

COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

COMPORTAMIENTO OBSERVADO DURANTE EL LLENADO DE LA PRESA DE RIALB

Raimundo Lafuente¹

Irene Domingo²

Antonio Soriano³

Juan Antonio Cea⁴

RESUMEN: La presa de Rialb, situada en el cauce del río Segre, fue construida con hormigón compactado con rodillo. La altura máxima de la presa es de 101 m y la longitud de coronación es de unos 605 m. En 1999 se inició el llenado de la presa de Rialb de acuerdo con el Plan de Puesta en Carga. Transcurridos más de diez años desde que se iniciase la puesta en carga, el llenado de la presa de Rialb prácticamente se ha completado.

En el presente artículo se recogen los aspectos más significativos del comportamiento observado durante el llenado de la presa de Rialb haciendo referencia principalmente a la auscultación hidráulica.

¹ ICCP, Confederación Hidrográfica del Ebro

² ICCP, Confederación Hidrográfica del Ebro

³ Dr. ICCP, Universidad Politécnica de Madrid

⁴ ICCP, Ingeniería del Suelo

1. INTRODUCCIÓN

En la primavera de 1999 se comenzó el llenado de la presa de Rialb de acuerdo al plan de puesta en carga inicialmente definido y las revisiones posteriores. Durante este período se ha efectuado la observación del comportamiento de la presa siendo fundamental para ello el seguimiento de los registros obtenidos mediante el sistema de auscultación instalado.

Actualmente, tras más de 10 años desde que se iniciase la puesta en carga, prácticamente se ha realizado el primer llenado completo. En el presente artículo, tras describir la presa y su cimiento, se analizan los resultados obtenidos mediante la auscultación hidráulica desde que se inició el llenado, así como los tratamientos realizados para ampliar el control y reducir las filtraciones.

2. LA PRESA Y SU CIMIENTO

La presa de Rialb, perteneciente a la Confederación Hidrográfica del Ebro, es de planta recta, con una longitud de coronación de unos 605 m y una altura sobre cimientos en la zona del cauce del orden de 101 m. El talud de aguas arriba es quebrado con una inclinación 0.15H:1V desde la coronación hasta la cota 386 m y 0.65H:1V a partir de ese nivel hasta la cota de cimentación. El talud de aguas abajo presenta una inclinación 0.65H:1V. La excavación se ha dispuesto con una pendiente media del 7%, inclinada hacia aguas arriba. La coronación de la presa queda a la cota 436 m y el aliviadero de labio fijo a la cota 430 m. La capacidad del embalse es de 403 Hm³.

El volumen total de hormigón empleado para ejecutar la presa ha sido del orden de 1.200.000 m³, de los cuales aproximadamente 1.050.000 m³ corresponden a hormigón compactado con rodillo. En la zona próxima al paramento de aguas arriba se ha colocado un hormigón con una pasta algo más rica en ligantes y tamaño máximo de árido de 70mm. En los paramentos y sobre la cimentación se ha empleado hormigón vibrado. La presa dispone de 17 bloques (bloque 10 a 21) con anchuras que, en general, son de 40 m.

La roca que constituye el cimiento de la presa de Rialb (Oligoceno Superior) se enmarca dentro de una serie sedimentaria, formada por unos bancos de areniscas de espesor variable entre 0,2 m y 2,0 m que alternan con niveles de margas y limolitas calcáreas. La estratificación del conjunto es subhorizontal con un ligero buzamiento hacia aguas arriba.

La cerrada de la presa de Rialb se localiza junto a un meandro. La margen derecha resulta claramente más pronunciada que la izquierda. En la ladera izquierda existe una zona, correspondiente al cimiento de los bloques 15 a 21, en la que la roca presenta una fracturación mayor.

La presa se ha equipado con un completo sistema de auscultación: termómetros, piezómetros, aforadores, extensómetros de hormigón, fisurómetros, medidores de juntas, extensómetros de varilla, balanza para el control del nivel de embalse, ternas en galería, bases de nivelación y colimación en la coronación, sistema de péndulos, etc.

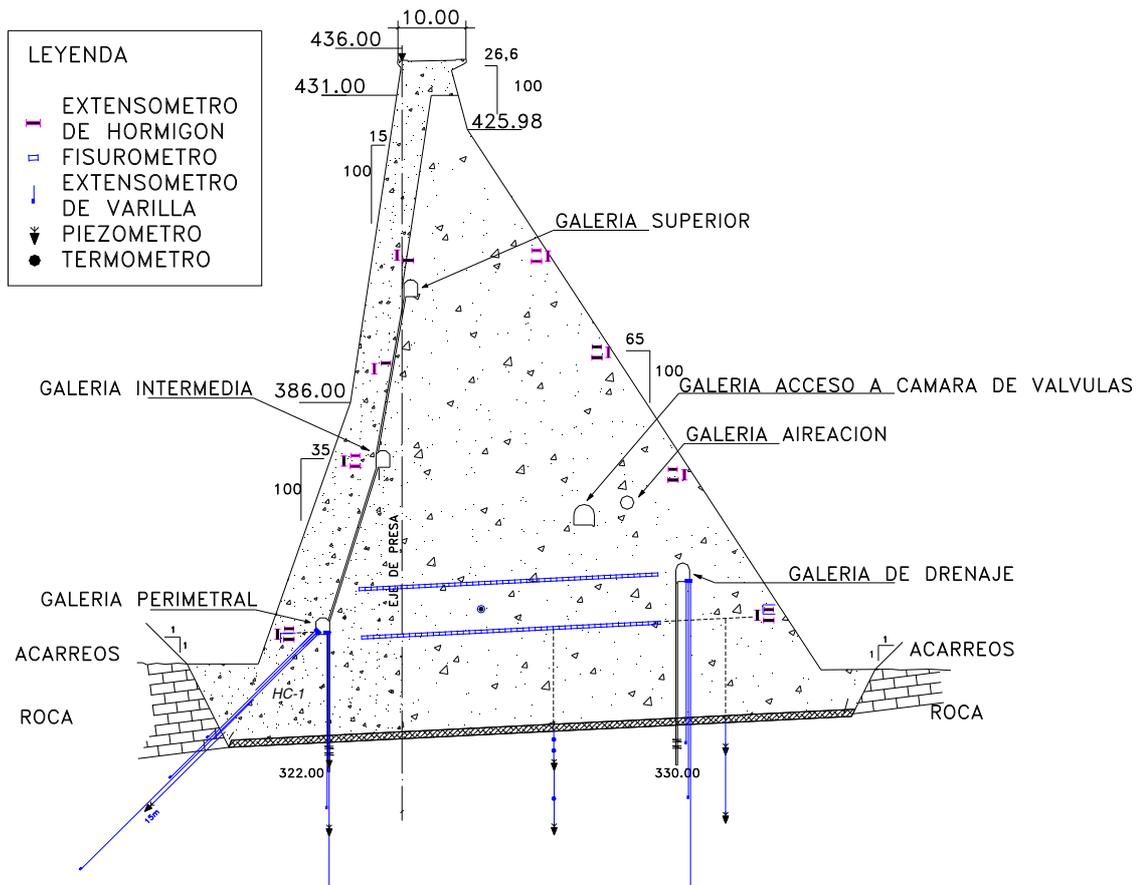


Figura nº 1. Sección tipo y ubicación de equipos de auscultación

3. PLAN DE PUESTA EN CARGA

En 1999 se editó el primer plan de puesta en carga correspondiente al llenado de la presa de Rialb. En ese documento se especificaban cuatro fases de llenado, con los correspondientes escalones de parada que permitieran determinar el comportamiento de la presa en cada fase. Para cada una de las fases de llenado se establecían unas velocidades máximas de ascenso, tiempo mínimo con el embalse a una determinada cota y velocidad de descenso.

Cuando se editó el primer plan de puesta en carga de la presa de Rialb se preveía completar el llenado en el año 2003. No obstante, posteriormente se han realizado dos revisiones del plan de llenado para tener en cuenta la historia de la evolución del nivel de embalse. Las cotas de embalse fijadas tras la última revisión del plan de puesta en carga son las siguientes:

- Nivel I +402. Fase completada en el año 2000.
- Nivel II +411. Fase completada en el año 2004.
- Nivel III +420. Fase completada en el año 2008.
- Nivel IV +428.

Al redactar el presente artículo el nivel de embalse lleva ya prácticamente dos meses por encima de la cota +428, por lo que podría darse por concluido el primer llenado completo (la cota +430 corresponde al MNE). En la Figura nº 2 se muestra la evolución del nivel de embalse desde que se inició la puesta en carga.

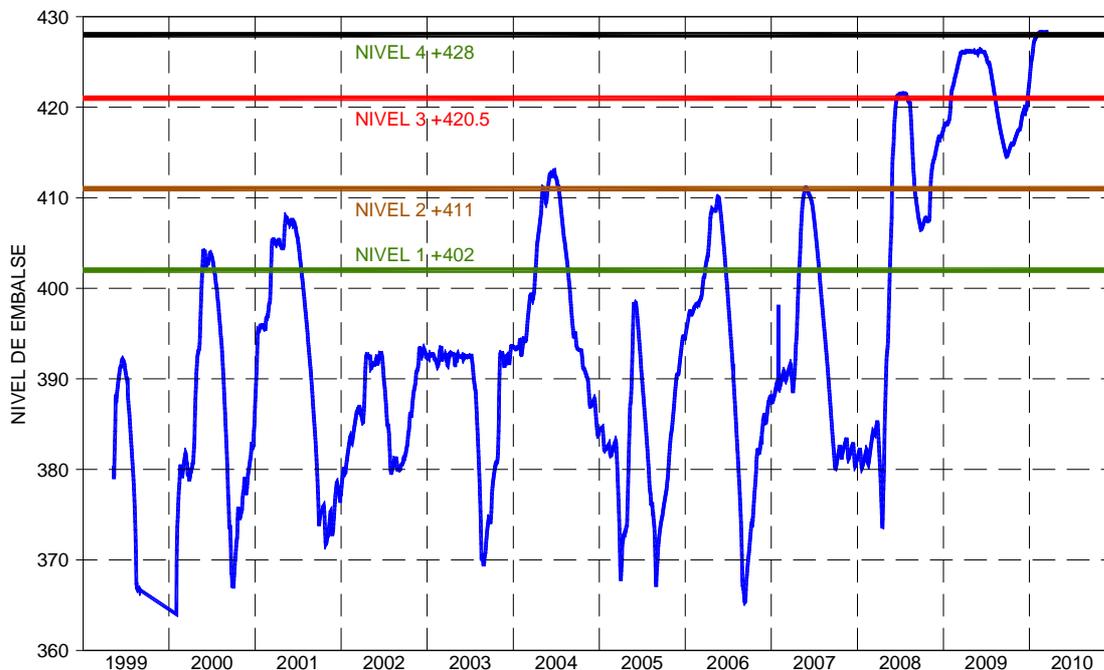


Figura nº 2. Evolución del nivel de embalse

4. EVOLUCIÓN TÉRMICA DEL CUERPO DE PRESA

Los bloques centrales de la presa son de grandes dimensiones, unos 80 m de longitud en la base y 40 m de anchura. La presa dispone de un extenso número de termómetros con los que efectuar la auscultación térmica. La temperatura ambiente media resulta del orden de unos 12°C.

En septiembre de 1998 se detuvo la colocación de hormigón en los bloques de la margen derecha. Las temperaturas máximas que se alcanzaron durante el fraguado fueron de los últimos bloques construidos algo más altas de lo habitual, del orden de 38°C. En los meses posteriores se produjo un descenso térmico acusado que provocó el agrietamiento de estos bloques. Las fisuras se investigaron y, coincidiendo con la época del año más fría, se trataron y sellaron con resinas y lechada de cemento.

En la Figura nº 3 se muestra un alzado térmico correspondiente al bloque 2 en la actualidad (febrero 2010). En esa figura se puede apreciar que aún quedan zonas en el interior del cuerpo de presa con temperaturas superiores a los 16 °C y con descensos térmicos anuales del orden de 0.1 °C. Los gradientes térmicos y la variación estacional de la temperatura son mayores junto a los paramentos y la coronación.

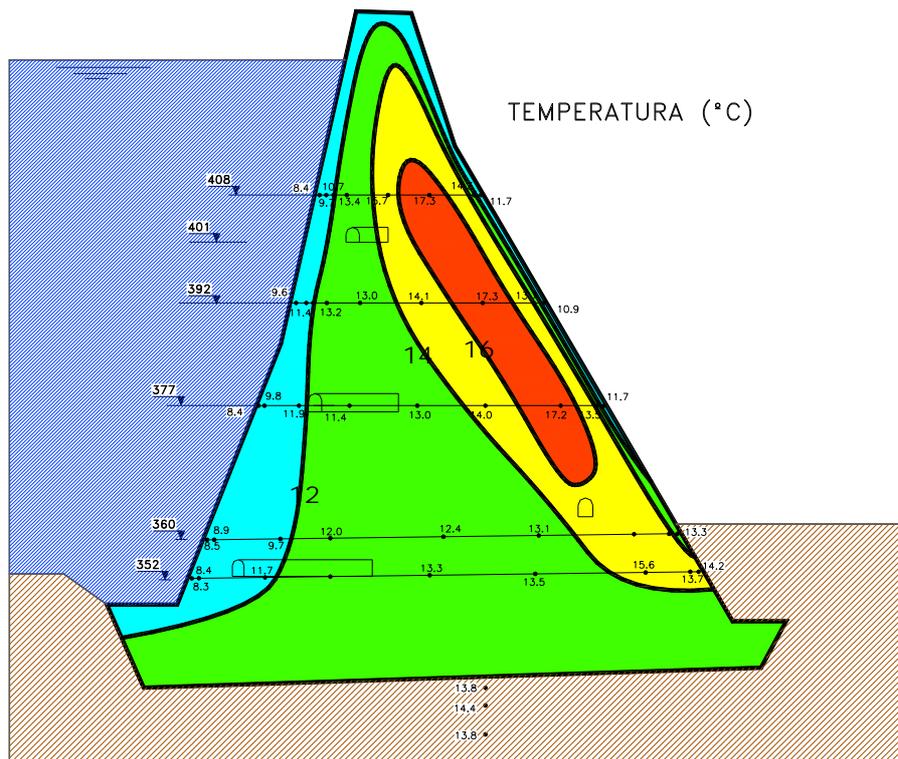


Figura nº 3. Alzado térmico correspondiente al bloque 2 (febrero 2010)

5. AUSCULTACIÓN DE MOVIMIENTOS

Se dispone de varios aparatos de auscultación que indican el movimiento del cuerpo de presa. Estos aparatos son los extensómetros de varillas, los péndulos y las medidas de nivelación y colimación de la coronación, además de los medidores de juntas que proporcionan los movimientos relativos de los bloques.

Para la medida de las deformaciones de la cimentación se instalaron durante la construcción de la presa 25 extensómetros de varillas de tres anclajes. Actualmente los extensómetros de varillas ya no se encuentran operativos, pero con estos equipos se pudo medir con precisión el asiento debido a la construcción de la presa. El máximo asiento que puede haber inducido la construcción de la presa ha resultado próximo a los 2 cm en el bloque B-7.

Los movimientos horizontales controlados con los péndulos indican que el comportamiento es acorde con lo esperado (movimientos de unos milímetros).

Los movimientos medidos en las juntas llegaron a valores máximos de apertura debido a las primeras fases de enfriamiento en torno a 8-9 mm en la junta de los bloques 11-13 y 5-6 mm en la junta de los bloques 6-8. Los movimientos medidos en los últimos años han sido pequeños, salvo en la zona de coronación donde la influencia de la variación térmica ambiental es mayor.

6. AUSCULTACIÓN HIDRÁULICA

En enero de 2009, con el nivel de embalse aproximadamente a la cota +420, se registró el máximo aforo en el interior del cuerpo de presa, que resultó del orden de 40 l/s. Este valor corresponde a los aforos de las cunetas de las galerías donde se recoge la filtración que se desarrolla por el interior del cuerpo de presa y el caudal aportado por los drenes del cimiento.

Poco después, en los primeros días del mes de marzo de 2009, con el nivel de embalse a la cota +425, se obtuvo el máximo aforo de las filtraciones exteriores, que resultó también próximo a 40 l/s (~35 l/s ladera izquierda y ~5 l/s ladera derecha). En marzo de 2010, con el nivel de embalse ligeramente por encima de la cota +428, la filtración del cuerpo de presa resulta del orden de 15 l/s y la filtración exterior de unos 20 l/s.

En la Figura nº 4 se muestra la evolución de las filtraciones y el nivel de embalse.

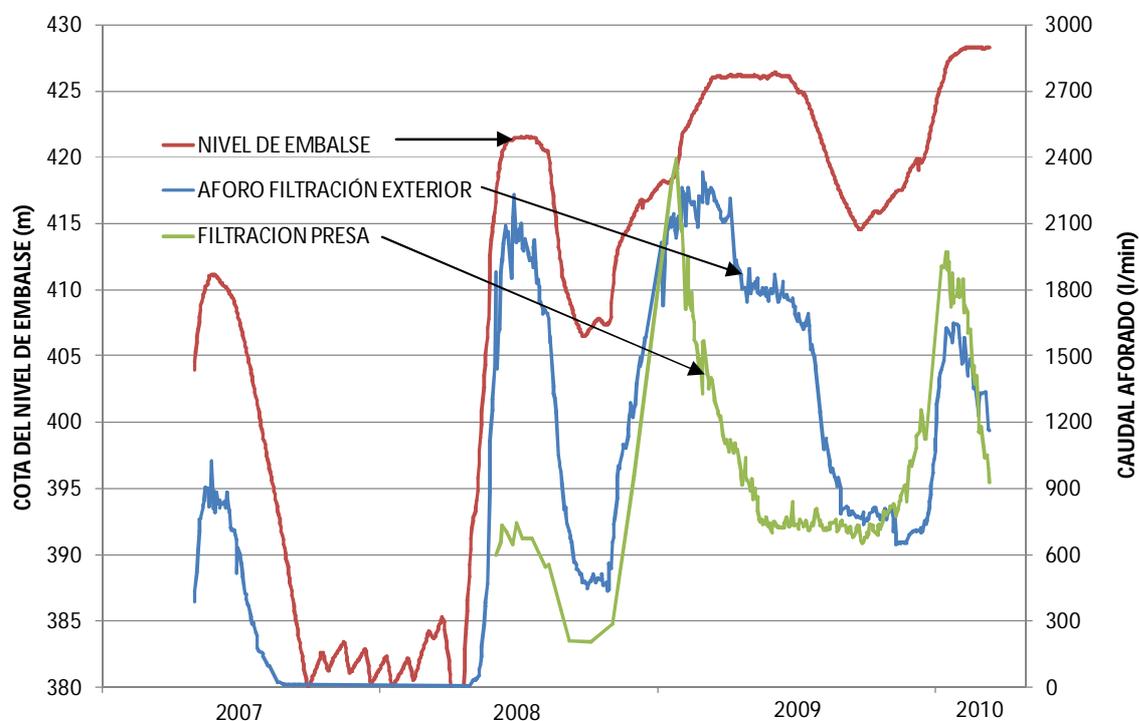


Figura nº 4. Nivel de embalse – filtración aforada

6.1 CUERPO DE PRESA

Debido a las filtraciones que se observaron en la zona baja de la presa al iniciarse el proceso de llenado del embalse, se vio necesario y se realizó un tratamiento del hormigón próximo al paramento de aguas arriba mediante la inyección de lechada de cemento y microcemento. Después con la subida del nivel de embalse se incrementaron las filtraciones en el interior del cuerpo de presa. El caudal afluyó principalmente a través de las juntas y fisuras.

El caudal aportado por los drenes del cimientado al total aforado en el interior del cuerpo de presa es reducido. La mayor parte del caudal proviene de filtraciones a través de fisuras, juntas y los propios drenes del cuerpo de presa.

A los caudales de las filtraciones que se desarrollan por el interior del cuerpo de presa afectan numerosos factores: nivel de embalse, tratamientos efectuados, proceso de autocolmatación de las vías de filtración, efecto térmico, etc. Parece que presenta una influencia notable el efecto térmico, pues los valores más altos del caudal filtrado se han registrado en la segunda quincena del mes de enero en los años 2009 y 2010 (épocas frías con acortamiento del hormigón más notorio). Con posterioridad a esas fechas el caudal filtrado se ha reducido considerablemente. Parece que la variación de la temperatura podría tener una influencia algo mayor en las filtraciones del cuerpo de presa que la propia variación de la cota de embalse.

En la Figura nº 5 se muestra un alzado de la presa con los puntos de aforo de los caudales filtrados y los valores aforados el día 16 de marzo de 2010. Ese día el nivel de embalse se encontraba a la cota + 428.3, la más alta alcanzada hasta el momento y la suma de los caudales aforados en el interior de la presa fue del orden de 900 l/min. No se observa una zona clara donde se concentren las filtraciones.

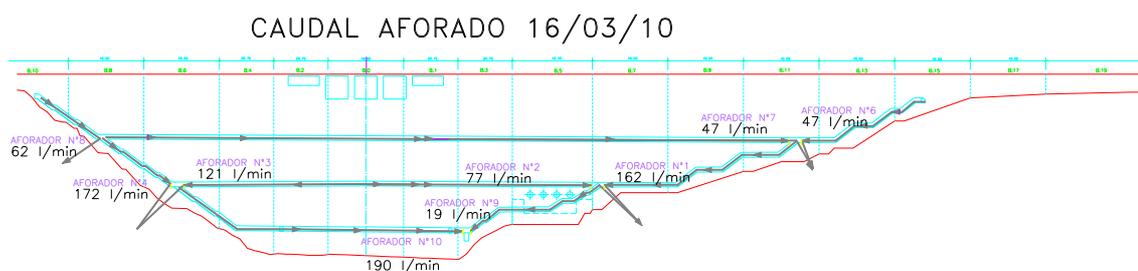


Figura nº 5. Aforos interior cuerpo de presa

6.2 DRENES DEL CIMIENTO

El nivel piezométrico en el cimientado se controla mediante los piezómetros de cuerda vibrante, la medida de presión en los drenes y los piezómetros abiertos dispuestos en la ladera izquierda.

En la Figura nº 6 se muestran los niveles piezométricos en febrero de 2010 en el bloque 11. Al interpretar los registros obtenidos con los piezómetros del cimientado debe considerarse que algunos equipos se han instalado en niveles areniscosos y otros en niveles margosos. En la Figura nº 6 se observa que el nivel piezométrico en la ladera resulta mayor que en la cimentación del bloque en la zona próxima al pie de aguas abajo. Las subpresiones en este bloque, y en algún otro de la margen izquierda, resultan algo superiores a las que deberían producirse en una situación normal de explotación.

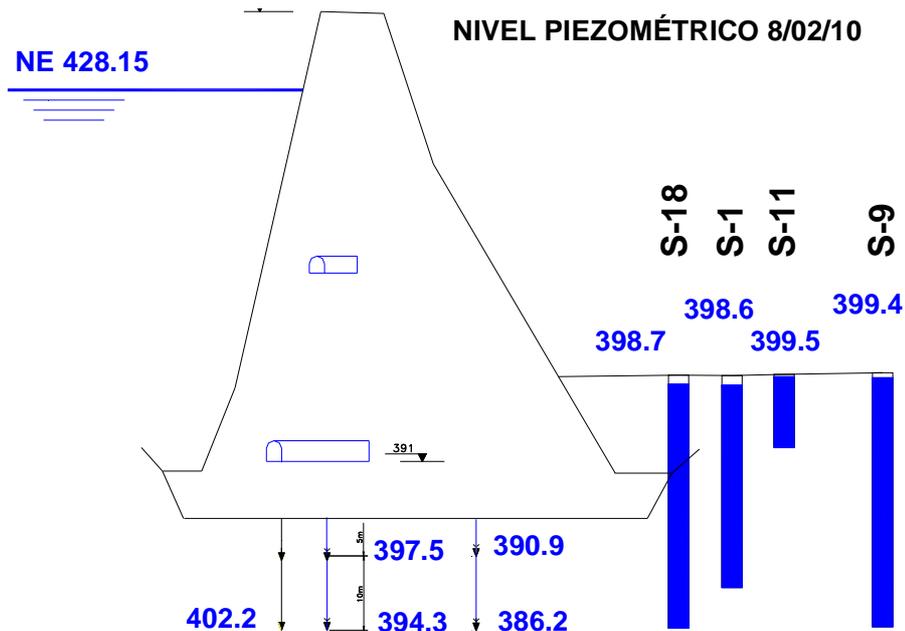


Figura nº 6. Nivel piezométrico bloque 11 (febrero 2010)

6.3 LADERA DE LA MARGEN IZQUIERDA

6.3.1 Filtración

En el mes de mayo del año 2000, cuando el nivel de embalse superó por primera vez la cota +400, se apreció la aparición de una vía de filtración importante en la ladera izquierda. Esto llevó a aumentar la auscultación hidráulica en esta zona.

En la ladera izquierda se instalaron en total 18 piezómetros abiertos y se estableció un procedimiento para aforar los caudales filtrados. En relación con el seguimiento de las filtraciones de esta ladera se está realizando recientemente un esfuerzo importante, pues se toman lecturas diarias de niveles piezométricos y aforos de caudales filtrados.

En relación con las filtraciones que se producen en la ladera izquierda se han efectuado diversas investigaciones: análisis químico de muestras de agua tomadas en puntos de surgencia, reconocimiento geofísico (sísmica de reflexión y tomografía), perforaciones correspondientes a los trabajos realizados (piezómetros abiertos y taladros para inyección). De los resultados de estas investigaciones se deduce que el agua filtrada procede casi exclusivamente del embalse y que existe una zona de roca más fracturada entre los bloques 15 y 21 donde parece que podría discurrir la filtración.

En la Figura nº 4 se mostraba la evolución del caudal total filtrado en las laderas. La mayor parte de la filtración exterior se recoge en la ladera izquierda. Este caudal de filtración está relacionado principalmente con la evolución del nivel de embalse; cada vez que el nivel de embalse alcanza un estrato de arenisca, se observan variaciones tanto en los caudales filtrados como en los niveles piezométricos. Pero además dicho caudal también se ve afectado por las precipitaciones

Durante la construcción de la presa se efectuaron varias campañas de inyección para formar la pantalla de impermeabilización en esta zona próxima al estribo izquierdo. Debido a la aparición de las filtraciones en la ladera, al iniciarse el llenado, se han efectuado trabajos de refuerzo y prolongación de la pantalla de impermeabilización. Actualmente (marzo de 2010), con el embalse aproximadamente a la cota +428, los caudales filtrados en la ladera izquierda se han reducido a valores del orden de la mitad de los que se registraron en marzo de 2009, cuando el nivel de embalse se encontraba a una cota algo inferior.

Los puntos de control de aforos correspondientes a la filtración exterior de la ladera izquierda han variado desde que se inició este seguimiento. En el último año no se ha producido ninguna variación en relación con el procedimiento de aforo (puntos de control), por lo que los caudales aforados son directamente comparables. La reducción mayor de la filtración se ha producido en la zona alta de la ladera, la que se localiza por encima de la cota +399.

Parte del agua que se recoge como filtración en la ladera izquierda es probable que provenga de filtraciones que se produzcan a través del propio cuerpo de presa. Por tanto, el incremento de la temperatura, con el correspondiente cierre de juntas y fisuras, que ha provocado una reducción de las filtraciones en el cuerpo de presa, podría haber influido quizá algo en el caudal de filtración que se controla en la ladera.

Si bien las filtraciones que se producen en la ladera izquierda se han reducido, aún quedan zonas amplias con surgencias de agua. Incluso en algunos puntos se han producido pequeñas inestabilidades superficiales en el relleno dispuesto sobre la roca para restituir la morfología de la ladera. Las aguas que se filtran por el cimientado deben hacerlo principalmente por juntas en paquetes de areniscas y afloran limpias. No se han visto arrastres. No es fácil que se esté produciendo ningún proceso erosivo sin que se vean síntomas de arrastre en las filtraciones. De todos modos, resulta necesario recoger y encauzar las filtraciones por lo que está previsto construir un filtro inverso con el que cubrir la ladera izquierda.

6.3.2 Nivel piezométrico

En la Figura nº 7 se muestra una planta con el nivel piezométrico medido en marzo de 2010 en los piezómetros abiertos instalados en la ladera izquierda. En esa fecha el nivel de embalse se encontraba a la cota +428.3. En esta figura se ha incluido la cota de emplazamiento de cada piezómetro. Los piezómetros se han dispuesto en torno a las cotas +400, +420 y +436.

En la parte baja de la ladera a la presa se produce una surgencia difusa del agua. A la cota +420 el piezómetro más próximo al paramento presenta un nivel piezométrico claramente superior a los del resto de piezómetros dispuestos a esta cota. A la cota +436 el piezómetro S-6 presenta un nivel piezométrico próximo al nivel de embalse. La filtración podría concentrarse en la zona del estribo donde la roca se ha observado que se encuentra más fracturada y canalizarse a través del relleno dispuesto sobre el tacón del pie de presa.

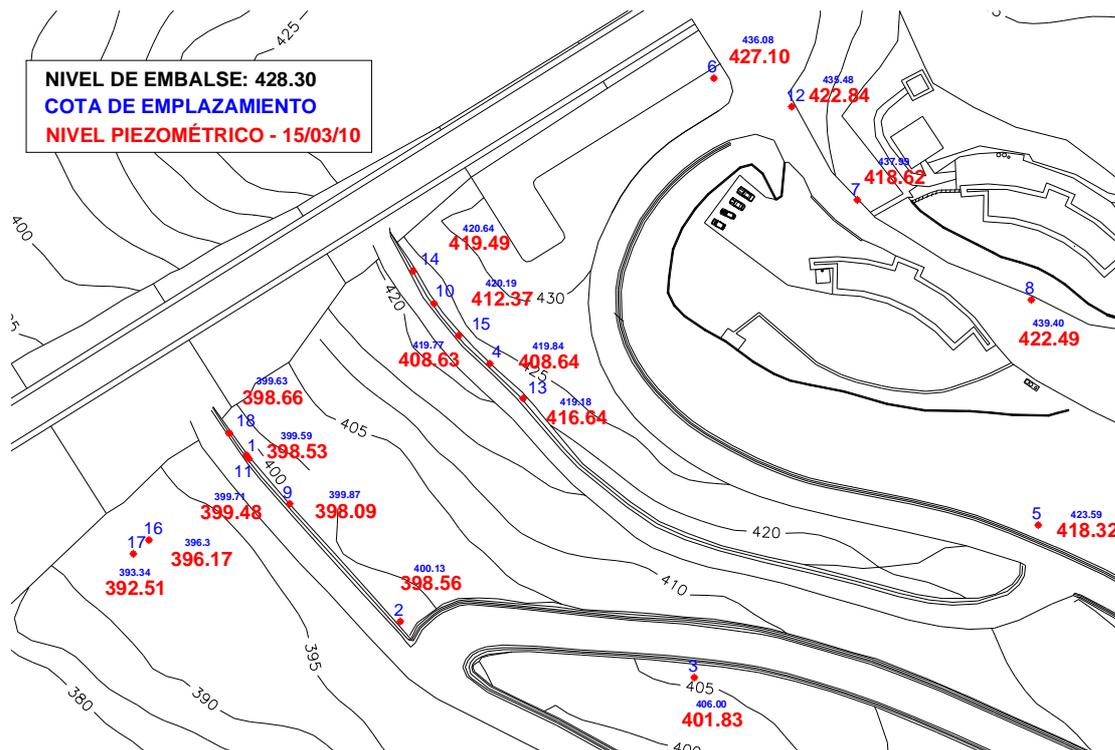


Figura nº 7. Planta con nivel piezométrico - ladera izquierda

En la Figura nº 8 se muestra la evolución del nivel piezométrico registrado en los piezómetros instalados a diferentes cotas en la ladera izquierda. En esta figura se puede apreciar lo siguiente:

- El nivel piezométrico está relacionado con la presencia de los niveles areniscos. Cuando el nivel de embalse se sitúa por debajo de la cota 385 los niveles piezométricos en la ladera son superiores al nivel de embalse. En esta situación los niveles piezométricos se sitúan en torno a las cotas 385, 395 y 400. Estas cotas podrían corresponder a la parte inferior de diferentes niveles de arenisca.
- Los piezómetros S-16 y S-18 (con cota de boca 396 y 400 respectivamente) presentan respuesta a la subida del nivel de embalse cuando se supera la cota 385 y surgencia de agua cuando el nivel de embalse supera la cota 410.
- Aproximadamente a la cota 420 se encuentran los piezómetros S-14 (junto al paramento) y S-10 (situado a unos 20 m del paramento). La respuesta en estos piezómetros es similar cuando el nivel de embalse no supera la cota 418. Cuando supera esa cota el nivel piezométrico medido en el piezómetro más próximo a la presa es varios metros superior (prácticamente se produce surgencia de agua en el piezómetro S-14). Es posible que el agua circule desde la parte alta de la ladera por el relleno dispuesto sobre el tacón de pie de presa donde se ha instalado el piezómetro S-14 y no afectaría, por tanto, al piezómetro S-10.

- El piezómetro S-6 responde prácticamente sin desfase ni reducción a la subida del nivel de embalse cuando éste supera la cota +395. En este punto se mide, desde que se inició el control, el nivel piezométrico más alto en la ladera. En esta zona, al realizar los trabajos correspondientes a la pantalla de impermeabilización, se han observado comunicaciones con el embalse y se han registrado las mayores admisiones al inyectar.

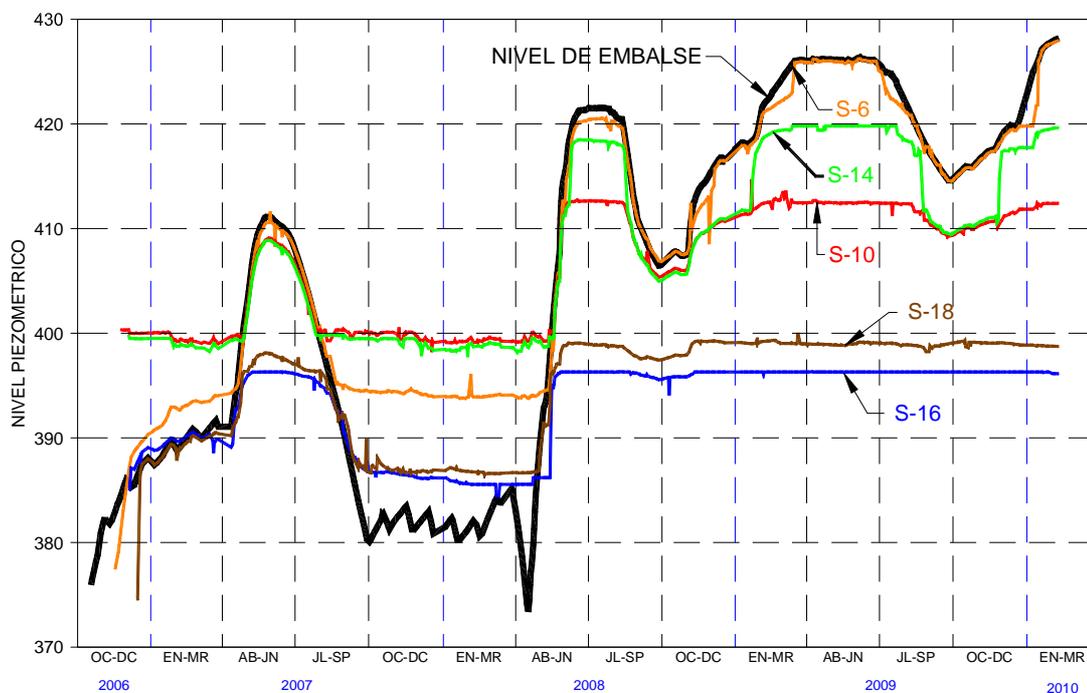


Figura nº 8. Evolución del nivel piezométrico en la ladera izquierda

7. REFUERZO DE LA PANTALLA DE IMPERMEABILIZACIÓN

Durante la construcción de la presa, al realizar el tratamiento correspondiente a la pantalla de impermeabilización en la zona del estribo izquierdo, se observó que las admisiones eran elevadas en esa zona (hasta 500 kg/ml de consumo medio de lechada de cemento en algunos tramos en distintos taladros). En la perforación de los taladros se producía la pérdida del agua de perforación en esta zona de roca más fracturada.

Desde que se advirtieron las filtraciones en la ladera izquierda, durante las primeras fases de llenado, se han venido realizando trabajos de refuerzo de la pantalla de impermeabilización en la zona más próxima al estribo izquierdo desde la coronación de la presa e incluso se ha ampliado el tratamiento fuera de la presa en prolongación con la misma. Debido a la morfología que presenta la ladera izquierda y al estado de la roca (más diaclasada) se consideraba que parte de la filtración podría producirse a través de la ladera más allá de donde termina la presa. En la Figura nº 9 se muestra la zona de refuerzo de la pantalla de impermeabilización.

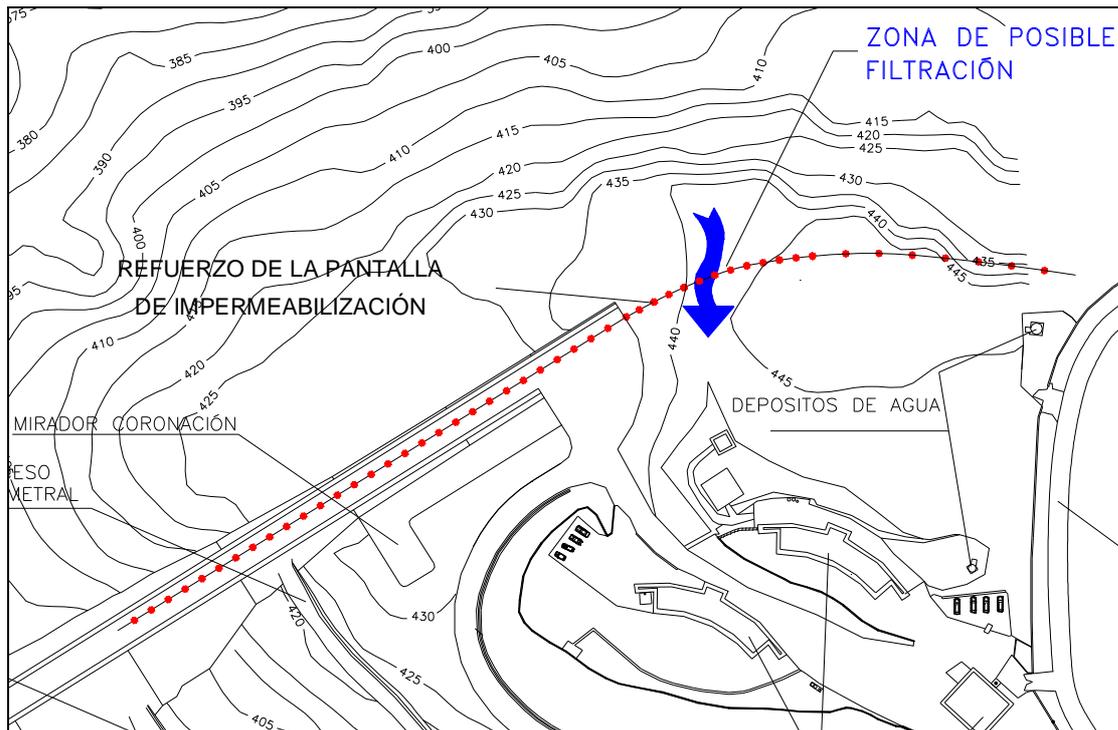


Figura nº 9. Refuerzo de la pantalla de impermeabilización

Desde el año 2004 el Parque de Maquinaria del Ministerio de Medio Ambiente ha venido realizando los trabajos de refuerzo de la pantalla de impermeabilización que aún continúan.

En la última campaña de inyecciones se han efectuado algunos taladros en coronación de la presa por delante del piezómetro S-6. Al efectuar la perforación de estos taladros se apreciaron comunicaciones directas con el embalse. En algún taladro aislado, a pesar de haberse realizado varias fases de tratamiento (la separación entre taladros es reducida) se han registrado admisiones de lechada de cemento superiores a 500 kg/ml entre las cotas 395 y 420. Las mezclas de inyección se espesaban e incluso se inyectaba mortero en función de las admisiones registradas y de las presiones de cierre alcanzadas.

Está previsto continuar con las actuaciones encaminadas a reducir las filtraciones. Los trabajos a realizar corresponderían al refuerzo de la pantalla de impermeabilización, inyección de las juntas de la presa, inyección de fisuras y zonas de filtración en el cuerpo de presa. También se prevé continuar con la rehabilitación del drenaje, tanto del cuerpo de presa como del cimiento.



Figura nº 10. Presa vertiendo por la base del aliviadero (zona de compuertas)

8. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Prácticamente ya se ha completado el primer llenado del embalse de Rialb. El comportamiento observado tanto durante la construcción como durante el llenado resulta adecuado. El aspecto más singular que se ha puesto de manifiesto con el llenado corresponde a la auscultación hidráulica de la ladera izquierda.

Las presiones en el cemento de algunos bloques han resultado algo superiores a las recomendables para situaciones normales de explotación. Los niveles piezométricos en la ladera izquierda resultan también algo elevados.

Los cambios térmicos en el interior de la presa son ya reducidos. No se han observado nuevos agrietamientos en la presa.

Las filtraciones que se producen a través del cuerpo de presa se han venido reduciendo durante el propio proceso de llenado. En estas filtraciones se ha comprobado que influye de modo muy significativo la temperatura ambiente. Los mayores caudales se han producido hasta el momento en la segunda quincena de enero, si bien en el último año, con una cota de embalse superior a la del año anterior el caudal aforado fue menor.

Las filtraciones que se producen en la ladera izquierda también se han reducido a pesar de incrementarse la cota de embalse. Los tratamientos realizados han logrado que los caudales de estas filtraciones resulten claramente inferiores a las que se produjeron con cotas de embalse más bajas.

De todos modos, está previsto continuar con los trabajos para recoger y encauzar las filtraciones mediante la construcción de un filtro inverso en la lade-

ra izquierda. También se prevé continuar con los tratamientos para reducir las filtraciones y rehabilitar el sistema de drenaje.

9. REFERENCIAS

F.J. Hijós y F. Moreno. (1995). Rialb Dam". Proceedings of the International Symposium on rolled compacted concrete dams. ICOLD. Santander. 2-4 octubre 1995. Vol. 2. Pág. 937-950.

F.J. Hijós, J. Alcazar y F. Lafuente. (1997). "La presa de Rialb una demanda histórica". Revista Cauce 2000 Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos nº 82 Septiembre-Octubre 1997.

F.J. Hijós y M. Zueco (1998) "Rialb Dam: some project safety criteria". Proceedings of the International Symposium on new trends and guidelines on dam safety. Barcelona 17-19 junio 1998. Pág. 1.475-1.482.

F.J. Hijós y M. Zueco (2000) "La puesta en carga de la presa de Rialb" (2000). Jornada técnica sobre presas de Hormigón compactado. IECA Madrid 23 de Mayo 2000 Madrid.

F.J. Hijós y M. Zueco (2000). "The Rialb Dam Mixed Spillway Gates". Question 79. Twentieth Congress on Large Dams. Beijing. China. 19-22 Septiembre 2000. Vol IV. Págs. 847-860.

F. J. Hijós y M. Zueco (2000). "Rialb dam affections management". Question 77. Twentieth Congress on Large Dams. Beijing. China 19-22 Septiembre 2000 Vol IV págs. 861-879.

F.J. Hijós, A. Soriano y J.A. Cea (2002). "La auscultación de la presa de Rialb". VII Jornadas Españolas de Presas. Zaragoza, 29-31 de mayo de 2002. Vol. III. págs. 327-336.

R.J. Lafuente, R. Gómez, I. Domingo y J.A. Gesti (2008). "Estudio de soluciones para las filtraciones de la ladera izquierda de la presa de Rialb (Lérida)". VII Jornadas Españolas de Presas. Córdoba, 26-28 de noviembre de 2008.