

Original

# Sistema de aseguramiento de calidad en el Puente de la Constitución de 1812 sobre la Bahía de Cádiz

*Quality assurance system at the Constitution de 1812 Bridge over the Cadiz Bay*

Rocío de los Reyes Cadenas\* y Juan Manuel Gomá Matilla

*Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, DRAGADOS, SA, Madrid, España*

Recibido el 19 de octubre de 2015; aceptado el 4 de enero de 2016

Disponible en Internet el 23 de junio de 2016

## Resumen

El sistema de aseguramiento de la calidad en el Puente de la Constitución de 1812 sobre la Bahía de Cádiz ha sido realizado cubriendo todas las necesidades y exigencias de una obra tan singular. Se han utilizado las mejores herramientas con el objetivo de conseguir «0 defectos», a través del factor humano y de la comunicación.

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

*Palabras clave:* Aseguramiento de la calidad; Soldaduras; Hormigones; Laboratorio en obra; Ensayos especiales hormigón y acero

## Abstract

Quality assurance system of the Constitution of 1812 cable-stayed Bridge over the Cádiz Bay has been made by attention to the particular requirements of the work. The best tools have been used to achieve a «0 defects» target via communication and control of the human factor.

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

*Keywords:* Quality assurance; Welding control; Concrete control; On-site laboratory; Special testing concrete and steel

## 1. Introducción

El nuevo puente sobre la Bahía de Cádiz, denominado Puente de la Constitución de 1812 (fig. 1), tanto por su solución técnica como por sus dimensiones, es una obra magnífica cuya construcción requiere la aplicación de técnicas avanzadas y, consiguientemente, medios adecuados tanto para su construcción como para el control y supervisión del mismo.

En lo referente al control y supervisión, se elaboró el pertinente Plan de Aseguramiento de la Calidad y Medio Ambiente (PACMA), documento extenso por la propia índole de la obra. La aplicación del PACMA ha supuesto la dedicación a la obra de un equipo humano y medios auxiliares acordes con los requisitos de la obra.

## 2. Equipo humano

El equipo humano ha contado con la dedicación exclusiva de no menos de 30 personas (ingenieros superiores, ingenieros técnicos, inspectores de campo, laborantes, etc.), tanto de la empresa constructora como de la asistencia técnica a la dirección de la obra, con diferentes especialidades según los trabajos a controlar (movimiento de tierras, hormigones, aceros, mezclas bituminosas, soldadura, pintura, etc.).

## 3. Medios auxiliares

Para el seguimiento de la aplicación del PACMA se ha dotado a la obra del correspondiente apoyo logístico, siendo de especial relevancia los equipos informáticos, no solo para la gestión de la documentación, sino para el seguimiento del montaje de la estructura.

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [rjreyc@dragados.com](mailto:rjreyc@dragados.com) (R. de los Reyes Cadenas).



Figura 1. Vista panorámica del Puente de la Constitución de 1812.

En el caso de las estructuras metálicas se creó una página web, donde se colgaba toda la documentación (procedimientos, planos, materiales, trazabilidades, inspecciones, etc.) necesaria, de tal forma que el seguimiento se hacía en tiempo real y de manera muy organizada (fig. 2).

Al gestor documental podían tener acceso: 1) el personal de cada uno de los talleres de la estructura metálica para colgar la documentación de materiales y cada uno de los registros de los chequeos realizados; 2) la constructora y asistencia técnica para la revisión de la documentación de los talleres y la inclusión de sus registros, y 3) el cliente para su supervisión final. Por ello se convierte en un sistema dinámico, rápido, ordenado y eficaz de control de la documentación.



Figura 2. Página principal del portal web gestor documental.

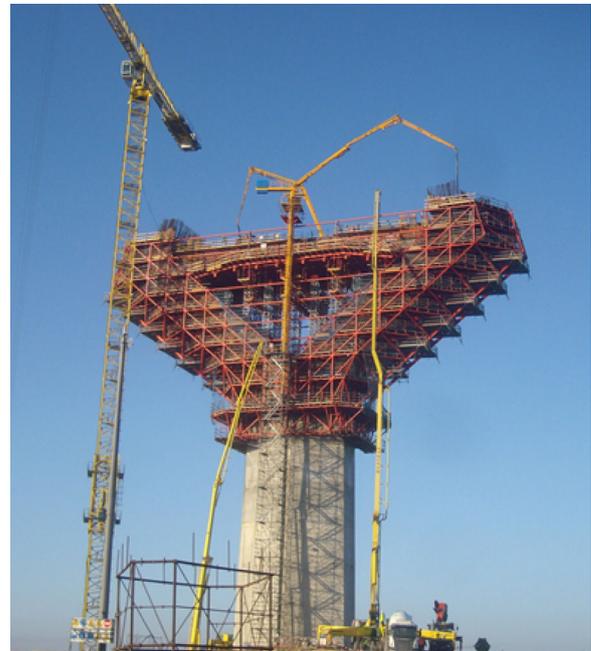


Figura 3. Hormigonado de riostra de torre 13.

Entre los de alta resistencia merece la pena destacar el HA-70 utilizado en el tablero en la zona de tirantes, con un tiempo abierto de hasta 5 h, lo que permitía su transporte por tierra y mar hasta su posición definitiva y, posteriormente, obtener resistencias superiores a 50 Mpa a 24 h.

Previo a la preparación de cada una de las fórmulas de trabajo, el departamento de Calidad establecía unas reuniones multidisciplinarias para tener en cuenta las condiciones del proyecto, puesta en obra, departamento especialista de materiales y posibilidades de la planta de hormigón y del laboratorio (planta y laboratorio propios de la obra). Posteriormente se analizaban los condicionantes, se desarrollaban fórmulas y se realizaban pruebas a escala real de las mismas; una vez conseguido el objetivo deseado, se realizaban los ensayos característicos y se procedía a la aprobación y documentación de la fórmula. Cada una de las fórmulas se realizaba totalmente a medida y conociendo en profundidad todos y cada uno de los parámetros, de tal manera que se podía actuar sobre ellas rápidamente ante cambios de las condiciones ambientales o cualquier contratiempo.

Para el control de hormigones, tanto en las trepas de las pilas como en el tablero, con el fin de cumplir las exigencias de calidad

#### 4. Hormigones

En el Puente de la Constitución de 1812 se han desarrollado y utilizado 22 fórmulas de trabajo de hormigón, adecuadas cada una de ellas a las exigencias tanto de resistencia, durabilidad y tipo de ambiente como a la dificultad de su puesta en obra. Es de advertir que en la obra se han utilizado hormigones convencionales, ligeros, sumergidos [1] y de alta resistencia (fig. 3).

Los llamados convencionales serían de resistencia entre 30 y 60 Mpa, siempre teniendo que desarrollar para la misma resistencia diferentes tipos de hormigones, dado el ambiente (ambiente aéreo marino, carrera de mareas) y la zona del puente a colocar (pilotes, pilas, tableros). El ligero contaba con una densidad de  $1,32 \text{ kg/m}^3$  para una resistencia de 25 Mpa a 28 días.

y tiempo de desencofrado, se ha empleado el sistema de Control de Hormigones de Altas Resistencias Iniciales (CHARI). Se trata de un sistema que, mediante la colocación de termopares en el elemento hormigonado, transmite la señal a la zona de conservación de probetas (en este caso, baño de agua), de tal manera que se mantienen las probetas a la misma temperatura exacta que el macizo hormigonado. Dadas las largas distancias entre el macizo y la zona de conservación de probetas, para la transmisión de la señal se idearon unas antenas *wifi* de larga distancia diseñadas exclusivamente para esta obra, capaces de transmitir a una distancia de hasta 1.000 m y una altura de 200 m (figs. 4 y 5).

## 5. Tratamiento superficial

En el Puente de la Constitución de 1812 se establece, según su Pliego de Prescripciones Técnicas, un sistema de pintado para un ambiente C-4, Ambiente Marino con Alta Salinidad, de durabilidad alta (más de 15 años), según la norma UNE EN ISO 12944-1.

De acuerdo con esta norma, se definen sendos procedimientos de aplicación de pintura en el interior y en el exterior de los cajones:

Interior:

- Aplicación de una capa de AMERCOAT 71 de 50 micras de espesor seco.
- Aplicación de una capa intermedia de EPOMASTIC RPS-E Aluminio de 125 micras de espesor.
- Aplicación de una capa de acabado de EPOMASTIC RPS-E Aluminio de 125 micras de espesor.

Exterior:

- Aplicación de una capa de imprimación epoxi rico en cinc, EPOCHROM RPS ZINC RP, de 75 micras de espesor seco.
- Aplicación de una capa intermedia de epoxi con hierro micáceo, AMERCOAT 385 MIOX, de 125 micras de espesor seco.
- Aplicación de una capa de acabado en polisiloxano, PSX 7000e, de 125 micras de espesor seco, RAL 7035 PUENTE DE CÁDIZ.

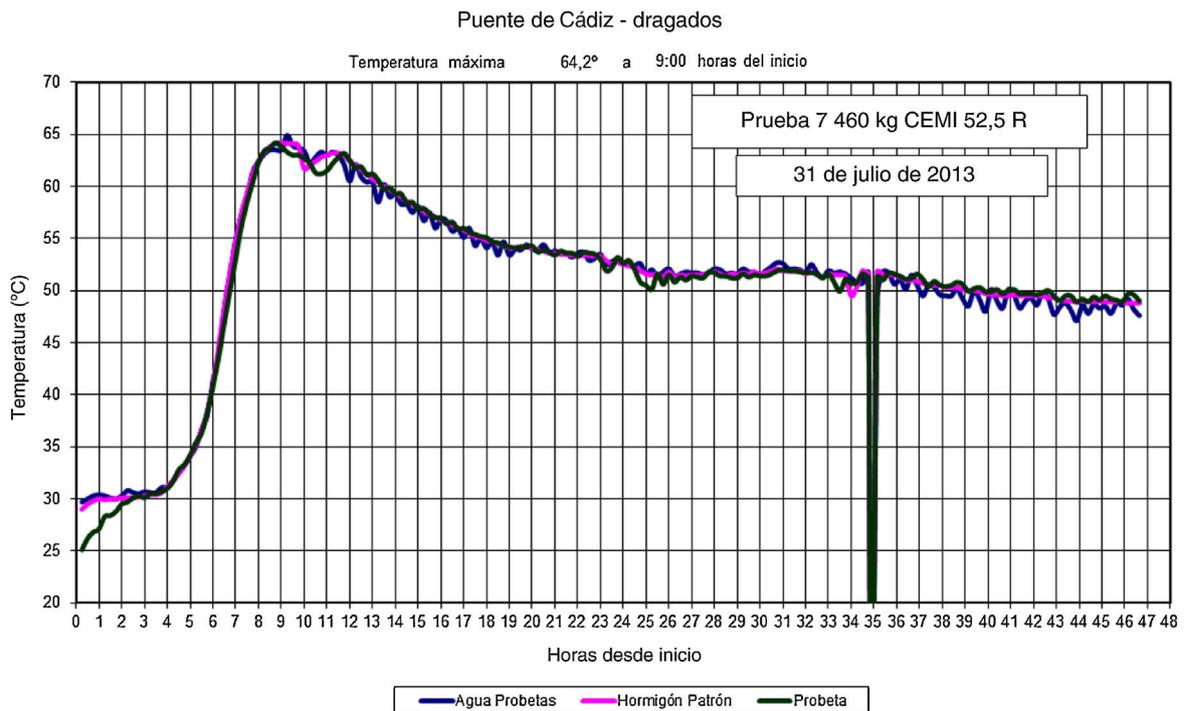


Figura 4. Gráfico de termopares.



Figura 5. Sistema de termopares.



Figura 6. Instalaciones para chorro y pintura en la obra.



Figura 7. Laboratorio de la obra.

Con el fin de garantizar la calidad de la pintura y poder dar su garantía futura se ha dispuesto, en cada uno de los talleres donde se ha fabricado, la estructura de los medios necesarios, contando con cabinas de chorreo y cabinas de pintado dotadas de deshumidificadores. Para desarrollar las actividades de chorreo y pintura, en la obra se han instalado 2 carpas (fig. 6) con capacidad para una dovela completa del viaducto atirantado y para los sistemas de protección del viaducto empujado.

Se ha controlado exhaustivamente el proceso por medio de 4 inspectores de pintura nivel Frossio y un coordinador general, realizándose a diario y de continuo inspecciones de idoneidad de los equipos de chorro y pintura, condiciones climatológicas, estado de la superficie de acero, grado de preparación de la superficie, almacenaje de la pintura, espesores de pintura aplicada, ensayos de adherencia y cohesión, etc.

Para controlar el ambiente en el interior de la estructura metálica, una vez finalizado el tratamiento superficial y colocadas las dovelas en su posición definitiva, tanto en el viaducto empujado como en el atirantado, se colocaron 6 bastidores con 9 probetas, cada uno para realizar ensayos in situ. Analizados los resultados a 3, 6 y 12 meses, se aprecia que el ambiente interior de la estructura del puente es C2 (ambiente de baja corrosión), concluyendo que el sistema preparado para Clase 4 cumple holgadamente el nivel de protección exigido.

## 6. Control de calidad

Como parte integrante del PACMA, se elaboró el Plan de Ensayos para los materiales a emplear en la obra, donde se reflejan mediciones y ensayos a realizar.

Para llevar a cabo el control de calidad de los materiales se montó en obra un laboratorio propio (fig. 7) capacitado para la realización de ensayos de suelos, hormigones y mezclas bituminosas, dotado de medios adecuados: prensa de rotura de probetas de hormigón, cámara húmeda, hornos, pulidoras, etc.

Especial relevancia presentan la prensa de rotura de probetas de hormigón, dotada de 4 columnas pretensadas con capacidad de hasta 100 MPa., y la cámara húmeda para el curado de probetas de hormigón, con capacidad de hasta 5.000 probetas.

Se ha contado, también, con la colaboración de laboratorios externos para los ensayos de acero activo y pasivo, procedimientos y ensayos de soldadura, ensayos de pintura e, incluso,

análisis del agua de la bahía y del polvo emitido para preservar las condiciones medioambientales.

Además, se han realizado ensayos de contraste en laboratorios independientes por parte de la asistencia técnica a la dirección de obra, sin divergencias en los resultados.

Por su relevancia, en la tabla 1 se detallan ensayos de hormigón y acero.

Tabla 1  
Datos relevantes de ensayos

Material	Medición	Ensayos
Hormigón	160.000 m <sup>3</sup>	13.000 series de probetas
Acero activo	2.000.000 kg	Superadas las 200 bobinas
Acero pasivo	30.900.000 kg	Superados 500 ensayos

En el campo de la estructura metálica, se han desarrollado procedimientos específicos llegando al detalle máximo de control con las fichas de soldadura. En ellos ha intervenido un equipo multidisciplinar, desde proyectista, oficina técnica, calidad, inspección, laboratorio y especialistas de la soldadura, alcanzándose el 100% de inspección de la soldadura ejecutada y con un porcentaje de fallo inferior al 2% [2].

## 7. Conclusiones

En el Puente de la Constitución de 1812 se ha dispuesto de los medios más avanzados en el control de la calidad, volcándose un equipo humano de gran experiencia, y disponiendo de los medios técnicos y tecnológicos más avanzados del momento para conseguir que la calidad sea producida, ya que nunca se podrá obtener con verificaciones y chequeos solamente.

## Bibliografía

- [1] P. Segura Perez, J.F. Marínez 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.
- [2] A. Gastesi Iriarte, Controles de la estructura metálica en Puente de la Constitución de 1812 sobre la Bahía de Cádiz, *Hormigón y Acero*. 67 (2016) 235–243.