

Original

Acabados y unidades complementarias en el Puente de la Constitución de 1812 sobre la Bahía de Cádiz

Finishes and complementary works in the Constitución de 1812 Bridge over the Cadiz Bay

Eduardo D. Gutiérrez García^{a,*}, Antonio Vecino Rubio^b, Daniel A. Sánchez Segura^b
y José Luis Ruiz Mejías^a

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

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

Recibido el 3 de enero de 2016; aceptado el 23 de febrero de 2016

Disponible en Internet el 28 de abril de 2016

Resumen

Los acabados y unidades complementarias, ejecutados tras la finalización de la estructura, son fundamentales para su correcto funcionamiento en fase de servicio, así como para garantizar la comodidad del usuario. Debido a la singularidad de los condicionantes establecidos en el Puente de la Constitución de 1812 sobre la Bahía de Cádiz ha sido necesario diseñar varios elementos específicos: juntas de dilatación, aparatos de apoyo, dispositivos anti-sismo, elementos de drenaje, impermeabilización, firmes, sistemas de contención, pantalla antiviento y balizamiento aéreo y marítimo.

© 2016 Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Palabras clave: Acabados; Junta dilatación; Aparatos de apoyo; Drenaje; Impermeabilización; Firmes; Sistemas de contención; Balizamiento

Abstract

The finishes and complementary works, executed after the construction of the structure, are essential for correct operation under service and to assure user comfort. Due to the uniqueness of the conditions established in the Constitución de 1812 bridge over the Cádiz Bay it has been necessary to design several specific elements: expansion joints, bearings, anti-seismic devices, drainage elements, waterproofing, asphalt, containment systems, wind barriers, buoyage and beaconage

© 2016 Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Keywords: Finishes; Expansion joint; Bearings; Drainage; Waterproofing; Asphalt; Containment systems; Buoyage and beaconage

1. Introducción

Tras la finalización de la construcción de la estructura del viaducto es necesario ejecutar una serie de trabajos adicionales cuyos objetivos principales son funcionales y de protección, de tal forma que dicha estructura pueda ser utilizada para el fin para el que ha sido construida. Ejemplos de lo anterior son las juntas de dilatación, los aparatos de apoyo, los dispositivos

anti-sismo, el drenaje, la impermeabilización de los tableros, los firmes empleados, las barreras de contención, las pantallas antiviento o los balizamientos aéreo y marítimo.

Adicionalmente se consiguen fines estéticos y de regularización de las unidades estructurales.

Es reseñable la importancia de los acabados, pues la calidad de ejecución de los mismos está ligada a la percepción final y a la comodidad del usuario, pudiendo además generar problemas estructurales a largo plazo.

En los siguientes apartados se realiza una breve exposición de las singularidades desarrolladas para la ejecución de los acabados en el puente sobre la Bahía de Cádiz, debido a

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: egutierrezg@dragados.com (E.D. Gutiérrez García).

Tabla 1
Movimientos de las juntas de dilatación

Movimientos juntas de dilatación (en mm)		Junta 1: estribo 1		Junta 2: pila 9		Junta 3: pila 10		Junta 4: estribo 2	
		ELU sismo	ELS sismo	ELU sismo	ELS sismo	ELU sismo	ELS sismo	ELU sismo	ELS sismo
Longitudinal	Máxima apertura	312	244	653	411	1.074	720	1.278	892
	Máximo cierre	304	237	645	406	937	617	562	357
	Recorrido máximo	616	481	1.298	817	2.011	1337	1.840	1.249
	Δ -cota	± 0	± 0	± 17	± 9	± 15	± 9	± 5	± 3
	δ -transversal	± 0	± 0	± 316	± 188	± 353	± 212	± 170	± 118

ELS: estado límite de servicio; ELU: estado límite último.

los condicionantes establecidos, tales como carrera de dilatación de la estructura, normativa medioambiental o materiales empleados.

2. Acabados y unidades complementarias

2.1. Juntas de dilatación

Se definen como juntas de dilatación de tablero los dispositivos que enlazan los bordes de 2 tableros contiguos, o de un tablero y un estribo, de forma que permitan los movimientos por cambios de temperatura, deformaciones reológicas en caso de hormigón y deformaciones de la estructura, al tiempo que presentan una superficie lo más continua posible a la rodadura. El puente sobre la Bahía de Cádiz consta de 4 juntas: 2 en los estribos y 2 en los extremos del tramo desmontable, siendo sus movimientos los fijados en la [tabla 1](#).

Las juntas dispuestas son de tipo modular con tecnología de travesaño giratorio las cuales son capaces de trabajar en las 3 direcciones (longitudinal, vertical y transversal) ([fig. 1](#)).

Las dilataciones son absorbidas mediante la variación en la distancia de los perfiles transversales, con una separación máxima en servicio que garantiza la comodidad del usuario.

Adicionalmente, las juntas del tramo desmontable tienen que permitir su desmontaje. Para ello, las juntas se fabrican en bloques premontados, que se ensamblan al tablero mediante uniones soldadas, pudiendo retirarse en el caso de ser necesario.

Los movimientos del tablero no solo deben ser absorbidos por las juntas de dilatación, sino por todos los elementos lineales, tales como los pretilas, barreras de hormigón, tuberías interiores de drenaje, pantalla antiviento e instalaciones eléctricas. Para ello ha sido necesario desarrollar sistemas telescópicos que permitan tales movimientos. Se describen dichos diseños en los siguientes apartados.

2.2. Aparatos de apoyo

Como se ha indicado, el Puente sobre la Bahía esta dividido en 3 partes separadas por las juntas de dilatación:

- Tramo de acceso a Cádiz: desde la junta del estribo 1 a la situada en pila 9, consta de 2 apoyos esféricos (uno guiado y otro libre) en el estribo 1 y en las pilas 2, 3, 7, 8 y 9; y 2 apoyos elastoméricos de neopreno zunchado (armado) y anclado en pilas 4, 5 y 6.



Figura 1. Junta de dilatación. Estribo 1.

- Tramo desmontable: entre las juntas de pilas 9 y 10, donde se disponen 2 apoyos elastoméricos de neopreno zunchado por cada pila.
- Entre la junta de pila 10 y la junta del estribo 2 el tramo es continuo, existiendo un punto fijo en pila 13 materializado mediante un bloqueo longitudinal del tablero contra la riostra de la pila. Además se disponen guideras transversales en pila 12 y pila 13. Los apoyos dispuestos en este tramo (siempre por parejas en cada una de las pilas) son:
 - Tramo atirantado: apoyos esféricos (uno guiado y otro libre) en pilas 10, 11, 12, 13 y 14, todos ellos monitorizados excepto los de la pila 10.
 - Tramo de acceso a Puerto Real: apoyos esféricos (uno guiado y otro libre) en las pilas 15 a 37. El estribo 2 dispone de 4 apoyos esféricos, de los cuales uno es guiado y 3 son libres.

2.3. Dispositivos anti-sismo

En la pila 12 se disponen 8 dispositivos del tipo TCD o transmisor de impacto, siendo la fuerza máxima de cada uno de los transmisores de 4.880 kN.

La función prevista para dichos dispositivos es la de bloquear como punto fijo adicional al existente en pila 13 en caso de sismo. Los dispositivos no se activan ante velocidades bajas (efectos térmicos, etc.) y entran en funcionamiento cuando se producen movimientos con velocidades de magnitudes superiores, siendo la velocidad umbral de activación 5 mm/s, y a partir de este punto transmiten íntegramente la reacción a la que estén solicitados.

2.4. Elementos de drenaje

Es necesario, dada la proximidad de la autovía a una zona frágil y con un significativo valor ecológico, evitar el vertido directo a la Bahía de Cádiz de cualquier derrame accidental que se produzca en el tablero, provocado por un accidente o por cualquier otra contingencia.

Para dar solución a dicha prescripción ha sido necesario diseñar una red de drenaje en los tableros, la cual recoge cualquier posible vertido sobre la plataforma y lo conduce hasta balsas situadas en la península de Cádiz y en el muelle de la Cabezuela. La función principal de estas balsas es la de retener posibles vertidos tóxicos accidentales para posteriormente proceder al tratamiento de los mismos.

El diseño de la red de drenaje difiere entre tramos. Así pues, en el tramo de acceso a Cádiz, tramo desmontable, tramo atirantado y tramo 8 del viaducto de aproximación a Puerto Real, en los que la sección cajón del tablero permite su inspección, la solución empleada capta el agua de la plataforma por medio de sumideros, los cuales conectan en una red de tuberías por gravedad interiores al tablero en toda su longitud, vertiendo finalmente en las citadas balsas de retención.

Dicha red de tuberías comprende varios elementos singulares en su diseño:

- Bajada en pilas y en estribo 1: la tubería desciende del interior del tablero a la red en tierras tanto en las pilas del tramo de acceso a Puerto Real como en el estribo 1 (Cádiz) por medio de tuberías verticales fijadas a las pilas. Estos puntos singulares deben ser compatibles con la dilatación del tablero, por lo que ha sido necesario utilizar telescopajes apoyados en las cabezas de las pilas y una arqueta de recogida en el estribo 1 que permita el movimiento de la junta del estribo 1 (fig. 2).
- Adicionalmente, la red de tuberías interior al tablero debe ser compatible con la dilatación del mismo. Esto se ha resuelto mediante la utilización de fijaciones con apoyos deslizantes y conexiones entre tubos que admiten hasta 2 cm de dilatación en cada una de sus juntas.
- Cruce del tramo desmontable: la tubería de gravedad interior del tablero discurre desde el punto alto del tramo atirantado hasta el estribo 1 en Cádiz, debiendo cruzar las juntas de dilatación del tramo desmontable situadas en las pilas 9 y 10, con carreras de 1,5 m y 2,0 m respectivamente. Para ello se



Figura 2. Sistema de drenaje del tablero.

ha utilizado una solución de telescopaje que permite que la tubería deslice por el interior de otra de mayor diámetro.

2.5. Impermeabilización en tableros y firmes

La impermeabilización utilizada en las secciones mixtas y en el tramo de hormigón se ha ejecutado mediante el empleo de un revestimiento impermeable elástico de betún epoxi en base agua (BASF MASTERSEAL M452). Se han realizado ensayos y pruebas para garantizar su adherencia frente a las cargas de tráfico. El firme empleado en estas secciones se compone de 2 capas, una primera intermedia y de regularización en la que se ha utilizado una mezcla de 5 cm de espesor medio del tipo AC 16 BIN S 50/70 CEM y una capa de rodadura una BBTM 11B 45/80 65 M de espesor 3 cm.

Cabe destacar por su singularidad el sistema de impermeabilización de la losa metálica del tablero del tramo desmontable [1]. El objetivo de dicho sistema es doble: por un lado garantizar la impermeabilidad del tablero y por otro disponer de un elemento que funcione como puente de unión y que evite el deslizamiento entre la losa metálica y la capa de firme de rodadura de 4 cm de espesor.

Para ello, se realizaron ensayos con una resina epoxy (PPG NUKLAD HD) con alta resistencia a la abrasión y a la carga, con propiedades antideslizantes, impermeable y resistente contra el aceite mineral, las soluciones ácidas o alcalinas, las sales descongeladoras y el agua.

Con esta resina se realizaron distintas combinaciones sobre probetas de chapa de iguales características que las del tramo desmontable:

- Rodadura sobre resina + emulsión normal.
- Rodadura sobre resina con árido silíceo + emulsión normal.
- Rodadura sobre resina con árido silíceo + emulsión modificada.

A estas probetas se les realizó una evaluación de la adherencia mediante el ensayo de corte (NLT 382/08), obteniéndose el



Figura 3. Ensayos de laboratorio.

mejor resultado para la probeta de resina con árido silíceo, con emulsión modificada (figs. 3 y 4).

El procedimiento utilizado fue el siguiente:

- Limpieza de la superficie metálica mediante chorreo abrasivo, eliminación de restos de contaminación y los propios del chorreado, obteniéndose una rugosidad superior a $50 \mu\text{m}$.
- Aplicación de una imprimación para el sellado de poros y la capa de resina a la que se le añade el 50% de arena silíceo entre 0,2 y 0,6 mm, con una dosificación de 1 kg/m^2 . Posteriormente se espolvorea, con la capa todavía fresca, árido silíceo de machaqueo 0,6-1,2 mm que actuará como puente de unión con la capa de aglomerado. Una vez secada la resina se aplica un barrido intenso para eliminar el árido sobrante.

Respecto a la mezcla bituminosa a emplear, también hay que tener una consideración especial, dada la diferencia de comportamiento térmico del tablero metálico frente a las mezclas asfálticas, que implica que sea recomendable diseñar la mezcla con un buen comportamiento a la fatiga. Para ello, y tras la realización de ensayos, se añadió a la fórmula de la capa de rodadura utilizada en el resto del tablero, fibras acrílicas en una



Figura 4. Probetas del firme del tramo desmontable.



Figura 5. Fibras del firme del tramo desmontable.

dosificación de 3 kg/t . Estas fibras ejercen un efecto ligante en la mezcla bituminosa, a través de la formación de una red cohesiva tridimensional que mejora las propiedades mecánicas y de durabilidad del firme (figs. 5 y 6).

Con esta solución se consiguieron valores de entre 0,9 y $1,0 \text{ N/mm}^2$ de resistencia según el ensayo de corte NLT-382/08.

2.6. Sistemas de contención

Conforme a la Orden Circular 35/2014 sobre «Criterios de aplicación de sistemas de contención de vehículos» la clasificación del accidente previsible en el tablero sería de muy grave, lo que supone adoptar un nivel de contención H4b en borde de



Figura 6. Extendido del firme del tramo desmontable.

tablero en toda la estructura, siendo el pretil metálico empleado el del fabricante HIASA, conocido con el nombre comercial de PMH-38.

Esta mejora del nivel de contención al aplicar la nueva normativa hace necesario el empleo de una disposición específica para las zonas que ya se encontraban hormigonadas cuando se realizó dicho cambio. Así pues, donde ha sido posible se ha instalado el pretil con el anclaje embebido estándar, con refuerzos puntuales de ferralla y tornillos fusibles para la fijación del poste.

La solución empleada en las zonas de tablero ya ejecutadas consta de un poste con anclaje al tablero mediante una placa, en la cual se disponen los tornillos fusibles que fijan el poste y las varillas roscadas que anclan la placa al tablero mediante resina.

Esta modalidad de instalación del pretil está ensayada por el fabricante. Además en el puente se presentan los siguientes casos particulares:

- Lugares en los que la losa es de canto reducido. En este caso se utiliza una distribución distinta de pernos que permite reducir la longitud del anclaje químico requerido.
- Para aumentar la cuantía de ferralla en la viga pretil se ejecuta una losa con cuantía adicional de ferralla sobre la existente, uniéndose mediante el anclaje químico.

Para estos 2 casos se realizaron ensayos de infraestructura vial, realizando ensayos de péndulo de alta energía con una masa de 1.500 kg, velocidad de impacto de 35 km/h y ángulo nominal de impacto de 90°, en 2 puntos de impacto distintos del pretil. El resultado de los mismos fue satisfactorio (fig. 7).

Adicionalmente conviene mencionar las soluciones adoptadas para las zonas de las juntas de dilatación, que precisaban aceptar movimientos longitudinales de hasta 2 m y transversales de hasta 35 cm. Para esto se ha recurrido a rótulas que permitían el movimiento transversal y telescopajes para el longitudinal.

Al tener el pretil longitudes continuas superiores a los 3.000 m, se planteó la necesidad de abrir accesos desde la calzada a las aceras peatonales a ambos lados del tablero, para lo que se ha diseñado una apertura en los perfiles intermedios del pretil, que mediante rótulas permiten su abatimiento.



Figura 7. Ensayos de impacto de los pretils.

En cuanto a la separación entre calzadas, se ha resuelto mediante el empleo de barrera de hormigón de nivel de contención H2 y anchura de trabajo W1, tipo REBLOC RB80A, la cual permite la redistribución futura de carriles y calzadas de la sección transversal en el caso de ser necesario. También en la barrera de hormigón ha sido necesario disponer telescopajes en los pasos por las juntas de dilatación, lo cual se logra mediante el empleo de 2 tubos telescópicos de acero embebidos en las piezas adyacentes, que transfieren las fuerzas laterales en caso de impacto. Además, la junta queda cubierta con una chapa de acero con la misma forma de la barrera de seguridad.

2.7. Pantalla antiviento

En los tramos de acceso a Cádiz, desmontable, atirantado y los tramos 8 y 9 del viaducto de hormigón se han dispuesto barreras antiviento a ambos lados del tablero, con el objeto de minimizar la afección del viento [2] en el tráfico rodado, mejorando tanto la seguridad como la comodidad del usuario (fig. 8).

Para la implementación de la pantalla antiviento e impostas en el tablero se ha diseñado un sistema de colocación que permite absorber las irregularidades tanto en planta como en alzado, respetando siempre el diseño original y los condicionantes estéticos.

Una vez definido el diseño de la pantalla se han realizado ensayos específicos en el túnel de viento [3] en los que se ha verificado su geometría, y a partir de los cuales se ha calculado su fijación al tablero. Las dilataciones se absorben por medio de perfiles metálicos telescópicos.

Finalmente, tanto en los inicios de la pantalla como en los pasos por los pilonos se proyectan elementos de gradación de la permeabilidad aerodinámica de la pantalla para evitar transiciones bruscas de carga de viento en los vehículos.

2.8. Balizamiento aéreo y marítimo

El puente supone un obstáculo para la navegación aérea debido a su altura, superior a 150 m sobre el nivel del terreno,



Figura 8. Pantallas antiviento en el tramo atirantado.

por lo que ha sido preciso proceder a su balizamiento según la reglamentación vigente de la Organización de Aviación Civil Internacional y el manual de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea.

Igualmente, es necesario disponer de balizamiento marítimo que señalice las zonas de paso permitidas para las distintas categorías del tráfico marítimo existente, especialmente en el tramo atirantado que atraviesa el canal de navegación del puerto para buques de carga que operan en el muelle de La Cabezueta. El conjunto de señalizaciones marítimas previstas atiende a las recomendaciones del Sistema de Balizamiento de la Asociación Internacional de Señales Marítimas.

La señalización y el balizamiento instalados son autónomos, si bien se encuentran integrados en el sistema de gestión de explotación de forma que se pueda verificar su correcto funcionamiento, pudiendo lanzar un mensaje de aviso en el caso de fallo.

2.9. Otros

Además de las unidades expuestas en los epígrafes anteriores, cabe mencionar una serie de elementos que han requerido especial atención a la hora de su diseño e implantación:

- Sistema de inspección y monitorización del puente: se han desarrollado una serie de elementos para las tareas de

inspección y mantenimiento en fase de explotación, tales como la instalación de plataformas de acceso a pilas, ventanas de acceso para inspección, iluminación interior del tablero o la disposición de plataformas móviles y carros de inspección, además de adaptar la instrumentación [4] empleada en la fase de construcción.

- Centro de control para explotación: se trata de un sistema integrado que permite gestionar de forma centralizada tanto los elementos de control de acceso al puente, la señalización, el balizamiento marítimo y aéreo, la iluminación viaria y ornamental como los dispositivos de control del tráfico.

Bibliografía

- [1] A. Martínez Cutillas, F. Espinosa de los Monteros Churrua, El tramo desmontable del Puente de la Constitución de 1812 sobre la Bahía de Cádiz, *Hormigón y Acero* 67 (2016) 209–219.
- [2] J.M. Terrés Nicoli, Control de los parámetros climáticos en la construcción del Puente de la Constitución de 1812 sobre la bahía de Cádiz, *Hormigón y Acero* 67 (2016) 255–260.
- [3] O.R. Ramos Gutiérrez, M.A. Astiz Suárez, Ensayos en túnel de viento para el Puente de la Constitución de 1812 sobre la bahía de Cádiz, *Hormigón y Acero* 67 (2016) 245–253.
- [4] 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.