico. De este modo, el sistema ofrecía una herramienta para la ayuda a la toma de decisiones (SAD) mediante unos criterios de alerta que indicaban la necesidad de cesar o no una determinada actividad, así como mejoraba la productividad mediante la previsión de las ventanas de trabajo.

### 9.2. Avance terrestre

Sistema GPS en máquinas. Se implantó un sistema de control y guía de maquinaria mediante la instalación de GPS y sensores de movimiento en las máquinas de avance terrestre del dique de abrigo, que minimizaron la necesidad de mano de obra externa y contribuyeron a un aumento de la seguridad y calidad en la ejecución de los trabajos. De esta manera, se contiene dentro del sistema el apoyo topográfico preciso para la ejecución del proyecto. Con precisión centimétrica, los trabajos se realizaron de manera autónoma, sin necesidad de exponer a los trabajadores a riesgos innecesarios. Con el apoyo de una serie de

indicadores luminosos, el operador dirigía el movimiento de las máquinas y recibía una completa retroalimentación del desarrollo de la tarea, de un modo totalmente autónomo, a partir de la información proporcionada por los sensores embarcados, como el GPS, o el inclinómetro.

### 9.3. Transporte de bloques

La optimización del transporte de los materiales, en este caso de los bloques, es fundamental para la mejora de los rendimientos de producción. Por un lado, el enorme volumen de material obliga a disponer de una gran cantidad de medios, necesarios para que el ritmo de producción no se detenga. Por otro, las grandes distancias, que además se incrementan a medida que avanza el dique, suponen un mayor coste de transporte. La clave está en optimizar los medios, de manera que sean capaces de transportar el mayor número de bloques, reduciendo así el número de viajes necesario. El problema radica en el peso y dimensiones de los bloques, en concreto los de 150 toneladas, que dificultan su transporte y manejo.

En un principio, el transporte de estos bloques se realizó mediante góndolas, capaces de soportar hasta dos bloques de 150 toneladas, aunque por problemas de estabilidad no llegaron a transportar más de uno. A todo esto hay que sumar la dificultad de maniobrabilidad de estos transportes en un sitio tan estrecho como el dique. Consultados especialistas en el manejo de volúmenes de material tan grandes, se diseñó una plataforma a remolque de un dúmper capaz de transportar hasta cuatro bloques de 150 toneladas. También se diseñó un nuevo sistema para transportar un bloque de 150 toneladas en un dúmper al que previamente se le retiró la caja. Gracias a la facilidad de maniobra de estos transportes especiales se ha mejorado notablemente el rendimiento en el transporte de los bloques de mayor peso.

### 9.4. Colocación de bloques

Bloques de 150 toneladas. Para la colocación de bloques en avance terrestre se diseñó entre los técnicos de la obra y el fabricante, la mayor grúa sobre orugas existente en el mercado que se adaptó a los requerimientos de construcción del dique del puerto exterior de Langosteira. El modelo Liebherr 11350 cuenta con una pluma de 135 metros de largo y es capaz de colocar bloques de 150 toneladas a 115 metros de distancia. Posteriormente se dispuso de dos grúas que colocan bloques de 150 toneladas en la primera y segunda capa del manto exterior. Cada grúa realizaba una media de 30 ciclos diarios, durante las 24 horas del día, es decir, cada ciclo dura menos de una hora. Las grúas elevaban y colo-

caba los bloques mediante una pinza de presión, de modo que, con ayuda de un GPS, una vez asegurada su correcta posición en coordenadas UTM, al contacto con el manto se abre quedando suelto el bloque.

Bloques perforados de 53 toneladas. En el talud interior del dique de Langosteira se definió un manto adoquinado de bloques perforados de 53 toneladas que lo protege de los rebases. La colocación de estos bloques era compleja teniendo en cuenta que la gran mayoría estaban sumergidos y por lo tanto no había posibilidad de visualizarla desde la superficie. Además el modo de agarre de los bloques, por presión, imposibilitaba, por seguridad, la utilización de buceadores durante el proceso. Con tal motivo, para la colocación de estos bloques se adquirió un innovador sistema para visualizar en 3D, en tiempo real, la colocación de bloques en las áreas sumergidas del dique. De esta forma se mejoraba notablemente la precisión y exactitud en la ubicación de los bloques, que tenían unas tolerancias muy estrictas debido a la necesidad de cubrir de manera homogénea todo el talud interior. El sistema funcionaba con un sónar y un GPS, además de un innovador *software* para el procesado de datos en tiempo real.

## 10. La mejora ambiental

### *Previo: las razones del proyecto*

Desde la perspectiva de la sostenibilidad ambiental, la construcción de grandes infraestructuras de transporte y, más concretamente, de puertos comerciales, ha de ser siempre amparada por motivos que justifiquen sobradamente la transformación industrial de un entorno costero. La afección a tres kilómetros y medio de litoral que significa el puerto exterior es consecuencia de un dilema complejo: era necesario trasladar tráficos que generaban riesgos ambientales y de seguridad inaceptables para los ciudadanos de La Coruña, pero se debía seguir llevando crudo a la refinería de Repsol en Bens; carbón, tras el cierre de las minas, a las central térmica de Meirama y alimentando la cabaña avícola y ganadera gallega. El poliducto que atraviesa parte del subsuelo de La Coruña, los graves accidentes de los buques Urquiola, en 1976, y Mar Egeo, en 1992, plantearon inicialmente, y confirmaron después, la necesidad de trasladar el tráfico y el almacenamiento de estas mercancías.

El entorno buscado fue un lugar estratégico desde el punto de vista territorial. Situado en el municipio de Arteixo, a escasos 9 kilómetros de La Coruña, el emplazamiento era, seguramente, el mejor conectado de Galicia. El nuevo puerto es el punto terminal de la autovía A-6 que, con dirección Madrid, lo une

con el resto de Galicia y España, y el punto de arranque de la AG-55, nueva autovía que da servicio a la Costa da Morte. Además; desde la cercana estación de Uxes, se conecta por ferrocarril, tanto con el Eje Atlántico hacia Santiago y desde allí, con Ourense y la Meseta, como con la línea que, a través de Lugo, conecta Galicia con el interior de la península a través de León. Por otro lado, desde el punto de vista energético dispone, no sólo de la cercanía a dos centrales térmicas, Sabón y Meirama, que garantizan el suministro eléctrico requerido, sino del suministro de gas natural en alta, desde la línea As Pontes-Sabón. Ambos suministros, así como la abundancia de agua, permiten cualquier desarrollo industrial, por exigente que sea. Por otro lado, nos encontramos con un entorno rodeado de polígonos industriales, aunque actualmente ocupados al límite de su capacidad (Sabón, La Grela, Bens, Pocomaco...) con grandes posibilidades de ampliación. Es posible el desarrollo de suelo industrial, bien conectado y con facilidad de suministros. Todas estas razones configuraron la alternativa de punta Langosteira como la óptima desde el punto de vista territorial.

La construcción de un dique capaz de soportar los embates del oleaje en Punta Langosteira exige una enorme cantidad de material de cantera. Más de treinta y dos millones de metros cúbicos de granito de distinta calidad han sido empleados, y solo la idónea situación de las dos canteras, en el límite de la zona de servicio del puerto, ha permitido que la obtención del material y su transporte haya sido económicamente viable. Además, los taludes excavados para la extracción del granito han dejado paredes de más de 100 metros de altura que protegerán el entorno de los efectos de la explotación del puerto.

### *La declaración de impacto, año 2001*

Sobre estos argumentos de ubicación del nuevo puerto, asegurar la sostenibilidad de la ejecución de sus obras y de la explotación de sus actividades fue la finalidad de su Declaración de Impacto Ambiental, instrumento mediante el cual el Ministerio de Medio Ambiente estableció la viabilidad del proyecto, condicionada a un plan de vigilancia que controlara distintos aspectos: los niveles sonoros en el perímetro del puerto y en las poblaciones de Suevos y Rañoibre, las vibraciones producidas por las voladuras en las canteras, el mantenimiento de la cubierta vegetal del entorno, las emisiones a la atmósfera procedentes de la planta de machaqueo, con medidas periódicas de las concentraciones de partículas en suspensión en los núcleos habitados próximos; la calidad del agua del mar, con medidas semanales del oxígeno disuelto, la salinidad, la turbidez y otros parámetros de carácter microbiológico; la evolución de la comunidad animal, como la del cormorán moñudo, cuyos



últimos avistamientos datan de octubre de 2011; la vegetal de los ecosistemas próximos, los fondos marinos y su evolución (batimetrías) en las playas cercanas, la adecuada gestión de los residuos generados, etcétera. El 14 de marzo de 2001 se publicó en el BOE la resolución de 23 de febrero de 2001, de la Secretaría General de Medio Ambiente, por la que se formula la declaración de impacto ambiental (DIA) sobre el proyecto Nuevas instalaciones portuarias en punta Langosteira, donde se consideraba que el proyecto es ambientalmente viable.

El Plan de Vigilancia Ambiental integró estas condiciones en una serie de medidas que aseguraban la protección del medio ambiente y de los recursos naturales de las zonas adyacentes a las obras que pudieran verse afectadas por la construcción y la posterior explotación de las nuevas infraestructuras portuarias. Desarrollaba un plan a medio y largo plazo en el que se establecían controles periódicos con el objeto de detectar las desviaciones de los efectos previstos en las medidas protectoras o detectar impactos no previstos y, en consecuencia, redimensionar estas medidas o adoptar otras nuevas, garantizando el cumplimiento de las indicaciones y medidas contenidas en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

#### *La ejecución de la obra, 2005-2011*

El Plan de Vigilancia Ambiental contemplaba:

- Control atmosférico y estudio de predicción de la inmisión de contaminantes: se instalaron captadores de alto volumen para determinar diariamente el nivel de partículas en suspensión en los siguientes puntos: Rañobre, puerto de Suevos, Arteixo y Barrañán.
- Control del nivel sonoro: se realizó una campaña mensual de medición del nivel sonoro, tanto en horario diurno como nocturno, en tres puntos del entorno de las obras: puerto de Suevos, Suevos y Rañobre.

- Control de vibraciones: se realizó un control sismográfico cada vez que se realice una voladura en las dos canteras de la obra.
- Seguimiento de la evolución de los ecosistemas próximos: control semanal de la avifauna del entorno, en especial en el embalse de Rosadoiro. Se hizo un seguimiento específico del cormorán moñudo, comprobando sus movimientos dentro del territorio para no interferir en su ciclo biológico.

- Seguimiento calidad del agua: durante la fase de construcción y una vez acabada la obra, se han llevado a cabo controles de calidad de las aguas en las proximidades de la toma de la central térmica de Sabón, en los caladeros Mar do Monte y Mar do Faro y en las proximidades de la playa Barrañán. También se han efectuado medidas en superficie, a media profundidad y en el fondo.

- Seguimiento de la biocenosis: se realizaron semestralmente toma de muestras y fotografías, al menos en tres transectos perpendiculares a la línea de costa equidistantes entre sí un kilómetro, con origen en el muelle y fin en la cota batimétrica -50, para determinar la evolución de los doblamientos bentónicos del interior y en el entorno de las instalaciones portuarias.

- Seguimiento y control arqueológico: antes del comienzo de las obras se redactó un proyecto de actuación arqueológica en el que se incluyó un inventario de los yacimientos existentes en la zona y se detallaron los trabajos a realizar. En el 2005 se excavó el castro de Cociñadoiro. Desde el inicio de las obras se han realizado los trabajos de seguimiento de los movimientos de tierra y revisión periódica de los elementos patrimoniales afectados, incluso fuera de la actuación (Castros de Rañobre y Suevos).

Su singularidad se deriva de la importancia que la metalurgia tuvo en el poblado, donde ocupaba una buena parte de la superficie (dos tercios), lo que permite interpretar el poblado como una importante factoría fortificada de producción de dos tipos de bronce con dos utilidades diferentes: una, dedicada a objetos de uso funcional, con registro de bronce al estaño; y otra, a un uso ornamental o votivo-religioso, con registro de bronce ternario de cobre, estaño y plomo. La excavación integral del yacimiento, autorizada por la Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales del Ministerio de Cultura, se efectuó siguiendo la secuencia de ocupación del mismo y, una vez alcanzados todos los niveles arqueológicos, se procedió a desmontar las distintas estructuras, reservando una serie de ellas para su posterior reubicación en el futuro centro multiusos para la interpretación y salvaguarda de la herencia arqueológica recogida en el castro de Cociñadoiro y de la riqueza ambiental del entorno del puerto exterior. **ROP**

## RECONOCIMIENTO INTERNACIONAL

La ejecución de las obras de Punta Langosteira y su proyecto han sido objeto de un gran interés, tanto por la Comunidad científica y universitaria, como por la técnica dedicada a la obra marítimo-portuaria. Así, ha sido objeto de las siguientes publicaciones y presentaciones en Congresos nacionales e internacionales:

### Artículos publicados

-“The project of the new outer port of La Coruña”, PIANC Yearbook 2011, Edita PIANC, Permanent International Association of Navigation Congresses, ISBN 978-2-87223-194-2, 2012.

- “El puerto exterior de La Coruña, una visión transversal”, Edita Aguamarina Editoria, ISBN 978-84-614-1951-7, 2010

-“El puerto exterior de La Coruña”, Revista Cauce, Edita Colegio de Caminos, Canales y Puertos, Madrid 2008, ISSN 0212-761X

-“New port facilities at Punta Langosteira”, IAHR, 2007.

### Presentaciones en congresos internacionales

-II Congreso de Urbanismo, Ciudad y Territorio, “De la planificación estratégica a la gestión portuaria. El papel de las actuaciones de seguimiento y de la planificación de desarrollo (aplicación al puerto de La Coruña)”, ISBN978-84380-0448-7, Madrid, 2011

-II Congreso de Urbanismo, Ciudad y Territorio, “La necesidad de planificación de suelos industriales vinculados a la actividad portuaria. Aplicación al puerto de La Coruña”, ISBN 978-84380-0448-7, Madrid, 2011

- 32º Congreso Mundial del PIANC “Breakwater construction at Punta Langosteira, La Coruña, Spain”, Liverpool, 2010

-Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente, “Actuaciones de integración puerto ciudad en el puerto de La Coruña”, ISBN978-84-380-0430-2. Málaga 2010.

-Internacional Conference on coast, marine structures and breakwaters, “Construction of a new port in Punta Langosteira, La Coruña, Spain”, ISBN978-0-7277-4130-1, Edimburgo, 2009

-I Congreso del Litoral, “La planificación portuaria en el entorno litoral. El caso del puerto de La Coruña”, Vigo 2008

-Internacional Conference on Coastal Engineering, “Construction of a new port in Punta Langosteira, La Coruña, Spain”, ISBN-13-978-981-4277-40-2, Hamburgo 2008

-Internacional Conference on Coastal Engineering, 2008, “Spatial Damage Distribution over a cube armoured roundhead”, ISBN-13-978-981-4277-40-2, Hamburgo 2008

-VII Congreso Español de Ingeniería del Transporte, “La accesibilidad al puerto exterior de La Coruña como factor de competitividad”, La Coruña 2008.

- I Congreso de Urbanismo, Ciudad y Territorio, “La planificación territorial en el entorno del nuevo puerto de La Coruña, La dársena de Punta Langosteira”, ISBN978-84-380-0385-05, Bilbao 2008.

-I Congreso de Urbanismo, Ciudad y Territorio, “La ordenación de los espacios portuarios de la dársena interior del puerto de La Coruña”, ISBN978-84-380-0385-05, Bilbao 2008.

-Coastal Structures Congress, 2007, “New formula for stability of cube armoured roundheads”, ISBN-13-978-981-4280-99-0, Venecia 2007.

-Coastal Structures Congress, 2007, “Breakwater for the new port of La Coruña at Punta Langosteira”, ISBN88-8940505-8, Venecia 2007.

-II Congreso Nacional de la Asociación Técnica de Puertos y Costas, “Procesos Constructivos en diques en talud a gran profundidad. El caso del dique de Punta Langosteira”, ISBN84-88975-62-7, Algeciras 2006

-31º Congreso Mundial del PIANC “On the choice of structure and layout of rubble mound breakwater heads”, Lisboa 2006.

-Coastal Structures, “Stability of roundheads armoured with cubes”, ISBN-978-7844-0733-2, Oregon 2003

-28th International Conference on Coastal Engineering, “The use of numerical modelling in the planning of physical model tests in a multidirectional wave basin”, ISBN981-238-986-5, Cardiff 2002.

-28th International Conference on Coastal Engineering, “Model testing and reliability evaluation of the new deepwater breakwater at La Coruña, Spain”, ISBN981-238-985-7, Cardiff 2002.

-Waves 2001, “Wave transformation over a soil: experimental results and comparison with numerical model”, California 2001.

-VI Jornadas Españolas de Ingeniería de Puertos y Costas, “Nuevas instalaciones portuarias en Punta Langosteira II”, Palma de Mallorca, 2001

-V Jornadas Españolas de Ingeniería de Puertos y Costas, “Nuevas instalaciones portuarias en Punta Langosteira”, ISBN84-7721-953-2, La Coruña, 1.999.

### Visitas

Las obras han sido visitadas por más de 2.000 profesionales de distintas Organizaciones y Compañías nacionales e internacionales, en más de 80 visitas, en los 5 años de construcción