

# COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

## APLICACIÓN DE LAS JUNTAS ESTANCAS INFLABLES EN GRANDES PRESAS DE HORMIGÓN

Guy Dickes<sup>1</sup> y Gustavo Armijo<sup>2</sup>

*RESUMEN: Las juntas estancas inflables se han instalado exitosamente en numerosas grandes presas de hormigón de los Estados Unidos de América y Canadá. Uno de los usos de estas juntas de pequeño diámetro es minimizar la entrada de agua debido al fallo de las juntas “waterstop” instaladas en presas monolíticas. El segundo y más común uso forma parte del control de tensiones originadas por la reacción álcali-agregado (ó álcali-sílice) del hormigón que está asociada a muchas grandes presas hechas con este material. Esta reacción hace que el hormigón se expanda, produciendo dos problemas principales: 1.- Fisuración del hormigón. 2.- Pérdida de alineación de todos los equipos mecánicos instalados en ellas. Un método de reparación común para aliviar las tensiones originadas por el fenómeno descrito en grandes presas de hormigón, consiste en un corte vertical transversal a la sección superior de éstas. No obstante, esta solución está asociada a otro problema importante: controlar el flujo de agua a través de la junta o ranura de 13 a 19 mm de espesor que queda en la estructura una vez que el corte entre la cara aguas arriba y la cara aguas abajo, se ha completado. Con este propósito se han instalado exitosamente también juntas estancas inflables con longitudes, en vertical, de hasta 40 m, aproximadamente. La clave de este éxito ha sido el diseño geométrico (diámetro) y mecánico (materiales) de la junta para cada caso específico, de modo que se cumpliera con los requisitos especificados por los técnicos.*

---

<sup>1</sup> Costellation Group LLC, 6718 Chokeberry Road, Baltimore, MD 21209 USA

<sup>2</sup> Doctor Ingeniero de Caminos, C. y P., Director Técnico y de Desarrollo de Geocisa. Los Llanos de Jerez, 10 y 12, 28823 Madrid España

## 1. INTRODUCCIÓN

Las juntas estancas inflables se han instalado exitosamente en numerosas grandes presas de hormigón de los Estados Unidos de América. Recientemente, se ha hecho lo mismo, por primera vez, en Canadá. Uno de los usos de estas juntas de pequeño diámetro es minimizar la entrada de agua debido al fallo de las juntas “waterstop” instaladas en presas monolíticas. El segundo y más común uso forma parte del control de tensiones originadas por la reacción álcali-agregado (ó álcali-sílice) del hormigón que está asociada a muchas grandes presas hechas con este material.

## 2. FALLOS EN LAS JUNTAS ESTANCAS PARA PRESAS

La ejecución de presas monolíticas de hormigón requiere la instalación de juntas estancas (“waterstops”) embebidas para evitar la entrada de agua a través de las juntas de construcción. Estas juntas estancas se han dividido tradicionalmente en dos clases: rígidas y flexibles. Las rígidas son típicamente metálicas (acero, cobre y, ocasionalmente, otros materiales) mientras que las flexibles son de materiales como el PVC (polivinilo clorhídrico).

El cobre fue ampliamente usado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos (USACE) en sus primeros proyectos de construcción de presas. El cobre fue ondulado o plegado para tener en cuenta los movimientos laterales entre secciones monolíticas adyacentes. El PVC ha sido mucho más usado por el USACE en el pasado reciente. En muchos casos se han colocado dos “waterstops” en una misma junta, con un dren abierto entre ellas, para evacuar el agua que podría acumularse entre ellas.

De acuerdo con la base de datos sobre daños y reparaciones de la Estación Experimental de Vías de Agua (Waterways Experiment Station) del USACE, el período de inspección de 1985 reveló más de 400 casos de filtración de agua a través de las juntas de presas monolíticas (McDonald y Campbell, 1986).

En muchos casos, la instalación incorrecta de las juntas “waterstop” de cobre y PVC durante la construcción de grandes presas de hormigón produjo goteras en sus galerías de trabajo. Los errores constructivos ocasionaron la rotura o pérdida de estas juntas, la aparición de escombros interfiriendo con ellas y la formación de “panales de abeja” en el hormigón situado en su proximidad. Lo mismo ha sucedido con las juntas “waterstop” diseñadas incorrectamente frente a los movimientos de estructuras de hormigón como las presas.

Los cambios estacionales de temperatura pueden afectar a la filtración de agua a través de las juntas con problemas. A modo de ejemplo de este efecto se puede citar la Presa Harry S. Truman, en Varsovia, Missouri, USA, en la cual la filtración por una de sus juntas llega a casi 1.200 litros / minuto en invierno y se reduce a menos de un 10% de este valor en verano.

### 3. PROBLEMAS OCASIONADOS POR LA REACCIÓN ÁLCALI-AGREGADO O ÁLCALI-SÍLICE

Las reacciones álcali-agregado (RAA) en el hormigón pueden causar expansión y agrietamiento severo en las estructuras hechas con este material. Aunque no se han aclarado totalmente los mecanismos que producen la RAA, en general se reconoce que ciertos agregados (sílice reactivo) para hormigón reaccionan con el potasio, el sodio y el hidróxido de calcio que se encuentran en el cemento. Esta reacción produce, alrededor del agregado, un gel que se expande cuando se humedece, dando lugar a fuerzas que originan grietas de tensión en esa zona. Estas fuerzas son similares a las que producen desconches del hormigón alrededor de las armaduras de acero oxidadas.

Este fenómeno afecta particularmente a las grandes presas de hormigón, con una gran cantidad de equipos mecánicos. Debido a él, las compuertas llegan a atascarse y quedan fuera de servicio, se producen goteras en las juntas “waterstop”, los sistemas de distribución de agua y de generación de energía se desalinean, las losas de hormigón se salen de sus vigas de apoyo, etc..

La técnica más comúnmente empleada para controlar las tensiones internas producidas por la RAA consiste en la realización de un corte en el hormigón para permitirle que expanda. No obstante, esta solución produce un problema porque crea una junta en una estructura que tiene que contener grandes volúmenes de agua.

### 4. REPARACIONES DE LAS JUNTAS CON PROBLEMAS

Se han probado numerosas técnicas de reparación, con éxito y sin él, para controlar el agua que pasa a través de grietas, agujeros y juntas con fallos, en las presas. El USACE llevó a cabo un estudio con el objeto de determinar qué soluciones funcionaban bien in situ (McDonald y Campbell, 1986).

Las técnicas estudiadas por el USACE incluyeron, entre otras:

- Láminas de goma en las caras aguas arriba de la presa (Esclusa Algiers, Louisiana, USA, 1973)
- Juntas “waterstop” externas instaladas mecánicamente (Esclusa MacArthur, Michigan, USA, sin fecha).
- Juntas waterstop con forma de “U” rellenas con morteros arena-cemento (Presa Michael J. Kirwan, Ohio, USA, 1970s)
- Placa de acero montada sobre la superficie y junta rellena con lechada de cemento bombeada (Presa Clearwater, Missouri, USA, 1972)
- Saneamiento del hormigón, relleno de la junta con estopa, sellado de la estopa con lana de plomo y aplicación de una lámina delgada de hormigón e inyección de lechada cemento/ceniza volante (Presa Sardis, Mississippi, USA, 1966)
- Instalación de tubos de caucho de 15 cm de diámetro rellenos de lechada, no inflables y, posteriormente, tubos de goma llenos de fluidos (Esclusa y Presa No. 3, Arkansas, USA, 1969)

- Cierres mecánicos de goma e inyección química de poliuretano (Esclusa John Day, Oregon, USA, 1982)
- Lámina bicomponente de goma rellena de agua (Presa Bagnell, Missouri, USA, 1984)

La última solución es la precursora de las juntas “waterstop” inflables que se utilizan en la actualidad.

## 5. REPARACIONES DEBIDAS A LA REACCIÓN ÁLCALI-AGREGADO

Teniendo en cuenta que la RAA es un fenómeno activo y que presentará problemas de mantenimiento, se debe recurrir a una solución práctica. Como ya se ha dicho, el corte de ranuras para aliviar las presiones internas es una de las soluciones más comunes. Normalmente se utiliza, tanto en Estados Unidos como en Canadá, el hilo de diamante para cortar el hormigón.

En muchos casos las tensiones internas son tan grandes que las ranuras se cierran antes de que el corte se haya completado, atrapando al hilo de diamante en el sitio. En otros casos, la ranura se cierra y debe ser cortada nuevamente para permitir futuras expansiones. Típicamente, estas ranuras tienen anchos de 13 a 19 mm.

## 6. LAS JUNTAS ESTANCAS INFLABLES

En función de lo expresado en los apartados anteriores, resulta evidente que en ambos casos de entrada de agua, a través de las juntas “waterstop” falladas o de los cortes realizados intencionalmente a causa de RAA, se necesita una técnica de reparación más efectiva y práctica que la mayoría de las que se vienen aplicando hasta ahora. Debido a ello, en este apartado y en los siguientes, se describen las juntas inflables estancas, cuyas aplicaciones y ventajas no son ampliamente conocidas, a pesar de que su utilización empezó hace más de 10 años.

### 6.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Su principio de funcionamiento está basado en la diferencia de presión entre el interior del tubo lleno de agua que las constituye y la presión hidrostática externa que ejerce el agua de la presa. Esta junta estanca cilíndrica, cerrada en el extremo inferior y abierta en el superior, se fabrica con un diámetro externo igual al diámetro del taladro o perforación en la que va alojada. Después de su colocación se rellena normalmente con agua hasta su extremo superior, que, usualmente, coincide con el de la presa. Debido a ello, el nivel de agua en el interior de la junta estanca está siempre varios metros por encima del nivel de agua en la presa y, en consecuencia, se mantiene el diferencial de presión mencionado al comienzo de este párrafo. Este diferencial de presión es

el que hace que la junta estanca cilíndrica se pegue a las paredes del taladro, evitando el paso de agua a través de la junta vertical en la que se ha colocado.

## 6.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Teniendo en cuenta lo anterior, estas juntas estancas deben ser suficientemente flexibles para (Dickes, 1998):

- permitir su colocación en taladros perforados a lo largo de las juntas constructivas o de las ranuras cortadas en las presas y
- para expandirse lateralmente (al menos un 15% a 0,4-0,6 bares) al rellenarlas con agua y sellar los taladros en los que se colocan y, en consecuencia, las juntas o ranuras que atraviesan.

Además, deben ser capaces de aguantar ambientes de alta alcalinidad, deben resistir los cambios de temperatura y de dimensiones de la presa que originan movimientos en las juntas de las presas y deben ser lo suficientemente rígidas para evitar que se metan en las ranuras hechas para mitigar los efectos de la RAA, con anchos de hasta 19 mm. Normalmente se especifica que no se metan más de 6 mm en ranuras de 13 mm de ancho, con 30 m de columna de agua. También se les exige que sean removibles, después de extraer con bomba el agua de su interior, reparables y reusables.

## 6.3. CONTROLES

Antes de su instalación se someten a una inspección visual en toda su longitud, a continuación se inflan con aire comprimido, a unos 0,2 a 0,4 bares, se cierra la válvula y se registran y controlan las presiones durante 72 horas como mínimo (Figura 1), exigiéndose que las pérdidas de presión sean nulas. De este modo se pueden notar aún las fugas más pequeñas. También se realiza una inspección de las juntas infladas para detectar cualquier defecto que podría afectar su comportamiento después de colocadas (Figura 2).



Figura 1. Ensayo de una junta inflable con aire a presión



Figura 2. Aspecto de las juntas estancas infladas con aire a presión

Las juntas estancas inflables para presas que se utilizan en la actualidad, se fabrican con un material multicomponente diseñado específicamente para esta aplicación (Figura 6). Aunque por su apariencia se pueden confundir erróneamente con una manguera de goma común, se fabrican a medida para cumplir con las especificaciones de cada caso particular y se inspeccionan y ensayan para que trabajen adecuadamente.

#### 6.4. CARACTERÍSTICAS DEL TALADRO EN EL QUE VAN COLOCADAS

El taladro o perforación es una parte crítica de la instalación de este tipo de juntas estancas.

Es fundamental que el taladro esté situado en la posición correcta. Esto es de particular importancia en el caso de reparación de juntas “waterstop”, en las cuales el taladro debe seguir la junta constructiva existente, porque de no hacerlo, el sellado no será completamente efectivo. En cambio, en el caso de cortes de presas por la RAA, esto es menos importante porque, por lo general, primero se realiza la perforación y después se corta la ranura con el hilo de diamante siguiendo el taladro.

La perforación se puede hacer con corona de diamante o a rotación, con martillo de fondo. Este último sistema es mucho más barato que el primero pero es menos preciso. Debido a ello, sólo se recurre al primer sistema cuando la posición del taladro es absolutamente crítica, por su posible interferencia con equipos, galerías, anclajes, etc.

En ambos casos, es crucial que las paredes del taladro queden lisas para que la junta estanca haga un cierre perfecto a causa del diferencial de presión mencionado en el apartado 6.1. Si esto no sucede, se deberá rellenar el taladro con lechada de cemento y reperforarlo con el sistema de perforación adecuado.

Una vez finalizados los taladros y antes de colocar las juntas inflables en su interior, se deben inspeccionar con video cámara para verificar que sus paredes son lisas, que se ha llegado a la profundidad prevista (por debajo del punto más bajo de la ranura o junta constructiva), que el agujero está libre de detritos o escombros o trozos de armadura que podrían pinchar las juntas o impedir su correcto funcionamiento.

Estas inspecciones permiten, además, ver el estado del hormigón y repararlo por medio de inyecciones antes de colocar la junta, en caso de ser necesario.

Después de esta inspección y una vez aprobado el taladro, se suele verter una pequeña cantidad de arena en su fondo para que sirva de asiento al extremo inferior cerrado de la junta inflable.

En general, se recomienda hacer otra inspección con video cámara después de colocada la junta.

## 7. EJEMPLOS DE APLICACIÓN

A continuación se resumen algunos de los casos más notables de aplicación de las juntas estancas inflables en Estados Unidos y en Canadá.

### 7.1. PRESA HARRY S. TRUMAN, VARSOVIA, MISSOURI, USA

En este caso se colocó una junta estanca inflable de 15 cm de diámetro y 40 m de longitud debido al fallo de la junta “waterstop” de cobre colocada durante la construcción de la presa, en 1964.

La perforación se realizó con una perforadora hidráulica (Klemm 704) dotada de martillo de fondo neumático, atravesando el fondo de la presa y llegando al sustrato rocoso.

Los primeros 12 m de la perforación fueron inspeccionados con plomada y video cámara, cada 4m, para controlar la verticalidad del taladro y el estado de sus paredes, respectivamente. Los restantes 28 m se inspeccionaron del mismo modo, cada 6 m.

Antes de instalar la junta estanca inflable el caudal que se filtraba llegaba a alcanzar un máximo de 1.200 litros/minuto en invierno. Después de su instalación se redujo a un valor prácticamente inapreciable.

Esta junta fue rellenada con agua potable, cuyo nivel varía con las contracciones y expansiones del hormigón de la presa, debidas a los cambios estacionales de temperatura, las cuales son seguidas por la junta estanca inflable, gracias a la flexibilidad del material que la compone.

## 7.2. PRESA HIWASSEE, CHEROKEE COUNTY, TENNESSEE, USA

En esta presa, que fue construida entre 1936 y 1940, se instalaron dos juntas estancas inflables de 15 cm de diámetro y 20 m de longitud, para sellar las ranuras que hubo que hacer debido a la RAA, a ambos lados de su aliviadero (Figura 3)

Las juntas se instalaron por primera vez en 1995, pero la RAA continuó y a causa de ello hubo que removerlos, cortar otra vez las ranuras e instalar unas nuevas juntas estancas inflables.



Figura 3. Vista de las dos ranuras cortadas a ambos lados del aliviadero principal de la presa Hiwassee, Tennessee, USA

## 7.3. PRESA CHICKAMAUGA, HAMILTON COUNTY, TENNESSEE, USA

En esta presa, que fue construida también entre 1936 y 1940, se instaló una junta estanca inflable de 20 cm de diámetro y 40 m de longitud, para sellar la ranura que hubo que hacer debido a la RAA.

Aquí el desafío fue instalar dicha junta con unos 25 m de columna de agua, fluyendo a través de la ranura mencionada (Figuras 4, 5, 6 y 7).

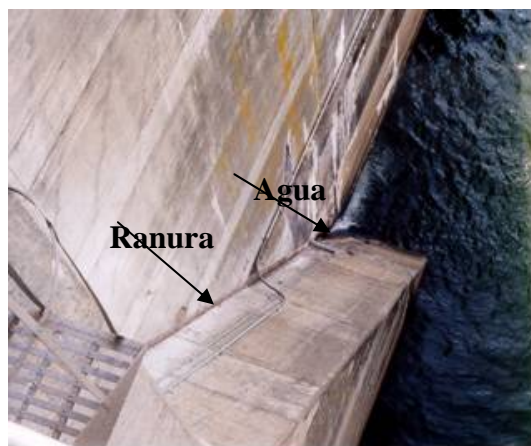


Figura 4. Flujo de agua a través de la ranura realizada en la presa Chickamauga, Tennessee, USA





Figura 5. Vista de la ranura sin agua, después de rellenar con agua la junta estanca, en la presa Chickamauga, Tennessee, USA



Figura 6. Vista de la junta estanca después de ser instalada (Presa Chickamauga, Tennessee, USA)



Figura 7. Detalle del anillo superior de fijación de la junta estanca mientras está siendo ajustado (Véase la ranura cortada en el hormigón y el aspecto de éste, en la presa Chickamauga, Tennessee, USA)

#### 7.4. ESTACIÓN GENERADORA MACTAQUAC, KESWICK RIDGE, CANADA

Debido a los movimientos generados por la RAA todas las instalaciones mecánicas de esta estación, construida entre 1965 y 1980, han tenido proble-

mas. A causa de esto, se han realizado ranuras de expansión en la estructura de toma, con anchos entre 10 y 13 mm.

Durante la ejecución de estas ranuras se han tenido muchas dificultades para controlar el agua, llegándose a construir ataguías temporales para lograrlo.

Para evitar el problema mencionado, se decidió utilizar dos juntas estancas inflables, de manera tal que se cortó la primera mitad de la ranura (la de aguas arriba) y se instaló una de estas juntas estancas y, posteriormente, se cortó la otra mitad de la ranura y se instaló la segunda junta estanca (Figuras 8 y 9).

Gracias al procedimiento seguido, con dos juntas estancas inflables, se logró realizar la ranura de expansión sin que pasara agua a través de ella.



Figura 8. Preparación de las juntas estancas para su instalación (Estación Generadora Mactaquac, Keswick Ridge, Canadá)



Figura 9. Vista de la tapa metálica de la primera junta estanca ya instalada y de la tapa de madera colocada sobre la perforación para instalar la segunda (Estación Generadora Mactaquac, Keswick Ridge, Canadá)

## 8. CONCLUSIONES

Las juntas estancas inflables para presas han demostrado ser un complemento efectivo para sellar las ranuras de expansión que se realizan para aliviar las presiones generadas por la reacción álcali-agregado del hormigón. Además, han probado su efectividad en la reparación de juntas “waterstop”, actualmente deterioradas, que fueron colocadas en las juntas constructivas de grandes presas de hormigón, durante su ejecución.

Las juntas estancas inflables se instalan en taladros de pequeño diámetro que se perforan desde la superficie. Debido a ello ya no hace falta realizar perforaciones de gran diámetro con membranas atornilladas a mano, en espacios confinados o bajo el agua, tal y como requerían los sistemas de junta “waterstop” anteriores. Esto ha hecho que se eliminen las condiciones de trabajo peligrosas y que se produzcan ahorros de tiempo muy importantes, lo cual se traduce en grandes disminuciones de costos.

## 9. REFERENCIAS

Dickes G., 1998, Project Submittals, “Remedial Waterstop Repairs at Monolith 5/6, Harry S. Truman Dam and Reservoir, Warsaw, Missouri”, United States Army Corps of Engineers, DACW-41-98-C0016.

MacDonald J.E. and Campbell R.L., 1986 “Repair of Waterstop Failures: Case Histories”, United States Army Corps of Engineers