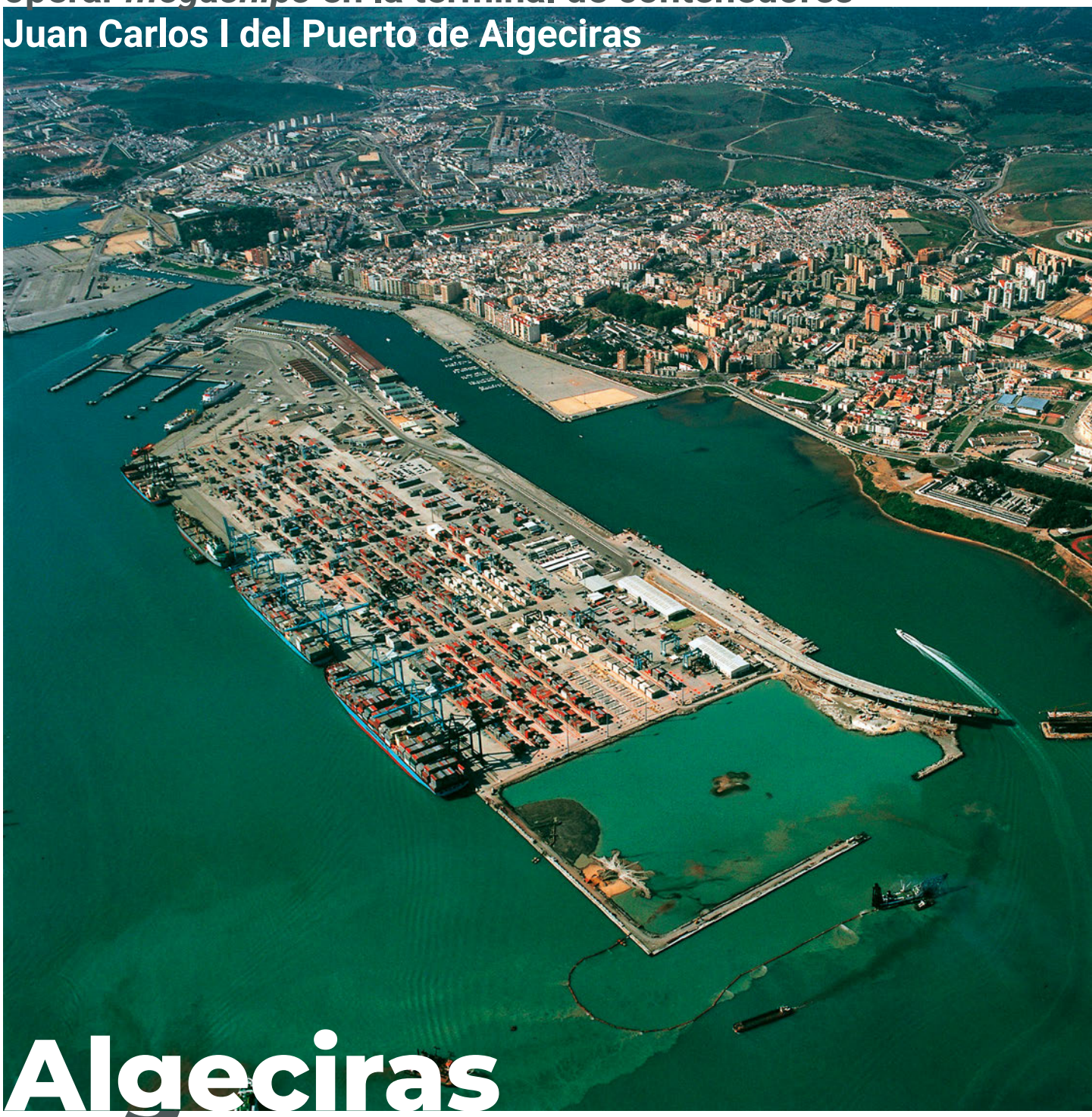
Desarrollo de infraestructuras portuarias para operar *megaships* en la terminal de contenedores Juan Carlos I del Puerto de Algeciras



Algeciras saca músculo

Terminal Juan Carlos I 1998.

El Muelle Juan Carlos I, hasta el año 2000 denominado Muelle del Navío, acoge cada año, y desde el año 2015, la escala de casi un centenar de megaships.

Para ello, tras su construcción entre los años 1985 y 1999, ha sido objeto de diversas actuaciones de envergadura para adecuar la infraestructura a la tendencia al gigantismo de las nuevas generaciones de buques portacontendores.

- **Texto: Fidel Ruiz Torres,** Director de las obras de la Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras

El muelle Juan Carlos I, anteriormente denominado muelle del Navío, se proyectó y ejecutó en tres fases diferenciadas. La primera comenzó su ejecución en 1985 y la tercera finalizó en 1999. En todas las fases de construcción de la terminal, la configuración de la alineación del muelle se resolvió con cajones de hormigón sobre banqueta de escollera y explanada con relleno.

Este muelle y las explanadas que lo definen han sido utilizadas desde su construcción para la explotación como terminal de contenedores, siendo la primera y principal terminal del Puerto de Algeciras. Actualmente, se encuentra concesionada a la compañía APM TERMINALS, perteneciente al grupo Maersk.

En el periodo transcurrido desde que se finalizó su tercera fase hasta la fecha, la evolución en la operativa de las terminales de contenedores ha sido continua. Las navieras han desarrollado nuevas generaciones de buques portacontenedores con unas dimensiones mayores, lo que ha exigido la instalación de grúas de muelle de mayor altura y alcance y, por consiguiente, han provocado cargas superiores sobre las estructuras portuarias.

Esta situación ha derivado en el desarrollo de nuevas infraestructuras para las terminales de contenedores de acuerdo con las nuevas exigencias en la operativa portuaria a nivel mundial.

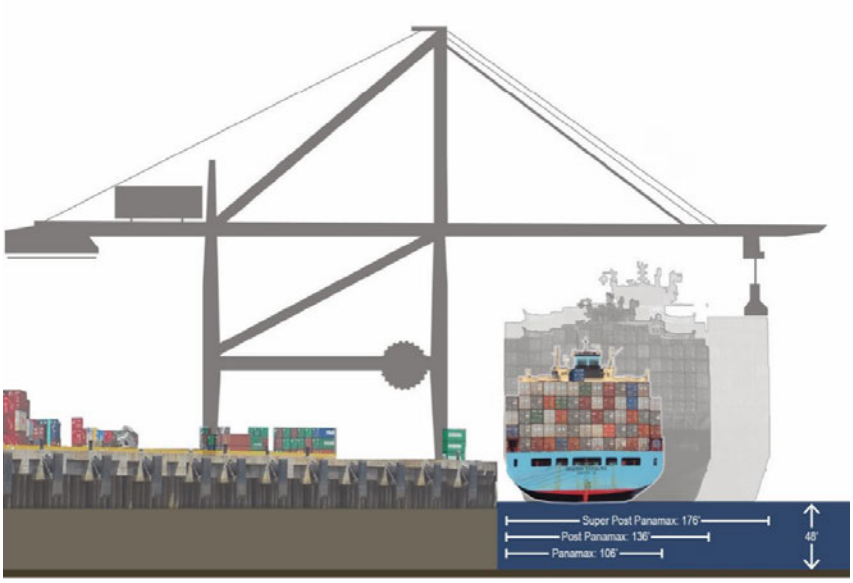
Las infraestructuras construidas durante las dos últimas décadas del siglo pasado han tenido que adecuarse ahora con las necesarias actuaciones de refuerzo en la cimentación y estructura portuaria, así como con los aumentos de calado en la dársena y el muelle, además de otras actuaciones menores, como son la sustitución del sistema de defensas, bolardos, pavimentos, etc.

Este cambio drástico producido en la industria del manejo de contenedores se evidencia por la escala y complejidad de sus conexiones, además de por las dimensiones de los buques. Los mega portacontenedores con una capacidad de carga de más 20 000 TEUS son cada vez más comunes, siendo de propiedad y operados a nivel mundial por navieras, o alianzas de navieras cada vez más grandes.

Las terminales de contenedores de transbordo necesitan tener calados superiores a los -16,50 m para permitir la operativa de los denominados *megaships*. La cimentación y estructura del muelle tienen que estar preparados para soportar las sobrecargas de las grúas súper-post panamax, que pueden alcanzar un peso propio superior a 2 000 toneladas.

Esta nueva tendencia en el tráfico internacional de mercancías plantea las siguientes disyuntivas:

- Las antiguas terminales se están quedando obsoletas por lo que el tráfico de contenedores se está trasladando a las nuevas terminales que cumplan las nuevas exigencias.
- Las antiguas terminales necesitan ser reformadas para que en sus infraestructuras puedan operar los buques de última generación, siendo necesario para ello la ejecución de obras que requieren un volumen de inversión importante.



Evolución de buques portacontenedores.

Descripción de las actuaciones de refuerzo y mejora de calado

En el caso de la terminal de contenedores del muelle Juan Carlos I del puerto de Algeciras, se ha optado por adecuar las infraestructuras para que en su alineación Este puedan operar estos buques de última generación con sus nuevos equipos de manipulación de contenedores.

Los proyectos ejecutados hasta ahora están orientados a mejorar la capacidad de las infraestructuras, incrementando los coeficientes de seguridad, imponiendo además otros condicionantes para un mejor diseño. Estos nuevos condicionantes son funcionales, al operar sobre la superestructura del muelle las grúas Súper-Post Panamax, lo que limita el diseño de la solución, ante la deformación horizontal y vertical de la viga cantil sobre la que apoya la grúa.

La experiencia en actuaciones anteriores, junto con la campaña de monitorización del comportamiento de la infraestructura en explotación, realizados mediante seguimiento topográfico de precisión, electroniveles, sensores de movimiento, etc., permitieron validar los parámetros empleados en la realización de los modelos de cálculo avanzados, que simulaban el comportamiento estructural, tanto durante la construcción, como en fase de servicio durante la explotación.

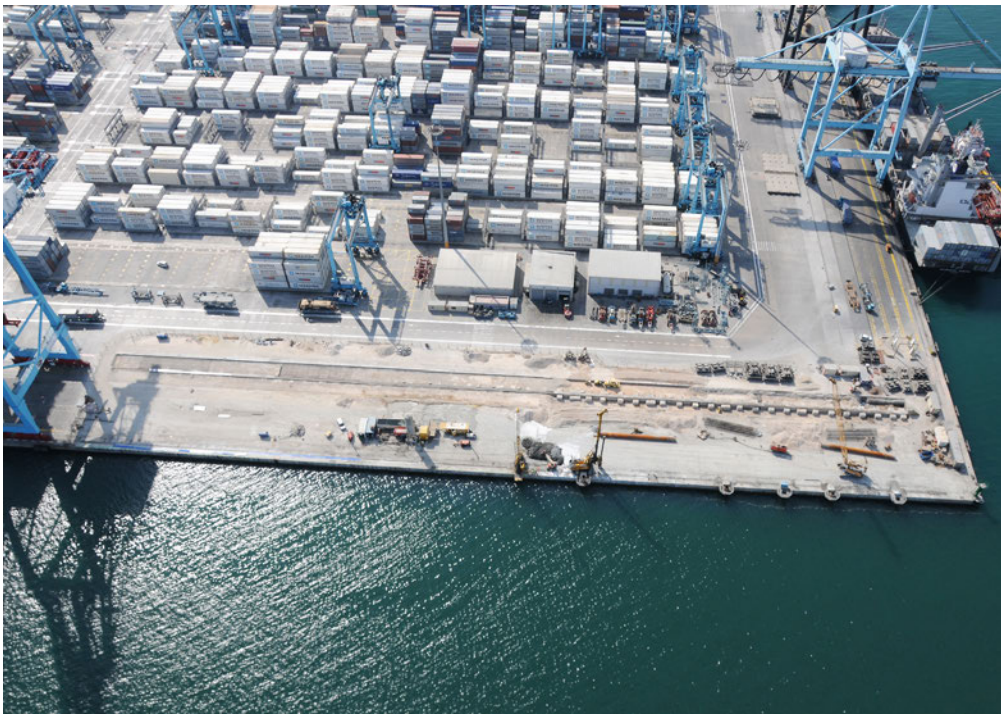
En la terminal de contenedores de Juan Carlos I se han realizado tres actuaciones centradas en los 1 500 metros que componen la alineación Este, en el muelle principal de la terminal, todas ellas con el fin de adecuar sus infraestructuras a las nuevas generaciones de buques súper portacontenedores. Estas actuaciones de gran complejidad técnica, tanto en la fase de proyecto como en la de construcción, se han visto dificultadas por la ejecución de las obras mientras la terminal ha continuado en explotación durante todo su desarrollo. Por ello, la alternativa elegida para cada fase, tanto en los trabajos terrestres como marítimos, ha sido proyectada con el objetivo de minimizar la afección al concesionario y su coordinación operativa.

FASE 1

Esta actuación de reforma y refuerzo de la terminal vino motivada por las nuevas necesidades de infraestructura y equipos que produjo la fabricación de los nuevos buques de

Barco portacontenedores atracado en la Terminal de Contenedores Juan Carlos I.

Ámbito de actuación de la Fase 1.



Trabajos de ejecución de las obras de la Fase 1.

la serie E de la compañía MAERSK. Estos nuevos buques, con una capacidad de 11 000 TEUS, necesitan un calado mínimo de -17,50 m, y una eslora de 400 m, condiciones que no disponía la terminal de contenedores de Juan Carlos I donde opera MAERSK LINE.

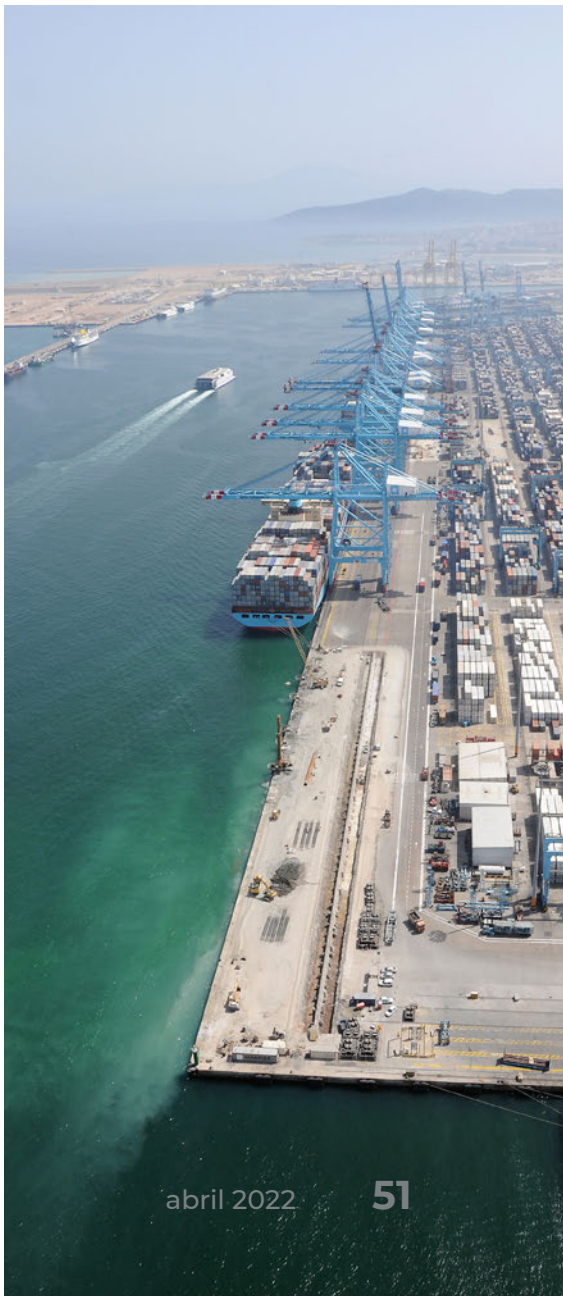
En el año 2008, se inició la primera de las actuaciones de adecuación que finalizó en el año 2010. Su ámbito fue el tramo central y norte de la alineación Este, actuando en una longitud de muelle de 930 m. El objetivo era permitir el atraque y la operativa, incluso de forma simultánea, de dos buques de la serie E de MAERSK.

En la fase inicial de redacción del proyecto se realizó un estudio de posibles alternativas técnicas, con dos objetivos principales, primero, dar solución a la problemática planteada en ese momento con la puesta en servicio de los nuevos mega buques y equipos de manipulación existentes y, segundo, que permitiese la realización en el futuro de los refuerzos que pudieran necesitarse en el muelle y mejoras de calado para adaptarse al desarrollo futuro.

Para la realización del modelado y estudio de las distintas alternativas, se recabaron parámetros de comportamiento del muelle y del terreno de apoyo, mediante una campaña de monitorización de la operativa de carga y descarga de buques en servicio, así como la realización de diversas campañas geotécnicas, con el objetivo de dar fiabilidad a los modelos numéricos planteados para las distintas alternativas en estudio.

La alternativa elegida para el refuerzo del muelle consistió principalmente en la ejecución de una cortina de pilotes, de 1 200 mm de diámetro y separación entre ejes de 1 400 mm, en el borde exterior de la losa del cajón, desde la cota -16 m hasta una cota máxima de -32 m, empotrando los pilotes en las formaciones terciarias, junto con columnas de *jet grouting* sectoriales, de rotación controlada, con ángulo de 240º y diámetro mínimo de 700 mm, sellando mediante inyección los huecos entre pilotes.

Como refuerzo de la viga pilotada existente, sobre la que se apoyaba la pata trasera de la grúa, se



ejecutó una pareja de pilotes laterales de diámetro 650 mm, desde la cota +3 m hasta una cota máxima de -31 m, conectados lateralmente mediante un nuevo encepado a la viga pilotada.

La actuación finalizó con la realización del dragado de mejora de calado en la banda paralela a la alineación de atraque y dársena anexa, aumentando así el calado físico del fondo marino desde la cota -16,00 m a la cota -17,50 m.

Los medios de dragado empleados, consistentes en dragas tipo Dipper con excavadora, dotadas de cucharas con dientes que permiten la excavación en roca y *ripper*, permitieron fragmentar y excavar las formaciones terciarias.

Los dispositivos de posicionamiento de precisión y monitorización en tiempo real disponibles en los equipos de dragado permitieron controlar, durante todas las actuaciones, los volúmenes de material dragado, tanto en el plano horizontal como en el vertical. Posteriormente, estos datos eran verificados con continuas batimetrías realizadas con sondas multihaz, para el seguimiento y control diario.

FASE 2

En esta ocasión, la actuación vino motivada por la necesidad, por parte la compañía que gestiona la terminal de contenedores, de operar buques de la Serie E en toda la alineación del Muelle Este, ya que hasta ese momento solo era posible el atraque de estos buques en dos terceras partes de este.

La segunda fase se inició en el año 2014 y finalizó en el año 2016. Su ámbito fue el tramo sur de la alineación Este, actuando en una longitud de 530 m. Esta actuación completó el aumento de calado hasta la cota -17,50 m de todo el muelle.

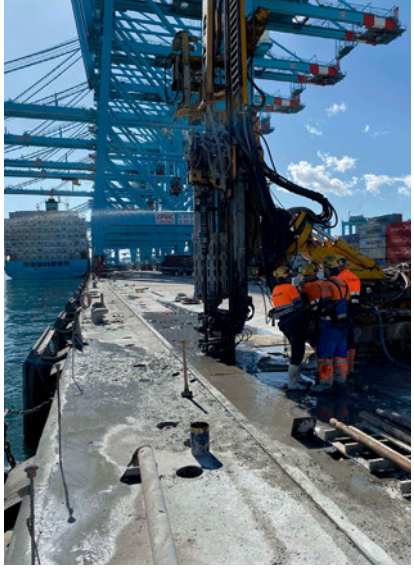
Las características principales de la Fase 1 fueron las siguientes:

	Fase 1
Calado inicial del muelle (m)	-16
Calado final del muelle (m)	-17,5
Longitud de la actuación (m)	930
Sistema de refuerzo de muelle	Cortina de pilotes (Φ= 1200 mm) Jet grouting de rotación controlada (Φ_{min}= 700 mm)
Sistema de refuerzo de viga-pilotada	Refuerzo de viga pilotada con pilotes (Φ= 650 mm)
Periodo de ejecución de la obra	Años 2008-2010
Mediciones principales	10 789 m.l. de pilote (Φ= 1200 mm) 12 580 m.l. de pilote (Φ= 650 mm) 9 430 m.l. de columnas *Jet Grouting* (Φ_{min}= 700 mm) 105 386 m³ de dragado
Presupuesto (sin IVA)	**13 435 346 €**

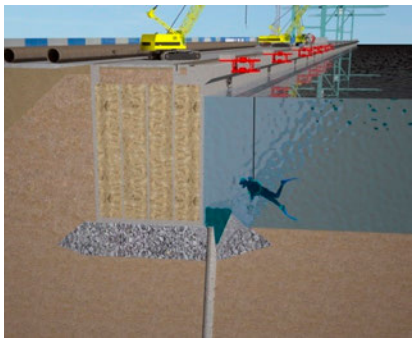
Ámbito de actuación de la Fase 2.

Los trabajos de esta fase supusieron un gran reto técnico y constructivo para la APBA, nunca realizado antes en ningún puerto, ya que se actuaba en el muelle más antiguo y con menor capacidad de la terminal. Suponía incrementar fuertemente su profundidad pasando de la cota -14,00 m a la cota -17,50 m. A esta complejidad se le añadió la existencia de una paleovaguada, detectada durante las campañas geotécnicas previas, lo que incrementaba la profundidad a la que se encontraba el sustrato terciario competente.

Los trabajos consistieron en el refuerzo y mejora del terreno de la cimentación del muelle de cajones, cuestión que se resolvió mediante una cortina de pilotes, de 1 500 mm de diámetro y separación entre ejes



Imágen de ejecución de las obras de la Fase 3.



Imágen de ejecución de las obras de la Fase 2.

Las características principales de la Fase 2 fueron las siguientes:

	Fase 2
Calado inicial en muelle (m)	-14
Calado final en muelle (m)	-17,5
Longitud de la actuación (m)	550
Sistema de refuerzo de muelle	Cortina de pilotes (Φ= 1 500 mm) Columnas de *jet grouting* (Φ_{min} = 1 200 mm)
Periodo de ejecución de la obra	Años 2014-2016
Mediciones principales	7 103 m.l. de pilote (Φ= 1 500 mm) 22 337 m.l. de columnas *jet grouting* (Φ_{min}= 1 200 mm) 112 246 m³ de dragado
Presupuesto (sin IVA)	**10 086 503 €**

de 1 700 mm, en el pie del muelle, ejecutada desde el exterior del cajón, desde la cota -14,00 m hasta una cota máxima de -47,00 m, en la zona correspondiente a la paleovaguada, asegurándose en todo momento el empotramiento en las formaciones terciarias.

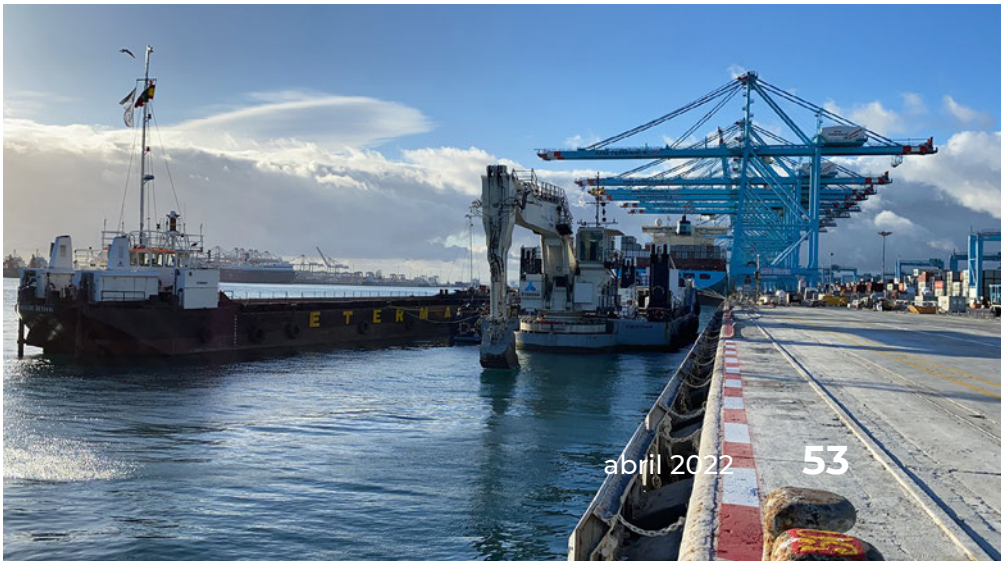
La actuación se completó con la ejecución de columnas de *jet grouting*, de diámetro mínimo 1 200 mm dispuestas en forma de cuadrícula con un ancho mínimo de 3,5 m, para tratar la banqueta y el terreno de cimentación del cajón. Las columnas se ejecutaron a través de las celdas del cajón de hormigón armado.

Antes de iniciar la ejecución de las columnas, se realizó un campo de pruebas para corroborar los parámetros de diseño de las mismas, diseñadas y calculadas en el proyecto de ejecución.

Durante la realización de todas las fases se llevó a cabo una campaña de instrumentalización y seguimiento de toda la infraestructura sobre la que se estaba actuando, así como del terreno de cimentación, con el objeto de monitorizar en todo momento su comportamiento. Para ello, se instalaron inclinómetros, electroniveles y se llevó a cabo una campaña geotécnica continua. También se controlaron los parámetros y resultados de la mejora del terreno mediante la medición continua de parámetros, como el caudal de lechada inyectada, presión de inyección, etc.

La actuación finalizó con las obras de dragado de mejora de calado en la banda paralela a la alineación de atraque y dársena, siguiendo los mismos condicionantes y equipos indicados para la Fase 1. Con este dragado se pudo

Dragado de la Fase 3.



aumentar el calado físico de la cota -14,00 m a la cota -17,50 m.

FASE 3

A mediados del año 2017, la Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras (APBA) fue informada de las nuevas necesidades ante la llegada de los nuevos buques portacontenedores de la serie Triple E, diseñados para operar con calados de -17,50 m en carga y con capacidad para 20 000 TEUS. Ello exigiría disponer de un calado físico, en la banda paralela al muelle y dársena, de -18,50 m, además de requerir de nuevos equipos de manipulación de contenedores, con mayor capacidad y alcance.

Estos nuevos requerimientos de calado venían asociados a la ampliación del Canal de Suez y al tránsito a través del mismo de los buques que operan la ruta asiática.

Con estos condicionantes se redactó el proyecto de la tercera fase, cuyas obras se iniciaron en el año 2018 y finalizaron en el año 2020. Su ámbito fue el tramo norte de la alineación Este, con una longitud de 500 m, actuando sobre aproximadamente la mitad de la longitud de la Fase 1, lo que permitiría el atraque de un buque de la serie Triple E de 400 m de eslora.

Las actuaciones realizadas en esta tercera fase consistieron también en la mejora y refuerzo de la cimentación del muelle de cajones. E n esta ocasión, se emplearon micropilotes con inyecciones repetitivas selectivas de lechada de cemento en la banqueta y en el terreno de apoyo. Los micropilotes, de 220 mm diámetro, con tubería mecanizada de 139 mm de diámetro y 9 mm de espesor, se ejecutaron desde la cota +3,00 m, correspondiente a la cota superior del muelle, hasta una cota máxima de -26,00 m, y se empotraron en el en el sustrato terciario un mínimo de 6 m.

Megaships **operando en la Terminal Juan Carlos I.**

Ámbito de actuación Fase 3.

La solución proyectada en esta fase tenía como objetivo reducir los empujes pasivos estabilizadores en la cortina de pilotes ejecutada en la Fase 1, por lo que se ejecutaron atravesando las celdas del cajón de hormigón que conformaban el muelle con el objeto de alcanzar el trasdós de la pantalla.

Por su posición, se perforó el cajón, su viga cantil, el relleno de su celda y su losa de fondo atravesando la banqueta de escollera y empotrándose en las formaciones terciarias competentes. La armadura de los micropilotes se resolvió con tuberías de acero de límite elástico 560 N/mm², dotadas de los elementos que permitían su colocación y la ejecución de las inyecciones repetitivas (piezas de empalmes, manguitos, válvulas anti retornos, etc,.). Al igual que en las fases anteriores, se realizó un seguimiento continuo de las inyecciones, controlando el caudal y presión de la lechada de cemento, además de la realización de una prueba de carga estática de los micropilotes para comprobar su capacidad.

Una vez finalizado el refuerzo de la cimentación se procedió a realizar el dragado de mejora de calado desde la actual cota -17,50 m hasta la -18,50 m, en un área de unos 206 145 m².

En relación con los terrenos a dragar, cabe destacar que, al haberse ejecutado los dos dragados anteriormente mencionados, las formaciones geológicas encontradas fueron mayoritariamente el sustrato de origen terciario, formado por alternancia de capas de arcillas sobre consolidadas, margas, calizas y areniscas, formaciones típicas del flysch del Campo de Gibraltar. Esta descripción se confirmó con las campañas geotécnicas y geofísicas adicionales que se llevaron a cabo en la fase inicial de redacción del proyecto.

Los medios empleados para el dragado permitieron fragmentar y excavar las formaciones terciarias, así como la retirada del material adherido a la cortina de pilotes de pie de muelle. Consistieron en dragas tipo Dipper con excavadora tipo *Max Excavation* de alcance superior hasta la cota -18,50 m y dotadas de cucharas con dientes tipo roca, *ripper* excéntrico, martillo hidráulico y útil cortador con dientes de punta de widia. El seguimiento y control de dragado se realizó siguiendo el mismo procedimiento llevado a cabo en las fases anteriores.

El conjunto de todas estas mejoras llevadas a cabo en el muelle este de la terminal Juan Carlos I ha permitido que actualmente se esté operando unos 70 *megaships* al año (datos del año 2021), de la naviera Maersk y de su asociada MSC en la alianza 2M, que dispone de *megaships* de 23 000 TEUS.

Las características principales de la Fase 3 fueron las siguientes:

	FASE 3
Calado inicial en muelle (m)	-17,5
Calado final en muelle (m)	-18,5
Longitud de la actuación (m)	500
Sistema de refuerzo de muelle	Micropilotes IRS (Φ= 220 mm)
Periodo de ejecución de la obra	Años 2018-2020
Mediciones principales	14 693 ml de micropilote IRS (Φ= 220 mm) 86 293 m³ de dragado
Presupuesto (sin IVA)	**4 619 652 €**