

# COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

## EVALUACIÓN DE LA EXPANSIÓN. EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO Y ESTIMACIÓN DE LA EXPANSIÓN RESIDUAL EN HORMIGONES DE PRESAS

Rodrigo del Hoyo<sup>1</sup>  
José Manuel Alonso<sup>2</sup>  
David Pérez<sup>3</sup>  
Manuel Fernández Herrador<sup>4</sup>  
Fernando Martínez<sup>5</sup>

*RESUMEN: La expansión del hormigón, originada por una reacción del tipo álcali-sílice, se inicia en un momento determinado y a veces no se detecta hasta después de transcurridos varios años. Una vez que se tiene constancia de la existencia del problema, se plantea la necesidad de valorar la expansión y estimar su evolución en el tiempo, teniendo en cuenta que estas reacciones se distribuyen en general de una forma heterogénea en la masa de hormigón de la presa.*

*En esta comunicación se analizan varios casos concretos, y se ponen de manifiesto diversas conclusiones como la importancia de la auscultación detallada ; que el desarrollo del fenómeno es lento y se requieren años para conocerlo y valorarlo y la dificultad de evaluar la evolución futura de la expansión.*

---

<sup>1</sup> Dr. Ingeniero de Caminos. Universidad de A Coruña

<sup>2</sup> Ingeniero de Caminos. Socoin

<sup>3</sup> Ingeniero de Caminos. Unión Fenosa Generación

<sup>4</sup> Dr. Ingeniero de Caminos. Universidad de A Coruña

<sup>5</sup> Dr. Ingeniero de Caminos. Universidad de A Coruña

## 1. INTRODUCCIÓN

La expansión del hormigón, originada por una reacción del tipo álcali-sílice, se inicia en un momento determinado y a veces no se detecta hasta después de que han transcurrido varios años.

En ocasiones el primer síntoma que se observa es una fisuración superficial, cosa que puede ocurrir a los tres años de entrar en servicio la presa o incluso más tarde, dependiendo no sólo de la forma en que se desarrolla el fenómeno expansivo, sino también de la atención que se presta al control y vigilancia de la estructura, concretamente a las inspecciones visuales sistemáticas, que deben realizarse en general dos veces al año. En otros casos los movimientos irreversibles, tanto horizontales hacia aguas arriba puestos de manifiesto por los péndulos, como verticales localizados a través de las nivelaciones de precisión, que también deben realizarse dos veces al año con presa fría y caliente, son la señal de alarma de que el problema existe.

Es evidente que cuanto más atención se preste a la auscultación de la presa, tanto más pronto se detectará el problema expansivo.

Una vez que se tiene constancia de la existencia del problema, se plantea la necesidad de valorar la expansión y estimar su evolución en el tiempo. También se deberán realizar los análisis oportunos para conocer de qué tipo de reacción se trata: si es una reacción álcali-sílice o bien si es de otro tipo, como por ejemplo un ataque de sulfatos.

A pesar de que en los casos que han servido de base para la realización de este informe se han presentado en ocasiones los dos tipos de reacción antes citados, en todos ellos la reacción de ataque por sulfatos puede considerarse una reacción secundaria, siendo la álcali-sílice la principal responsable de los problemas expansivos.

## 2. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA EXPANSIÓN

Las reacciones álcali-sílice se distribuyen de una forma heterogénea dentro de la masa del hormigón, ya que dependen en muchos casos de pequeñas variaciones mineralógicas de los áridos, de su grado de alteración, etc.

En una presa de contrafuertes, la presa de Salas, con un hormigón fabricado con áridos graníticos, la reacción origen de la expansión se localiza en los hormigones colocados en determinadas fechas, concretamente en las dos o tres últimas semanas de agosto de 1970. Esto parece indicar que en esas fechas se emplearon áridos procedentes de una determinada zona de la cantera que por unas u otras razones tuvieron minerales (¿feldespatos más alterados?) proclives a la cesión o absorción de iones reactivos. También pudiera ser la causa de la reacción el aporte de arenas de otras procedencias, consecuencia de algún problema puntual del equipo de machaqueo y clasificación de áridos.

En otros casos la heterogeneidad del fenómeno no es tan clara, pero sí se puede afirmar que teniendo en cuenta la dependencia que tiene del tipo de áridos y de su grado de alteración, principalmente de los áridos finos, así como del aporte de agua, de las variaciones térmicas, del estado tensional y de otros posibles factores, siempre es diferente de unas zonas a otras de la presa.

Para poder analizar la influencia de este problema en su seguridad, es importante conocer las diferentes tasas de expansión anual en las distintas zonas de la presa.

En las presas que entre sus equipos de auscultación disponen de grupos de extensómetros, cuyo objeto inicial era controlar las variaciones de las deformaciones unitarias del hormigón y a través de ellas las variaciones tensionales, los extensómetros correctores, incluidos en estos grupos de extensómetros y que como se sabe están aislados de esfuerzos y sólo controlan las variaciones de las deformaciones debidas a otras acciones, permiten analizar si existen expansiones o no. Las expansiones se ponen de manifiesto a lo largo de los años como deformaciones irreversibles y cuando se dispone de observaciones de varios años, la tasa de expansión anual es fácil de determinar eliminando las deformaciones reversibles anuales debidas, por ejemplo, a variaciones térmicas.

Pero la información facilitada por los extensómetros es muy local y se necesita disponer de un número elevado de estos equipos para conocer las distintas tasas anuales de expansión en toda la presa.

Las nivelaciones permiten detectar las expansiones verticales, y si se realizan no sólo en coronación sino también en galerías horizontales, ligadas evidentemente estas nivelaciones al mismo punto de referencia, se puede conocer la expansión media en la dirección vertical en tramos entre galerías y coronación.

Teniendo en cuenta que en general la dirección vertical no está coaccionada y por tanto permite la libre dilatación, y al mismo tiempo, en las partes altas de las presas o en presas de no excesiva altura, las tensiones debidas al peso propio no son exageradas, los valores de la expansión así deducidos pueden ser comparables a los de las expansiones libres medidas en los extensómetros correctores.

La instalación de extensómetros de hilo de invar, que suele hacerse aprovechando los pozos de los péndulos, permite medir las expansiones medias de los tramos entre bases de lectura.

En general, cuando se detecta un problema expansivo en una presa que disponga de péndulos, es conveniente instalar estos extensómetros, y utilizar las nivelaciones a que se ha hecho referencia como elemento reiterativo que permita comprobar la bondad de los resultados medidos con los extensómetros.

Por medio de los extensómetros correctores, nivelaciones y extensómetros de hilo de invar se puede estimar la tasa de expansión libre, sin coacciones que la limiten.

La expansión se presenta también como un fenómeno anisótropo, con valores diferentes según la dirección. La tasa de expansión que se desarrolla en varias direcciones dentro del hormigón de la presa puede deducirse de las medidas efectuadas con los extensómetros de cada grupo. Así se puede obtener, analizando las deformaciones irreversibles a lo largo del tiempo, las tasas de expansión en las tres direcciones, dos horizontales y una vertical.

En una presa arco, como por ejemplo la presa de Belesar, la expansión horizontal está muy condicionada por el estado tensional. Ya se ha dicho que la expansión vertical puede considerarse prácticamente como la expansión libre en la parte alta de la presa, cosa que se ha comprobado en diversos casos comparando la expansión medida por los extensómetros correctores con la medida por los extensómetros eléctricos verticales.

De todas formas, la expansión horizontal, aunque condicionada, permite estimar si la ley de dependencia expansión-tensión admitida en el modelo matemático, es adecuada. Se sabe que estas leyes, para las que se adoptan diversas expresiones matemáticas, tienen siempre un valor máximo de la tensión a partir del cual la expansión se hace nula. Este valor suele oscilar entre los 5 y 9 MPa.

Con objeto de conocer las expansiones en otras direcciones se emplean, en ocasiones, sobre superficies accesibles (galerías, paramentos) extensómetros bimetal, constituidos por dos barras de dos metales con coeficientes de dilatación lineal lo más diferentes que sea posible, fijas en un extremo y libres en el otro.

Los extensómetros de varilla, que miden las variaciones entre las distancias de los puntos de anclaje de las varillas que lo constituyen, se emplean también para medir las tasas de expansión entre estos anclajes situados en un taladro perforado al efecto en el hormigón de la presa.

En el caso de la presa de contrafuertes antes citada, en la que los problemas expansivos se localizan en determinadas tongadas, se midió la tasa de expansión perforando taladros con sonda, lo que permitió reconocer el hormigón y disponer de probetas para analizar las causas del fenómeno expansivo, e instalando extensómetros eléctricos de gran base (1,5m) en estos taladros.

Las medidas de estos extensómetros, unida a las nivelaciones, permiten controlar los valores de la expansión.

En el caso del aliviadero lateral de una presa de materiales sueltos, que constituye en sí mismo una presa de gravedad de unos 20 m de altura máxima y con una galería interior, también la instalación de extensómetros eléctricos de gran base en taladros perforados con sonda y recuperación de testigo, unido a nivelaciones y extensómetros de varilla, permite conocer la tasa de expansión.

En la presa arco de Belesar, los extensómetros eléctricos instalados en grupos dotados de extensómetros correctores, unidos a los datos facilitados por nivelaciones, extensómetros de hilo de invar y extensómetros bimetal, han permitido establecer, con una mayor o menor aproximación, las diferentes tasas de expansión en las distintas zonas de la presa.

De todas formas, en este último caso, la magnitud de la presa, la limitación de los equipos instalados y la dificultad de instalar nuevos sistemas, complica notablemente la posibilidad de asignar con rigor a cada zona de la presa un valor de la expansión. Debe tenerse en cuenta también la existencia de estribos de gravedad importantes cuya expansión y geometría influyen en las deformaciones de la bóveda. Por estos motivos es, en este caso, más difícil ajustar las deformaciones horizontales determinadas en el modelo matemático a las medidas con los péndulos.

Como se puede deducir de lo dicho es recomendable emplear todos los medios razonablemente posibles para determinar, por varios caminos independientes, las tasas de expansión.

### 3. EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO Y EVALUACIÓN DE LA EXPANSIÓN RESIDUAL

El conocer la evolución en el tiempo de la expansión es muy importante para poder valorar la seguridad de la presa.

La evolución se puede estimar no sólo mediante el seguimiento de las magnitudes que permitan evaluar la expansión, como por ejemplo las nivelaciones y las deformaciones de los extensómetros, sino también por la evolución de sus consecuencias, como por ejemplo los desplazamientos hacia aguas arriba de los péndulos.

Lo que se mide en todos los casos es la evolución de la tasa anual o expansión desarrollada en cada año.

En algunas ocasiones, y partiendo de valores históricos, se han ajustado funciones que permiten, de alguna forma, estimar como evolucionará esa magnitud en el futuro. Estas estimaciones no siempre son fiables y sólo en los casos en que se mantiene una tendencia a reducirse, por ejemplo, es posible ajustar una función.

En ocasiones se han visto variaciones del sentido de la evolución de la expansión de tal forma que, en un extensómetro, una tendencia decreciente de la expansión anual cambia de repente a una tendencia creciente.

En general se puede decir que la previsión temporal se hace extrapolando las tendencias observadas en la evolución histórica, extrapolación que puede realizarse ajustando una función o gráficamente, ajustando a mano alzada una curva. Se puede decir que los resultados esperables no tiene por qué ser mejores con un ajuste matemático que con uno gráfico.

Un dato que se considera fundamental, si es que se puede conseguir, es evaluar la expansión residual, es decir, qué valor máximo puede alcanzar la expansión.

Las tentativas que se han realizado para conocer este valor se han efectuado sobre probetas extraídas del hormigón de la presa, y sobre las que se ha intentado, en unos casos, ver la influencia de agentes externos en el desarrollo de la expansión, y, en otros, únicamente se han mantenido las probetas en un ambiente húmedo (humedad mayor del 90%) y temperatura poco variable sobre 15°C, proclivio para el desarrollo de la expansión.

La evolución de la expansión en el tiempo ha variado según las condiciones del ensayo, dándose casos en que a una expansión sigue una contracción para que después, al cambiar las condiciones y situar la probeta en un ambiente con alta humedad constante, se presente una nueva expansión.

En todos los casos, y al cabo de unos años, la curva de la expansión respecto al tiempo ha alcanzado una asíntota horizontal, situada en valores dife-

rentes de unas probetas a otras, alcanzando valores máximos de 150, 400 e incluso 600 micras por metro.

Los valores dependen de las probetas y también de la serie de acciones exteriores a que se ha sometido. Los valores más elevados, de 400 a 600 micras por metro, se han manifestado en aquellas probetas que se han situado, después de su extracción, en la galería con humedad superior al 90%. Los valores máximos de 150 o 250 micras por metro corresponden a aquellas probetas que han sufrido expansiones y contracciones, quizás como consecuencia del tipo de ensayo a que han sido sometidas.

A la vista de lo anterior parece que la expansión residual debe medirse sobre probetas en ambiente muy húmedo. No se puede decir si a una mayor temperatura se aceleraría el proceso o si se obtendrían valores diferentes de los que se han estimado como expansión residual.

#### 4. CONCLUSIÓN

Como resumen de lo expuesto se pueden hacer las siguientes consideraciones:

- Es muy importante la auscultación detallada, y dentro de ella las inspecciones visuales periódicas, para detectar cuanto antes un problema expansivo.
- Se requiere instrumentación específica para valorar la tasa de expansión en las diferentes zonas de la presa teniendo en cuenta la heterogeneidad del fenómeno.
- Es necesario disponer de medidas reiterativas o complementarias para evaluar las distintas tasas de expansión.
- El desarrollo del fenómeno es lento y se requieren años para conocerlo y valorarlo. Por este motivo es importante detectarlo cuanto antes.
- Resulta complejo prever la evolución futura de la expansión.
- Es conveniente intentar evaluar la expansión residual con probetas en ambiente húmedo.
- Se considera necesario ampliar la investigación en estos temas