

Hormigones de Ultra Altas Prestaciones y su aplicación a problemáticas de árido-álcali en estructuras existentes

Ultra-High Performance Concrete and its application to alkali-aggregate problems in existing structures

Tomás Ripa Alonso^a, Noemí Corral Moraleda^b, Paloma Lampaya Nasarre^c

^a Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. LRA Infrastructures Consulting. Socio-Director. tomasripa@lraingenieria.es

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. LRA Infrastructures Consulting. noemicorral@lraingenieria.es

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. palomalampaya@hotmail.es

RESUMEN

El artículo desarrolla la aplicación de hormigones de ultra altas prestaciones en estructuras de hormigón existentes que presentan patologías de tipo árido-álcali. Esta solución combina dos aspectos fundamentales en este tipo de afecciones en el hormigón: un refuerzo estructural de las losas afectadas, cuya capacidad resistente se ha visto reducida; y una impermeabilización altamente eficaz que impide la llegada de agua al hormigón original dada la elevada compacidad y adherencia de este tipo de materiales. Asimismo, se profundiza en las alternativas existentes para la ejecución de estos hormigones, bien disponibles comercialmente, o bien fabricados en planta mediante el ajuste de su dosificación.

ABSTRACT

The article develops the application of ultra high performance concrete in existing concrete structures with aggregate-alkali reaction pathologies. This solution combines two fundamental issues in this type of damaged concrete: an structural reinforcement of the affected slabs, whose resistant capacity has been reduced; and a highly effective waterproofing system that prevents the arrival of water to the original concrete, due to the high compactness and adherence of this type of concrete. Likewise, the existing alternatives for the execution of these concretes, either commercially available, or manufactured in plant by adjusting their dosage, are deepened.

PALABRAS CLAVE: árido-álcali, hormigón uap (uhpc), refuerzo, rehabilitación estructuras existentes

KEYWORDS: aggregate-alkali, concrete uap (uhpc), reinforcement, rehabilitation of existing structures

1. Introducción

Dadas las edades del parque de estructuras existente en España, de entre 30 y 50 años aproximadamente, en los últimos años se están detectando puentes de hormigón con patologías asociadas a las reacciones expansivas de tipo árido-álcali. Estas patologías, consecuencia de la generación de geles expansivos en presencia de agua que se desarrolla en el siguiente apartado, provocan gran cantidad de fisuración en los

elementos masivos de hormigón, debilitando las secciones resistentes y facilitando la entrada de agua de lluvia si no existen sistemas de drenaje e impermeabilización eficientes en los tableros. Esta entrada de agua constituye por tanto un factor crucial en la retroalimentación del proceso expansivo asociado a este tipo de reacciones.

Se trata de una problemática que actualmente no tiene solución, aunque es posible

frenarla y disminuir su velocidad de evolución si se evita la entrada de agua. Si bien, en esta situación, existen otras soluciones que combinan el refuerzo de la estructura por medios convencionales con la disposición de barreras impermeables como las poliureas, láminas asfálticas o productos hidrofugantes, nos gustaría destacar por medio de esta ponencia, la aplicación de los hormigones de ultra altas prestaciones (en adelante HUAP), puesto que consideramos que se trata, a día de hoy, de una de las soluciones de mayores prestaciones para solventar este tipo de problemática: permite aportar refuerzo a las resistencias mermadas y un sistema de impermeabilización de elevadas prestaciones en una única operación. Por ello, recientemente se ha aplicado en una estructura en Toledo, y está siendo prescrito en estructuras con patologías similares.

Algunos ejemplos previos de la aplicación de HUAP en obra civil son la reparación de los viaductos de Chillón, en Suiza [1], donde sí se utilizaba tanto a modo de refuerzo como de impermeabilización, o la pasarela de hormigón sobre el Barranco de las Ovejas, en Alicante (España) [2]. También, el Mud Creek Bridge, en Iowa, USA [3].

2. Exposición de la problemática

La reacción árido-álcali se produce cuando ciertos tipos de áridos utilizados en la fabricación del hormigón, en presencia de álcalis de la solución de poro de la pasta de cemento generan gel de sílice o silicatos alcalinos que no tienen resistencia ni consistencia. Además, en presencia de humedad este gel se expande, y se manifiesta provocando estallidos, fisuración y disgregación del hormigón. Esta fisuración presenta un patrón variable en función de cada estructura, su geometría o su armadura. El gel que rellena las fisuras (ver Figura 1) presenta diferentes coloraciones, como ámbar o marrón brillantes, y es blanco cuando se carbonata.



Figura 1. Gel expansivo en la fisura del árido.

Un ejemplo de estos productos observados con microscopía electrónica de barrido combinada con microanálisis por energías dispersivas de rayos X se aprecia en la Figura 2.

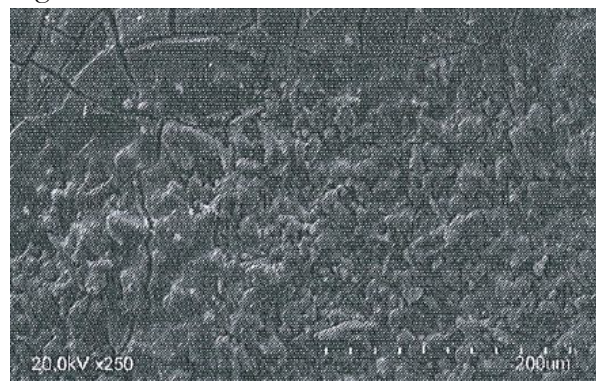


Figura 2. Micrografía de productos de reacción árido-álcali en interfase árido-pasta. (Fuente: Informe de Ensayos Puente de Colmenar. Intemac).

Este efecto en ocasiones se aprecia a simple vista, como en el caso de la Figura 3.

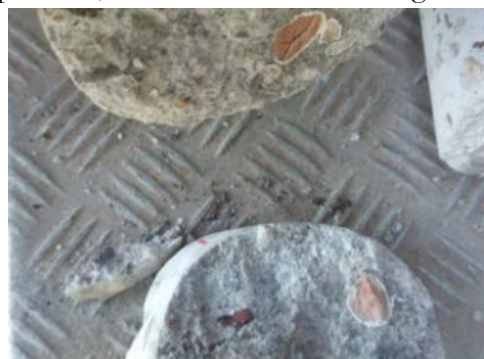


Figura 3. Árido partido en ambos fragmentos de un testigo de hormigón con las sales en su entorno.

A veces en la reacción árido-álcali se genera también ettringita secundaria, característica del ataque por sulfatos, aunque en menor medida que en este tipo de proceso de deterioro del hormigón.

Fenómenos expansivos del hormigón también se pueden producir en presencia, únicamente, de altos contenidos de sulfatos, ya

que estos sulfatos pueden dar lugar a la formación de productos expansivos que originan igualmente la fisuración, llegando incluso a provocar la pérdida de integridad del hormigón.

En cualquier caso, estos procesos suponen una pérdida de resistencia y reducción del módulo de elasticidad, lo que favorece la aparición de deformaciones del puente superiores a las previstas en su diseño.

Aunque la fisuración característica de las reacciones expansivas en elementos masivos de hormigón habitualmente se observa como una fisuración en malla y de disposición aleatoria, en los elementos de hormigón pretensado se aprecia que la fisuración aparece con una dirección preferencial, generalmente en sentido longitudinal de los tableros, al encontrarse los tendones de pretensado dispuestos en esa misma dirección (ver Figura 4).



Figura 4. Fisuración longitudinal en losa de hormigón con reacciones expansivas.

Asimismo, es habitual que en los cantos de estos elementos masivos la dirección preferencial presente un patrón más inclinado, principalmente cerca de los apoyos, donde los esfuerzos de cortante son predominantes y su fisuración se produce a 45° con la horizontal (Figura 5).



Figura 5. Fisuración oblicua en la losa cerca de la zona de apoyo en estribo.

No obstante, a lo largo del canto de la losa y a medida que nos alejamos de los apoyos, la fisuración se mantiene, pero su inclinación

tiende a suavizarse, como se aprecia en la Figura 6.



Figura 6. Fisuración en canto de la losa.

Además, la pérdida de rigidez es en ocasiones apreciable a simple vista con una mayor flecha en centros de vano (ver Figura 7).



Figura 7. Flecha apreciable en centro de vano por pérdida de rigidez.

Ante la fisuración con pérdida de rigidez y aumento de la permeabilidad en la estructura, que retroalimenta la reacción expansiva al facilitarse la entrada de agua, es a día de hoy imposible llevar a cabo una actuación que *solucione* el problema. Las estructuras que presentan estas patologías tienen una *enfermedad crónica*, y en ellas se debe valorar si es viable aplicar una reparación eficaz que aumente su vida útil en condiciones que cumplan normativa y no supongan inversiones importantes de mantenimiento en el corto plazo tras la actuación, aunque siempre se debe realizar un cierto seguimiento. Por tanto, actualmente los proyectistas valoran diversas soluciones cuyo objetivo sea evitar que continúe penetrando agua en la masa de hormigón, para frenar la evolución de la reacción y, por otro lado, reforzar la estructura, imprescindible en aquellos casos en que las mermas de rigidez hayan superado los límites admisibles.

Cabe destacar que en estructuras con este tipo de problemáticas, con fisuración extensa en su masa y en las que se ha incrementado en gran medida la porosidad del hormigón como

consecuencia de la patología, se está detectando que una vez ha entrado agua en la masa de hormigón, resulta difícil que esta humedad salga completamente del él, manteniéndose incluso en niveles de 95% de humedad tanto en periodos invernales como estivales, independientemente de la humedad relativa en el ambiente [4].

Así, sistemas de impermeabilización de tipo lámina asfáltica adherida a la superficie de hormigón pueden llegar a resultar ineficientes si, al aplicarse, hay humedad existente en la masa del elemento: aunque la zona más superficial del hormigón sí se encuentre aparentemente seca y la aplicación parezca correcta, puede suceder que la humedad ascienda desde el interior del hormigón por evaporación y condensación, y se lleguen a formar burbujas de vapor en el sistema de impermeabilización. Tras este proceso, el sistema de impermeabilización quedará sin adherencia suficiente sobre la losa, dejará de ser eficiente, y se dañará además la capa de rodadura de pavimento existente.

3. Soluciones mediante HUAP

Así, proponemos la solución a estas problemáticas con hormigones HUAP, cuya aplicación aúna estos dos aspectos de gran interés. Por un lado, las excelentes características resistentes de este tipo de hormigones, del entorno de 150MPa de resistencia a compresión y 12MPa de resistencia a tracción, los convierte en una solución idónea como refuerzo estructural de losas afectadas, puesto que el volumen de HUAP vertido, en espesores muy reducidos, aunque incrementa el peso propio, aumenta, en mayor proporción, la resistencia de las secciones. En este sentido, el refuerzo con hormigones HUAP consigue una mejora de resistencia multidireccional, es decir, se obtiene una ganancia de resistencia significativa a flexión longitudinal negativa, a compresión y a flexión transversal en los voladizos. En cambio, en las soluciones convencionales de refuerzo con disposición de armadura, este incremento de

resistencia se concentraría, fundamentalmente, en la dirección del armado, requiriendo espesores de refuerzo mucho mayores, puestas en obra más costosas y, por tanto, plazos de ejecución más elevados.

Por otro lado, el alto contenido en fibras, les aporta una excelente ductilidad, similar a la de los aceros, lo cual les permite desarrollar deformaciones superiores hasta la rotura. Las altas prestaciones de este tipo de material permiten, en definitiva, la ejecución de refuerzos de espesores reducidos y, por tanto, con poco incremento de peso en la estructura.

Por otro lado, estos materiales presentan elevada compacidad y gran adherencia, lo cual evita la ascensión del agua por capilaridad hasta la cota superior del tablero. En este sentido, la capa de refuerzo de HUAP funcionaría como una interfaz entre el tratamiento de impermeabilización y el pavimento bituminoso superior, y la losa de hormigón existente inferior, evitando la circulación de agua por capilaridad entre ambos elementos. Esto conlleva la creación de barreras altamente eficaces que aíslan al hormigón original de la entrada de agua, ralentizando el proceso de degradación y mejorando notablemente la durabilidad de la estructura [5]. Además, la propia durabilidad de un hormigón tan compacto y con materiales de elevada capacidad supone una gran durabilidad de la capa del hormigón aplicado como tratamiento.

3.1 Características del HUAP

En concreto, estos hormigones, ampliamente estudiados, presentan:

- Reducidas relaciones agua/cemento;
- Dosificaciones altas de cemento, superiores a 600kg/m³, siendo este cemento de elevadas resistencias y altas prestaciones (52,5 R o 52,5 N). Estas dosificaciones, superiores a los 500kg/m³ habitualmente recomendadas como criterio general (EHE-08 [6]), son otro de los motivos que conllevan un tratamiento

y control tan específico del producto, y que requiere una justificación experimental y autorización expresa por parte de la Dirección de Obra para su aplicación.

- Áridos de calidad elevada y gran resistencia;
 - Tamaño máximo de árido reducido. En este aspecto, es importante tener en cuenta la influencia en las resistencias a compresión que es necesario alcanzar. Para resistencias de hasta 120 MPa aproximadamente los tamaños máximos de árido se encuentran en 10-12 mm. No obstante, para alcanzar resistencias superiores, del entorno de 150 MPa, se debe reducir el tamaño máximo de árido a un orden milimétrico, habitualmente de hasta 0,6 mm;
 - Granulometría uniforme: este aspecto es fundamental para garantizar la compacidad del hormigón, de modo que la matriz no presente un aspecto deslavazado con el árido, si no que se trate de una masa homogénea sin segregaciones y de porosidad muy reducida;
 - Humo de sílice y cenizas volantes;
 - Aditivos de elevadas prestaciones que en cada caso particular adecúen el hormigón a la aplicación que se vaya a realizar: consistencia, trabajabilidad, tiempos de fraguado, temperatura, etc.
 - Además, es habitual incorporar fibras para aportar resistencia a tracción y mejores propiedades de ductilidad y durabilidad fundamentalmente.
- En este sentido, en función de los objetivos requeridos para cada hormigón particular se pueden añadir dos tipos de fibras:
- Plásticas: para buscar mayor ductilidad y trabajabilidad de la mezcla;
 - Metálicas: para aportar mayor resistencia a tracción.

En algunos casos, puede ser conveniente buscar una dosificación de fibras mixta, tanto con fibras plásticas como metálicas.

La incorporación de fibras modifica el comportamiento no lineal del hormigón

estructural, especialmente en tracción, impidiendo la abertura y propagación de fisuras. Por ello, la aplicación del análisis no lineal puede ser especialmente recomendable en los casos en que las fibras constituyan una parte importante del refuerzo del hormigón [5].

Además, puede ser interesante que estos hormigones se diseñen a su vez para ser autocompactantes. Esto implica que como consecuencia de una dosificación estudiada y del empleo de aditivos superplastificantes específicos, se compacta por la acción de su propio peso, sin necesidad de energía de vibración ni de cualquier otro método de compactación, no presentando segregación, bloqueo de árido grueso, sangrado, ni exudación de la lechada [5]. Cuando los HUAP se refuerzan con fibras, en ocasiones el hecho de no requerir vibrado conlleva ventajas para evitar segregaciones y formaciones de “erizos” de fibras.

3.2 Fabricación

A su vez, este tipo de hormigones tienen, básicamente, dos posibilidades de ser fabricados:

3.2.1. Fabricación en planta

Esta opción se entiende como fabricación del HUAP dosificado y amasado en planta, previamente caracterizado para el caso concreto con una dosificación específica y particularizada que permita obtener unas propiedades mecánicas, de durabilidad y de ejecución necesarias en cada circunstancia. En este caso, será fundamental cuidar que los áridos de los que dispone la planta sean de la calidad y granulometría adecuadas según lo indicado en el apartado anterior. También es imprescindible que la planta a utilizar disponga de equipos específicos necesarios, como es la amasadora, esencial para el mezclado correcto de todos los componentes, áridos, cemento y aditivos de hormigón, así como básculas y sistemas de pesado de elevada capacidad y precisión, para el adecuado control del procedimiento de

fabricación. Asimismo, es primordial el estudio de la distancia desde la planta hasta la obra en cuestión, y el transporte del HUAP, para adecuar los tiempos de fraguado y trabajabilidad del producto a su llegada a la obra.

3.2.2. Fabricación comercial

En este caso, el hormigón se amasa directamente en obra a partir de una mezcla predosificada transportada a obra que debe ser correctamente mezclada in situ con agua. En este caso la fórmula ya ha sido previamente estudiada para su producción comercial en grandes cantidades, y será mínimamente modificada para adaptarla a cada caso concreto en caso necesario.

Para cualquiera de las modalidades de fabricación, es fundamental disponer de los equipos de amasado y transporte adecuado, así como un control exhaustivo de la fabricación, adición de los elementos y tiempos de amasado, ya que algunos segundos de diferencia respecto a lo correcto puede generar hormigones inaceptables para la ejecución y resistencias requeridas. A modo de análisis, cabe destacar que con el hormigón fabricado comercialmente es posible alcanzar las mayores resistencias mecánicas, aunque esto también se refleja en su precio, superior al fabricado por prestaciones.

Asimismo, en cualquiera de las dos formas de fabricación, es imprescindible realizar pruebas de ejecución y aplicación, tanto en planta como en obra para garantizar que el material fabricado está correctamente diseñado para cada caso concreto, tanto desde el punto de vista resistente como de consistencia, trabajabilidad y ejecución. Por ejemplo, para su aplicación en puentes es fundamental tener en cuenta los peraltes y las pendientes longitudinales en las que se va a aplicar el nuevo hormigón, para evitar desplazamientos indeseados del material durante la ejecución.

4. Aplicaciones particulares

Esta solución se ha propuesto como sistema de impermeabilización y refuerzo de la capacidad portante de los voladizos en un puente en Toledo, sobre la autovía A-5 (Figura 8). En esta estructura, de la que se ha realizado un seguimiento exhaustivo en los últimos años, se diagnosticaron problemas de reactividad de tipo árido-álcali ya en 2012, y a ella corresponden los deterioros tipo ejemplificados en la Figura 4, Figura 5 y Figura 6.



Figura 8. Localización de la estructura sobre la A-5.

4.1 Condicionantes

En este caso los objetivos principales de la actuación de emergencia eran la impermeabilización de la estructura y, de forma conservadora, el refuerzo de las secciones en voladizo.

Así, se optó por la fabricación de un hormigón por prestaciones en una planta cercana a la obra, puesto que en este caso las resistencias mecánicas necesarias a compresión se encontraban en torno a 100MPa en lugar de 150MPa y económicamente esta solución resultaba más competitiva para la obra en cuestión.

No obstante, a pesar de todo ello, en esta emergencia y dado el estado del puente, estaba prevista de manera conservadora la aplicación de un sistema de impermeabilización adicional mediante membrana de poliurea sobre la capa de HUAP, sistema que ya ha demostrado su eficacia como impermeabilización y su uso está generalizado en tableros de puentes. Si bien las

prestaciones de los HUAP consiguen elevadas propiedades de impermeabilidad, el estado del puente con una merma de resistencia por reacción árido-álcali, y el uso poco generalizado de los hormigones HUAP, con una reducida experiencia de aplicación en obra, llevan a la decisión de incluir un sistema de impermeabilización adicional en el tablero que, en cualquier caso, supone un incremento prestacional en la solución final de un puente con una marcada patología de durabilidad, pero también resistente.

4.2 Estudio de la solución

Para llevar a cabo este proceso, se ha trabajado en colaboración con especialistas en hormigones de ultra altas prestaciones y aditivos de BASF y sus prescriptores, así como expertos del Laboratorio de Materiales de la Escuela de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid. Confirmada la elección de esta solución, se sucedieron algunos meses de estudio de los áridos, el cemento, los aditivos, las fibras más apropiadas a utilizar y la dosificación más adecuada de todo ello para su aplicación particularizada. Puesto que en este caso la impermeabilización y durabilidad de la solución constituían los objetivos primordiales, se optó por el uso de fibras plásticas, que aportan gran ductilidad y durabilidad.

En primer lugar, se diseñó una primera dosificación en laboratorio, con varias probetas de referencia probando en cada lote de éstas unas dosificaciones ligeramente diferentes. Una vez obtenido un hormigón con las características deseadas en laboratorio, tomando como referencias fundamentales las resistencias a 7 y 28 días (ligadas a su compacidad, y con ello, a su reducida porosidad y permeabilidad), su trabajabilidad y los tiempos de fraguado fundamentalmente, se procedió a realizar una prueba en la misma planta en la que estaba previsto fabricar el hormigón, seleccionando las dos dosificaciones que en principio mejor se ajustaban a los requisitos buscados.

Así, se prepararon sendas superficies encofradas con una pendiente de un 4%, simulando el peralte existente en el puente en cuestión (Figura 9).

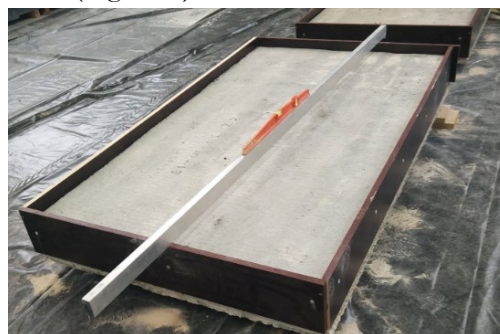


Figura 9. Superficies de prueba en planta.

Se procedió a realizar las amasadas según las dosificaciones estudiadas y se confirmó que una de las mezclas cumplía mejor los requisitos de trabajabilidad y consistencia de la mezcla, tanto después del amasado como transcurrido el tiempo de transporte estimado hasta la obra (Figura 10). No obstante, se observaba un cierto escurrimiento del hormigón, por lo que de cara al día de la ejecución en obra se previó reducir ligeramente el aporte de agua, y en caso necesario añadirlo antes de su vertido en obra, todo ello bajo control exhaustivo de los técnicos especialistas en la fabricación de estos hormigones.



Figura 10. Prueba en planta del HUAP.

Al realizarse estas amasadas se fabricaron también probetas para confirmar en laboratorio las resistencias alcanzadas a 3, 7 y 28 días, tanto a compresión como flexotracción, y su permeabilidad. Con la dosificación finalmente escogida se obtuvieron resultados satisfactorios en todos estos ámbitos para cumplir con los objetivos buscados.

4.3 Ejecución

4.3.1. Trabajos previos. Preparación de la superficie

Una vez determinada la dosificación del hormigón requerido según las condiciones apreciadas en el proceso de prueba de fabricación en la planta concreta, se procede a preparar el soporte de hormigón existente en la estructura sobre el que se va a aplicar el HUAP, que debe cumplir los siguientes requisitos:

- Debe estar completamente **limpio**. En este caso, al tratarse de un puente de carretera, se procedió al fresado del pavimento. No obstante, tras el fresado y una limpieza generalizada se observaba una película bituminosa firmemente adherida al hormigón de la losa (Figura 11). Esta película, probablemente consecuencia del riego bituminoso o de la imprimación de una impermeabilización anterior, y habitual en este tipo de puentes, únicamente podía ser retirada desbastando la propia superficie del hormigón.

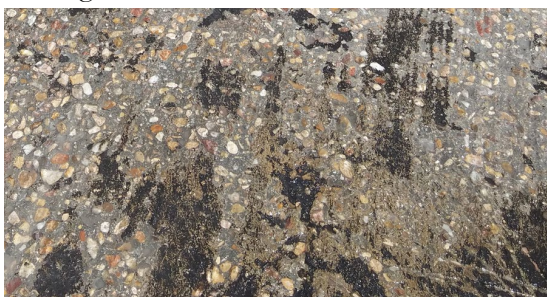


Figura 11. Película bituminosa adherida a la superficie de hormigón existente.

Así, tras sucesivas pruebas, se confirmó que el mejor procedimiento para su retirada era la aplicación de un tratamiento de *water jetting*, con una lanza manual de agua a elevada presión (aproximadamente a 1800 bares), según se aprecia en la Figura 12. También se puede utilizar chorreado a presión con abrasivo.



Figura 12. Limpieza con agua a elevada presión con lanza manual

- Debe ser una **superficie rugosa**, de aproximadamente 3 a 5 mm, para que se consiga una conexión mecánica suficiente y el nuevo HUAP quede adecuadamente conectado a la losa existente para trabajar monolíticamente con ella (Figura 13). Esta rugosidad se obtiene asimismo con el chorreado a elevada presión.

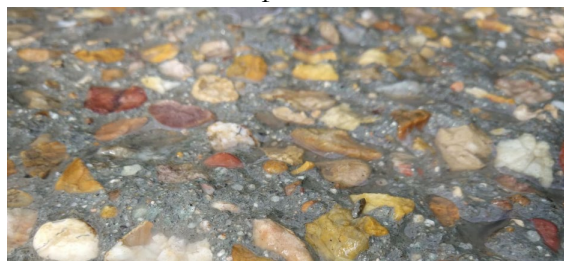


Figura 13. Superficie limpia y rugosa tras el chorreado.

4.3.2. Proceso de hormigonado

Llegado el día previsto para el hormigonado, y ya con la superficie de la estructura correctamente preparada, se procedió a fabricar el hormigón en la planta y a transportarlo mediante camiones hormigonera hasta el tablero del puente donde debía ser aplicado. Para garantizar la correcta adherencia del hormigón, la superficie existente debía encontrarse humedecida.

En los días previos, también había resultado fundamental planificar la llegada de los camiones y su aplicación sobre el puente, teniendo en cuenta sus pendientes longitudinales y transversales, y el sentido de avance de los camiones.

Así, estaba previsto trabajar desde el estribo E-1 hacia el estribo E-2 (sentido contrario al habitual de los vehículos sobre la estructura), y ejecutando el hormigón primero en la mitad baja de la sección del tablero (lado

derecho). No obstante, las hormigoneras debían llegar con el mínimo desfase de tiempo posible, de modo que a medida que una hormigonera avanzaba por una mitad del tablero la siguiente pudiese ejecutar el hormigón en la otra mitad ligeramente decalada, previniéndose así la formación de una junta longitudinal de ejecución entre las dos mitades de tablero, y evitando al mismo tiempo un escurrimiento excesivo del material en el ancho total del tablero por el peralte del 4% (Figura 14).



Figura 14. Ejecución de hormigón desde hormigonera en la segunda mitad de una sección.

Además, la ejecución debía ser realizada por operarios con amplia experiencia en este tipo de hormigones, puesto que su trabajabilidad es menor que la de los hormigones habituales y deben ser trabajados específicamente durante su puesta en obra para evitar la utilización de medios de compactación que puedan conllevar segregación de las fibras. No obstante, el acabado debe ser adecuado y uniforme para la aplicación de tratamientos posteriores si existen o de la capa de rodadura a ejecutar en cada caso.

4.3.2. Curado

Una vez se ha producido el fraguado del hormigón transcurridas las primeras horas tras la ejecución (cuando no se aprecie huella al aplicar una presión sobre él), es fundamental proceder al curado del HUAP (Figura 15).



Figura 15. Riego de curado tras fraguado y disposición de geotextil humedecido.

Al tratarse de un hormigón con elevados contenidos en cemento, experimenta importantes procesos de retracción y se debe controlar esta fisuración inicial. En este caso, se optó por regar con agua y mantener la humedad con un geotextil que se mantuvo húmedo durante los 7 días siguientes a la ejecución del hormigón (Figura 16).



Figura 16. Curado del hormigón con geotextil humedecido en todo el tablero.

4.4 Control de Ejecución

Asimismo, durante el proceso de ejecución del hormigón se fabricaron probetas para controlar las características de hormigonado, tanto para verificar su resistencia a compresión como a flexotracción, y su permeabilidad. Una vez transcurridos 7 días desde su puesta en obra también se extrajeron testigos para confirmar las características de impermeabilidad del hormigón una vez puesto en obra y se realizaron ensayos pull-off in situ, resultando satisfactorios los resultados obtenidos.

4.5 Lecciones aprendidas

A pesar de que los resultados obtenidos en la rehabilitación comentada han sido satisfactorios, cabe destacar que se trataba de la primera vez que este tipo de actuación de impermeabilización y refuerzo se desarrollaba en España con HUAP fabricado en planta y aplicado en una estructura existente con patologías reactivas de tipo árido-álcali.

Este reto también nos ha aportado algunas experiencias a compartir para futuras aplicaciones de soluciones similares:

- Además de las pruebas realizadas en planta para la fabricación del hormigón, se recomienda llevar también a cabo el transporte del hormigón al emplazamiento de obra, así como su ejecución en la misma superficie en que vaya a ser aplicado realmente. Esto permitirá poder planificar y controlar en mayor medida el proceso de ejecución y los resultados obtenidos.
- Es importante cuidar las condiciones climatológicas en el día de la puesta en obra y proteger la zona de hormigonado de temperaturas extremas fuertes rachas de viento, para evitar que la zona más superficial del material fragüe con una rapidez excesiva y se genere fisuración o endurecimientos superficiales no deseados.
- En función del volumen de hormigón a ejecutar, y para evitar la segregación de la mezcla y la formación de juntas de construcción entre todas hormigoneras es importante que los medios disponibles sean abundantes, ya que se trata de un material de difícil trabajabilidad y rápido fraguado.
- Para un curado óptimo del material, puede llegar a ser recomendable una inundación con agua permanente de la zona una vez fraguado el hormigón y durante 5 a 7 días.

5. Conclusiones

Como proyectistas, proponemos como mejor solución de impermeabilización y refuerzo para estructuras de hormigón existentes con patologías de tipo árido-álcali la aplicación de HUAP en pequeños espesores sobre la cara superior de la losa.

Estos materiales permiten abordar ambos objetivos con elevadas prestaciones, tanto resistentes como de impermeabilización en una única operación, y con una gran durabilidad del sistema aplicado para el futuro. No obstante, siempre se debe tener en cuenta que, a día de hoy, se trata de una solución novedosa para este tipo de aplicación, y por tanto es imprescindible

profundizar en el estudio previo detallado de la solución particularizada, su planificación y su ejecución en cada caso para obtener los resultados requeridos.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer sus contribuciones en el estudio de lo desarrollado en el presente trabajo a Alfonso García Puertas y a los técnicos de BASF en la definición y caracterización de estos hormigones, así como al Laboratorio de Materiales de la Escuela de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid, en especial a Jaime Gálvez Ruiz y a Marcos García Alberti.

Referencias

- [1] M. Álvarez, Reinforcement of Concrete Bridges with Composite Materials. April 6th, 2017, Madrid, c/ Almagro 42, Headquarters of CICCOP
- [2] P. Serna, J.A. López, H. Coll, E. Camacho, J. Navarro-Gregori, F. Galán E, Pasarela de hormigón de muy alto rendimiento sobre el Barranco de las Ovejas (Alicante). Hormigón y Acero 2015.
- [3] Wibowo, Hartanto & Sritharan, Sri. (2018). Use of Ultra-High-Performance Concrete for Bridge Deck Overlays.
- [4] E. Criado Morán, A. Navareño Rojo, M.C. Andrade Pedrix, F. Tabares Pinto, N. Rebolledo Ramos, M. Capacchione, Medida de la Humedad en tableros de puentes existentes de hormigón. VII Congreso de estructuras de ACHE, A Coruña, junio 2017.
- [5] M.C. Andrade, M. Frías, y B. Aarup, Durabilidad del “Compact Reinforced Composite” (CRC): un hormigón de ultra alta resistencia, Hormigón y Acero. 202 (1996) 113–121.
- [6] Comisión Permanente del Hormigón, Instrucción de Hormigón Estructural EHE-2008, Ministerio de Fomento, Madrid, 2008.