

Estructura prefabricada para almacenamiento de vehículos en el puerto de Valencia

Precast structure for vehicle storage in the port of Valencia

Julián Alcalá González^{*, a}, Juan José Clemente Tirado^b, Ferrán Navarro Ferrer^c y

Ricardo Valiente Sanz^d

^aDr. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Universitat Politècnica de Valencia. Profesor Contratado Doctor. jualgon@upv.es

^bIngeniero de Caminos Canales y Puertos. Pantecnia Consulting S.L. Gerente. jjclemente@pantecnia.es

^cDr. Ingeniero Industrial. Universitat Politècnica de Valencia. Profesor Asociado. fernafer@upv.es

^dIngeniero de Caminos Canales y Puertos. Universitat Politècnica de Valencia. Profesor Asociado. rivasan@upv.es

RESUMEN

La naviera Valencia Terminal Europa, del grupo Grimaldi, ha construido un edificio para el almacenamiento de vehículos en el puerto de Valencia. Se trata de un edificio de hormigón casi totalmente prefabricado que proporciona una superficie útil total de 200.000 m², y con capacidad para más de 10.000 vehículos. La planta es rectangular de 273.6 x 156.3 metros y tiene cuatro alturas. La cimentación consiste en pilotes prefabricados de hormigón armado hincados en los rellenos portuarios. La estructura está formada por pórticos consistentes en pilares y vigas pretensadas, que soportan forjados de placa alveolar. No se ha dispuesto capa de compresión. El edificio está completamente ejecutado y en servicio desde mediados del año 2020.

ABSTRACT

The Valencia Terminal Europa shipping company, of the Grimaldi group, has built a building for the storage of vehicles in the port of Valencia. It is an almost completely precast concrete building that provides a total useful area of 200,000 m², and with capacity for more than 10,000 vehicles. The plant is rectangular of 273.6 x 156.3 meters and it has four heights. The foundation consists of prefabricated reinforced concrete piles driven into the port fillings. The structure is formed by frames consisting of pillars and prestressed beams, which support slabs of alveolar plate. No compression layer has been arranged. The building is fully finished, and was building was taken into service from mid-2020.

PALABRAS CLAVE: prefabricado, silo de coches, placa alveolar, pilote hincado.

KEYWORDS: precast, car silo, alveolar plate, driven pile.

1. Introducción

La compañía naviera *Grimaldi* a través de su filial *Valencia Terminal Europa SA* (VTE) tiene en el puerto de Valencia la concesión para la explotación de la terminal de vehículos situada en el dique del Este. La ubicación de este dique se muestra en la figura 1.

Dentro de las condiciones de la concesión, existe el compromiso de acometer una mejora en la

capacidad de almacenamiento de vehículos del muelle, para lo cual encargó a la empresa *Invercrea SL* la redacción de un proyecto básico con el que se definiera un almacén para el acopio de vehículos ligeros en altura.

Dentro de los condicionantes impuestos por VTE figuraban los relativos al uso del edificio, en aspectos como: disposición y tamaño de las plazas, anchura de los pasillos, dimensiones de las rampas, pendientes máximas y transiciones entre pendientes, prescripciones

relativas a los gálibos, y ubicación de accesos rodados y peatonales.

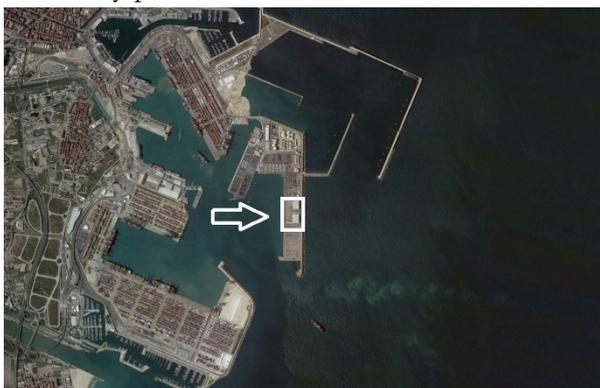


Figura 1. Ubicación del silo de vehículos en el puerto de Valencia.

Con esa información se diseñó una distribución de vehículos para el espacio disponible, consiguiendo más de 10.000 plazas en total.

A partir de este diseño funcional, se estudió el edificio, y la solución a dar a su estructura y cimentación. Con este proyecto básico se pudo contratar al *Grupo Rover Alcisa S.L* el Proyecto de Construcción y las obras.

La estructura resultante consiste en un edificio de cuatro alturas, con una superficie total de casi de 200.000 m² de forjados, con planta rectangular de 273.6 m de largo en la dirección paralela al cantil del muelle, y de 156.3 m de anchura. El muelle se orienta sensiblemente en dirección Norte-Sur.

En ambos extremos dispondrá de las rampas de acceso a las plantas superiores, mediante un único tramo que parte de la cota cero por el lado de la viga cantil. En la fachada oeste, la orientada hacia el muelle, se situaron tres torres de escaleras para el acceso peatonal.

Por tanto, hay tres estructuras adosadas: el edificio principal, las rampas y las escaleras peatonales. La figura 2 muestra una vista aérea del edificio.

2. Edificio principal

2.1 Forjados

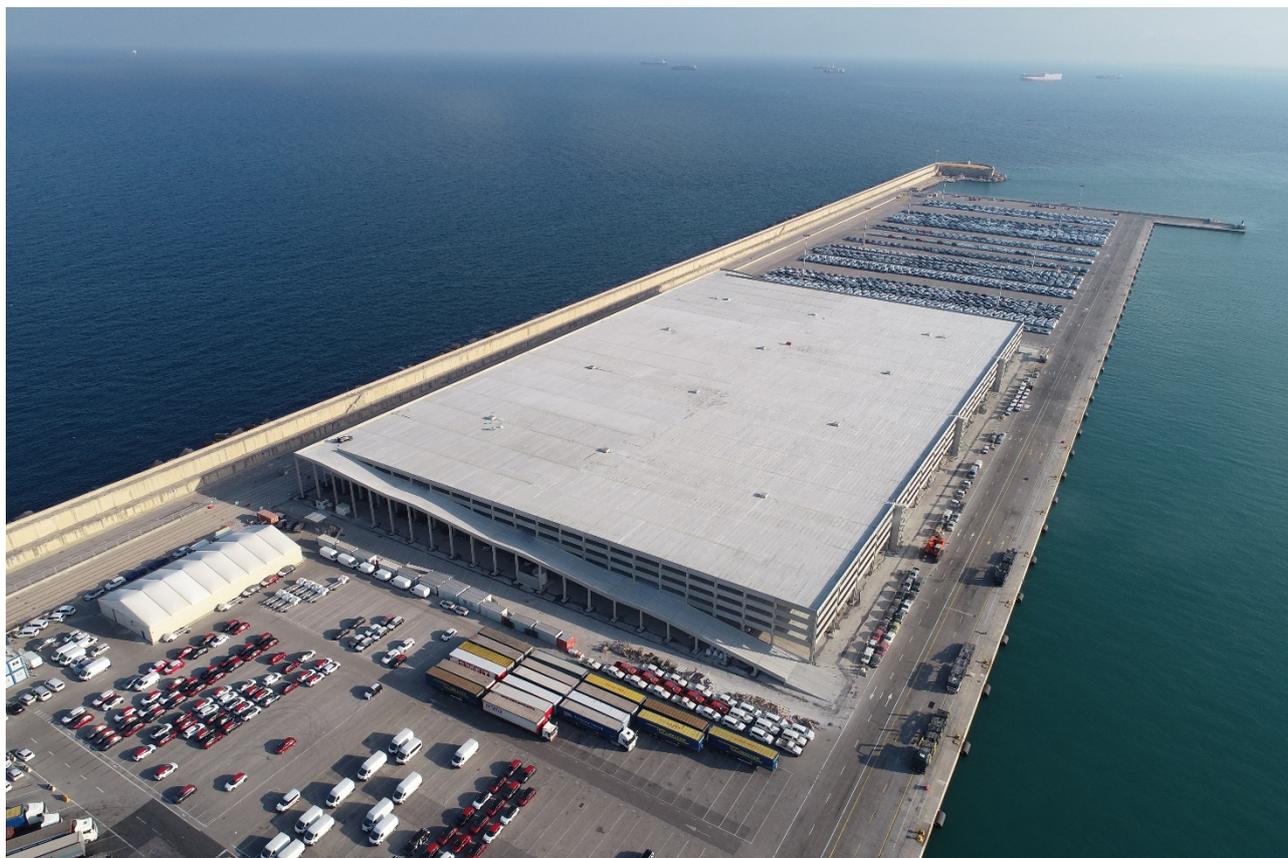
Las calles se orientaron en dirección Este-Oeste, es decir, en la dirección paralela al lado menor, ortogonal al muelle, por lo que la distancia entre apoyos en el sentido Norte-Sur quedó impuesta en 14.2 metros.

En la dirección ortogonal hay más libertad para fijar la luz, con una única limitación en el primer vano paralelo al muelle, en el que era necesario dar anchura suficiente para el paso de los camiones de carga de vehículos. Teniendo esto en cuenta, se ideó una distribución de luces de 9.424-19x7.3-7.656 metros.

Con estas luces queda definida la malla de pilares, y se pasó a estudiar la solución para la estructura principal.

El tamaño de la obra y los plazos impuestos para su ejecución obligaron a una construcción industrializada mediante elementos prefabricados que pudiesen ser fabricados de forma simultánea al desarrollo de los trabajos *in situ*. El hecho de que el silo está prácticamente en el mar hacía recomendable el uso de hormigón pretensado, lo que es totalmente compatible con una construcción prefabricada.

Aceptado esto, se trataba de definir la solución más conveniente, teniendo en cuenta no solo las alternativas posibles que ofrece el mercado, sino también la capacidad para fabricar un volumen importante de piezas en un tiempo razonable. Por esto se acudió a la solución de placas alveolares pretensadas. Es un tipo de piezas que es posible fabricar en grandes cantidades, alcanza las luces de diseño, es pretensada y hay fabricantes en la zona con capacidad para fabricarlas.



En cuanto a la disposición de las placas, había dos posibilidades. La primera era poner las placas según la dirección de los vanos más cortos, apoyadas en vigas que salvarían los vanos largos. Con ello las placas tenían luces menores, y se ahorraría en sección y peso. En este caso, sin embargo, las vigas de los pórticos serían más largas, y al tener más luz, tendrían más canto. Ello aumentará la altura de cada planta si se mantienen los gálibos, lo cual es algo que repercute en un mayor coste de operación del silo si hay que subir los vehículos a más altura.

La segunda alternativa era disponer las placas en la dirección de mayor luz, lo que repercute en mayor canto, pero, por el contrario, las vigas de los pórticos son más cortas, tienen menos canto, y como consecuencia los descuelgues son menores. Esto rebajaba la altura de cada planta en decímetros, que mejoraba el coste de operación de la terminal lo suficiente

como para compensar el sobrecoste de las placas.

Adoptada la segunda solución, las placas a disponer tendrían luces de 13.70 m de longitud, y apoyarían en las vigas de los pórticos. Para esa luz se ha empleado un canto de 0.35 m, para lo cual existen cuatro secciones de placa en el mercado, la *Elematic*, la *Prensoland*, la *Nordimpianti* y la *Echo*, todas ellas de 1.20 m de anchura. Como esta última es la que más peso de estructura supone, es con la que se hicieron los cálculos de predimensionamiento, aunque finalmente se emplearon las dos primeras. Se tuvo la precaución, eso sí, de que no hubiese dos placas diferentes en contacto, porque la forma de las llaves de cortante no es compatible entre sí.

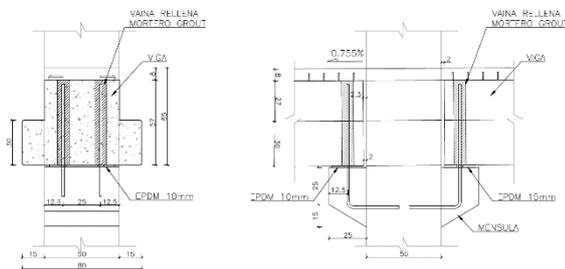
El edificio fue dividido en seis pastillas sensiblemente iguales, disponiendo una junta de dilatación en dirección Norte-Sur centrada en el edificio, y dos juntas de dilatación en dirección

Este-Oeste equidistantes. La primera se consigue simplemente dejando abiertas las llaves de cortante entre placas, y dejando sin rellenar de *grout* la unión viga-pilar en una alineación. Para las segundas se dejó sin rellenar el apoyo de las placas en las vigas, dando libertad de movimientos en las placas.

El edificio no tiene fachadas, pero perimetralmente es necesario poner elementos de protección frente a caídas de vehículos. Esto se consigue de formas diferentes según el lado. En los lados mayores (dirección de las placas) se diseñaron unas vigas con forma de L en hormigón armado, de 0.35 m de canto para coincidir con el canto de las placas, y con un peto superior a modo de murete que permite soportar el impacto accidental de un vehículo. En los lados menores el peto está dispuesto en la viga del pórtico. En ambos casos, el peto tiene 14 cm de espesor y 90 cm de altura.

2.2 Pórticos

Las placas apoyan mediante bandas de EPDM en las vigas de los pórticos, a las que se dio forma de T invertida. El canto total es de 0.65 m, y el ancho del núcleo es de 0.50 m, coincidiendo así con las dimensiones de los pilares. En la parte inferior la viga lleva dos almas de 0.30 m de espesor y 0.15 m de vuelo, lo que forma una ménsula corrida donde apoyan las placas alveolares.



Estas vigas se montan apoyadas en pilares por medio de apoyos simples en ménsulas cortas. Sin embargo, para dotar de rigidez lateral a los pórticos en su plano, se encajaron las vigas

en las ménsulas de los pilares con barras en espera estos últimos, que atravesaban vainas dejadas en las primeras, y que posteriormente se rellenaban de *grout* (ver Figura 3).

Los pilares son prismáticos de sección cuadrada, de 0.60x0.60 m en la planta baja y de 0.50x0.50 m en las plantas superiores. Para facilitar el montaje se les dotó de un doble juego de ménsulas cortas. Las primeras servían para el apoyo de las vigas, y eran de 0.25 m de vuelo y canto variable de 0.40 a 0.25 m. Las placas alveolares se apoyan en las vigas sobre el alma que sale de su parte inferior, pero como las vigas se interrumpen en los pilares, este saliente también desaparece. Por eso, a los pilares se les creó un segundo juego de ménsulas cortas que alineadas con el alma de las vigas, permitían un apoyo corrido a todo el pórtico. Esto facilitaría el montaje, y evitaría depender de la modulación impuesta por el ancho de las placas.



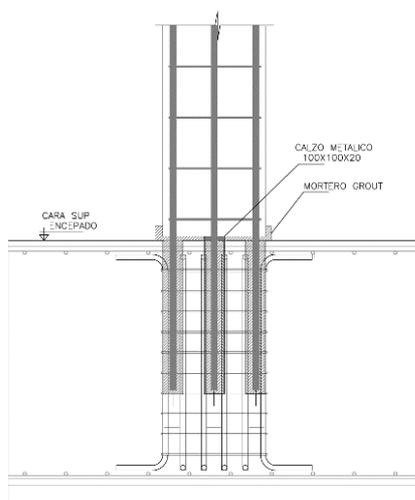
En la planta superior el apoyo de las vigas ya se pudo resolver directamente contra la coronación de los pilares, sin ménsulas cortas, pues el pilar termina ahí.

Las placas alveolares no llevan capa de compresión, lo que facilita la construcción de la estructura, pero si deben llevar hormigón en las juntas entre placas, formando la conexión que les confiere un comportamiento monolítico a flexión y confiere el efecto diafragma para cargas horizontales.



Para que exista además efecto de arriostramiento en la dirección ortogonal a los pórticos, los pilares llevaban unas vainas pasantes en lugares adecuados para poder cruzar por su interior barras de armadura pasiva, que quedaba también en las placas alveolares que coincidían con su posición. Estas barras quedaban dentro de las placas alveolares gracias a la rotura controlada de alveolos, creando huecos que posteriormente se rellenan con hormigón. También se rellenan con hormigón los huecos entre las placas y las vigas, creando así el monolitismo que confiere rigidez al conjunto frente a acciones horizontales. De otro modo, toda la carga horizontal sería flexión en el arranque de los pilares.

La base de los pilares se empotra en la cimentación mediante esperas en vainas dejadas en los encepados, y rellenas de *grout*.



Para garantizar un llenado completo el pilar se deja sobreelevado 20 mm sobre la cara superior del encepado, y una vez aplomado, se vierte el *grout* por la junta, hasta que recubre completamente ese hueco. Es necesario un pequeño encofrado para ello (Ver Figura 4).



2. Rampas

La estructura que soporta las rampas sigue la tipología del resto de la estructura, a base de forjados de placa alveolar sobre vigas y pilares prefabricados, pero ahora las dimensiones se adaptan a una luz menor.

La anchura de la plataforma de las rampas es de 8.70 m. Se ha diseñado mediante pórticos entre los pilares de fachada del edificio principal y otra fila de pilares paralelos a los anteriores. Estos últimos van ganando cota según las pendientes de la rampa. El apoyo en estos últimos es directo en coronación, pero en los pilares de fachada el apoyo se consigue mediante ménsulas cortas similares a las de las otras partes de la estructura.

Las vigas entre los pilares son rectangulares de 0.50 m ancho y 0.60 m de canto, y sobre ellas apoyan placas alveolares. Las placas llevan la dirección ortogonal al muelle, es decir, el sentido de la rodadura de los vehículos, y su longitud es de 7.10 metros. Tienen 0.25 m de espesor, y entre ellas hay un espacio a

hormigonar “in situ”, que permite crear las transiciones entre pendientes (ver Figura 5)

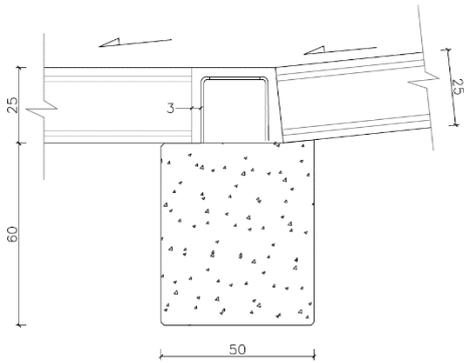


Figura 8. Sección de las vigas en las rampas.

La ejecución del edificio como se ha descrito en este trabajo supo aprovechar todas las ventajas de la construcción industrializada, tanto en los plazos de ejecución, que se redujeron enormemente, como en el control de calidad, gracias a la posibilidad de llevar a cabo un control y una trazabilidad tremendamente precisas para todos los elementos.

3. Escaleras

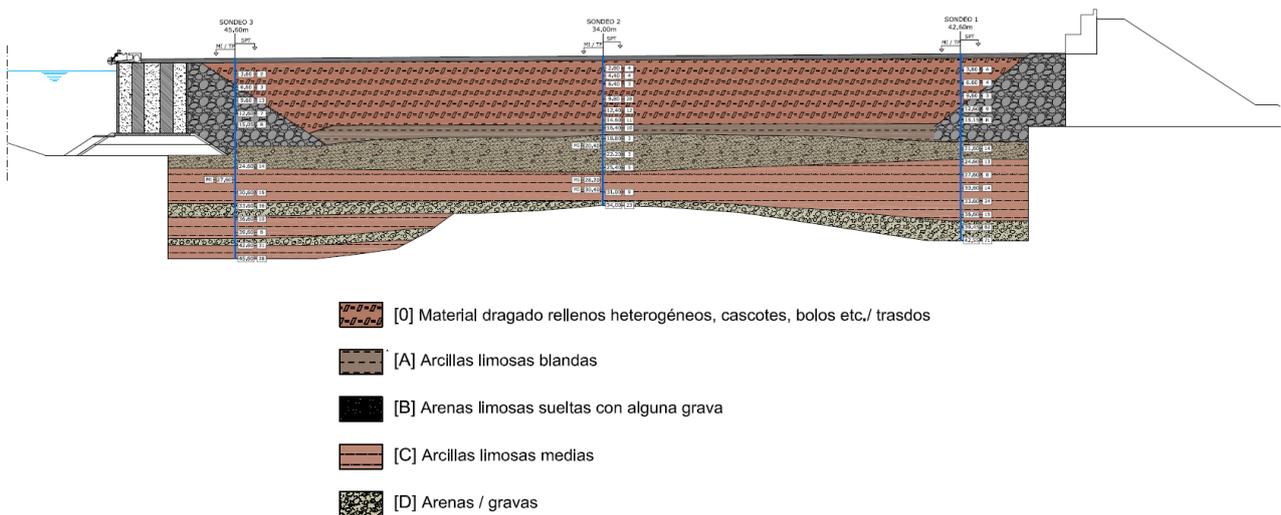
El conjunto se completa con tres escaleras para el acceso peatonal a los niveles superiores. Las escaleras son torres adosadas a la fachada Oeste del edificio, es decir, el acceso se produce desde el lado del muelle.

Están formadas por dos pantallas paralelas entre las que están las zancas de cada tramo, y los rellanos, ocho en total.

4. Cimentación

El edificio está situado en un muelle construido durante los años 2006 y 2007. Para la plataforma de este se vertieron rellenos de todo tipo entre el dique, en el lado mar, y el muelle, en la dársena.

El perfil geotécnico suministrado por la Autoridad Portuaria (ver Figura 6) describe un espesor de rellenos de 16.0 metros. El material donde debía apoyar el silo no era entonces apto para soportar las cargas, y por ello la cimentación debía ser profunda.



Básicamente, el terreno está formado por los 16 metros de rellenos sobre niveles de arcillas blandas, más o menos limosas, que alcanzan los

30 metros de profundidad. Aquí se encuentran unas arenas con gravas, que son el primer nivel en el que será posible apoyar la cimentación.

Dentro de las opciones que se barajaron para cimentar a esos niveles estaban la perforación de pilotes de extracción, o la hincada de pilotes de desplazamiento. En un primer momento se valoró aplicar un tratamiento de mejora del terreno, pero para estos espesores era poco recomendable. Además, al cimentar un edificio las cargas están muy localizadas y, con las luces que se manejan, también están muy alejadas unas de otras. Esto no hace interesante una mejora general de todo el macizo.

Por las mismas razones que sirvieron para decantarse por una estructura prefabricada, ahora también se optó por una cimentación prefabricada. Se adoptó desde el principio la solución de pilote prefabricado de hormigón armado de sección cuadrada de 0.40x0.40 m de sección, en tramos de 12.00 metros con junta machihembrada afianzada con pasadores.

La campaña de sondeos fue encargada a *PRODEIN S.L.*, y sirvió para confirmar la naturaleza y espesor de los niveles del perfil geotécnico. Se pudo estimar también la resistencia del pilotaje, con lo cual se hizo un primer predimensionamiento con cuatro pilotes hincados por pilar.

Una vez definida la posición de los pilotes para esa disposición, se hicieron seis pruebas de hincada con pilotes reales. El resultado permitió revisar la resistencia del pilotaje al alza, y reducir así el número de pilotes que pasó de 4 a 3 por pilar.

Posteriormente, la cimentación fue encargada a *Keller Cimentaciones S.L.U.*, quién consiguió reducir la cimentación a dos pilotes de forma general -en algún caso incluso reducir el pilote a secciones de 0.35x0.35-, aunque se mantuvieron los tres pilotes en la alineación paralela al muelle en el segundo vano. Esto se debe a que en esa alineación la luz del vano es mayor y, por tanto, lo eran también los esfuerzos que soportar.

Los pilotes se diseñaron con longitudes de 24 a 36 metros según las estimaciones iniciales y las cargas máximas a soportar, aunque el control

de rechazos durante la hincada permitía saber si la longitud era suficiente o no.

Para ello los pilotes se fabricaban en tramos de 10.0 o 12.0 metros para ser ensamblados en obra. La unión entre ellos se lograba mediante aparatos de unión consistentes en placas soldadas a la armadura, Leimet, ABB Plus (ver Figura 7). En previsión de que apareciera la escollera del pie del dique se prepararon algunos pilotes con azuche de roca, pero finalmente no fueron necesarios.

Durante la ejecución se fueron controlando los rechazos en la hincada, y se llevaron a cabo varias campañas de ensayos sísmicos, tanto por parte de Keller como por parte de *CFT & Asoc. S.L.* Cuando en la prueba no se conseguía movilizar la carga correspondiente a la capacidad portante necesaria se procedía al hincado de nuevos pilotes, incluso sustituyendo a veces el pilote fallido por dos nuevos.

Los encepados eran construidos “in situ” en hormigón armado, siendo necesarios en principio dos posibilidades: para dos pilotes y para tres pilotes.



Figura 10. Cabeza de hincia, junta entre tramos y azuches en pilotes prefabricados.

Las pruebas de hincia que se hicieron en fase de proyecto dejaron seis pilotes hincados preparados para un grupo de cuatro, por lo que en esos casos se terminó poniendo los tres que faltaban. Para ese caso se diseñó un encepado especial.

También, cuando se hincaba algún pilote adicional por fallos en las pruebas de hincia, se rediseñaba el encepado para poder recoger las cabezas de los pilotes. Esto dio pie a una casuística que abarca hasta siete tipos de encepados diferentes.

El reducir a dos los pilotes obligó a aumentar el arriostamiento, porque la flexión ortogonal al plano de los dos pilotes no quedaba resuelta sin una viga de centrado. Por eso, aunque inicialmente el arriostamiento consistía en pequeñas vigas de atado, finalmente se tuvo que poner vigas de 0.40x0.40 m, 0.40x0.55 m o 0.40x0.90 m según el caso (ancho x canto).