

## 1. INTRODUCCIÓN

El hormigón no es, tal y como se pensaba, un material inerte e insensible al paso del tiempo. El problema más importante de envejecimiento que afecta a los hormigones de las obras hidráulicas, es la expansión del hormigón como consecuencia de reacciones químicas internas, conocidas genéricamente como Reacciones Hormigón-Árido (R-H-C).



Figura 1. Paramento de presa afectado por reacciones expansivas

Efectivamente, hasta finales de los años 30, no se ponía en duda las hipótesis de Feret, que mantenía que la naturaleza mineralógica de los áridos componentes del hormigón, era estable y por lo tanto no tenía influencia alguna sobre el comportamiento del material endurecido. En 1.940 Stanton atribuye las alteraciones sufridas por una presa de hormigón en California a la interacción entre los áridos y los componentes alcalinos del cemento.

Desde entonces este fenómeno se ha ido poniendo en evidencia cada vez en más obras de hormigón, fundamentalmente en aquellas que se encuentran en contacto con agua, como presas, revestimientos de túneles, puentes o depósitos. El número de estructuras de hormigón de más de 20 años, afectadas por este tipo de fenómenos, aumenta día a día. Efectivamente ciertos tipos de rocas y minerales, físicamente aptos para ser utilizados como áridos en el hormigón, reaccionan químicamente en un medio alcalino como el cemento Portland.



Figura 2. Fisuración tipo piel de cocodrilo y grietas en la coronación de una presa.

Aunque la velocidad de aparición del fenómeno puede ser muy variable, es a partir de los 20 a 30 años de vida de la estructura, cuando empiezan a aparecer los primeros problemas en los hormigones afectados. En España tenemos más de 600 grandes presas, de acuerdo con la clasificación ICOLD, de más de 30 años, siendo en su mayoría de hormigón.

El fenómeno de expansión está mucho más extendido de lo que se puede pensar, pero desgraciadamente son aún muy pocos los técnicos suficientemente familiarizados con el problema. Numerosos responsables de presas desconocen el origen de muchos de los problemas que presentan sus estructuras y que, por lo tanto no toman medida alguna tendente a solucionarlos.

Aunque no existe ningún método que solucione el problema a costes razonables, si existen tecnologías, ampliamente experimentadas capaces de reducir significativamente la velocidad de propagación del fenómeno.

## 2. ORIGEN

El origen del fenómeno está en un intercambio iónico entre los minerales constituyentes de los áridos y la pasta del cemento circundante, como se esquematiza en la figura adjunta.

El fenómeno sólo tiene lugar en presencia de agua renovada, y por lo tanto con capacidad de disolución.

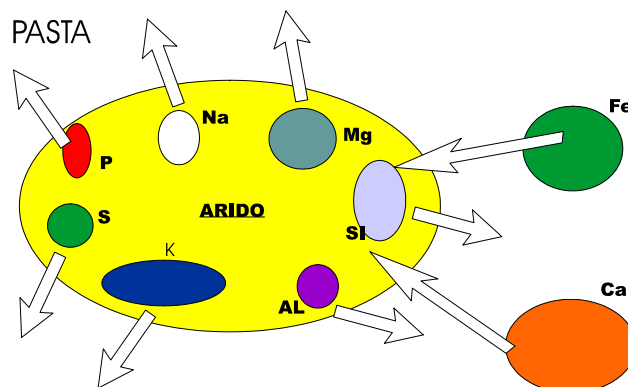


Figura 3. Intercambios iónicos responsables de los fenómenos de expansividad

## 3. SÍNTOMAS

Los síntomas de que una obra hidráulica está sufriendo un proceso de expansión puede resumirse en:

Fisuración agrupada en forma de "piel de cocodrilo" Halos blancos en el contorno de algunos áridos

- Fisuras y grietas no atribuibles a acciones externas
- Movimientos localizados o generalizados de la estructura
- Problemas en los elementos móviles



Figura 4. Halos blanquecinos en el contorno de un árido. Fotografía tomada con una lente ordinaria

#### 4. DETECCIÓN DEL FENÓMENO

Una vez que, debido a los síntomas existen sospechas de que el fenómeno se está produciendo, se pueden aplicar diversos métodos para confirmar su aparición, y sobre todo, su velocidad de propagación. Los métodos de detección habitualmente utilizados, son:

- Extensometría
- Topografía de precisión
- Microscopía electrónica

Efectivamente, cuando este tipo de fenómenos aparece, se produce una expansión generalizada de la estructura, fácilmente detectable con medios ópticos o mecánicos, ya que los movimientos tanto en el eje vertical, como a veces en planos horizontales, pueden ser de varios milímetros anuales.

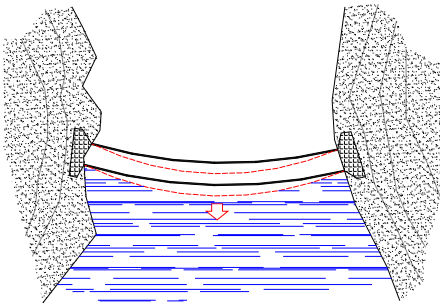


Figura 5. Típico cabeceo aguas arriba de una presa afectada de problemas de expansividad.

Independientemente de las medidas de desplazamientos o de incrementos tensionales, la confirmación final de que el fenómeno se está produciendo, se ha de hacer en laboratorio, mediante microscopía electrónica de barrido, en combinación con espectrometría de dispersión de energía de Rayos X. **HCC** tiene establecido convenios de colaboración con distintos centros oficiales para la realización de este tipo de análisis.

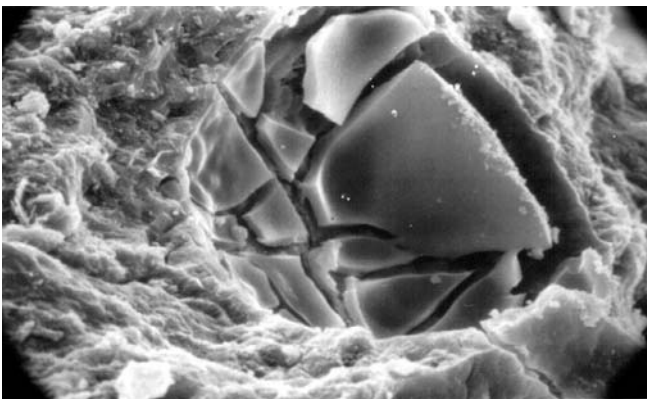


Figura 6. Fotografía del microscopio electrónico. Geles de reacción álcali-árido

#### 5. EVOLUCIÓN DEL FENÓMENO

En una primera aproximación el agua penetra a través de la red de poros abiertos del hormigón y que, su capacidad de disolución de sales va disminuyendo, se podría establecer que la curva de profundidad de hormigón afectado, en función del tiempo es asintótica o, al menos logarítmica. Se trataría pues, al menos en teoría de un fenómeno que, partiendo de la superficie, va avanzando, cada vez más lentamente hacia el interior.

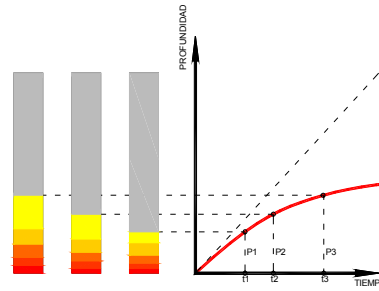


Figura 7. Evolución teórica del avance del fenómeno. Modelo asintótico.

Desgraciadamente el modelo real dista mucho de parecerse al teórico. La aparición de fisuras facilita notablemente la penetración de agua limpia, con capacidad de disolución de sales al interior del hormigón. Al aumentar la superficie específica expuesta, aumenta, lógicamente, la velocidad de propagación del fenómeno, que se auto alimenta. El modelo real, no es por lo tanto asintótico, sino geométrico o exponencial.

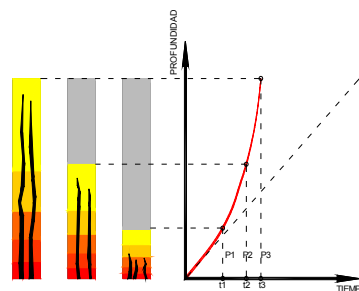


Figura 8. Evolución teórica del avance del fenómeno. Modelo geométrico.

#### 6. EXPERIENCIAS DE REPARACIÓN

Existen experiencias de revestimientos del hormigón para evitar el paso del agua. Casos como San Esteban o Salas en España, Pracana en Portugal y Chambón en Francia, están ampliamente descritos en la bibliografía de ICOLD, y por lo tanto no insistiremos más en el presente boletín. Presentaremos, sin embargo, la alternativa de **HCC** en la tecnología de tratamiento de regeneración de hormigones fisurados, tendente a que la curva de avance de la degradación pase de exponencial a asintótica.

El problema a resolver es, por lo tanto, disminuir la superficie específica de hormigón en contacto con agua. Es evidente que para conseguirlo, se requiere rellenar las fisuras con un material que desplace el agua, las selle y adhiera al hormigón. Este tipo de reparación no solamente consigue cambiar el modelo de evolución del fenómeno, sino que además, elimina las indeseadas subpresiones y permite restablecer la continuidad mecánica, el monolitismo estructural a la presa.

#### 7. TECNOLOGÍA DE REPARACIÓN

La tecnología de tratamiento de sellado de las fisuras tiene dos etapas: identificación de las fisuras a tratar y posterior inyección .

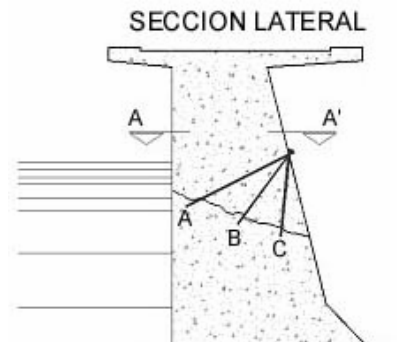


Figura 9. Sección vertical de la presa, con la distribución de taladros para inyectar

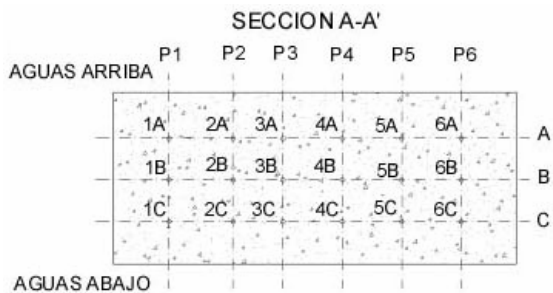


Figura 10. Proyección horizontal de la fisura y su intersección con los taladros de inyección.

La inyección se realiza, preferentemente con embalse lleno, siendo el material utilizado una formulación de resina epoxi de elevada viscosidad, capaz de endurecer y adherir al hormigón bajo agua.



Figura 11. Resina saliendo por el paramento aguas arriba, tras rellenar una fisura. Se aprecia como el primer frente de material ha ido limpiando la fisura (color marrón), apareciendo la resina pura (gris), detrás. El reloj comparador se utiliza para medir los posibles movimientos de la estructura.

Tradicionalmente la reparación de presas se ha venido haciendo cuando lo han permitido las condiciones de explotación de la instalación. En los casos más graves, era la explotación la que debía cesar y adaptarse a las necesidades de tiempo y de condiciones de embalse que la reparación requiere. En todo caso explotación y reparación solían ser actividades incompatibles en el tiempo. Sin embargo, el sistema **HCC**, basado en el empleo de nuevos materiales, como los polímeros, y de nuevas tecnologías, como la extrusión de resinas muy viscosas a alta presión, permiten efectuar reparaciones, ya sea para cortar filtraciones o para sellar fisuras, sin interrumpir la explotación de la instalación.



Figura 12. Perforación de taladros de inyección desde batea. Presa de S. Esteban. Ourense. IBERDROLA

El hecho de independizar reparación y explotación, permite intervenir en el momento más adecuado desde el punto de vista técnico, no subordinando la realización del trabajo a condicionantes externos.



Figura 13. Testigo extraído  $\phi$ 100MM de un hormigón inyectado. El monolitismo se ha recuperado. En la segunda foto se ha resaltado la posición de la fisura totalmente rellena de resina. Los ensayos a rotura sobre estas probetas ofrecen unos resultados idénticos a los del hormigón no figurado.

## 8. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

**HCC** ha realizado con éxito más de una veintena de tratamientos de regeneración de este tipo. Se consigue rellenar por completo cada una de las fisuras tratadas, logrando la estanquidad total y la recuperación de la continuidad mecánica de la estructura. En algunas ocasiones, se aprovechan los taladros de inyección para introducir barras de acero de alta resistencia, antes de la inyección, logrando un efectivo cosido de la estructura.



Figura 14. Aspecto parcial de la reparación del aliviadero de Portodemouros. Pontevedra. UNION-FENOSA

[www.hcc-es.com](http://www.hcc-es.com)

Avda. Euskadi 5. 28917 Leganés. Madrid  
Telf. 916108506. Fax: 916107827

Dpto. Comercial: [virginia@hcc-es.com](mailto:virginia@hcc-es.com)

