www.e-ache.com

Disponible en ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Hormigón y Acero 2016; 67(278-279):1–19

www.elsevierciencia.com/hya

Original

Concepción general del proyecto del Puente de la Constitución de 1812 sobre la Bahía de Cádiz

General overview of the project of the Constitución de 1812 Bridge over the Cadiz Bay

Javier Manterola Armisén y Antonio Martínez Cutillas *

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Carlos Fernández Casado S.L., Madrid, España

Recibido el 2 de diciembre de 2015; aceptado el 5 de febrero de 2016
Disponible en Internet el 4 de julio de 2016

Resumen

El nuevo puente sobre la bahía de Cádiz tiene una longitud total de 3.092 m y cruza la bahía desde la ciudad de Cádiz hasta la de Puerto Real. El puente principal es un puente atirantado con una luz de 540 m, vanos de compensación de 200 m y un gálibo de navegación de 69 m.

Se han empleado diferentes procedimientos de construcción totalmente adaptados a las distintas tipologías empleadas y a su ubicación en mar o tierra. El puente atirantado principal se construyó por voladizos sucesivos con dovelas de 20 m de longitud. El viaducto de acceso situado sobre el mar se construyó por medio de empuje desde el estribo del lado de Cádiz. El viaducto de acceso situado sobre tierra en el lado de Puerto Real se construyó vano a vano por medio de una cimbra aporticada. El tablero simplemente apoyado de 150 m se izó desde ambas pilas con la ayuda de una barcaza.
© 2016 Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Palabras clave: Puente atirantado; Puente mixto hormigón-acero; Puente de hormigón pretensado; Puente de acero; Construcción por voladizos sucesivos; Construcción por izado; Construcción por empuje; Construcción sobre cimbra

Abstract

The new bridge over Cadiz Bay has a total length of 3,092 m and crosses from the city of Cadiz to Puerto Real. The main bridge is a cable stayed deck with a 540 m. main span, 200 m. approach span, and a vertical clearance for navigational purposes of 69 m.

Different construction techniques have been employed, and have been adapted to the different bridge typologies, and to its location in the sea or on land. The cable stayed main bridge is being built using a free cantilever system with segments 20 m long. The approach viaduct over the sea is being built by segments incrementally launched from Cadiz side. The approach viaduct on Puerto Real side is being built by span by span by means of a shoring framework. The simply supported 150 m main span will be lifted from both piers with a barge.
© 2016 Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Keywords: Cable stayed bridge; Composite concrete-steel bridge; Pre-stressed concrete bridge; Steel bridge; Free cantilever construction; Lifting construction; Launching construction; Scaffolding construction

1. Introducción

El acceso a Cádiz desde el puente de Carranza o desde la autovía del Sur obligaba a atravesar toda la ciudad por la Av. de Andalucía hasta llegar al puerto y la ciudad vieja.

El tráfico viario se congestionaba en dicha avenida, cuando se podía circular por el puente de José León Carranza, atascado a su vez por el excesivo tráfico. Por esta razón las autoridades del Ministerio de Fomento quisieron cumplir la vieja pretensión de la ciudad de realizar un nuevo acceso que desde Puerto Real llegase a Cádiz de una manera directa, desembocando al otro lado de la Ciudad en la Av. de la Bahía, junto al puerto y la parte vieja de la ciudad (fig. 1).

* Autor para correspondencia.
Correo electrónico: amartinez@cfcsl.com (A. Martínez Cutillas).

http://dx.doi.org/10.1016/j.hya.2016.02.002
0439-5689/© 2016 Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 1. Vista general. Fuente: DRAGADOS UTE.

El canal de navegación de la bahía situado junto al muelle de la Cabezuela, Puerto Real, tiene 400 m de anchura y 14 m de profundidad, gálibo que las autoridades portuarias extendieron hasta 540 m para que no se ocupara la orilla del muelle de la Cabezuela, donde tenían que operar las grúas de servicio del puerto y para facilitar las maniobras de los barcos (fig. 2). Una de las pilas, la del Muelle de la Cabezuela, se desplazó del cantil 70 m dentro del mismo para permitir las operaciones de las grúas de servicio de carga y descarga. Desde el punto de vista del gálibo vertical, las máximas pendientes compatibles con el tráfico viario y la distancia a la que el canal de navegación se encuentra de Cádiz hace que la calzada alcance la formidable cifra de 69 m, uno de los puentes más altos del mundo.

No obstante, por insistencia de los astilleros Navantia, situados en el interior de la bahía, solicitaron un gálibo vertical libre de 100 m con un gálibo horizontal de 140 m. Para ello fue necesario proyectar un puente basculante de 185 m de luz y 245 m de longitud. El mayor de España en su tipo. Con posterioridad, este concepto se modificó por el de un tablero con posibilidad de ser desmontado ante la necesidad de paso de un artefacto excepcional. Este tramo desmontable está formado por un tablero simplemente apoyado de 150 m de luz (fig. 1).



Figura 2. Esquema de accesos a la Ciudad de Cádiz.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

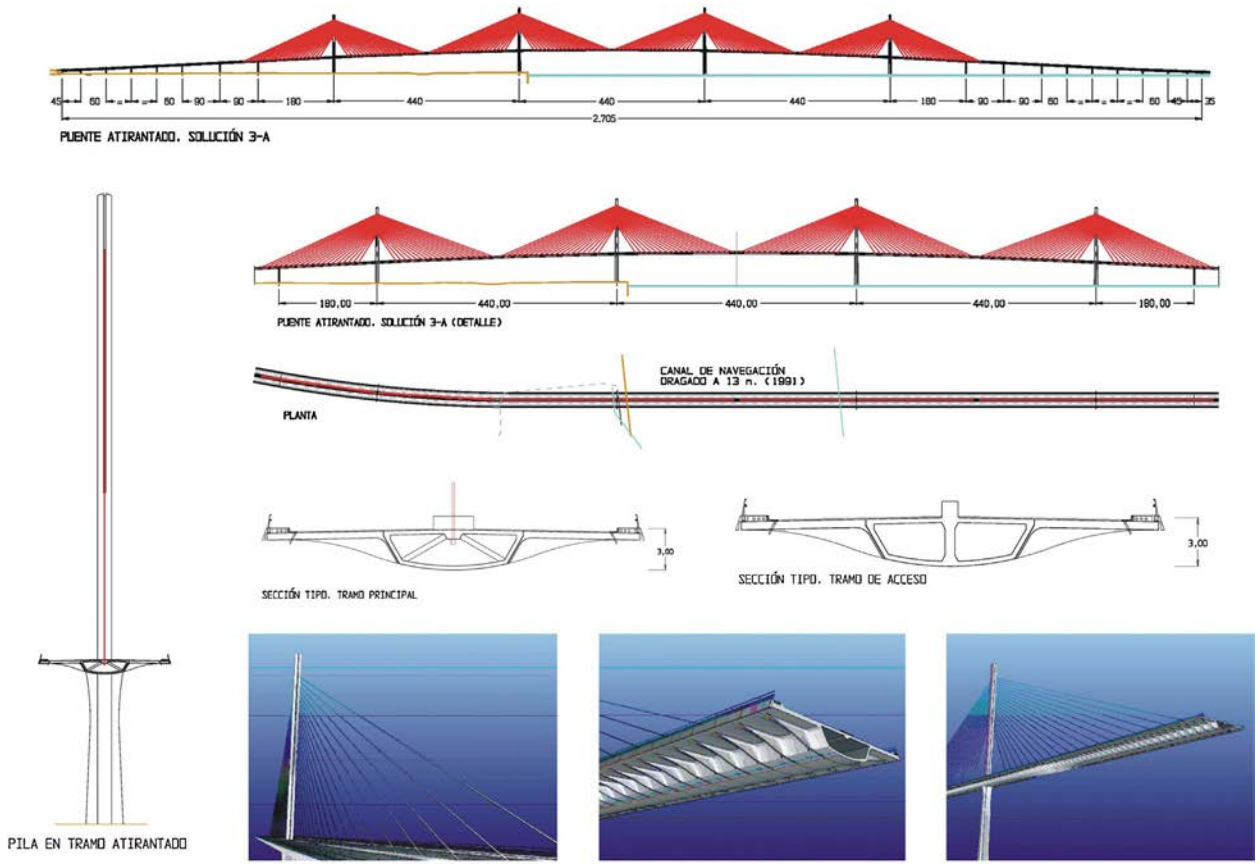


Figura 3. Estudio previo de soluciones con puente atirantado multivano.



Figura 4. Estudio previo de soluciones con arco de tablero inferior.

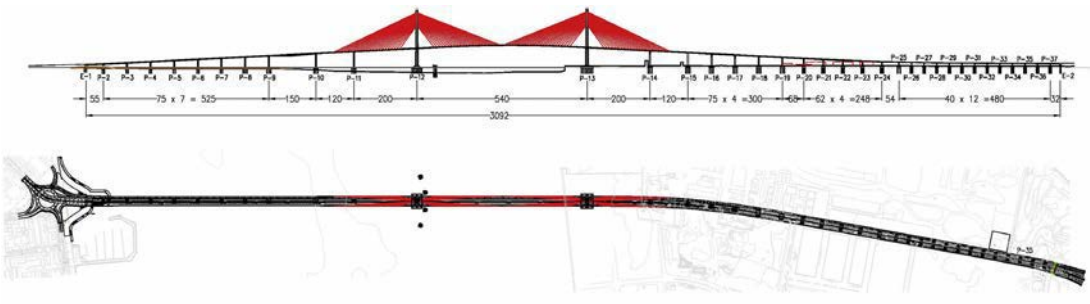


Figura 5. Alzado y planta general del puente.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 6. Vista general del puente.

2. Estudio de soluciones

En la figura 2 se representa la planta general de ubicación del puente donde se observa a la izquierda la ciudad de Cádiz, Puerto Real a la derecha y en medio la bahía. Se distinguen también dos trazados, el de abajo correspondiente al actual puente de Carranza y el nuevo, el superior que atraviesa Puerto Real, el muelle de la Cabezuela y desemboca en Cádiz junto al puerto. Cruza el canal de navegación, señalado en la figura con dos líneas blancas, que destaca 400 m junto al muelle de la Cabezuela.

Salvar una bahía de aproximadamente 1.500 m cruzada por un puente tiene muchas posibilidades; la tentación de hacer un puente atirantado de varios vanos es bastante grande. A fin de cuentas, sin otro dato, el mar es igual en todas partes lo que nos llevaría a las soluciones de la figura 3. Pero esta solución tiene varios inconvenientes.

El mar es igual superficialmente pero la profundidad varía de manera que solo en el canal de navegación tiene 14 m, lo que permite el paso de grandes barcos. En el resto, la profundidad puede variar hasta los dos metros, por lo que solo es posible la navegación de pequeñas embarcaciones. De manera que el puente atirantado continuo de varios vanos responde más a una cuestión estética que a una razón funcional y constructiva. Es por tanto muy cara, por lo que fue desechada rápidamente. Las soluciones estaban abocadas al proyecto de un tramo único de más de 400 m de luz sobre el canal de navegación y un viaducto de acceso de gran longitud.

Se planteó un arco con tablero inferior (fig. 4), construible en voladizos sucesivos atirantados desde dos torres metálicas situadas sobre las pilas que van a cimentar el puente. Esta solución es muy posible hoy en día, pero finalmente nos decidimos por una solución atirantada sobre el canal de navegación con sendos viaductos de acceso, uno viniendo de Puerto Real y otro desde Cádiz.



Figura 8. Infografía de la configuración de tráfico y equipamientos de la sección transversal.

Realmente esta no es una solución deducida por eliminación de las anteriores; es una solución partida, como las que se utiliza normalmente para problemas similares, que sin duda es la más adecuada pero que no impide pensar en otras.



Figura 7. Fuste superior de la torre.

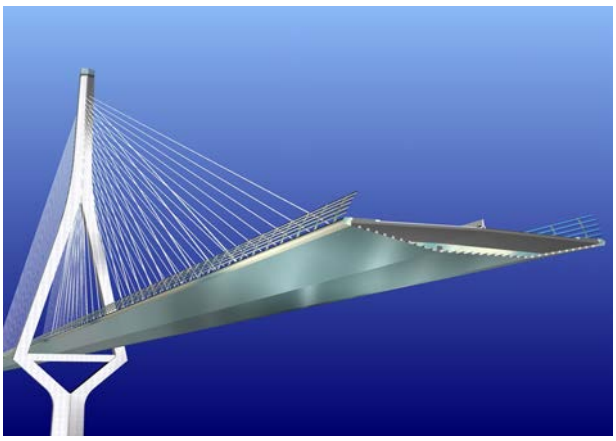


Figura 9. Infografía de la sección transversal del tablero y la torre.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 10. Izado de dovela antes de la llegada a los primeros tirantes.

3. Descripción y planteamiento general

El puente, propiamente dicho, se puede dividir en cuatro tramos distintos dependiendo de sus diferentes características funcionales. Los cuatro tramos descritos están uno a continuación de otro, empezando por Cádiz y terminando por Puerto Real [1–4].

- Tramo viaducto de acceso del lado de Cádiz, corresponde al acceso al tramo principal, desde el lado de Cádiz; longitud 580 m.
- Tramo desmontable; longitud 150 m.
- Tramo puente principal, es el puente atirantado situado sobre el canal de navegación y sus compensaciones atirantadas; longitud 1.180 m.

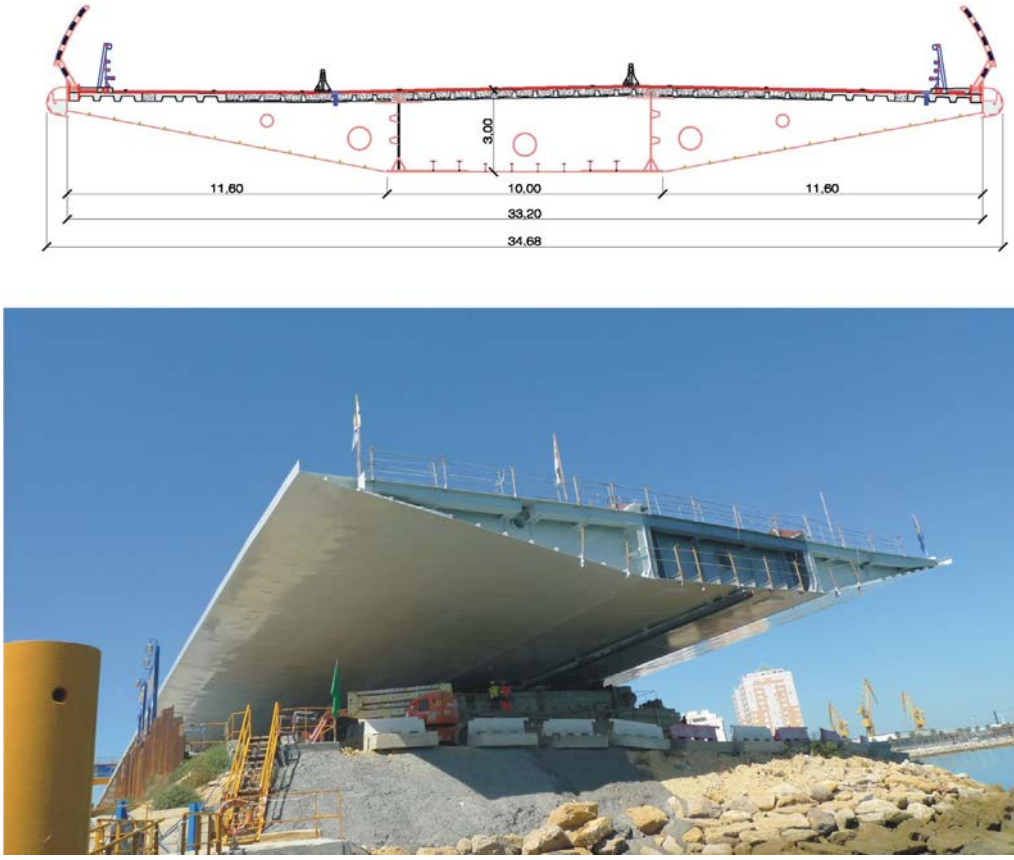


Figura 11. Sección transversal del viaducto de acceso al lado de Cádiz.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 12. Empuje del tablero con la torre de atirantamiento provisional.

- Tramo viaducto de acceso del lado de Puerto Real, corresponde al acceso al tramo principal desde Puerto Real; longitud 1.182 m.

La longitud total del puente es de 3.092 m (fig. 5). Es uno de los puentes continuos de mayor longitud de España y uno de los mayores puentes del mundo (fig. 6).

El tramo principal corresponde al puente situado sobre el canal de navegación y constituye la razón de ser última del puente: proporcionar un nuevo acceso a Cádiz, saltando sobre el canal de navegación, principal entrada al puerto, sin que se produzcan interrupciones del tráfico rodado, como pasa en el puente de Carranza, que tiene que abrirse y cerrarse sucesivamente para permitir el tráfico de barcos. En este caso la interrupción sería

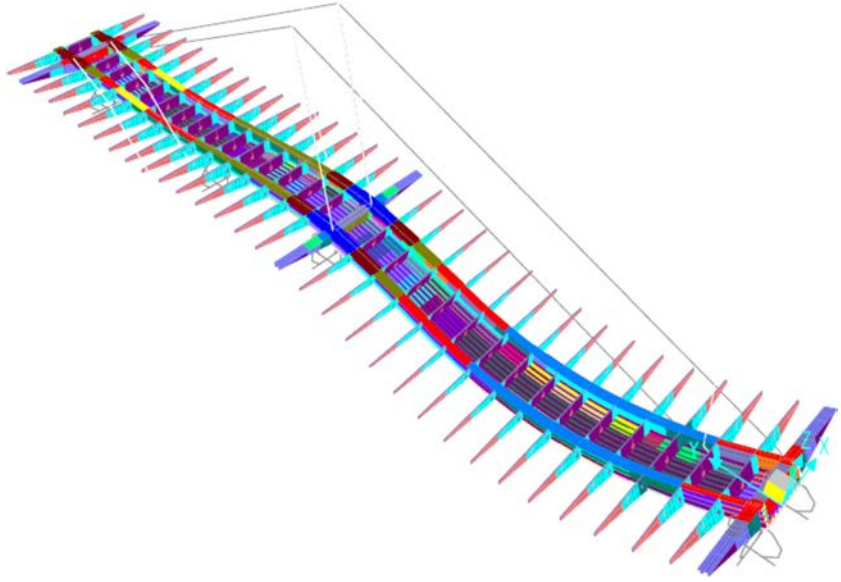


Figura 13. Cálculo del empuje y deformada del dintel.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 14. Otras vistas del proceso de empuje del tablero del viaducto al lado del acceso a Cádiz.

mucho mayor dado que el tráfico de navíos es infinitamente más intenso.

Razón esta por la que el puente sobre la bahía de Cádiz, con sus 69 m de gálibo vertical libre, es uno de los más altos del mundo. Mayor que todos los de Nueva York y San Francisco. Mayor que todos los europeos, los existentes en Portugal, Francia, Inglaterra y las grandes conexiones entre Suecia y Dinamarca, puente de Oresund y los que unen las islas de Dinamarca entre sí, Gran Belt y pequeño Belt.



Figura 15. Fuste de las pilas.

Esta misma razón y las condiciones de maniobrabilidad de los barcos a la entrada al puerto, es lo que ha determinado que la autoridad portuaria solicitase una luz libre de obstáculos de 540 m. Solicitud que ha sido cumplida.

La solución que la tecnología actual recomienda para un caso como este es la utilización de un puente atirantado, que desde torres de 180 m de altura cuelgue, por medio de 176 tirantes, los 540 m del vano principal y los 320 m de cada uno de los dos vanos de compensación (figs. 6 y 7).

El tablero tiene 34,30 m de anchura, correspondiente a cuatro carriles de circulación, dos en cada dirección de 3,5 m de anchura, dos vías de tranvía y los arcenes, defensas, alojamiento de los tirantes y pantallas para proteger el tráfico del viento, necesarios para la perfecta funcionalidad del puente (fig. 8). La zona de vías del tranvía se ha dedicado provisionalmente a un carril bus, a la espera de la ejecución de dicho tranvía.

La estructura de este tablero debe ser ligera, aerodinámica y esbelta, por tanto de estructura mixta, acero y hormigón, de 3,00 m de canto y bordes perfectamente perfilados (fig. 9).

Su construcción se realizó por avance en voladizo; el dintel se dividió en dovelas de 20 m de longitud, que fueron montadas en el Muelle de la Cabezuela y se llevaron por flotación hasta el puente, donde fueron izadas por medio de carros-grúa móviles situados en la punta delantera de los voladizos.

Una vez izadas se procedió a su soldadura con el tramo ya construido y al atirantamiento desde la torre. Inmediatamente se continuó con el armado y el hormigonado de la losa superior y retesado de los tirantes (fig. 10).

4. Viaducto de acceso al lado de Cádiz

Este acceso tiene 580 m de longitud y está formado por un dintel de estructura mixta que salta sobre las pilas separadas entre sí $55 + 7 \times 75$ m. El tablero tiene 3,00 m de canto total con una losa de compresión de 30 cm.

Se ha procurado en todo momento tener una sección muy perfilada y constante o casi constante a lo largo de todo el viaducto. Las almas centrales, por tener que deslizarse sobre los apoyos, se remetieron un poco hacia el interior (fig. 11).

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 16. Colocación de los recintos de la torre de la bahía.

Con el fin de optimizar la distribución de chapas, la sección metálica resistente es el cajón monocelular central, cumpliendo las chapas inclinadas una función exclusiva de carenado. La separación entre los diafragmas intermedios es de 5 m. El proyecto de la losa de hormigón se ha realizado conservando el equilibrio entre la máxima prefabricación e industrialización y la reducción de su peso ya que se trata de una acción muy importante en este rango de luces. Con este criterio, las secciones de las zonas de centro de vano (50 m centrales), las zonas entre almas y parte de los vuelos, la losa está formada por prelosas prefabricadas nervadas colaborantes, apoyadas entre diafragmas, en el que parte de la misma se hormigonaba en segunda fase. El resto de la sección se realizaba con losas nervadas hormigonadas in situ a partir de un encofrado perdido de chapa grecada (fig. 11). En las secciones de apoyo (25 m), salvo en la zona de almas en la que fue necesario disponer de gran capacidad de conexión entre el hormigón y el acero, las losas eran, en su mayor parte nervadas.

El tablero se construyó por empujes sucesivos de solo la parte metálica. El empuje de los vanos de 75 m se realizó con la ayuda de un atirantamiento provisional (fig. 12).

En la figura 13 se representa una fase de este empuje y la deformada del dintel cuando se activan los tirantes. En la

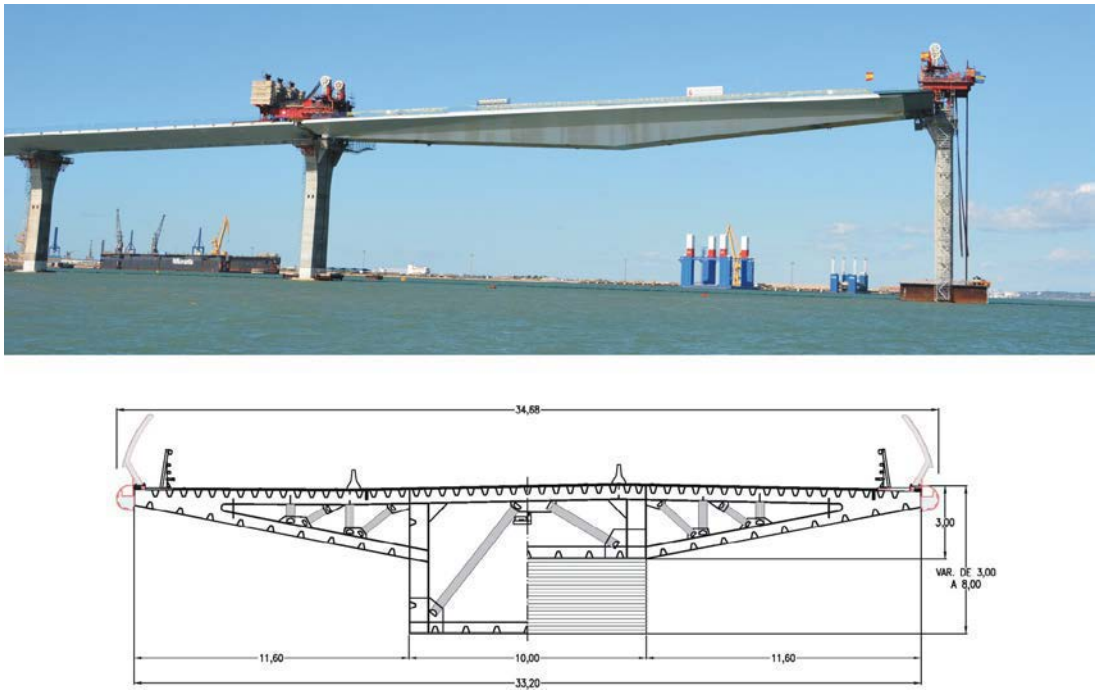


Figura 17. Alzado y sección transversal del puente desmontable.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 18. Izado del tramo desmontable.

figura 14 se ve el tablero durante el empuje. Una vez terminado el empuje se colocó la losa por medio de placas prefabricadas aligeradas.

4.1. Pilas

La geometría de las pilas de este puente se obtiene a partir de una forma básica. La sección transversal de las mismas se genera con dos trapecios unidos por su base más ancha, manteniendo la longitud de las dos bases constantes y variando la altura de los trapecios a lo largo de todo el fuste de las pilas para variar el canto transversal a lo largo de la altura. De este modo, el canto longitudinal permanece constante y las superficies de la pila son alabeadas.

En la parte superior las pilas tienen una anchura constante para recoger el dintel (fig. 15) y varían hacia abajo sin más que mover la base pequeña del trapecio variando la altura del mismo, ganando canto transversal conforme más altas son las pilas, cuyas alturas varían desde 8,0 m a 52,5 m. Las dimensiones en la cimentación de la pila más alta son de 4,00 × 10,5 m, este último valor se reduce a 4,2 m en la cintura de la pila bajo el capitel. En la parte superior de este su dimensión es la del ancho del dintel que soporta, 10,5 m. En el borde la pila tiene 2,9 m.

Las cimentaciones de estas pilas son pilotadas; se utilizaron recintos metálicos para sujetarse a los pilotes previamente ejecutados. Se vertió a posteriori una capa de hormigón que impermeabilizaba el recinto, pudiendo a continuación proceder a armar y hormigonar el encepado en seco (fig. 16).

5. Tramo desmontable

La presencia de este puente responde a una petición de los astilleros Navantia para permitir el paso de barcos de más de 69 m de altura, máximo posible a cruzar bajo el puente principal. Esta coyuntura es muy poco probable y de realizarse, se hará muy pocas veces en la vida del puente.

La luz necesaria para el paso de los barcos de Navantia es de 150 m, lo que determina que fuese necesario diseñar una viga que salvase esta luz y evolucionase desde la sección tipo ya descrita en el apartado 4. Por esta razón, el tramo desmontable comienza con la sección de 3,00 m de canto de la sección tipo y la parte inferior se va bajando hasta que la viga alcanza los 8 m (fig. 17). Este tramo de 4.000 t se prefabricó y se llevó por flotación hasta la vertical de su posición definitiva donde se izó hasta la cabeza de la pila (fig. 18).

6. Tramo atirantado

Incluye los 1.180 m de longitud correspondientes a 540 m del vano central entre torres de atirantamiento, los dos vanos de compensación de 200 m de luz cada uno y dos vanos más semiatirantados de 120 m de luz cada uno. Para su construcción se han dividido en dovelas de 20 m de longitud y 400 t de peso máximo.

La sección transversal es común a la del resto del puente con 34,30 m de anchura y 3,00 m de canto. Pero a lo largo del dintel hay que establecer una serie de diferencias en su morfología. Las dos almas centrales del cajón trapecial desaparecen en los 420 m centrales del tramo principal quedándose en esta zona con solo las almas inclinadas laterales al cajón (fig. 19). El resto del puente, como en el caso de acceso desde Cádiz, tiene dos almas longitudinales centradas y dos laterales (fig. 20). La razón para estas eliminaciones es la no necesidad de recoger el cortante en ellos por su bajo valor y por el control que sobre la cuantía del cortante establecen los tirantes de cuelgue [5].

La distribución del hormigón en la losa superior varía de una a otra zona. Por ejemplo, todo el interior de la viga cajón se hormigona sobre las pilas contiguas a las torres en los vanos de compensación, en una longitud de 20 m, para actuar como contrapeso del dintel central. Una segunda particularidad que

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

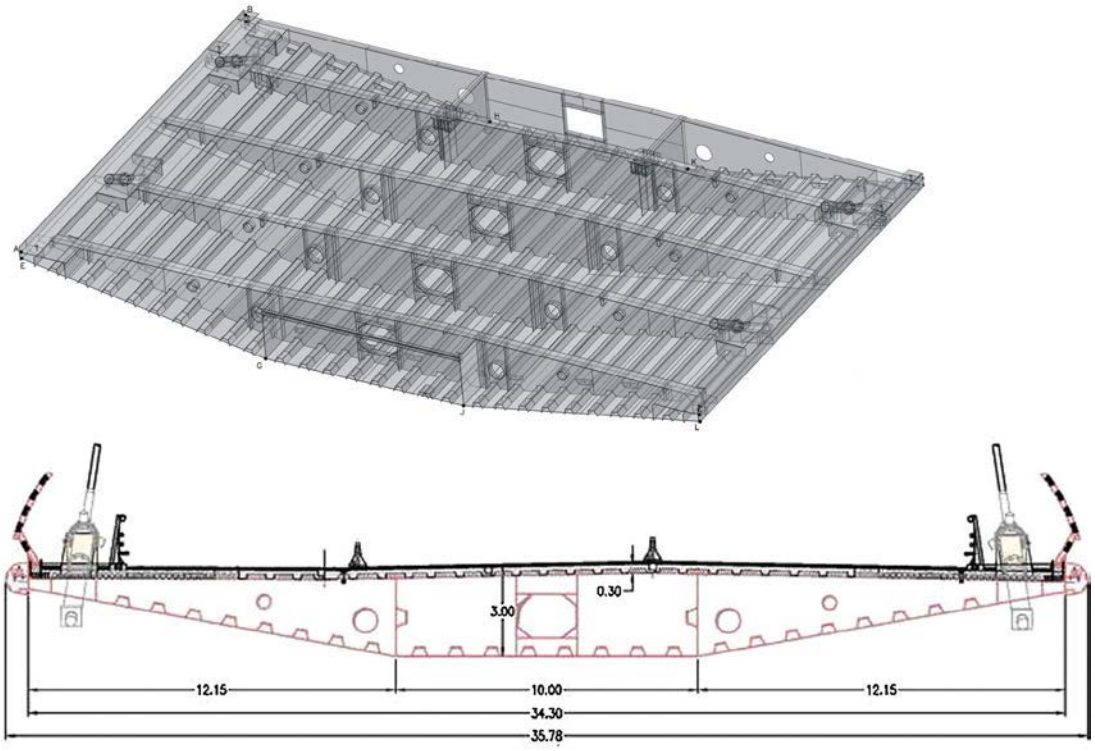


Figura 19. Sección transversal sin almas verticales.

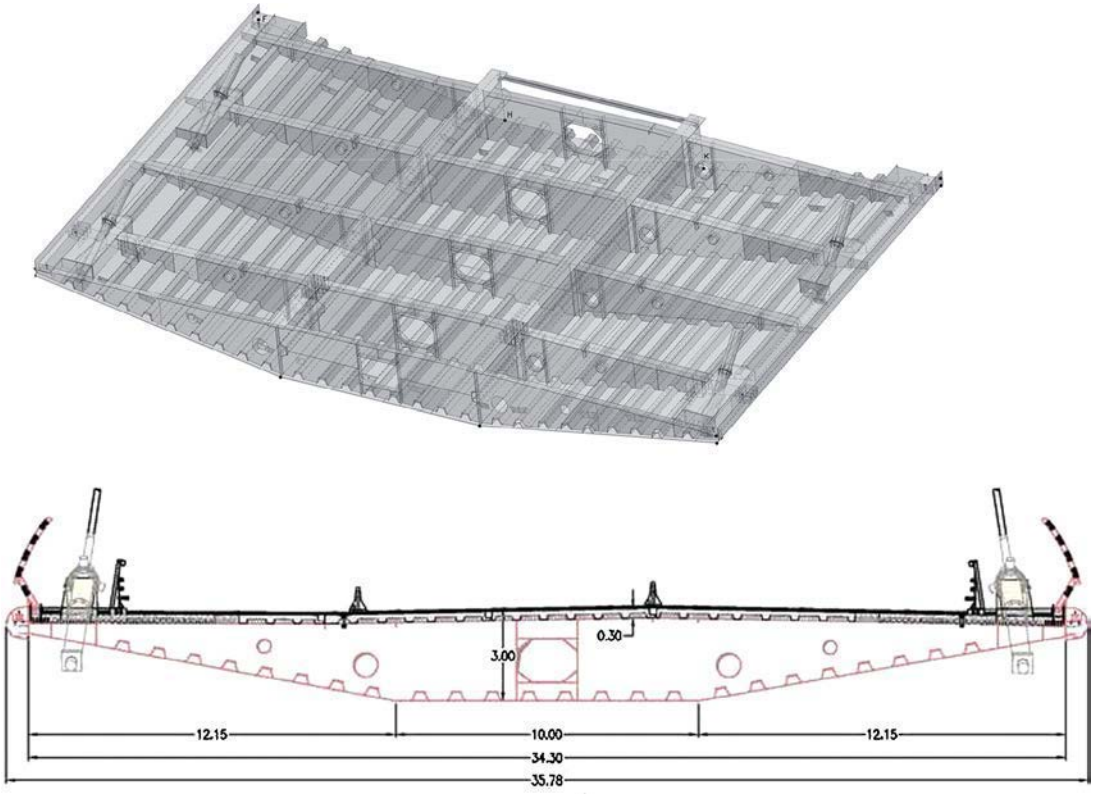


Figura 20. Sección transversal con almas verticales.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

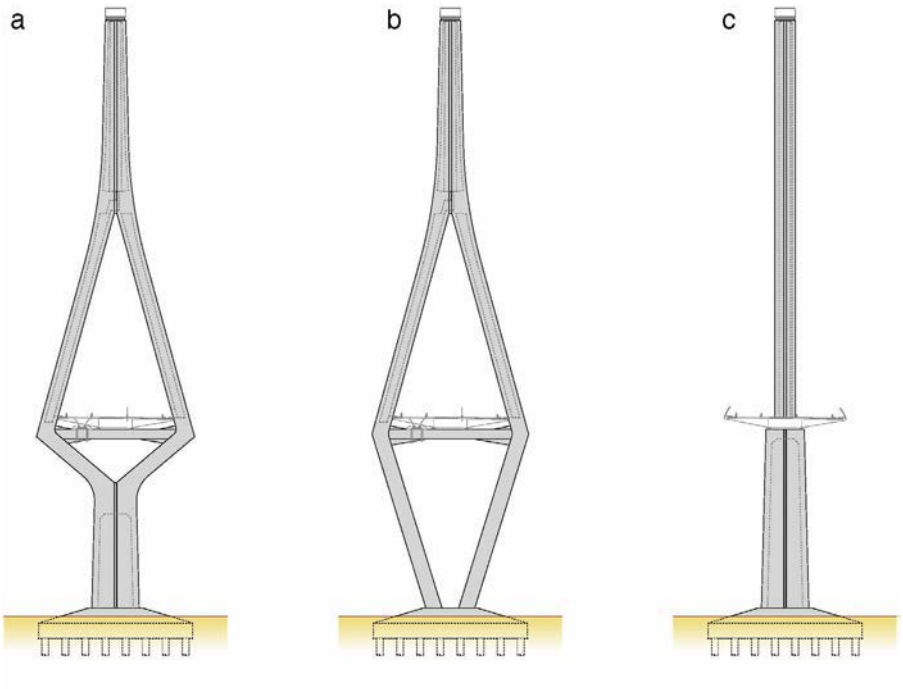


Figura 21. Distintas configuraciones de las torres de atirantamiento.

existe es la doble acción mixta que se realiza a lo largo de 60 m sobre cada torre de atirantamiento y en las pilas contiguas de los vanos de compensación de 85 m en la pila de la bahía y 65 m en la del muelle. Por otro lado, la losa superior de hormigón es de 30 cm de espesor y está realizada «in situ» o prefabricada con aligeramientos de distinta cuantía.

Cada dovela de 20 m está rigidizada transversalmente por 4 diafragmas separados 5 m (figs. 19 y 20). En esa subdivisión, la

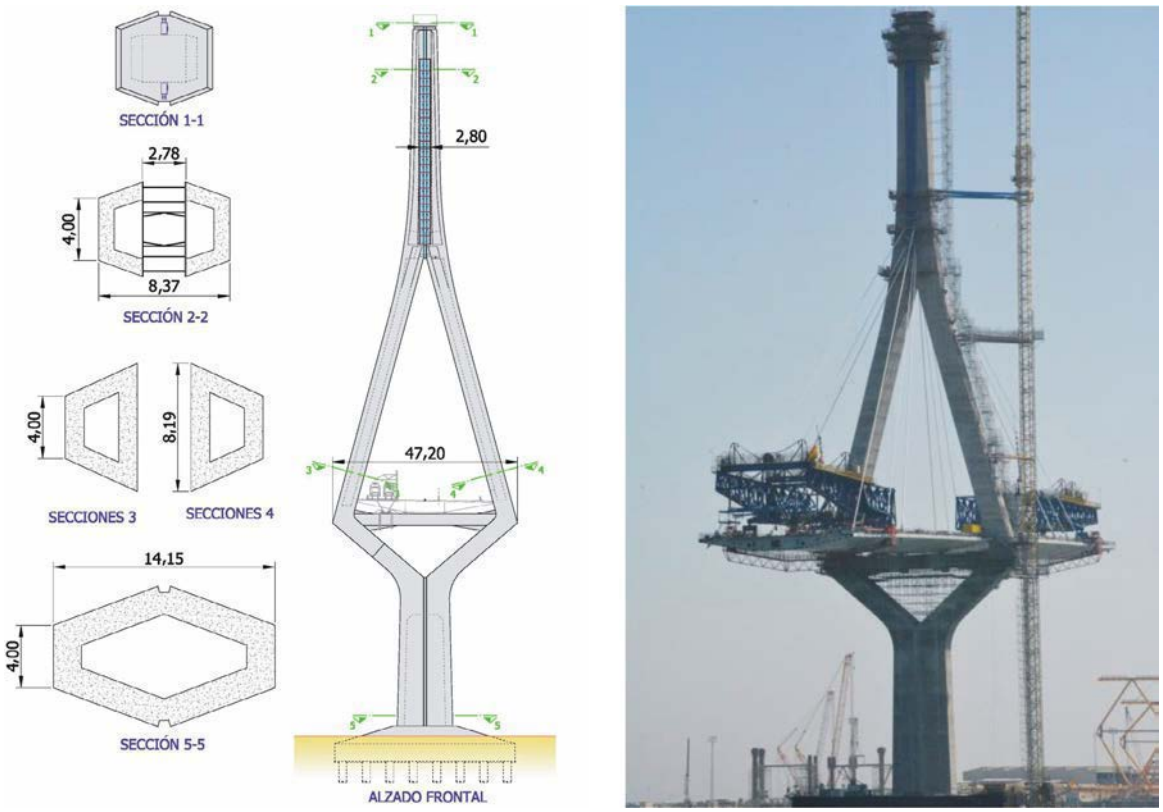


Figura 22. Definición torre de atirantamiento.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

distancia al borde libre de los diafragmas extremos es de 1,5 m y 3,5 m. Este hecho ha ocasionado la necesidad de un nuevo diafragma de cierre del borde en que la distancia al borde libre es de 3,5 m, conveniente durante las operaciones de acoplamiento y soldadura de una dovela a otra para mantener la geometría del borde.

6.1. Pilas y torres de atirantamiento

Las pilas normales de este tramo tienen la misma forma y tipología que las de acceso a Cádiz, y en general que las del resto de pilas del puente. El diseño de las torres de atirantamiento es fundamental para el diseño general del mismo. Se empezó considerando una sola pila central tal y como aparece en la figura 3; esta pila era muy fácil de construir pero tenía un inconveniente importante, ensanchaba el dintel 4,00 m a lo largo de unos 1.000 m lo que suponía un sobrecoste considerable (fig. 21a).

Había que dejar que el dintel pasase recto y que la pila lo rodease; en estas circunstancias existían varias posibilidades de configuración de la pila desde el dintel hasta la cimentación, habida cuenta que desde el dintel hacia arriba la pila estaba definida con patas abiertas en la parte inferior y fuste único central para los tirantes en la parte superior.

Si se hubiese elegido que desde el dintel hacia la cimentación la pila prolongase su trazado por dos pilas verticales o inclinadas (fig. 21c), se producía un aspecto no deseado; las patas verticales eran evidentemente feas y las inclinadas rompían la idea general del proyecto de pilas, el de utilizar fustes únicos. Así pues, se optó por la forma de las torres de la figura 21b que cumplían ese requisito fundamental. La tracción que solicita al travesaño es bastante mayor si el fuste sube único hasta casi el dintel que si sube desdoblado en otros dos. Fue una decisión difícil pues los dos tipos de pilas cumplían bien todas las condiciones y finalmente se optó por el de la pila vertical única.

El diseño de las torres sigue el mismo principio que las pilas normales, aunque de dimensiones bastante mayores. En su

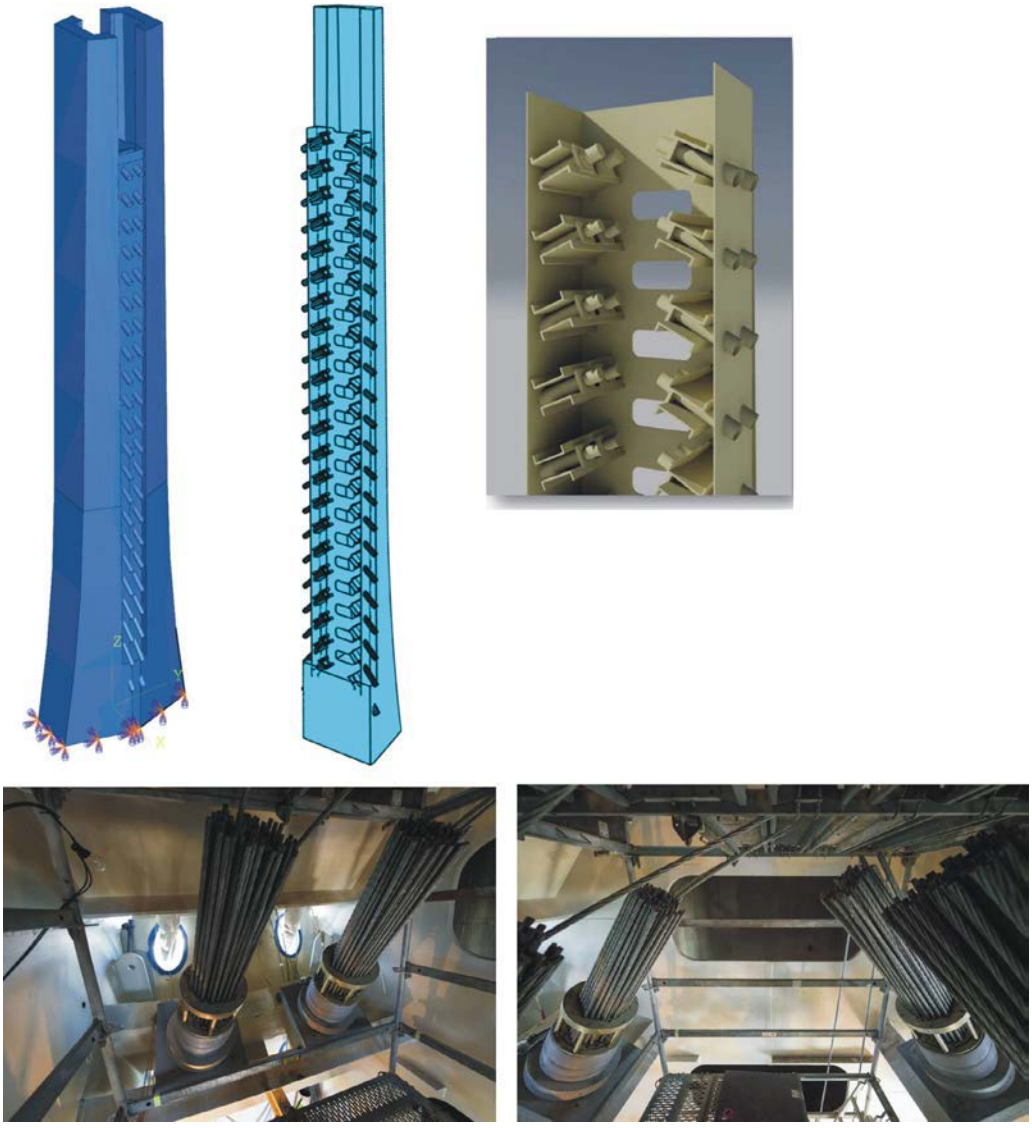


Figura 23. Configuración fuste superior de la torre en la zona de tirantes.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

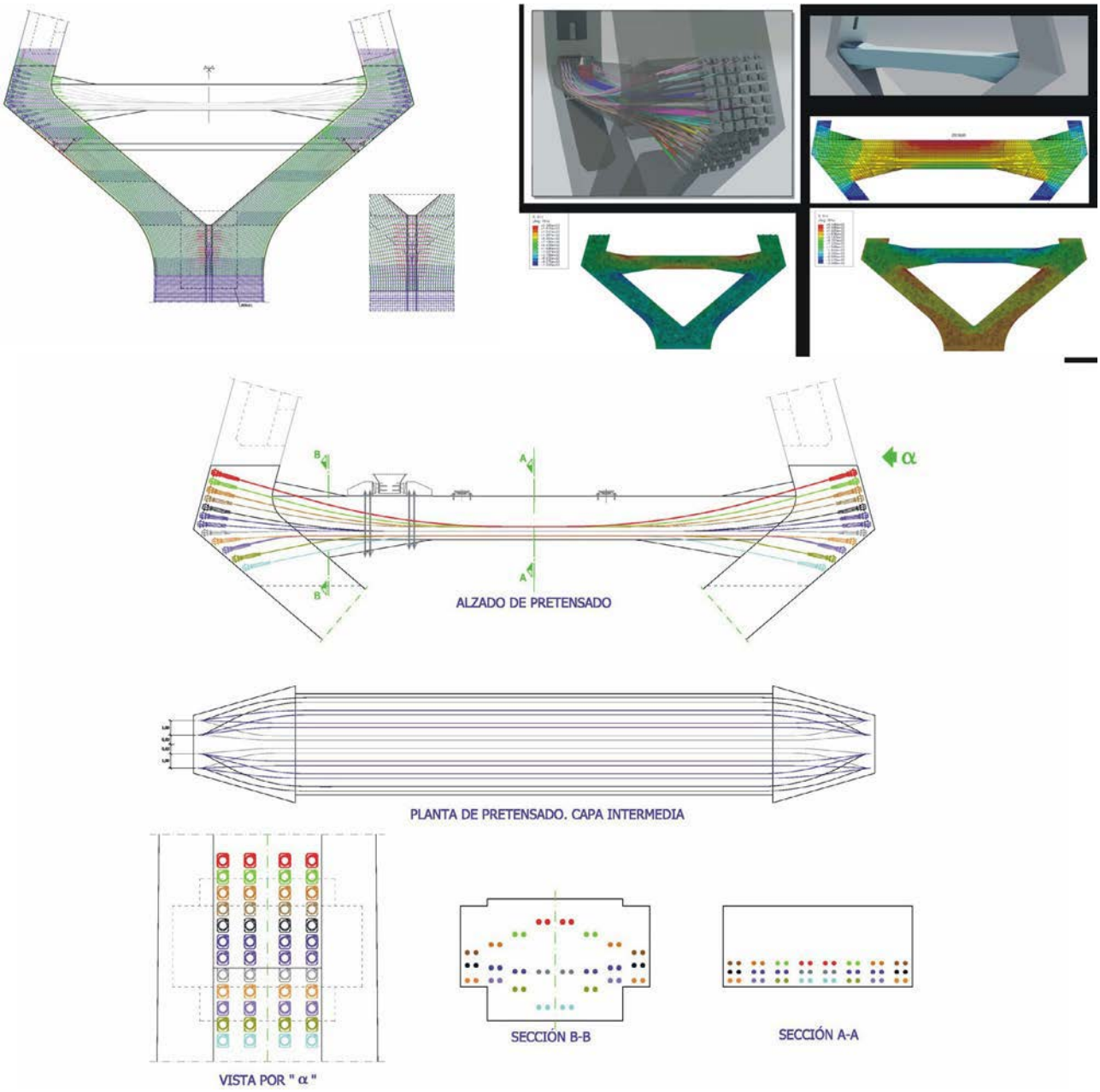


Figura 24. Definición de la célula triangular inferior de las torres.

contacto con la cimentación aparece el doble trapecio unido en la cara más ancha, pero con unas dimensiones en planta mucho mayores, 14,15 × 8,9 m. La dimensión transversal disminuye hasta donde se produce la bifurcación de los dos trapecios de la base en las dos ramas que se abren para que pase el dintel y se cierren en la parte superior donde aparecen los tirantes (fig. 22).

En el interior de la parte superior de la pila se introduce «el armario» metálico (fig. 23) donde se establece el intercambio de tracciones entre los tirantes de uno y otro lado de la torre. Este «armario» recoge la componente horizontal y vertical de los tirantes y los va transmitiendo al hormigón de la pila por los conectadores presentes en las chapas.

En la figura 24 se representa el armado de la célula triangular de las torres, fuertemente solicitada por el esfuerzo axil que baja por la torre.

En la figura 25 se representan los 176 tirantes que sujetan el puente, cuyo número de cordones varía entre 75 ϕ 0,6″ en los 4 primeros tirantes, 31 ϕ 0,6″ en los siguientes tirantes verticales y 78 ϕ 0,6″ en los más inclinados. Tienen doble protección, cada cordón está autoprotegido mediante acero galvanizado y vaina individual. La vaina general tiene cordón helicoidal para controlar los efectos de inestabilidad aeroelástica provocados por la lluvia y viento. Todos los tirantes tienen amortiguadores en su contacto con el dintel, axiales para los más cortos y triaxiales para los demás [6].

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

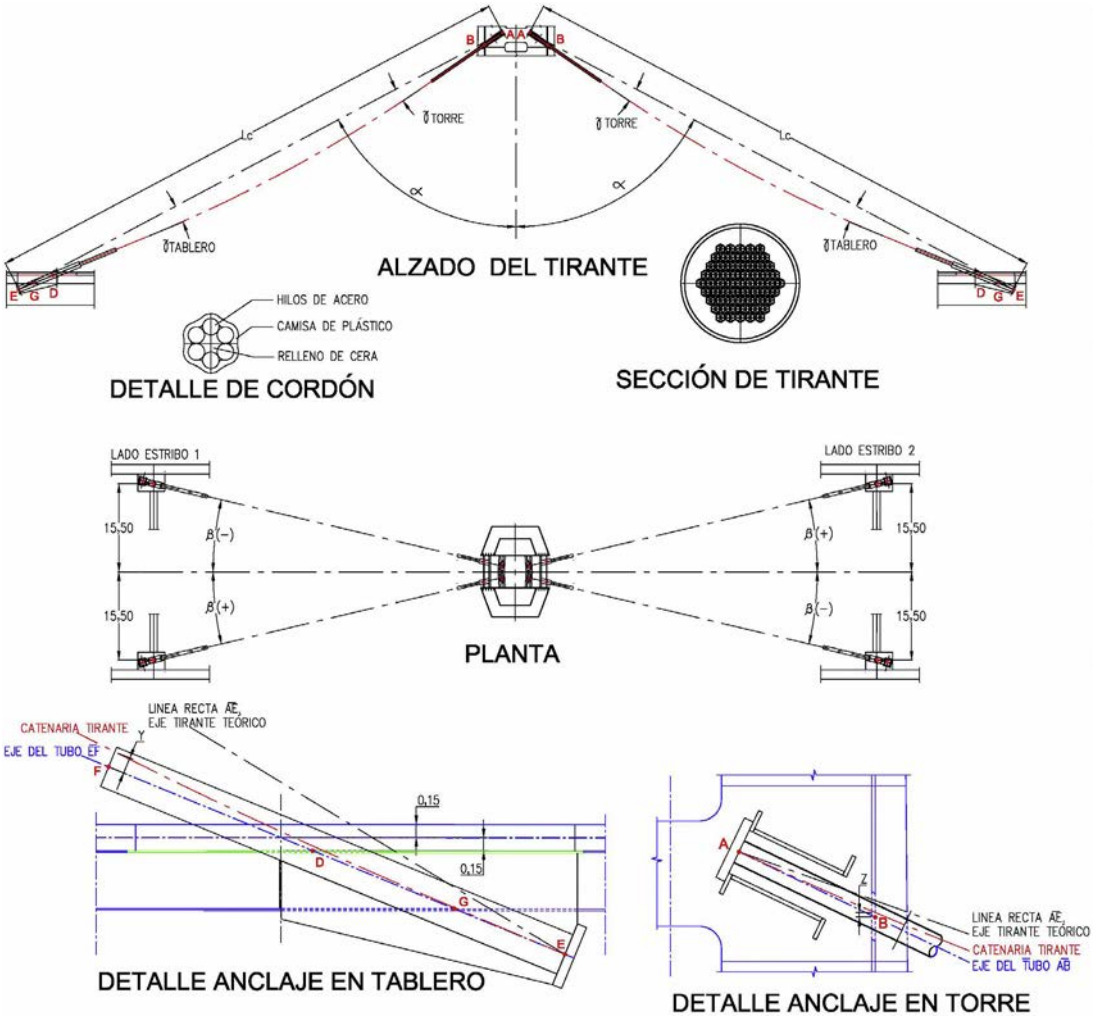


Figura 25. Esquema de definición de tirantes.

6.2. *Construcción por avance en voladizo*

La construcción en avance en voladizo se realiza con dovelas de 20 m de largo y 34 m de ancho, izando solo la parte metálica de la sección junto a una parte hormigonada en el borde para recoger la carga horizontal del tirante en el momento de colocarlo. Su peso fue de más de 400 t (fig. 26).

Aquí se plantean varios problemas resistentes que conviene citar. El primero es el tamaño de dovela elegido. En el cálculo del proyecto se había supuesto una dovela de 10 m. Al decidirse por una de 20 m, una vez construidas las torres, el coeficiente de seguridad de la resistencia de las torres principales se redujo considerablemente, aunque siempre se mantuvo dentro de márgenes admisibles.

Lo cierto es que los momentos flectores en la base de la pila durante el montaje eran muy importantes, hasta el extremo que la construcción se realizó desfasando el tamaño de las dovelas, de manera que solo la mitad de la longitud estaba en desequilibrio entre uno y otro voladizo. Habría sido casi imposible hacer dovelas más grandes, pues la base de la torre podía fallar por el desequilibrio de solicitaciones en uno y otro borde del puente. Conforme el voladizo por un lado era mayor respecto del otro, el coeficiente de seguridad de la resistencia de la pila disminuía, máxime cuando a este desequilibrio de cargas se le añadía el viento. Además, se consideró la caída accidental de dovela durante el izado.

En la figura 27 se representan las deformaciones de las dovelas extremas durante el ciclo de colocación de una dovela.

El máximo desequilibrio se produjo cuando el voladizo libre era de 218,5 m hacia el centro del vano principal y 198,0 m en el vano de compensación. A partir de este momento uno de los voladizos se apoyaba en una pila lateral y las deformaciones y desequilibrio se reducían drásticamente. En la figura 28 se representan las deformadas de un semipuente cuando los dos voladizos están libres y cuando se encuentra apoyado en las pilas del vano de compensación.

Este hecho es característico de los diseños de puentes con vanos de compensación muy grandes, como en este caso de 200 m. Si se hubiese ido a vanos de compensación normales de 75 m, no solo se habría aumentado la rigidez del vano principal sino que además este fenómeno habría perdido importancia. No obstante, se ha preferido diseñar lo diseñado.

Para terminar la construcción del tablero fue necesario proyectar tres operaciones de cierre definitivas: la unión de los dos

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 26. Construcción por avance en voladizo simétrico.

voladizos en el centro del puente, el apoyo del voladizo trasero de la torre de la bahía en la pila del tramo desmontable y la unión del voladizo de la torre del muelle con el tramo de Puerto Real.

Aunque muy importantes, se hicieron con mucha facilidad pues una de las tareas importantes a realizar durante la construcción ha sido el control de flechas en el momento de poner la dovela correspondiente y la comprobación de la geometría del puente en todas las fases. El apoyo en la pila del tramo desmontable se hizo sin dificultad. En el centro del puente se dejó una dovela de 75 cm para cerrar la separación. Su posición estaba muy bien controlada por el ajuste de cargas en tirantes y se realizó un desplazamiento longitudinal del tablero de 15 cm para facilitar las operaciones de soldeo en clave.

La unión del tramo mixto procedente de la estructura atirantada con el tramo de hormigón de Puerto Real, aunque no tuvo más dificultades, sí hubo que resolver primero la perfecta transmisión de esfuerzos entre ambas (ver apartado 7.1).

7. Viaducto de acceso al lado de Puerto Real

Este tramo tiene 1.182 m de longitud y está compuesto por luces decrecientes, ya que la altura de las pilas se reduce con la pendiente del viaducto, que es del 5%. Razón esta por la cual la sección cambia, aunque deduciéndose de la sección tipo de 75 m. Así, la distribución de luces es de $4 \times 75 + 68 + 4 \times 62 + 54 + 12 \times 40 + 32{,}0$ m.

Pero en este tramo se producen una serie de cambios respecto al tablero tipo. Primero, todo él es de hormigón pretensado, aunque manteniendo la misma sección transversal del resto del puente (fig. 29).

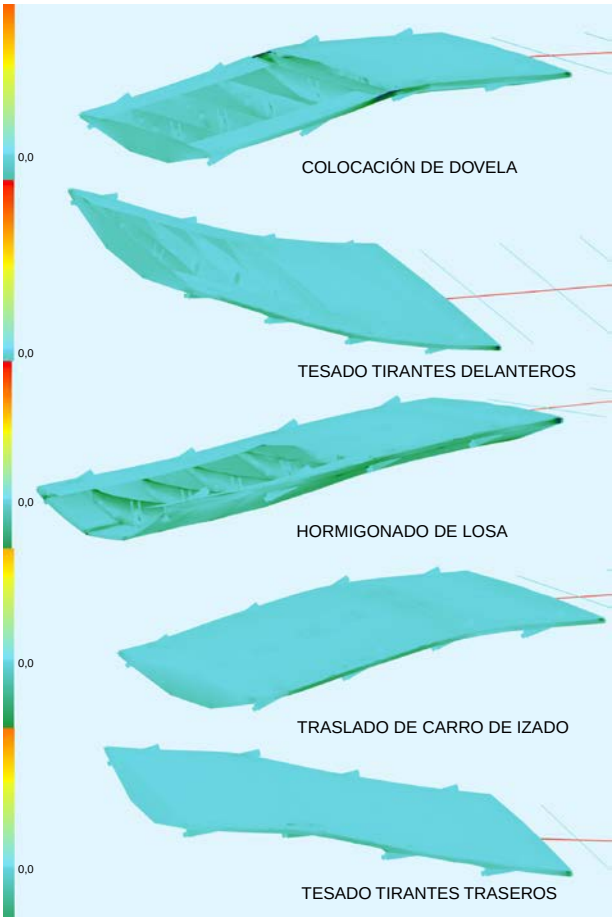


Figura 27. Deformada de la dovela frontal calculada por elementos finitos.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

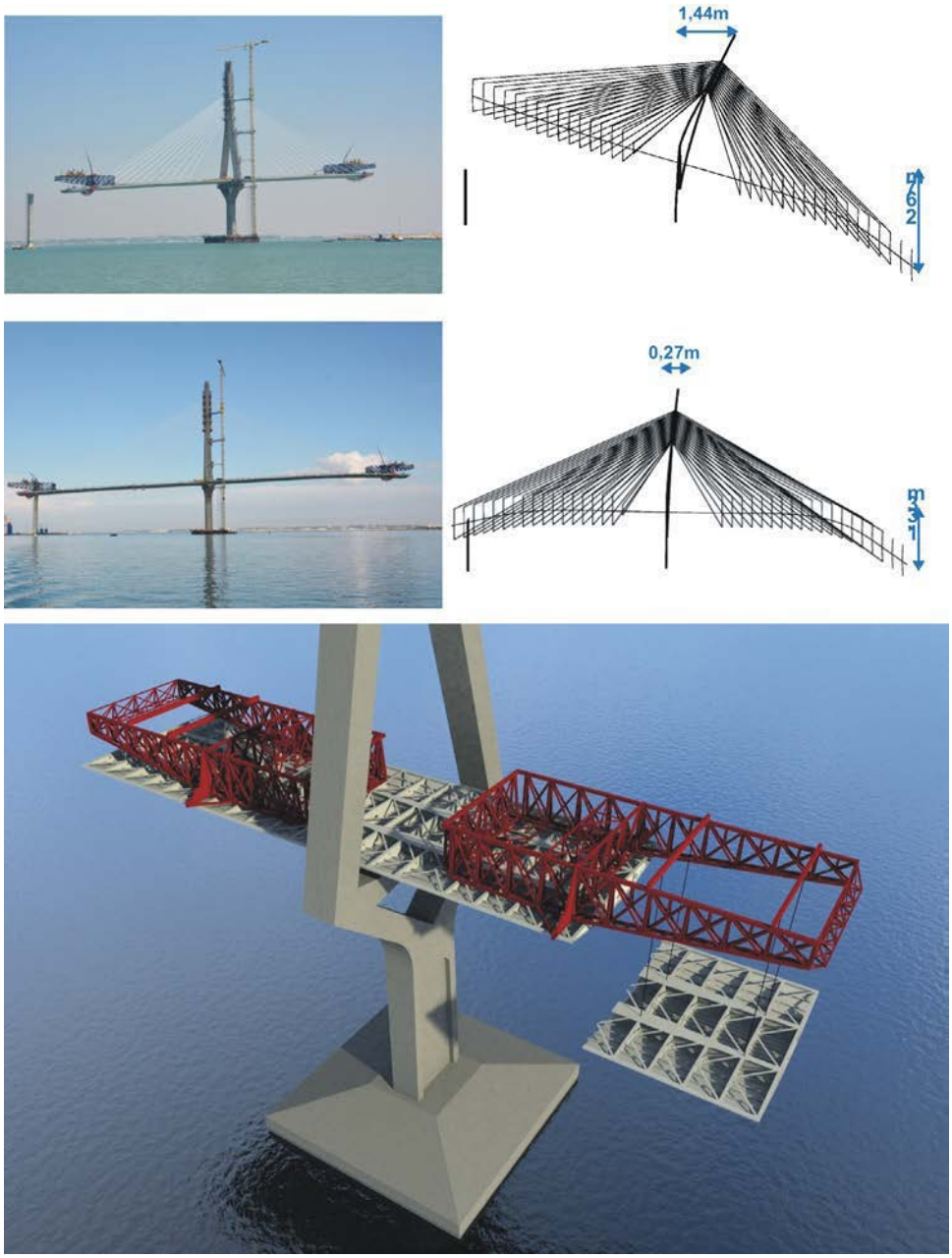


Figura 28. Deformadas de un semipuente antes y después de apoyarse en la pila del vano de compensación.

Segundo, la pila debe cambiar de forma pues por exigencia de la vialidad en el polígono industrial de Puerto Real no puede existir pila en el centro; por allí transita una calzada, lo que obligó a diseñar una pila (fig. 30), que se deduce de la pila tipo sin más que abrir en los dos trapecios que configuran la sección tipo y separarlos para dejar paso a la calle central. El quiebro que se origina en la parte superior es para apoyar el dintel adecuadamente.

Mientras el tablero superior tiene una luz igual o superior a 62 m este no varía en forma. En el vano de 54 m, que es el vano de transición al de 40 m, se produce una variación del canto de 3 m a 2 m sin más que subir la losa inferior del cajón tipo 1 m. A partir de ese punto, la sección transversal de 2,00 m de canto se prolonga hasta el estribo, eso sí, cambiando el aligeramiento interior del cajón a seudocírculos (fig. 31).

Para la realización de este tramo hay que separar la construcción de la zona de baja altura y 40 m de luz, que se realiza con cimbra tradicional hasta el suelo y la construcción de la zona con viga cajón, que se realiza subdividiendo la sección en dos partes (fig. 32).

Por un lado, se ejecuta el cajón central formado por las dos almas centrales de la sección, la losa superior e inferior entre ellos y un pequeño voladizo lateral; por otro lado y en segunda fase, el resto de las zonas laterales. La capacidad resistente

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 29. Vista del viaducto de acceso al lado de Puerto Real, canto 3,00 m.

del tablero se le confiere a este cajón central mientras que las inclinadas sirven para resistir la sección transversal.

El cajón central se realizó sobre cimbra apoyada en puntales intermedios (fig. 33a). Una vez pretensado, un carro superior completó el ancho total del tablero (fig. 33b) deslizándose sobre el cajón central.

7.1. Conexión del viaducto de hormigón de acceso al lado de Puerto Real con el tramo metálico que continúa el tramo atirantado

La conexión se realiza en el segundo vano de compensación de 120 m de luz, a 18,75 m de la segunda pila de dicho vano. Para ello, se fabricó una dovela especial de 10,25 m de longitud, que se introdujo 5 m en el hormigón pretensado del viaducto y se colocó antes del hormigonado de esta. Habida cuenta que en esos 5 m se dispone el conjunto de conectadores capaces de transmitir los esfuerzos que provienen de la parte metálica al hormigón y viceversa, la unión queda perfecta.

Las dos almas metálicas intermedias se conectan a las de hormigón por pretensado, después de dejar los ensanchamientos correspondientes en las almas de hormigón para la colocación de las vainas del mismo.

Todo esto se realiza antes de la llegada de la dovela metálica proveniente del tramo atirantado; así, la unión entre ambos tramos se realiza como cualquier unión metálica, ayudándose de un pequeño carrete de 50 cm para ajustar los bordes entre una y otra dovela (fig. 34).



Figura 30. Pilas dobles por presencia de calzada bajo el tablero.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

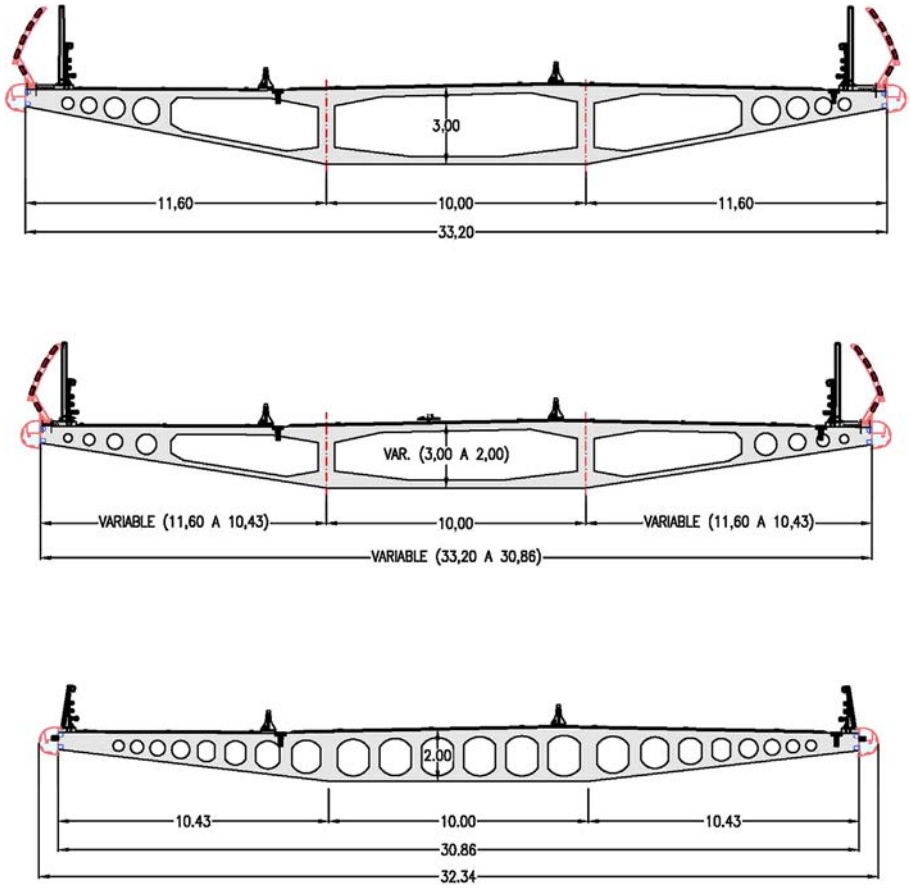


Figura 31. Evolución de las secciones tipo en el viaducto de acceso al lado de Puertorreal.



Figura 32. Vista del viaducto de acceso lado Puerto Real, canto 2,00 m.

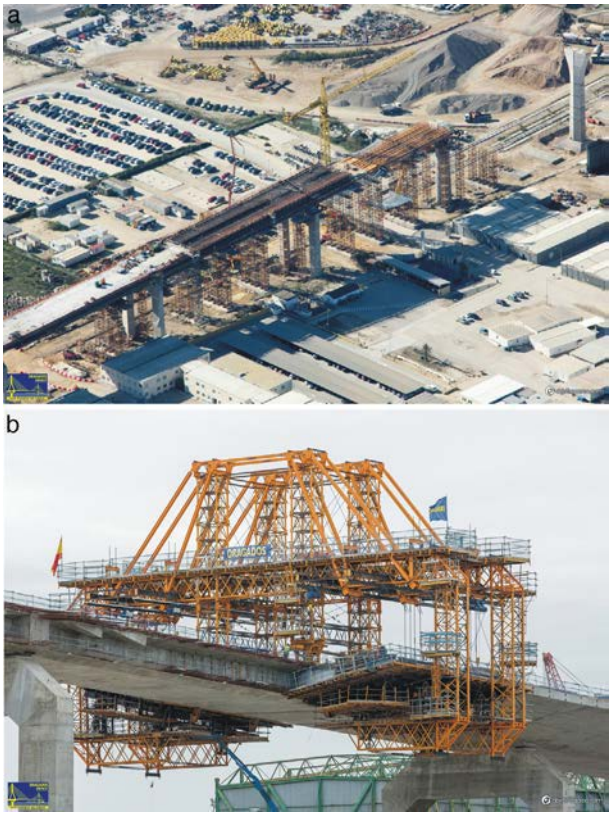


Figura 33. (a, b) Construcción del viaducto de acceso al lado de Puerto Real.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

www.e-ache.com

Disponible en ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Hormigón y Acero 2016; 67(278-279):21–30

www.elsevierciencia.com/hya

Original

Concepción general e innovaciones en la construcción del Puente de la Constitución de 1812 sobre la Bahía de Cádiz

Innovations and conceptual approach to the construction of the Constitución de 1812 Bridge over the Cadiz Bay

Luis Miguel Viartola Laborda*, Daniel Paunero Alonso, Víctor Manuel Jiménez Aguadero y José María Morejón López

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Dragados, S.A., Madrid, España

Recibido el 2 de diciembre de 2015; aceptado el 29 de enero de 2016
Disponible en Internet el 13 de julio de 2016

Resumen

El Puente de la Constitución de 1812 sobre la bahía de Cádiz puede considerarse, desde el punto de vista constructivo, como la sucesión de 4 puentes independientes. Entre ellos destaca el puente atirantado, con unas dimensiones que superan a cualquier puente construido hasta la fecha en nuestro país. Estas grandes dimensiones, junto con la ubicación de una parte importante del puente sobre el mar, condicionan la elección de los procedimientos constructivos, así como los medios y equipamientos especiales necesarios para llevarlos a cabo. En el artículo se describe el planteamiento general de la construcción del puente, destacando alguna de las operaciones singulares llevadas a cabo y su control, así como las innovaciones introducidas en los equipos y procesos utilizados.
© 2016 Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Palabras clave: Procedimiento constructivo; Innovación; Equipos especiales de construcción; Izado de grandes cargas; Construcción por voladizos sucesivos; Tablero empujado; Puente atirantado

Abstract

The 1812 Constitution Bridge over Cadiz Bay can be considered, from a construction point of view, as a succession of four separate bridges. These include the cable-stayed bridge with dimensions that exceed any bridge built to date in our country. This large size together with the location of a significant part of the bridge over the sea, influence the choice of construction procedures and the special means and equipment necessary to carry them out. The article describes the general approach of the bridge construction, highlighting some of the special operations carried out and their control, as well as innovations both in processes and equipment.
© 2016 Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Keywords: Construction procedure; Innovation; Temporary works; Heavy lifting; Free cantilever construction; Launched deck; Cable stayed bridge

1. Introducción

La construcción de un puente como el de la Constitución de 1812, sobre la bahía de Cádiz, constituye un estímulo de primer orden para cualquier profesional que forme parte del equipo que tiene que enfrentarse al reto de levantar una estructura de más de 3 km de longitud, de los cuales una parte importante discurre sobre el mar.

El puente está descrito detalladamente en otros artículos [1–7] de este número especial que le dedica la revista Hormigón y Acero, al igual que los procedimientos constructivos utilizados para su construcción. Por tanto, este artículo está enfocado

* Autor para correspondencia.
Correo electrónico: lviartola@dragados.com (L.M. Viartola Laborda).

http://dx.doi.org/10.1016/j.hya.2016.01.006
0439-5689/© 2016 Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 1. Tramos terrestre y marítimo.

únicamente a la concepción general de su proceso de construcción, destacando alguna de las innovaciones desarrolladas en él.

Por su influencia sobre el proceso constructivo cabría destacar que sus 3.092 m de longitud, pueden dividirse en 2 partes: la parte terrestre y la marítima, que se introduce en tierra como parte del puente atirantado (fig. 1). El tramo terrestre del puente está formado por un tablero de hormigón con 2 secciones trasversales diferentes en función de la luz de los vanos: una losa aligerada para las luces cortas, de hasta 40 m, y una viga cajón para el resto, con una luz típica de 75 m. Mientras que el tramo sobre el mar, el más relevante del puente, está dividido, a su vez, en 3 secciones diferentes: un puente mixto que constituye el acceso desde Cádiz, el tramo desmontable y, finalmente, el puente atirantado (fig. 2).

Quizá uno de los aspectos más destacables de su diseño sea el haber logrado unificar formalmente un puente de estas dimensiones, con condiciones de contorno muy distintas dependiendo de los tramos. Por tanto, nos encontramos con un puente que en realidad engloba 4 puentes totalmente distintos, con peculiaridades cada uno de ellos sobre todo en lo que respecta a su procedimiento constructivo.

De ahí que, en la etapa de construcción, cada uno de estos 4 puentes se ha abordado de una manera independiente, atendiendo a su tipología, a su ubicación, tratando de independizar, en la medida de lo posible, la construcción de los condicionantes que impone la presencia del mar, y buscando una adecuada elección y utilización de recursos.

2. Planteamiento general de la construcción

Como se ha comentado anteriormente, una descripción detallada de todos los procesos constructivos utilizados en el puente se puede ver en otros artículos de este número monográfico [1–7]. No obstante, a continuación se incluye, a modo de resumen, una breve descripción de los mismos.

Como nota común a todos ellos, la idea que ha guiado su elección ha sido la de tratar de independizar, en la medida de lo posible, la construcción del tablero de los condicionantes que impone la ubicación de la obra en el mar. Así, para el acceso desde



Figura 2. Tramo marítimo.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

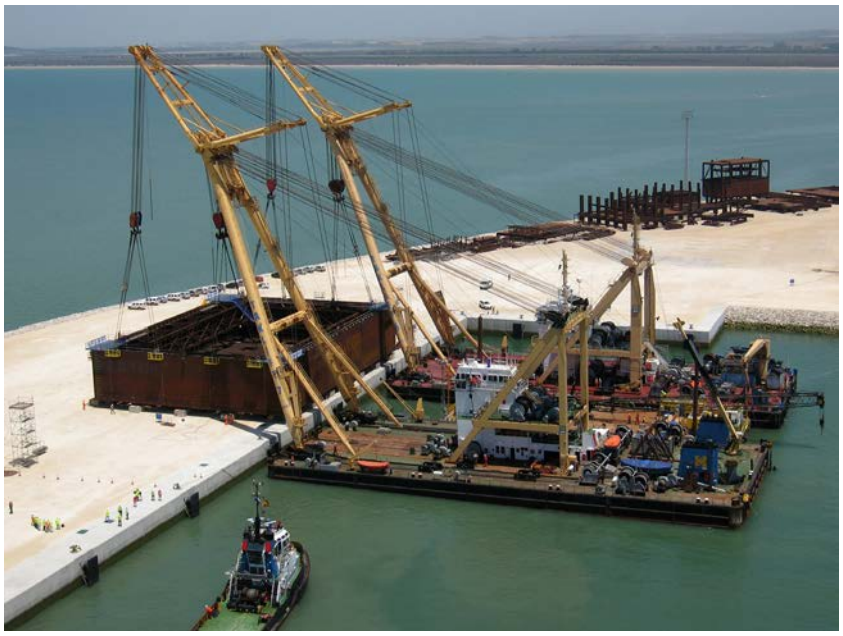


Figura 3. Carga del recinto estanco para la cimentación del pilono situado en el mar.

Cádiz se ha optado por el procedimiento de empuje, donde el tablero se va conformando en un parque de ensamblaje ubicado en tierra. En el caso del tramo desmontable, se diseñó el izado completo del tablero, que previamente había sido fabricado en tierra en las instalaciones de Dragados Off-Shore. Por último, para el tramo atirantado, se propuso el método de los voladizos sucesivos que, además de ser el habitual para este tipo de estructuras, como se verá posteriormente, permite la fabricación de las dovelas del tablero en parques industriales fijos y completarlas a pie de obra, dejando únicamente, como maniobra marítima, el aprovisionamiento de las dovelas a los carros de izado.

2.1. *Cimentaciones*

La cimentación es elemento clave en la construcción de un puente, sobre todo en un entorno marítimo, y quizá el aspecto más destacable de estas cimentaciones marinas fue el sistema de cajones metálicos desarrollado para materializar los recintos estancos para su construcción [1]. De todos ellos, el cajón usado en el pilono situado en el mar es el que merece especial atención. Si bien el diseño conceptual es el mismo que en el de las otras pilas, sus grandes dimensiones (49,3 m de ancho, 37,3 m de largo y 9.1 m de alto) requirieron el uso de 2 grúas flotantes trabajando en paralelo capaces de colocar el cajón metálico, de 1.300 t de peso, a través de los 48 pilotes perforados previamente desde una pontona (fig. 3).

2.2. *Puente de acceso lado tierra*

Los vanos de acceso desde tierra se resuelven con un tablero de hormigón pretensado con 2 secciones transversales diferentes, dependiendo de la luz del vano. Tanto en la sección en losa aligerada como en la sección cajón, el procedimiento constructivo utilizado fue convencional, recurriendo al uso cimbras. En la sección cajón la construcción se dividió en 2 etapas. Una primera usando cimbra, solo en el núcleo central de la sección, para reducir las cimentaciones profundas necesarias por la presencia de suelos blandos bajo el viaducto. Y una segunda etapa en la que se construían las alas laterales con la ayuda de un carro de encofrado (fig. 4) que se deslizaba sobre la zona central de la sección ya construida [2].

2.3. *Puente de acceso lado mar*

El tablero de los vanos de acceso desde Cádiz se construyó a través del procedimiento de empuje, lo que permitió independizar su construcción del entorno marítimo (fig. 5) [3]. La parte metálica de la sección transversal se ensamblaba en un parque de montaje ocupando una península artificial. El proceso de lanzamiento, secuencial, se completó en 9 etapas y requirió la ayuda de un mástil de atirantamiento provisional, para controlar las flexiones durante la operación y permitir el remonte del voladizo en los pasos sobre pilas. Una vez colocada la parte metálica de la sección, se procedió a la construcción de la losa superior de hormigón, para la que se recurrió a prelosas prefabricadas colaborantes.

2.4. *Puente desmontable*

El tramo desmontable es totalmente metálico y se construyó en las instalaciones que Dragados Off-Shore tiene en las proximidades de la obra. La pieza, de 150 m de luz y 35,20 m de ancho, 8 m de canto máximo y 4.000 t de peso, se trasladó por medio de unos carros de ruedas hasta el muelle, donde se embarcó en una pontona que la llevó a la parte inferior de la vertical de su posición definitiva, desde donde fue izada por 2 equipos de gateo, situados en cada una de las pilas sobre las que descansaría dicho vano desmontable [4].

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

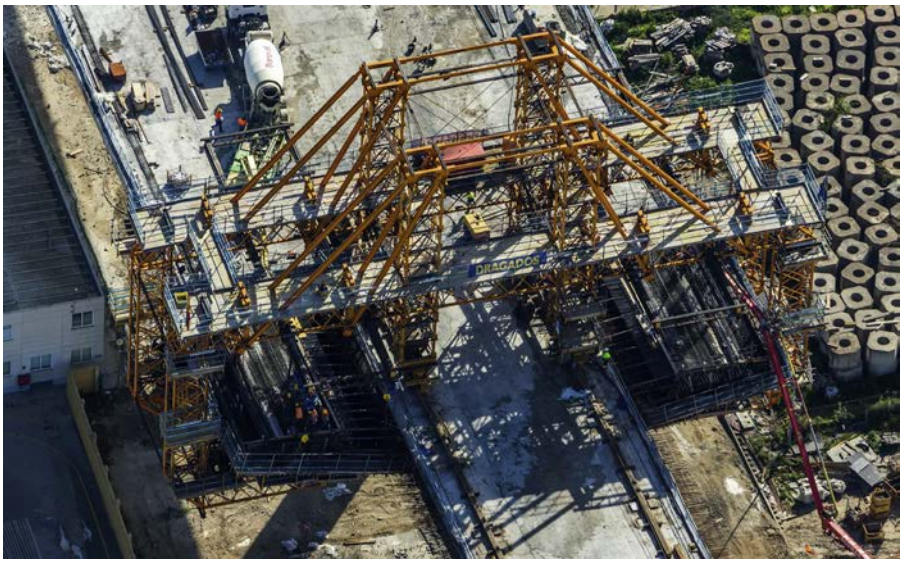


Figura 4. Tablero de hormigón. Carro de encofrado de segunda fase.

2.5. *Puente atirantado*

Desde que se utilizara por primera vez a finales del siglo XIX en el Puente de San Luis sobre el río Mississippi para construir sus 3 arcos, el procedimiento de voladizos sucesivos sigue siendo, hoy día, el método más usado para la construcción del tablero en la mayoría de los grandes puentes; sobre todo para sus vanos principales.

Se trata, por tanto, de un procedimiento muy conocido que evita el uso de una gran cantidad de elementos auxiliares, entre ellos las cimbras y apeos intermedios, y que además no serían viables en muchos casos como este, en el que el puente se sitúa sobre una ruta marítima, permitiendo industrializar la construcción del tablero con la ayuda, en este caso, de unos carros de izado. Este procedimiento también permite independizar en gran medida la construcción del tablero de la presencia del mar, donde la interferencia solo se produce en la maniobra de aprovisionamiento de dovelas.

El montaje de las dovelas de arranque, necesarias para generar la plataforma sobre la que posicionar los carros de izado, y el montaje de estos últimos, se realizó con una grúa móvil sobre orugas, en el pilono lado tierra, y una cabria sobre pontona, en el pilono lado mar; usando adicionalmente una serie de equipos especiales desarrollados específicamente para asegurar el posicionamiento de las dovelas de arranque con precisión milimétrica y el correcto acople entre piezas sucesivas.

Se utilizaron 4 unidades de carros para la construcción del puente, esto es, una pareja de carros por cada pilono, lo que



Figura 5. Puente de acceso desde Cádiz. Proceso de empuje de la parte metálica.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 6. Operación de izado de una dovela típica.

generaba 4 frentes de trabajo. Los 2 frentes que arrancaban de un mismo pilono estaban condicionados entre sí para limitar los desequilibrios en la base de dichos pilonos durante la etapa constructiva.

Las dovelas se transportaban hasta la vertical de su posición definitiva por medio de una pontona, a excepción del tramo de tablero sobre tierra, en el que eran transportadas por medio de un carro de ruedas. Una vez situadas en la vertical, se trincaban con el carro de izado y se iniciaba la operación de izado (fig. 6). El izado de dovelas se sucedía cíclicamente con un procedimiento perfectamente programado [5], en el que hubo que incluir una serie de operaciones singulares: las correspondientes al paso sobre las 2 pilas adyacentes a los pilonos y los 3 cierres del tablero: los 2 de sus extremos y el cierre del vano principal [6]. Todas estas operaciones se diseñaron de forma que pudieran asimilarse, en su mayor parte, a una operación típica de montaje de dovela y, por tanto, se llevaron a cabo utilizando los mismos medios de elevación ya disponibles en obra sin necesidad de recurrir a otros adicionales.

Esta breve descripción pone de manifiesto la gran cantidad de singularidades que es necesario atender en un procedimiento que, a priori, parece totalmente industrializado y repetitivo. El éxito radica en que estas operaciones singulares puedan asimilarse, en la mayor medida posible, a las operaciones estandarizadas para las que han sido diseñados los principales medios especiales. Y también lo complementario, que estos medios especiales no se diseñen limitados a la operación principal o típica, sino que permitan su adaptación a todas esas operaciones especiales. En la figura 7 se aprecia la maniobra de elevación de uno de los cierres laterales, para la que se usaron conjuntamente el carro de izado y uno de los equipos que había servido para el izado del tramo desmontable contiguo.

Finalmente, y después de haber izado 63 dovelas e instalado 176 tirantes, se completó el tablero del puente atirantado transcurridos 2 años desde que se colocara la primera dovela, lo que se traduce en un ciclo de 18 días laborables por dovela, de 20 m de longitud típica, en una zona con vientos casi constantes.

3. Aplicación de recursos

La planificación de una obra de estas características es siempre una tarea muy exigente que requiere la aplicación de una ingente cantidad de recursos, tanto no operacionales como de operación, recursos que hay que aplicar de forma ordenada y eficiente. Entre los recursos no operacionales destacan los materiales constitutivos que forman parte de la estructura terminada, mientras que entre los recursos de operación se engloban todos aquellos necesarios para que dichos materiales



Figura 7. Cierre lateral con el puente desmontable.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

constitutivos ocupen su lugar definitivo en la estructura, y que en esencia son la mano de obra, la maquinaria, los medios auxiliares y otros equipos especiales.

Las cantidades de materiales constitutivos utilizados en la obra (122.415 m^3 de hormigón, 29.600 t en acero pasivo, más de 2.000 t en acero de pretensado, 2.100 t en tirantes o más de 37.000 t en acero estructural, estas últimas las mayores utilizadas en una estructura en España) exigieron un estricto plan de aprovisionamiento, con diversas fuentes de suministro de materiales y productos, además de la instalación en obra de las plantas de fabricación de materiales y talleres de ensamblaje de estructura metálica, entre otros.

Pero en cuanto a los recursos aplicados en el puente, y a pesar de todas estas cantidades de materiales, la mayor importancia ha sido para los recursos de operación empleados durante la fase de construcción. Es sabido que cuanto mayor es la importancia de una obra, mayor es la relevancia que los recursos de operación tienen sobre los materiales constitutivos. Así ha sido también en este caso. Sirva de ejemplo que, si bien el puente tiene un total de 37.000 t de acero en el tablero, solo los equipos especiales diseñados específicamente para la construcción, como por ejemplo los carros de izado o recintos estancos de cimentación, representan más de 5.000 t.

Atendiendo a la particularidad de esta obra, que puede considerarse como la integración en una sola estructura de 4 puentes distintos, los estudios de planificación siempre tuvieron en cuenta la posibilidad que ofrecía para simultanear distintos frentes de trabajo. Esto es debido a que estos frentes de trabajo podían desarrollarse sin apenas interferencias entre sí, al estar actuando cada uno de ellos en diferentes zonas del puente. Esta es una posibilidad muy superior a la que ofrecen otras obras. Así, se han mantenido, durante un periodo importante de la obra y de forma continuada, varios frentes de trabajo. Sirva como muestra el que en la fase final de construcción del tablero coexistieron 7 frentes de trabajo activos: los tableros de los 2 pilonos, el tramo empujado desde Cádiz, el tramo desmontable y 2 frentes en el tramo de hormigón, uno de ellos doble. Todos estos frentes se subdividían, adicionalmente, en varios tajos o tareas, y estaban dotados con sus propios recursos de operación.

Entre todos los recursos de operación aplicados en esta obra, el que ha tenido un papel más relevante ha sido el equipo humano. Una obra de este nivel de exigencia no puede llevarse a cabo si no hay detrás un equipo de profesionales que conjuguen capacidad técnica y experiencia, ambas necesarias para afrontar los muchos retos que se suceden durante todo el proceso constructivo. Permítanme afirmar que este puente ha contado con esos profesionales, integrando un único equipo formado, a su vez, por la suma de los excelentes equipos que han puesto a disposición de esta obra la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, las empresas de ingeniería involucradas en las labores de proyecto, de su desarrollo y su control, y la propia constructora, junto con las empresas especializadas que han colaborado en la construcción. Hasta 1.000 personas han trabajado simultáneamente en la obra en periodos prolongados, con una media de 600 personas durante toda la duración de la obra.

Entre la maquinaria y los medios movilizados, cabría señalar las grúas torre de 200 m de altura que han acompañado a los pilonos en su construcción, las grúas móviles para la elevación de las dovelas de arranque y de los carros del pilono situado en tierra, o los carros de transporte terrestre para dovelas, destacando los ejes de ruedas empleados para el transporte del tramo desmontable.

Por la situación de la obra ha sido necesario movilizar un buen número de medios marítimos para la ejecución de las cimentaciones, para el transporte e izado de grandes cargas, o para el aprovisionamiento de materiales. Adicionalmente, los medios marítimos especiales que se han utilizado en la obra, como por ejemplo las cabrias de 2.000 t de capacidad utilizadas para el transporte y la instalación del recinto estanco de la cimentación del pilono situado en el mar, o las utilizadas en el izado de las dovelas de arranque y de los carros de dicho pilono tienen, por lo general, ventanas para su disposición muy limitadas (fig. 8). Su empleo se programa con muchos meses de antelación, lo que los convierte en recursos muy rígidos para su implantación en el plan de obra, que obligan a otros medios y tareas a estar terminados en esas determinadas fechas en las que se ha previsto la llegada de estos equipos especiales, pues un retraso en estas tareas previas puede consumir la ventana temporal disponible para el equipo especial, y esperar a la siguiente acarrearía un retraso de meses en la obra.

También hay que hacer referencia entre los recursos de operación a los equipos especiales diseñados específicamente para esta obra, como los carros de izado de dovelas y otros muchos sistemas de acople entre dovelas, de gateo o de transporte, alguno de los cuales se describe posteriormente [7].

4. Desarrollo del proyecto

En los grandes puentes, en los que se recurre por lo general a procedimientos constructivos evolutivos, es quizá donde más claramente se pone de manifiesto la íntima relación que existe entre el proyecto de un puente y su proceso de construcción, y cómo el primero no puede definirse de forma completa hasta que el segundo no se ha desarrollado con el nivel de detalle necesario.

La construcción evolutiva aplicada en este puente, y la entidad de los elementos auxiliares y medios especiales necesarios para el montaje de la estructura, inducen en la misma unos esfuerzos, de carácter global y local, que condicionaban el dimensionamiento de la estructura y la necesidad de reforzarla localmente. Por tanto, la situación de construcción ha sido en muchos aspectos más limitativa del diseño que la etapa de servicio, una vez que el puente está totalmente acabado. Y lo ha sido, tanto a nivel global como a nivel local, pues no hay más que analizar las solicitaciones inducidas en los pilonos por los enormes voladizos del puente durante la construcción del tablero, o por la hipótesis de la caída de una dovela durante la operación de izado, que siempre hay que contemplar en matriz de riesgos para la etapa constructiva, o los esfuerzos locales que introduce la acción del carro en la dovela sobre la que se apoya, bien por sí solo, o durante la maniobra de elevación de una dovela, que son muy superiores a los que introduciría todo el tren de cargas, vehículos pesados incluidos, recogido en la instrucción de acciones vigente.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 8. Colocación de dovelas de arranque sobre el pilono situado en el mar con la ayuda de una cabria.

Con estos condicionantes, y para no sobredimensionar la estructura innecesariamente durante la fase de construcción, se llevó a cabo un estudio detenido del proceso constructivo, que se ha dividido y ordenado en etapas. Se trata de conciliar el dimensionamiento de la estructura en el esquema estático definitivo, el óptimo en cuanto a la aplicación de materiales, pues es el que menor cantidad requiere, con el dimensionamiento que sería necesario para resistir en las distintas etapas constructivas, y el uso de unos medios de operación racionales.

Esta limitación se ha tenido en cuenta en el diseño de las operaciones más importantes y repetitivas dentro del proceso de construcción del puente. Un ejemplo lo constituye el izado de las dovelas, que hubo de hacerse en 2 etapas, izando primero la parte metálica y en una segunda fase la losa de hormigón. Sin las restricciones resistentes en la estructura, como la capacidad resistente de base del pilono o el propio tablero donde apoyaban los carros, podrían haberse abordado en una única etapa con la dovela ya completa, incluyendo la losa de hormigón, lo que habría sido más eficiente desde el punto constructivo.

Por tanto, la consideración de la etapa constructiva es determinante en el dimensionamiento de la estructura, y viceversa, de ahí que durante la construcción de este puente haya habido, desde el primer día hasta el último, una labor constante de ingeniería que no terminó hasta que se colocó el último elemento de la plataforma.

5. Innovación

Un puente como este, que no se había construido hasta la fecha en nuestro país, obliga necesariamente a usar procedimientos constructivos y medios y equipamientos especiales que hasta ahora no se habían utilizado o, en el caso de haberlo sido, fueron utilizados en una escala menor. De hecho, y como el factor escala es determinante en cualquier actividad de ingeniería, las dimensiones de este puente y su escala han obligado a redefinir y modificar algunos de los procesos y equipos especiales que hasta ahora habían sido válidos en puentes más pequeños.

Una actitud innovadora es fundamental para abordar el proceso constructivo de un puente innovador. El Puente de la Constitución de 1812 sobre la bahía de Cádiz lo es en muchos aspectos, tanto en la tipología estructural de alguno de sus tramos como, sobre todo, por sus dimensiones, que lo colocan a la cabeza de los puentes españoles y en tercer lugar entre los puentes europeos de su tipo.

Varias han sido las actividades que han requerido de dicha capacidad de innovación, que se ha aplicado tanto al desarrollo de materiales, como al de equipos especiales y procedimientos de ejecución.

En los materiales, podría destacarse el desarrollo de un hormigón sumergido para su uso estructural en sección mixta hormigón y acero, y que se empleó en las losas inferiores de los recintos estancos para la construcción de las cimentaciones de las pilas sobre el mar. Es la primera vez que se ha utilizado en nuestro país y abre la puerta a su uso posterior, no solo en estructuras temporales [8].

Entre los procesos de construcción han sido muchas las actividades llevadas a cabo por primera vez, y no solo en nuestro país. Se podrían destacar el sistema de recintos estancos para la cimentación de las pilas marinas, o el transporte e izado del tramo desmontable a más de 60 m de altura (fig. 9).

Dentro del tramo atirantado, también han sido varias las operaciones desarrolladas específicamente para este puente, pudiendo señalar los pasos de pila en los vanos laterales y los cierres, tanto de los extremos como del vano principal. En este último caso se realizó una operación previa de desplazamiento horizontal de 15 cm del conjunto tablero-tirantes del pilono lado

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 9. Vista del puente desmontable previa a la operación de izado.

mar para permitir hacer la operación de colocación del carrete de cierre sin riesgo de contacto con el extremo del voladizo lado tierra. Todas estas operaciones están descritas con detalle en los artículos que se incluyen en este número monográfico [6].

Y en cuanto a los equipos, además de la utilización de grandes medios auxiliares ya existentes en el mercado, tanto terrestres como marítimos, cabe mencionar el diseño y construcción de otros medios especiales específicos para esta obra, ya citados anteriormente. Es el caso de las estructuras especiales diseñadas para el ajuste de las primeras dovelas en ausencia de los carros de izado de dovelas (fig. 10), o estos mismos carros que fueron diseñados para izar tanto la dovela metálica como las losas prefabricadas que conformaban la losa superior del tablero, en 2 etapas y con el carro estacionado. Las dimensiones y el peso de las piezas a elevar (la longitud de la dovela típica fue de 20 m, con un máximo de 27 m, y un peso de hasta 400 t) hicieron de estos elementos estructuras muy relevantes por sí mismas, con un peso de 500 t cada unidad (fig. 11) [7].

6. Control de la ejecución

Hoy en día es frecuente que los grandes puentes se instrumenten y monitoricen durante la etapa constructiva, para poder hacer un adecuado seguimiento de su comportamiento. En el puente de Cádiz, se prestó desde el inicio una especial atención a su instrumentación, pues, como toda estructura evolutiva, conocer los datos de la respuesta del puente tras una determinada operación es decisivo para anticipar las medidas a tomar en las operaciones



Figura 10. Elemento especial para colocación de dovelas iniciales.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

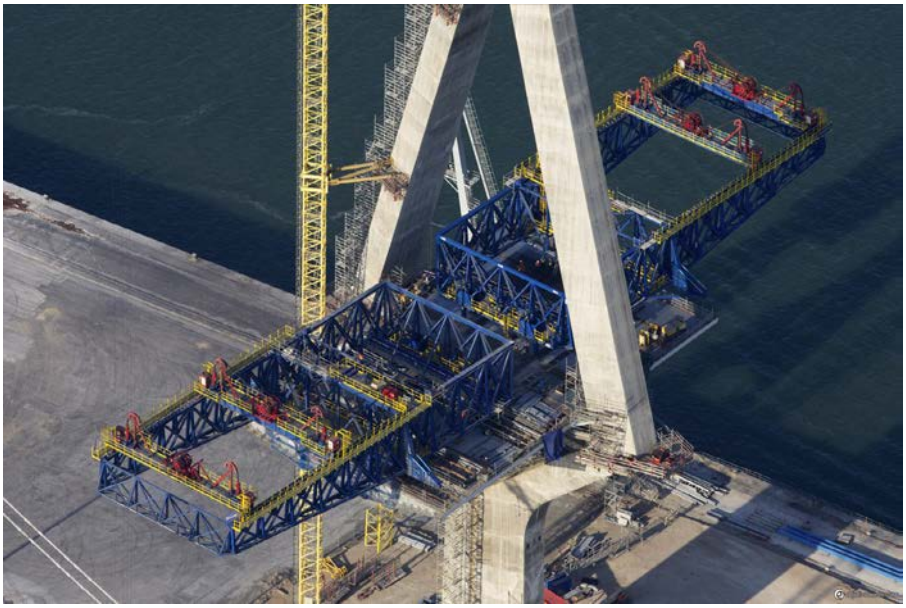


Figura 11. Carros de izado sobre el pilono situado en tierra.

siguientes. La monitorización del puente y su seguimiento han sido 2 pilares básicos del control de la ejecución [9].

El diseño de los vanos laterales, con una única pila intermedia separada 200 m del pilono, obligaba a su construcción mediante voladizos compensados, y no voladizos simples, que habría sido más sencillo, como por otro lado es bastante frecuente en los grandes puentes atirantados, en los que los vanos laterales están apoyados en varias pilas. Por tanto, los voladizos de la fase constructiva llegaron a ser de 200 m de longitud en ménsula libre, hasta que el vano lateral alcanzó la pila intermedia, momento a partir del cual el voladizo principal se estabilizaba sustancialmente para seguir creciendo hasta los 270 m previos al cierre. Estas dimensiones dan una idea de la gran flexibilidad del tramo atirantado en fase constructiva, que llegaba a descender hasta 2 m en punta, durante la operación de izado de dovela.

Por ello, se llevó en todo momento una secuencia ordenada de construcción en la que estaba caracterizada la estructura en cada una de las etapas, e inventariados todos los elementos que gravitaban sobre el tablero, tanto en peso como en posición (fig. 12). Se controlaban todos los elementos de la plataforma: bobinas de cordones para tirantes, grupos generadores, acopios y cualquier otro elemento, pues eran cargas capaces de provocar desplazamientos verticales apreciables, que había que tener en cuenta para verificar el adecuado comportamiento de la estructura en



Figura 12. Ubicación de las cargas sobre el tablero durante el proceso de construcción.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 13. Vista general del puente.

cada fase. Huelga decir que el control geométrico de la estructura durante la construcción ha sido muy intenso [10].

También lo ha sido el control de las cargas de todas las dovelas y grandes piezas. O determinar el centro de gravedad de estas piezas, donde se puede destacar el del tramo desmontable, necesario para verificar la seguridad de las maniobras de transporte terrestre y marítimo y su posterior izado.

El control de los materiales, por la cantidad y la variedad de los utilizados en este puente, ha sido también continua durante toda la fase de ejecución, destacando los más de 13.000 series de probetas de hormigón ensayadas, o los también numerosísimos ensayos de soldaduras, barras de acero pasivo, cordones de pretensado y tirantes [11].

Otro aspecto importante del control de la ejecución es diseñar las operaciones de forma que se controlen los riesgos inherentes al proceso constructivo, tratando de eliminar estos riesgos o, en su defecto, minimizarlos. Así, por ejemplo, todas las operación de elevación, donde los elementos de izado tomaban la carga desde pontonas, se iniciaban con el ascenso de la marea para así mantener en todo momento el control sobre la misma.

Tras todas las operaciones de proyecto, construcción y control de la ejecución, brevemente descritas en las líneas precedentes, la imagen del puente ya terminado, que luce espléndido, es la última de una larga serie en la que el puente iba cambiando su aspecto día a día, conforme avanzaba su construcción. Unas fotos que nos revelan cómo el puente ha ido creciendo y cómo ha llegado a ser lo que vemos; y donde los protagonistas, además del propio puente, eran también todos los recursos de operación diseñados específicamente para este puente y otros muchos puestos a su disposición. Hoy ya solo podemos ver el puente acabado (fig. 13), pero todas las demás figuras recogidas en este artículo, que corresponden a su etapa constructiva, son las imágenes que encierran su verdadera historia.

Bibliografía

[1] J.M. González Barcina, F. Niño Tejedor, H. Bernardo Gutiérrez, V.M. Jiménez Aguadero, Recintos estancos en la cimentación marítima del Puente de la Constitución de 1812 sobre la bahía de Cádiz, Hormigón y Acero 67 (2016) 37–42.

[2] J. Pascual Santos, D. Pajuelo Gallardo, D.E.L. Mendizábal, B. Arco, A. Carnerero Ruiz, Construcción del viaducto de acceso desde Puerto Real del Puente de la Constitución de 1812 sobre la bahía de Cádiz, Hormigón y Acero. 67 (2016) 221–234.

[3] P. Hue Ibargüen, J.M. González Barcina, Empuje del viaducto de acceso desde Cádiz del Puente de la Constitución de 1812 sobre la bahía de Cádiz, Hormigón y Acero. 67 (2016) 199–208.

[4] F. Espinosa de los Monteros Churruca, A. Martínez Cutillas, El tramo desmontable del Puente de la Constitución de 1812 sobre la bahía de Cádiz, Hormigón y Acero 67 (2016) 209–219.

[5] C. Lucas Serrano, J.A. Navarro González-Valerio, Proceso constructivo del tramo a atirantado del Puente de la Constitución de 1812 sobre la bahía de Cádiz, Hormigón y Acero. 67 (2016) 101–109.

[6] C. Lucas Serrano, L. Peset González, J. de los Ríos de Francisco, J.M. González Barcina, Maniobras singulares en el tramo atirantado del Puente de la Constitución de 1812 sobre la bahía de Cádiz, Hormigón y Acero 67 (2015) 123–142.

[7] J.L. Castro Rubal, J. de los Ríos de Francisco, J. Arroyo Márquez, J.L. Salamanca García, Medios auxiliares y equipos especiales empleados en la construcción del tramo atirantado del Puente de la Constitución de 1812 sobre la bahía de Cádiz, Hormigón y Acero. 67 (2016) 173–183.

[8] P. Segura Perez, J.F. Martinez Díaz, Hormigón autocompactante antilavado para hormigón sumergido en las cimentaciones marítimas del Puente de la Constitución de 1812 sobre la bahía de Cádiz, Hormigón y Acero. 67 (2016) 43–48.

[9] V. Puchol De Celis, Instrumentación, monitorización y análisis del Puente de la Constitución de 1812 sobre la bahía de Cádiz, Hormigón y Acero. 67 (2016) 261–266.

[10] J.A. Navarro González-Valerio, C. Lucas Serrano, Control geométrico del tramo atirantado del Puente de la Constitución de 1812 sobre la bahía de Cádiz, Hormigón y Acero 67 (2015) 143–158.

[11] R. Reyes Cadenas, J.M. Gomá, Sistema de aseguramiento de calidad en la construcción del tramo atirantado del Puente de la Constitución de 1812 sobre la bahía de Cádiz, Hormigón y Acero. 67 (2016) 273–276.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026