GEORGES VIÉ, ingeniero de minas

ensayo para determinar las pérdidas de agua en una galería

578 - 5

SINOPSIS

Descripción de un procedimiento de ensayo de pérdidas de agua en galerías revestidas de hormigón. El procedimiento consiste, en síntesis, en cerrar el trozo de galería que se ensaya y llenarlo con agua, midiendo, después, las pérdidas en una escala graduada o leyendo la disminución de la presión en un manómetro.

Esquema del dispositivo de ensayo de pérdidas por infiltraciones.

Los defectos de impermeabilización de las galerías revestidas con hormigón son mucho más frecuentes de lo que frecuentemente se puede imaginar.

En algunas obras importantes las galerías de gran longitud presentan fugas, que se traducen en pérdidas muy importantes del caudal teórico.

Estas pérdidas pueden ser considerables en los saltos de gran altura que aprovechan aguas muy puras, que discurren sobre bancos graníticos.

A una pérdida del orden de 20 litros/s y 500 m de salto, le corresponden 855.000 kWh al año. Su valor económico es suficiente para asegurar la amortización de las reparaciones. Muchas veces las pérdidas carecen de importancia respecto a los perjuicios que puede sufrir la obra si las infiltraciones se efectúan a presión.

La cantidad de cal arrastrada por el agua pura que se filtra a través del revestimiento, descompone el hormigón gradualmente. Cuando una grieta da lugar a la formación de estalactitas calcáreas, el

agua infiltrada arrastra 0,8 g de carbonato de calcio por litro, lo que representa una eliminación de igual cantidad de cemento en la masa de hormigón.

Si se considera, por ejemplo, una pequeña grieta, cuya aparición es corriente en la mayoría de las obras, y asumimos que tiene 10 m de longitud, 0,40 m de espesor del revestimiento y una infiltración de 1 litro/hora, la pérdida de carbonato de calcio sería del orden de 2,6 kg, que equivale a 6 kg de hormigón o un volumen de 3 dm³.

Las pérdidas a través de las grietas del hormigón de las galerías aumentan con la presión del agua, ya que los labios tienden a abrirse y, por tanto, a aumentar la sección de paso.

Es muy frecuente el no comprobar ninguna anomalía al visitar una galería, porque las grietas, tanto longitudinales como transversales, son, de no prestarse gran atención, imperceptibles a simple vista. Pero detrás del enlucido, que queda intacto en apariencia, porque tiene una dosificación más fuerte, el hormigón presenta coqueras, es decir, que los áridos se mantienen en mutuo contacto por haber sido arrastrado el material aglomerante que los envolvía en los alrededores de cada grieta.

Una experiencia para detectarlas consiste en echar, en la toma de agua, cierta cantidad de agujas de pino. Una vez vaciada la galería, se podrá ver, en cada grieta, que estas agujas se quedan clavadas en el hormigón, señalando la existencia de los puntos que dan lugar a la pérdida de agua.

Otra experiencia consiste en echar en el agua materiales de mayor densidad, que pueden ser arrastrados por la corriente si su polvo es suficientemente fino. Este polvo penetra más o menos en las grietas del revestimiento de la galería. Un ejemplo de estos materiales es la escoria triturada de carbón. Si se prolonga el ensayo, se reduce momentáneamente la importancia de las pérdidas. Puede emplearse este procedimiento, igualmente, para impermeabilizar las grietas de los paramentos de las presas. Los resultados obtenidos por estos procedimientos tienen poca duración, por lo que habría que repetir la operación casi a diario.

La circulación de agua entre el revestimiento y la roca puede dar lugar a graves desperfectos, pues con el tiempo da lugar a un desequilibrio de estabilidad debido a la erosión subterránea, paso del agua a través de grietas o fallos y transformaciones por evolución fisicoquímica. En una galería de derivación de Arc (Savoie, Francia), una pequeña grieta en la solera produjo una enorme cavidad, de varios metros de diámetro, sobre la cual quedaba el revestimiento realmente suspendido. El vacío se produjo porque las aguas que habían penetrado a través de las grietas disolvieron el terreno de yeso.

En la misma región (Alpes de Savoie) se construyó una galería sobre un terreno rico en yeso. Poco después de entrar en servicio, se hundió la galería formando grandes embudos en la superficie.

En ciertos granitos, el peligro no es menor; pues si, por ejemplo, se trata de un feldespato cálcico-sódico, finamente agrietado, su descomposición es rápida al contacto del agua (galería perforada a través del macizo granítico de Querigut).

Los esquistos más o menos arcillosos y las margas calcáreas son susceptibles de provocar dificultades. Frecuentemente, las margas calcáreas se presentan formando bancos de 0,10 a 1,00 m de espesor, separados por capas arcillosas. Esta disposición favorece la circulación del agua, que se concentra en las juntas de los bancos, pudiendo provocar un deslizamiento según el buzamiento de la formación, o, por lo menos, un desequilibrio.

El peligro es mucho mayor en el caso de atravesar capas de sedimentación procedentes de antiguos glaciares, ya que el agua arrastra los materiales arcillosos.

Prácticamente no existe un hormigón perfectamente impermeable. Para evitar su disgregación, los áridos han de ser tan compactos como sea posible. La permeabilidad es función de la compacidad del hormigón. Al infiltrarse el agua por los poros de dimensiones demasiado grandes, la resistencia al paso del agua que oponen los fenómenos de capilaridad es menor que el empuje de la presión hidrostática del líquido. Teóricamente, si los poros de los áridos son suficientemente pequeños para que los efectos capilares se opongan a la infiltración del agua, ésta no podrá pasar más que a través del mortero. Por consiguiente, la permeabilidad no dependería de la porosidad del hormigón, sino de la calidad y estado de fisuración del mortero.

Las pérdidas de agua más importantes en una galería se deben principalmente a las grietas, cuyo origen puede ser la retracción del hormigón, la calidad de éste o causas puramente mecánicas, como, por ejemplo, las grietas producidas por golpes de ariete.

Para localizar las zonas más defectuosas de una galería de derivación, los ensayos de impermeabilización son muy útiles, pues permiten controlar el estado del revestimiento, inmediatamente después de terminar la retracción del hormigón, para clasificar los diferentes tipos de hormigón de una misma galería, así como para determinar las pérdidas de una galería en servicio cuyas infiltraciones han sido comprobadas.

Estos ensayos de impermeabilización son una ayuda valiosa para el estudio de un plan de inyección.

nes capaz de remediar las fugas puestas de manifiesto.

El método objeto de descripción ha sido aplicado, recientemente, a una galería revestida de hormigón, de uno de los aprovechamientos de Electricidad de Francia, cuya sección circular es de 1,40 m de diámetro.

El dispositivo de ensayo está representado en el esquema adjunto. Consiste en cargar un tramo de longitud determinada, por ejemplo 7 m, valiéndose de un depósito situado al exterior. La capacidad del depósito es conocida, y se ha graduado convenientemente con objeto de determinar el tiempo de vaciado.

Teóricamente, la precisión es muy grande, porque pueden medirse pequeñas variaciones del volumen de agua en él contenida, y la duración de vaciado es muy lenta. Pero ciertos errores pueden falsear los resultados que dan las pérdidas por infiltración a través del hormigón. Estas causas de error son las siguientes:

1.º Pérdidas en la canalización de la toma, que llamaremos F_1 . La válvula V_1 permite determinar esta pérdida, a condición que su valor sea del mismo orden que la mínima de la graduación.

2.º Pérdidas F_2 en las juntas se pueden medir, pero la exactitud es pequeña y, por tanto, las juntas se impermeabilizarán lo más perfectamente posible.

3.º Pérdidas F_3 del revestimiento en el borde de los tapones de cierre, pues el hormigón se puede cizallar en esta parte, aunque nunca se ha observado este fenómeno. Estas pérdidas se miden, simultáneamente, con las correspondientes a la junta del tapón.

La ejecución de los ensayos se realiza de la forma siguiente:

Los depósitos R_1 y R_2 se colocan aguas arriba del lugar de ensayo y en el exterior de la galería: el primero, por ejemplo, a 15 m sobre el nivel de la solera de la galería, consiguiendo así una presión sobre ella de 1,5 Kg/cm²; el otro se colocará a 25 m, lo que dará una presión de 2,5 Kg/cm². Estas alturas dan presiones que corresponden con las de la galería en servicio.

Se empieza utilizando el depósito R_1 ; se abre la válvula V_1 , después de cerrar la V_2 , y el volumen y el tiempo transcurrido para llenar esta parte permiten medir las fugas de la canalización, es decir, F_1 .

Después se abre la válvula V_2 y se llena el tramo de ensayo limitado por las dos pantallas.

Mediante el vaciado del depósito se miden las pérdidas totales F , incluso las F_2 de las juntas, y, dado el caso, las F_3 de los extremos o pantallas.

Las pérdidas a través del revestimiento de la galería, en el tramo considerado, serán:

$$F = (F_1 + F_2 + F_3)$$

Las mediciones deben prolongarse durante veinticuatro horas, y si es posible cuarenta y ocho, para conocer las variaciones de pérdidas en función del tiempo y determinar el instante en que se establece el equilibrio, es decir, que las pérdidas se estabilizan.

A continuación se repiten los ensayos con la carga máxima, utilizando, para ello, el depósito R_2 .

Al final del ensayo, el cierre de la válvula V_1 permite, gracias al manómetro M_2 , seguir la disminución de presión en el interior del tramo entre pantallas, así como comprobar, por purga, a través de la válvula V_2 , si se infiltra agua en el interior del tramo considerado.

La válvula V_1 sirve para vaciar el tramo. La purga colocada en la parte superior de la pantalla sirve para evacuar el aire, y el tubo que cruza el tramo en su parte inferior, para dejar pasar el agua que pudiera correr por la galería.

Las dos pantallas que limitan el tramo de galería ensayada son de chapa de acero, de 10 mm de espesor, perforada cada una por un registro o paso de hombre, de 0,30 x 0,35 m, provistas de un cierre idéntico a los utilizados para la inspección interior de las calderas de vapor. Estas pantallas se han reformado exteriormente con nervios de acero. Su contorno está formado por un angular, soldado eléctricamente y en posición oblicua al plano de la pantalla.

Las dos pantallas se unen entre sí por medio de siete tirantes de acero, de 40 mm de diámetro: seis en el contorno y uno en el eje. Estos tirantes tienen 7 m de longitud.

Como la sección circular de la galería puede presentar algunas irregularidades, por ejemplo, debido a la deformación de encofrados, se ha dado a las pantallas un diámetro de 1,38 m y, por tanto, una holgura de 1 cm entre la pantalla y paramento de la galería.

Las guarniciones de impermeabilización, como indica el esquema, se colocan entre ala del angular y revestimiento de la galería.

La junta de cada pantalla se ejecuta desde el interior del tramo que se ha de ensayar. El obrero penetra por el registro de paso de la pantalla, co-

Vista próxima de la pantalla de aguas arriba durante la realización de uno de los ensayos.

Curva de pérdida de presión en el manómetro en función del tiempo.

loca un cordón bituminoso elástico de 30 a 35 mm de diámetro en la junta, aplicando después un mástique bituminoso en caliente. Estos materiales son suficientemente plásticos para poder seguir, sin pérdida de la impermeabilidad, el desplazamiento de la pantalla por retracción de los tirantes y la deformación elástica de éstos que da lugar a la presión del agua.

Fué necesario prever un procedimiento que se opusiese a la deformación del cordón y del mástique

bituminoso, bajo la acción de la presión del agua, en el intervalo anular entre angular y pared de la galería.

La solución planteó un problema difícil: primeramente se intentó cerrar con un tapón de cemento, procedimiento que fué rechazado. Finalmente se decidió colocar un cordón de cáñamo para taponar el espacio anular. Este cordón se mantiene en posición mediante un anillo de acero. Las pantallas se centraron con la ayuda de tres gatos de tornillo.

Ensayo de fugas de agua, utilizando un depósito de 120 litros de capacidad, para inyectar el agua necesaria capaz de compensar las pérdidas.

La preparación de las juntas de impermeabilización es un trabajo penoso, ya que el desprendimiento de vapores de hidrocarburos en una atmósfera perfectamente estancada es muy molesto.

Si se desea hacer el ensayo en tramos de más de 7 m (máximo que permiten los tirantes) o que abarque toda la longitud de la galería, las pantallas se mantienen en posición por medio de elementos metálicos anclados en el revestimiento de la galería. Estos soportes pueden ser, por ejemplo, redondos, de acero, de 0,40 m de longitud y 25 mm de diámetro, espaciados a $1/8$ de circunferencia.

El volumen de agua que penetra en el tramo de experimentación podría medirse con un contador muy sensible, colocado a la entrada, y, si se quiere, intercalar un depósito graduado.

La importancia de las pérdidas de agua se puede determinar cerrando totalmente la válvula de admisión y observando la pérdida de presión en el interior del tramo sometido al ensayo. Este procedimiento es fácil, pues basta contrastar el manómetro M_2 , vaciando litro a litro por medio de la válvula V_4 . Es interesante recalcar que, para pequeñas pérdidas, este método es el más exacto.

INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO