

# El puente de Pareja

ISMAEL CARPINTERO GARCÍA (\*) y PABLO DÍAZ SIMAL (\*\*)

**RESUMEN** Al hablar de estructuras de hormigón armado construidas en España en los años 40 ó 50 del siglo pasado suelen venir a la mente obras de calidad defectuosa, construidas sin criterios de durabilidad, con materiales deficientes y con numerosas patologías. Esto es así en muchos casos de obras de edificación, donde por su localización o por la situación económica del país en aquella época había problemas de suministro de materiales. Sin embargo, en la obra civil habitualmente la construcción era más cuidada y los materiales mejores, lo que ha redundado en que muchas de éstas obras han llegado a nuestros días manteniendo un comportamiento muy satisfactorio.

El presente artículo recoge la metodología y resultados que hemos obtenido en el estudio de un puente de hormigón armado que lleva en servicio más de 50 años sin que se tenga constancia de que se hayan realizado nunca trabajos de reparación en la estructura; ni trabajos de mantenimiento extraordinarios más allá de reponer o reparar el pavimento de la calzada y las barandillas.

## THE PAREJA BRIDGE

**ABSTRACT** *When talking about reinforced concrete structures built in Spain in the forties or fifties of the past century we use to think on works with defective quality that were built constructed without durability criteria, with low quality materials and also with many pathologies. That was the situation in many cases of buiding works, where either due to its location or to the national economy in that time, there were a lot of problems with the supplying of building materials. Nevertheless, usually in civil works both, the construction and the materials were much better, and thanks to that many of these works remain nowadays in very good conditions.*

*This article shows the methodology and the results that we have obtained once studied a reinforced-concrete bridge that keeps in good condition after more than 50 years with having no news about any possible structure repairs; nor extraordinary maintenance works except for replacing or repairing done to the pavement of the road and the railings.*

**Palabras clave:** Puente de Pareja, Entrepeñas, Durabilidad de estructuras de hormigón, Cloruros.

**Keywords:** Pareja bridge, Entrepeñas, Durability of concrete structures, Chlorides.

## 1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Por encargo de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, en el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX hemos realizado un estudio sobre el estado actual de la estructura del puente sobre el río Tajo, en la carretera nacional N-204 (p.k. 18+755), también conocido como Puente de Pareja.

Todos los trabajos fueron realizados por personal y técnicos del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX.

La estructura se construyó en torno al año 1956 en la cola del embalse de Entrepeñas, que se encontraba recientemente construido. El responsable de su conservación es la Unidad de Carreteras del Estado en Guadalajara, de la Demarcación de Carreteras de Castilla la Mancha.

En la figura 1 mostramos un croquis de situación del puente.



FIGURA 1. Croquis de situación del puente.

(\*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX. Director de Programa en el Área de Estudios y Auscultación de Estructuras.

(\*\*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX. Jefe del Área de Estudios y Auscultación de Estructuras.



FIGURA 2. Vista general del puente.

El puente se encuentra en el trazado de una antigua vía romana que enlazaba Saelices (Cuenca) con Sigüenza (Guadalajara) pasando por Sacedón. Era una vía secundaria de la red del Itinerario de Antonino.

Se tiene constancia de que, antes del puente actual, el paso del Tajo en esta zona se realizaba por un puente de fábrica construido durante el s XVIII bajo el reinado de Carlos III. Este puente fue parcialmente destruido en el s XIX por las tropas napoleónicas durante la Guerra de Independencia. Posteriormente el puente fue reparado por el Obispo de Sigüenza y de nuevo fue volado en la Primera Guerra Carlista. Tras ello, y aprovechando las pilas del puente de Carlos III se dispuso un tablero de madera que estuvo en servicio, con varias y sucesivas reparaciones, hasta 1884 cuando se sustituyó el tablero de madera por uno metálico.

Dado que con la construcción del embalse de Entrepeñas en 1956 el Puente de Pareja iba a quedar bajo las aguas, se planteó la necesidad de uno nuevo que diese servicio a la carretera de tercer orden de Masegosa a Sacedón. El puente que se construyó es el actual que hemos estudiado y que se muestra en la figura 2.

## 2. DESCRIPCIÓN GENERAL

A modo de resumen podemos decir que el puente está constituido por un total de 14 vanos en arco, distribuidos en tres tra-

mos. En la figura 2 mostramos una vista general del puente desde su lado de aguas arriba.

El **primer** y **tercer** tramo del puente están formados por los estribos dorsal y frontal; y una serie de bóvedas en arco de hormigón en masa. En estos vanos la luz típica entre ejes de pilas es de 10,75 m, con una luz libre de bóveda de unos 9 metros.

El tablero en estos tramos es de hormigón con dos voladizos en cada uno de los laterales. Su anchura es de unos 8,30m, ligeramente mayor que las bóvedas.

El **segundo tramo** es la parte principal del puente que salva el río Tajo en la zona de cola del embalse de Entrepeñas. Está formado por dos vanos en arco de tablero superior, de aproximadamente 50 m de luz a ejes de pilas y 30 m de flecha; y tres pilas-machón que los delimitan.

Cada uno de los dos vanos está formado por dos arcos de hormigón armado, unidos mediante seis travesaños, que coinciden en cada arco con la zona de apoyo de otros tantos montantes que les transmiten las cargas del tablero. En la zona de clave hay otros tres travesaños en cada uno de los vanos, en los que además apoya el tablero, bien directamente (en clave), o bien a través de unas pequeñas pilastras (los dos adyacentes). En la figura 3 se muestran unas vistas de uno de los vanos centrales.



FIGURA 3. Vista de los vanos centrales y de la pasarela para la inspección de puentes.

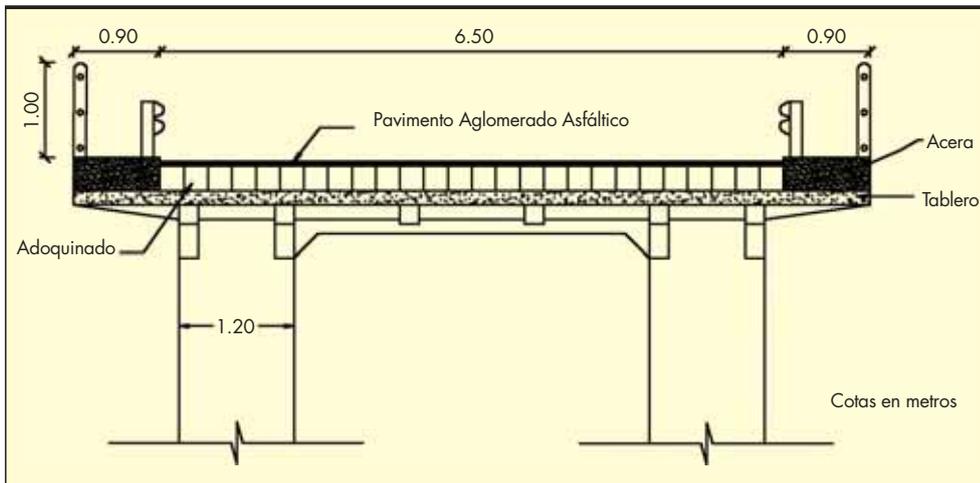


FIGURA 4. Sección transversal del tablero en el tramo central.

El tablero en este tramo (ver figura 4) es de hormigón armado, de tipo nervado, formado por: vigas transversales que acometen sobre los montantes, seis nervios longitudinales de menor canto, y otro conjunto de nervios transversales secundarios. Estos últimos se prolongan disminuyendo su canto desde los últimos nervios longitudinales hasta los bordes del tablero, y constituyendo el voladizo exterior a los arcos. El forjado se completa con una losa superior de 20 cm de espesor.

El puente es de planta recta, con la calzada asfaltada y dispone de acera, protegida por la barandilla del puente y la barrera bi-onda que delimita la zona de circulación de vehículos.

### 3. DAÑOS

La inspección se planificó en dos fases. Una primera en la que se realizó un primer examen general y se analizaron detalladamente los elementos estructurales de los denominados primer y tercer tramo. No se dispuso para ello de medios auxiliares de acceso especiales.

En una segunda fase se realizó una inspección de detalle de los arcos, los montantes y el tablero de los dos vanos principales (segundo tramo). Esta fase de la inspección la realizamos con nuestra pasarela para la inspección de puentes (ver figura 3).

A modo de resumen podemos indicar que los daños más significativos que presentaba la estructura del puente eran los siguientes:

- Fisuras en la posición de juntas de hormigonado en elementos de la estructura del puente.  
Este tipo de fisuras se presentaban sobre todo en las bóvedas de los tramos de aproximación y en la estructura de hormigón armado del tramo central (arcos, montantes, travesaños y en el forjado del tablero).  
Si bien todas estas fisuras suponían una pérdida de monolitismo de la estructura, no tenían en este caso una trascendencia estructural significativa (aunque sí desde el punto de vista de la durabilidad del puente, como comentamos más adelante). En este sentido cabe señalar que, como es habitual, la situación y orientación de las juntas de hormigonado en la construcción del puente se realizó buscando minimizar la afección a la respuesta estructural de los elementos hormigonados, es decir, en zonas con esfuerzos cortantes reducidos y según planos en los que predominaran las tensiones de compresión normales a la junta.  
La aparición de estas fisuras en la posición de las juntas de hormigonado se debió a un tratamiento no satisfactorio de

las juntas de hormigonado durante la construcción, de modo que la retracción y principalmente la contracción térmica inicial del hormigón abrieron dichas juntas.

Un aspecto relevante era que el puente presentaba numerosas juntas de hormigonado, como corresponde a los pequeños volúmenes de puesta en obra del hormigón, dados los medios habituales que se podían emplear en la época de construcción del puente.

- Existían numerosos indicios de escurrimientos de agua que indicaban que el puente no tenía un eficaz sistema de impermeabilización y drenaje. Básicamente los escurrimientos se producían a través de las fisuras antes citadas y, fundamentalmente, por los bordes del tablero debido a la ausencia de detalles constructivos que facilitasen la evacuación del agua.

Dentro del tramo central del puente, donde la estructura es de hormigón armado, y en concreto en las zonas donde se producían los escurrimientos, se habían desarrollado daños por corrosión de armaduras (armaduras sin recubrimiento oxidadas, en ocasiones con aspecto hojaldrado; fisuras marcando la posición de barras de armado; desprendimientos del hormigón de recubrimiento dejando a la vista armaduras con corrosión; etc.).

En este segundo tramo del puente observamos que el agua de escorrentía de la calzada afloraba en el borde del tablero por la junta de hormigonado que hay entre la acera y la cara superior de la losa del forjado (ver figura 5).

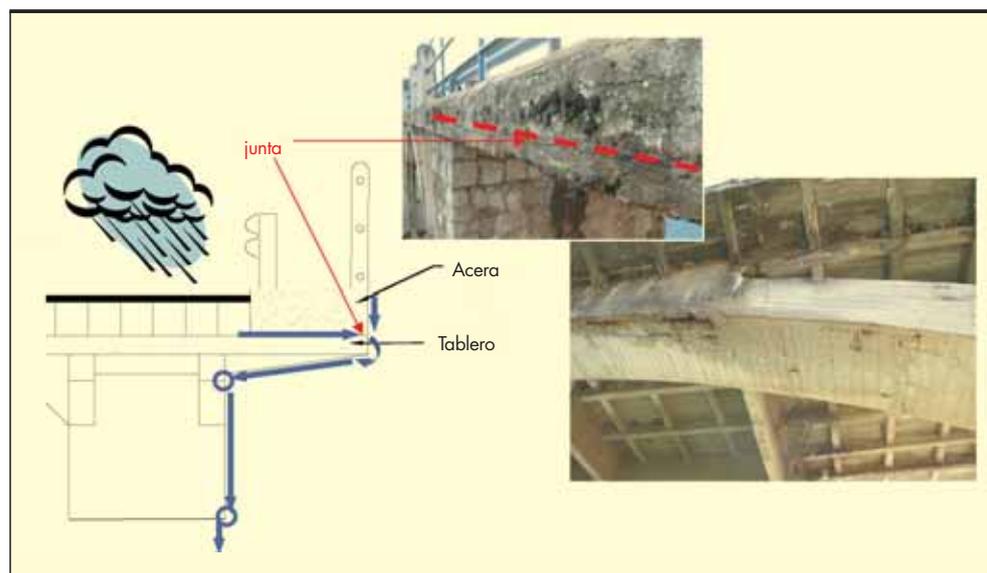
De este modo observamos que, a pesar de que el puente fue construido hace más de 50 años, los daños por corrosión de armaduras se presentaban de forma muy localizada, con leve intensidad, y prácticamente sólo en zonas donde el agua escurrida quedaba retenida y los recubrimientos de la armadura eran muy reducidos.

Antes de entrar a valorar estos daños vamos a apuntar cuáles son los mecanismos principales de corrosión de armaduras embebidas en hormigón.

#### La carbonatación del hormigón

El hormigón supone un medio protector de las armaduras dado que en origen tiene un pH básico. En esas condiciones se crea en las barras de armado una película denominada *capa pasiva* que tiene una gran adherencia con el acero, de modo que protege a éste de la corrosión. Con el paso del tiempo se produce una reacción de los compuestos cálcicos de la pasta de cemento con el

**FIGURA 5.** Croquis esquemático del mecanismo de escurrimiento del agua de escorrentía de la calzada (con círculos se señalan las zonas donde el agua queda retenida).



CO<sub>2</sub> atmosférico a través de la estructura de poros de la zona superficial del hormigón. Esta reacción genera la formación de carbonatos cálcicos y la disminución del pH inicial del hormigón, desde valores próximos a 13 hasta valores del orden de 9. La pérdida del carácter básico del hormigón hace que éste deje de ser un medio protector de las armaduras. Así, cuando el *frente carbonatado* alcanza desde la superficie del elemento la posición de las armaduras, éstas quedan expuestas a los agentes agresivos atmosféricos que penetran a través de la estructura porosa del recubrimiento. En estas circunstancias, y en presencia de oxígeno y humedad, se desencadena la corrosión de las barras de armado.

La desprotección de las barras de armado por el desarrollo de la carbonatación depende fundamentalmente de los siguientes factores:

- La calidad del recubrimiento de las armaduras, en cuanto a:
  - El espesor del recubrimiento: a mayor recubrimiento más tiempo tarda en alcanzar las armaduras el *frente carbonatado*.
  - La compacidad del hormigón: a mayor permeabilidad mayor avance del *frente carbonatado*; la presencia de discontinuidades tales como coqueas, fisuras, etc. acelera el proceso.
  - El tipo y contenido en cemento. En este sentido cabe señalar que cuanto mayor es la concentración de álcalis en el cemento, y cuanto mayor es el contenido en cemento del hormigón, el proceso de la carbonatación se desarrolla más lentamente.
- La temperatura y humedad ambiente. El proceso de carbonatación es más importante cuanto mayor es la temperatura ambiente. También se acelera con variaciones fuertes de la humedad o cuando la humedad relativa es del orden del 60-80%. En ambientes con una humedad sensiblemente constante que sea significativamente superior o inferior a la indicada, la carbonatación se ralentiza drásticamente. En la ubicación del puente, en la cola del embalse de Entrepeñas desde su construcción, hemos medido en

distintos puntos humedades relativas a nivel del tablero y del arranque de los arcos, obteniendo valores inferiores a un 30% en las horas centrales del día, y superiores a un 80% al amanecer.

Una vez que el acero se oxida, incrementa su volumen del orden de diez veces el inicial, produciendo un empuje sobre el hormigón que lo rodea que puede acabar por expulsar el recubrimiento, desprotegiendo aun más las barras y acelerándose el proceso.

#### La presencia de cloruros

La *capa pasiva* que protege las armaduras de la corrosión puede ser destruida también por la presencia de cloruros. Éstos pueden provenir del propio hormigón (por ejemplo hormigones amasados con agua de mar) o más comúnmente del exterior, (por ejemplo por escurrimientos de aguas ricas en cloruros, estructuras en ambientes marinos, etc.).

Los cloruros producen picaduras locales que rompen la *capa pasiva*, iniciándose el proceso anódico. Con el paso del tiempo las picaduras se extienden y el aspecto que presenta la armadura es de una corrosión generalizada.

## 4. TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN ESTRUCTURA Y ENSAYOS DE MATERIALES

### 4.1. PLANTEAMIENTO DE LOS ENSAYOS

A la vista de los daños que presentaba el puente, dada su antigüedad, y a falta de realizar los ensayos oportunos, podían apuntarse varios aspectos:

- Prácticamente sólo se observaban daños por corrosión en zonas donde el agua de escorrentía podía quedar retenida, lo que indicaba que presumiblemente la humedad ambiente había influido muy poco en el desarrollo de los daños.
- Incluso teniendo en cuenta que el hormigón de la obra se habría fabricado con un cemento rico en álcalis (en la época se empleaban cementos pórtland sin adicciones), el avance del frente carbonatado había sido relativamente pequeño, pues los daños sólo afectaban, en las zo-

	DENOMINACIÓN	LOCALIZACIÓN	OBSERVACIONES
MUESTRAS	M-A	Zona central de vano del tramo central, arco de aguas arriba, borde de tablero.	Zona con indicios de escurrimientos, sin daños de corrosión de armaduras.
	M-B	Clave del arco de aguas arriba del vano 10, por el lateral exterior.	Zona sin daños
	M-C	Zona central de vano del tramo central, arco de aguas arriba, arranque de nervio transversal de voladizo lateral del tablero. Esquina inferior del nervio longitudinal.	Zona con indicios de escurrimientos. Fragmentos de hormigón de recubrimiento expulsado por corrosión de una barra de armado.
	M-D	Vano del tramo central, arco de aguas arriba, cerca de la pila sobre el río, arranque de nervio transversal de voladizo lateral del tablero. Esquina inferior del nervio longitudinal.	Zona con indicios de escurrimientos. Fragmentos de hormigón de recubrimiento expulsado por corrosión de una barra de armado.
TESTIGOS	T-1	Zona de clave del arco de aguas arriba de un vano del tramo central, cara interior.	Zona sin daños.
	T-2	Testigo pasante en zona de vuelo del tablero, atravesando acera y losa de forjado. Zona central de un vano del segundo tramo, lado de aguas arriba.	Zona sin daños.
	T-3	Zona de clave del arco de aguas arriba de un vano del segundo tramo, cara exterior.	Zona sin daños.

TABLA 1. Localización de los testigos y muestras.

nas de escurrimientos, a armaduras con recubrimientos muy reducidos.

Este aspecto fue analizado a partir de ensayos de estimación de avance del frente carbonatado.

Además se plantearon ensayos para caracterizar el hormigón desde el punto de vista de su durabilidad (porosidad, densidad y contenido en cemento) y se practicaron algunas calas para estimar los recubrimientos de la armadura.

- En la carretera que discurre sobre el puente es habitual el empleo de sales de deshielo, sales que eran arrastradas por el agua de escorrentía y que permitían aportar cloruros al hormigón, lo que podría dar lugar a daños de corrosión de armaduras como los que se observaban.

De acuerdo con estos aspectos se tomaron muestras del recubrimiento y testigos de hormigón endurecido de 100 mm de diámetro. En la tabla 1 se señala la localización de las muestras y testigos ensayados.

Cabe señalar que en la extracción de las muestras y testigos observamos que los áridos del hormigón eran de gran tamaño (hasta más de 100 mm en el hormigón de los arcos).

## 4.2. RESULTADOS

### 4.2.1. Resultados de la inspección de calas

A modo de resumen podemos decir que en las calas practicadas en esquinas de la cara inferior de elementos de hormigón armado del puente observamos que los recubrimientos eran muy dispares, siendo en general inferiores respecto de la cara inferior del elemento que respecto de su cara lateral.

También observamos que armaduras con reducidos recubrimientos situadas en zonas de escurrimientos, pero donde el agua no quedaba retenida, no presentaban daños significativos por corrosión (ver figura 6).

Las armaduras eran de acero liso con esquemas de armado habituales de la época.

### 4.2.2. Ensayos de porosidad y densidad

Se realizaron ensayos para determinar la porosidad y densidad del hormigón sobre fragmentos de los tres testigos extraídos en obra (en el caso del testigo T-2, que atravesaba la junta entre la acera y el forjado –ver figura 5– sobre un fragmento del hormigón del forjado).

El ensayo de porosidad se realizó siguiendo la norma RILEM CPC 11.3: Absorción de agua por inmersión en vacío.

En la tabla 2 se recogen los resultados que obtuvimos.

De estos resultados se deduce que el hormigón de la obra tenía una porosidad reducida, propia de hormigones fabricados con una baja relación agua/cemento, un alto contenido en cemento, puestos en obra con una compactación adecuada y suficientemente hidratados mediante el curado correspondiente.

Los resultados que obtuvimos en los ensayos de densidad del hormigón realizados eran indicativos de que el hormigón de la obra tenía una densidad relativamente alta, lo que concuerda con los resultados obtenidos en los ensayos de porosidad. En todo caso la presencia de un importante contenido de áridos de gran tamaño en el hormigón influyó también en esta elevada densidad.

MUESTRA	Porosidad (%)	Densidad (t/m <sup>3</sup> )
T-1	10,5	2,37
T-2	9,9	2,44
T-3	11,5	2,37

TABLA 2. Resultados de los ensayos de porosidad y densidad.

**4.2.3. Ensayos de contenido en cemento**

El contenido en cemento del hormigón de la estructura del puente fue estimado realizando ensayos sobre fragmentos de los testigos extraídos en obra.

El método de ensayo seguido fue el recogido en la Norma MELC 5.01-A. Este método consiste básicamente en atacar la sílice del cemento con ácidos y determinar así la sílice soluble de la muestra. Conocida la cantidad de sílice en el cemento empleado, se deduce directamente el contenido en cemento de la muestra.

Este método permite estimar el contenido en cemento en morteros u hormigones que no contengan materiales silíceos atacables por los ácidos, tales como áridos silíceos, puzolanas, escorias de alto horno, etc. La determinación de la naturaleza del árido en cada una de las muestras de hormigón se realizó por difracción de rayos X.

En general, como ocurría en este caso, no se conoce el contenido de sílice en el cemento, por lo que el método sólo es aplicable en principio a morteros u hormigones fabricados con cemento pórtland sin adiciones. Dada la edad de la obra era descartable que en su construcción se hubiese utilizado ningún tipo de adición al cemento u hormigón. Así para la estimación del contenido en cemento debe adoptarse un valor medio para la sílice de los cementos pórtland españoles de la época de construcción de la obra. En este caso el valor hallado para la dosificación de cemento podía venir afectado por un error del  $\pm 18\%$ .

En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos en estos ensayos.

MUESTRA	Contenido en cemento (kg/m <sup>3</sup> )
T-1	361,29
T-2	275,14
T-3	243,67

**TABLA 3.** Resultados de los ensayos de estimación del contenido en cemento.

Existe una importante dispersión en los resultados, lo que parece deberse a la combinación de los siguientes factores:

- Las incertidumbres propias del ensayo, que obliga a que los resultados sean tratados como una estimación del valor real.
- El importante tamaño de los áridos en relación con el tamaño de las muestras, lo que ha obligado a que los ensayos se realizasen sobre el mayor tamaño posible de muestra.
- El muy probablemente insuficiente control en origen de la dosificación del hormigón que se fabricaba.

En cualquier caso, a pesar de la dispersión obtenida, puede deducirse que el hormigón de la obra se fabricó con unos contenidos en cemento relativamente importantes si los comparamos con los contenidos que se exige en la normativa actual por condicionantes de durabilidad. Estos importantes contenidos en cemento obtenidos concuerdan con los resultados obtenidos en el resto de ensayos.

**4.2.4. Penetración del frente carbonatado**

En la posición de las calas y en localizaciones donde se extrajeron muestras para su ensayo en laboratorio se aplicó fenolftaleína diluida para estimar el grado de avance del frente carbonatado. En general no se detectó avance del frente carbonatado y sólo puntualmente en bordes del tablero detectamos avances de entre 0 a 4 mm del espesor de recubrimiento. Ver figura 6.

Así pues, a pesar de que la humedad ambiente en la zona donde se encuentra el puente es muy variable, la penetración del frente carbonatado había sido muy reducida y no había alcanzado, con carácter general, la posición de las barras de armado. Por ello, la carbonatación del hormigón no era la causa de la destrucción de la *capa pasiva* que protege a las armaduras embebidas en el hormigón.

El hecho de que, a pesar de que el puente tenga más de 50 años, el frente carbonatado hubiese tenido un avance tan reducido se debía a la combinación de los siguientes factores:

- El relativamente alto contenido en cemento del hormigón, que hace que exista una mayor concentración de compuestos cálcicos para reaccionar con el CO<sub>2</sub> atmosférico, lo que ralentiza la penetración del frente carbonatado.



**FIGURA 6.** Avance del frente carbonatado.

Como indicamos antes el cemento empleado en la obra fue muy probablemente el típico que se utilizaba en la época, esto es, un cemento pórtland sin adiciones. Se trata pues de un cemento con una gran reserva alcalina.

- La penetración del CO<sub>2</sub> atmosférico en el hormigón depende, entre otros factores, de estructura de poros. En los ensayos realizados se ha obtenido, como se ha comentado anteriormente, una baja porosidad del hormigón de la obra. En este sentido cabe indicar que una baja porosidad y un alto contenido en cemento son características propias de un hormigón de baja permeabilidad, lo que pone de manifiesto una baja velocidad de difusión del CO<sub>2</sub> en el hormigón.

La presumiblemente baja concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico en la zona en la que se encuentra el puente, alejada de núcleos urbanos o industriales importantes, hace que el fenómeno de la carbonatación se produzca a menor velocidad.

#### 4.2.5. Ensayos de contenido en cloruros

Los ensayos de contenido en cloruros se realizaron sobre las muestras denominadas M-A, M-B y M-C tomadas del hormigón de recubrimiento de la estructura. El ensayo consistió en determinar el contenido en cloruros totales siguiendo la norma ASTM C 1152/C 1152M-97.

En la tabla 4 recogemos que se obtuvieron.

Con objeto de descartar que los cloruros pudiesen estar presentes en el interior de la masa de hormigón desde su fabricación, aplicamos un indicador (nitrato de plata) sobre la muestra M-D y en la cara interior del testigo T-1. El nitrato de plata actúa como indicador de la presencia de cloruros ya que en un medio alcalino como el hormigón se combina con los cloruros formando un precipitado de color blanco (cloruro de plata); mientras que donde no existen cloruros se forma un óxido de plata de color oscuro.

Como puede verse en la figura 7, en el caso de la muestra M-D (hormigón de recubrimiento en zona de escurrimientos) sí se detectó la presencia de cloruros, mientras que en el tes-

MUESTRA	% Cl totales en peso de muestra
M-A	0,033
M-B	0,416
M-C	0,770

TABLA 4. Resultados de los ensayos de contenido en cloruros.

tigo T-1 (hormigón de la masa interna de uno de los arcos) no se reveló su presencia.

Así pues, los cloruros detectados en las muestras de hormigón analizadas procedían del exterior. Su origen residía por lo tanto en las sales de deshielo que se emplean en la carretera que discurre sobre el puente.

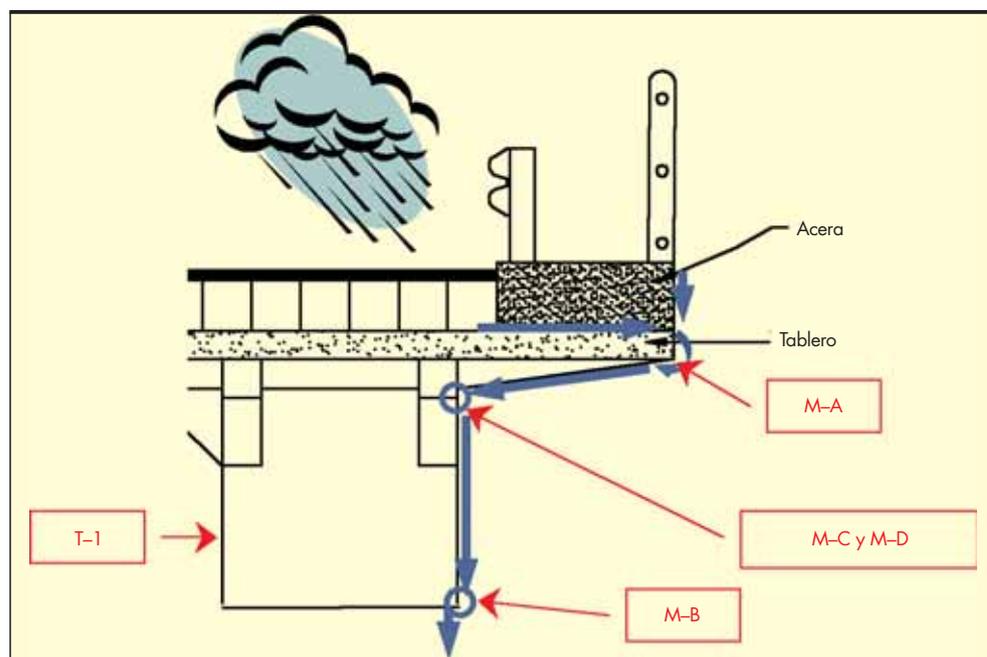
Estas sales de deshielo son arrastradas por el agua que escurre por el tablero, acumulándose allí donde el agua queda retenida o escurre a velocidad reducida.

En los ensayos de las muestras M-B y M-C los contenidos en cloruros totales medidos eran muy altos, y superaban ampliamente los límites que por condicionantes de durabilidad impone la normativa vigente. Esto se debía a que en las localizaciones de donde se extrajeron estas muestras el agua discurre más lentamente, como se muestra esquemáticamente en el croquis de la figura 8.

Sin embargo, en la muestra M-A, aunque la concentración de cloruros era también relativamente alta, era menor que en el caso de M-B y M-C, e incluso no se superaban los límites de la normativa vigente. Esto es debido a que, aunque se trata de una zona por la que se producen escurrimientos del agua de escorrentía que transporta las sales de deshielo, dada la configuración de la zona no se produce una retención del agua, la cual continua escurriendo por la cara inferior del nervio.



FIGURA 7. Aspecto superficial del testigo T-1 y la muestra M-D tras aplicar nitrato de plata.



**FIGURA 8.** Croquis de localización de las muestras utilizadas para los ensayos de contenido en cloruros.

## 5. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados que obtuvimos en el estudio del puente, y teniendo en cuenta la época y localización del puente, podemos decir que éste fue construido con materiales adecuados y utilizando una dosificación y puesta en obra del hormigón correctas (muy probablemente aprovechando los medios y materiales de los que se disponía para la construcción de la presa de Entrepeñas).

Tras más de 50 años de servicio el puente presenta sólo daños de durabilidad de forma puntual y en todo caso de leve intensidad. Estos daños se deben no tanto a la durabilidad de los materiales del puente como a un ineficaz sistema de evacuación del agua. Esta agua de escorrentía ha escurrido por las superficies de la estructura del puente aportando humedad y cloruros de las sales de deshielo que se utilizan en la calzada.

Los daños no tenían una trascendencia estructural significativa, por lo que únicamente exigían reparaciones convencionales de forma localizada y, eso sí, una corrección del sistema de impermeabilización y drenaje del tablero.

El caso de este puente confirma que, como dice el Prof. Calavera, *...la experiencia práctica de casi cien años de empleo del hormigón armado demuestra que si se emplean:*

- *Recubrimientos adecuados*
- *Baja relación agua / cemento*
- *Suficiente contenido en cemento*
- *Compactación enérgica*
- *Curado suficiente*

*la durabilidad de las estructuras de hormigón es excelente (...) y puede prolongarse, si interesa, con operaciones de mantenimiento simples y económicas. Lo que presenta baja durabilidad no es el hormigón correctamente realizado, sino el que es incorrectamente proyectado, dosificado, puesto en obra y curado. (...) Para los casos ordinarios, las cinco recomendaciones dadas más arriba (las mismas que se daban hace cuarenta años) siguen siendo válidas y suficientes.*

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Calavera Ruiz, J. "Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado". 2ª edición. INTEMAC. Madrid. 2005.

Fernández Cánovas, M. "Hormigón". 8ª edición. COLEGIO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS. Madrid. 2007.

CEB-FIP. "Strategies for testing and assesment of concrete structures". Guidance Report.. Boletín nº 243. Lausanne, Suiza. 1998.

Ministerio de Fomento. "Instrucción de hormigón estructural EHE". Secretaría General Técnica. 2008.

Asenjo Rodríguez, José E. "Los puentes de madera en la segunda mitad del s. XIX en la provincia de Guadalajara". Informes de la Construcción, Vol. 54, nº 483. 2003.

Cornide, José. Memorias de la Real Academia de la Historia Tomo III. 1799.