

COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

ANÁLISIS DEL LLENADO DE LA PRESA DE ITOIZ

Raimundo Lafuente¹

Irene Domingo²

Antonio Soriano³

Jesús González⁴

RESUMEN:

El Plan de Puesta en Carga de la presa de Itoiz comenzó el 19 de enero del año 2004 finalizando con éxito el 9 de octubre del 2008. Para poder realizar un adecuado seguimiento de la seguridad de la presa, el Plan de Llenado se ha realizado en seis etapas. En algunas de estas fases se ha verificado el comportamiento frente al desembalse de las laderas y del cimiento. Al final de cada una de las etapas se ha realizado un informe de auscultación en el que se analizaba el comportamiento de la presa hasta ese momento y se aprobaba o no continuar el Plan de Puesta en Carga.

En este artículo se resumen los aspectos más importantes del comportamiento durante el Plan de Llenado de la presa y su cimiento, de la presa auxiliar y su cimiento y del paleodeslizamiento denominado megacapa.

¹ ICCP, Confederación Hidrográfica del Ebro

² ICCP, Confederación Hidrográfica del Ebro

³ Dr. ICCP, Universidad Politécnica de Madrid

⁴ Dr. ICCP, Universidad Politécnica de Madrid

1. INTRODUCCIÓN

El embalse de Itoiz se encuentra en el río Irati aguas abajo de la afluencia del río Urrobi y aguas arriba de la población de Aoiz. La finalidad de este embalse es regular una aportación media anual de 590 hm³ procedente de los caudales de estos dos ríos. El embalse tiene una capacidad de 418 hm³.

La presa es de gravedad de planta recta con una altura sobre cimientos de 122 metros y 525 metros de longitud en su coronación (la cota de coronación es la 592 m). El talud del paramento de aguas abajo es de 0,75H:1V, mientras que el de aguas arriba presenta un quiebro en su desarrollo a la cota 515,00; siendo el talud por encima del mismo de 0,05H:1V y por debajo 0,40H:1V. En la Figura nº 1 se muestra la sección tipo de la presa del bloque nº 3, reflejando la auscultación dispuesta en el mismo.

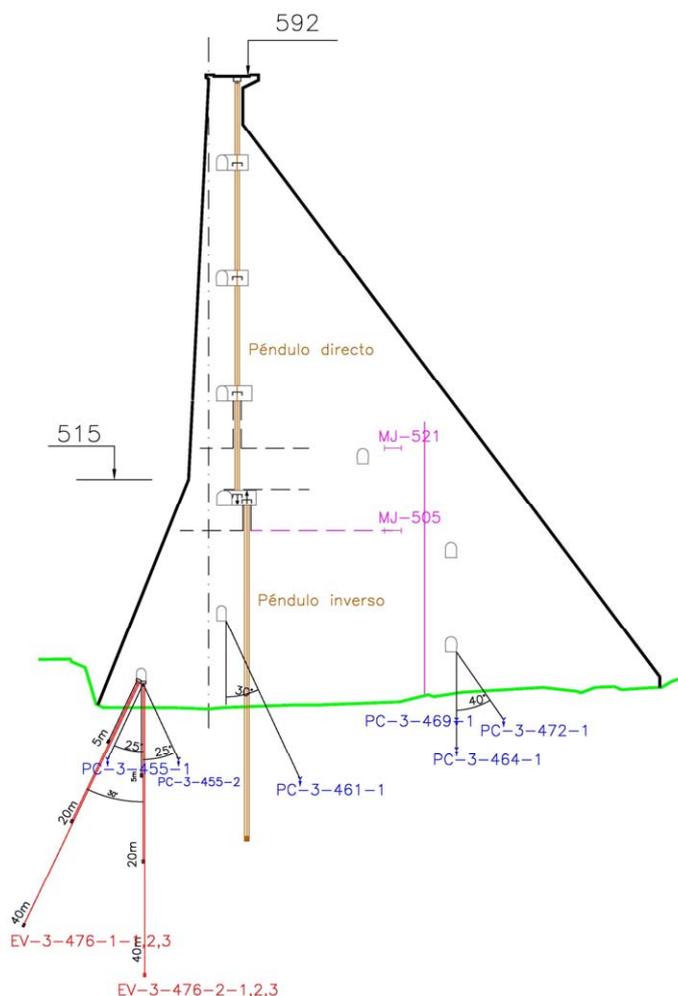


Figura nº 1.- Sección tipo del bloque nº 3

Con objeto de cerrar un collado situado en la margen derecha del propio embalse ha sido necesaria la construcción de una pequeña presa a la que denominamos presa auxiliar. La presa auxiliar se corona a la misma cota que la principal. Su altura sobre cimientos se reduce a unos 24 metros con un desarrollo de su coronación de 132 metros.

La cimentación de la presa se encuentra sobre una secuencia constituida por margas y margo-calizas eocenas, con potentes intercalaciones de niveles con facies más carbonatadas localmente brechoidales con espesores variables entre 15 y 25 metros. La serie presenta una marcada estratificación de rumbo sensiblemente NS a N 30° E, con buzamientos suaves entre 18° y 24° hacia el W. Se trata de unos materiales con mediana a alta resistencia, medianamente a poco alterables y en general poco permeables.

2. PLAN DE LLENADO

El plan de llenado del embalse de Itoiz se dividió en seis fases tal como se indica en la Tabla I.

Tabla I.- Fases del Plan de Llenado

| Fase | Objetivos | Nivel de embalse a alcanzar | Tiempo de espera posterior |
|------|---|-----------------------------|----------------------------|
| 1 | Alcanzar cota 536,00 (Nivel de Llenado 1) | 536,00 | 2 meses |
| 2 | Alcanzar cota 561,00 (Nivel de Llenado 2) | 561,00 | 2 meses |
| 3 | Descender hasta Nivel de Llenado 1 | 536,00 | 1 mes |
| 4 | Alcanzar cota 586,00 (Nivel de Llenado 3) | 586,00 | 2 meses |
| 5 | Descender hasta Nivel de Llenado 2 | 561,00 | 0-1 meses |
| 6 | Descender hasta Nivel de Llenado 1 | 536,00 | Ninguno |

La primera etapa comenzó el 19 de enero de 2004. Tras cerrar los desagües de fondo se alcanzó la cota 536 m con un ritmo de elevación del orden de 1 m/día. Tras un pequeño desembalse durante los meses de agosto y septiembre, el 15 de octubre de 2004 comenzó la segunda fase que concluyó el 16 de marzo de 2005, tras llegar la lámina de agua a la cota 561. La velocidad media de ascenso fue de 0,6 m/día. Este nivel se mantuvo prácticamente estacionario durante dos meses. Una vez comprobada la correcta respuesta de la presa como del cimientado se procedió a desembalsar hasta alcanzar nuevamente el Nivel de Llenado 1 (cota 536), tal como estaba contemplado en la tercera etapa del Plan de Puesta en Carga. La velocidad de dicho descenso estuvo limitada a 0,3 m/día hasta la cota 548,5 y 0,5 m/día hasta la cota 536. La cuarta fase, cuyo objetivo era alcanzar la cota 586 m, comenzó el 12 de octubre de 2005. Pero cuando el 6 de enero de 2006 se alcanzó la cota 561 m se decidió mantener ese nivel dos meses. A continuación se llevó a cabo el desembalse debido a que era necesario suministrar agua a los regantes de aguas abajo. En el otoño de 2006 se comenzó a elevar de nuevo el embalse. Sin embargo, las aportaciones no permitieron llegar al nivel del embalse previsto (cota 586 m) aunque se alcanzó la máxima cota histórica hasta ese instante (\cong 582,5 m).

Finalmente, a finales de marzo de 2008 se alcanzó la cota prevista en la cuarta etapa del Plan de Puesta en Carga (586 m), manteniendo posteriormen-

te este nivel constante durante unos dos meses. El Director del Plan de Puesta en Carga aprobó la posibilidad de alcanzar la cota 588 m para que se produjera un cierto vertido de agua por el aliviadero y, así, probar el funcionamiento del mismo. Esta posibilidad venía recogida en el Plan de Puesta en Carga y así se hizo a finales de abril de 2008. Ver Fotografía nº 1.



Fotografía nº1.- Imagen de la presa vertiendo por el aliviadero

El 16 de julio de 2008 comenzó la 5ª Fase del Plan de Puesta en Carga que consistió en el descenso de la lámina de agua hasta el Nivel de Llenado 2 (cota 561 m). Una vez alcanzada dicha cota estaba previsto que el nivel del embalse quedara estabilizado durante un mes. A continuación se proseguiría el desembalse hasta el Nivel de Llenado 1 (cota 536 m) (6ª Fase del Plan de Puesta en Carga). Sin embargo, debido a que entre el 15 de junio y el 15 de septiembre se desarrolla cada año el período de explotación extraordinario, en el apartado nº 8 del Plan de Puesta en Carga venía indicada la posibilidad de continuar el descenso sin espera alguna. Una vez que se comprobó que el comportamiento de la presa y su cimiento era correcto el Director del Plan de Puesta en Carga aprobó continuar con la 6ª Fase del Plan de Puesta en Carga. El 9 de octubre de 2008 se alcanzó nuevamente la cota 536 m, y tras comprobarse que todos los datos eran correctos se dio por finalizado el Plan de Puesta en Carga.

Desde ese momento la presa se está explotando con normalidad realizando informes de auscultación periódicos para comprobar el buen comportamiento de la presa y de su cimiento. En la Figura nº 2 se puede consultar la variación del nivel del embalse hasta finales del año 2009.



Figura nº 2.- Evolución del nivel del embalse

3. DEFORMACIONES DEL HORMIGÓN

Para conocer las tensiones del hormigón es más sencillo hacerlo de manera indirecta a partir de las deformaciones del hormigón. Para ello se han colocado extensómetros de cuerda vibrante. Se han auscultado cuatro bloques: nos 3, 4, 8 y 9 con varios niveles de control a distintas cotas. La variación del estado tensional del hormigón es debida a dos causas fundamentalmente: a la variación del nivel del embalse y a la oscilación de la temperatura del hormigón. La presa actualmente ha alcanzado su equilibrio térmico con la temperatura ambiente. Por tanto, la zona central de los bloques se encuentra a una temperatura prácticamente constante. Sólo cerca de los paramentos la temperatura oscila anualmente con la variación de la temperatura ambiente.

En la Figura nº 3 se ha dibujado la evolución del nivel del embalse y de la lectura del extensómetro vertical del bloque nº 3 a la cota 521 m, cerca del paramento de aguas arriba. Se puede comprobar la clara relación existente entre ambas variables, lo que indicaría que las variaciones tensionales en el hormigón vienen gobernadas principalmente por la variación del embalse.

El módulo de deformación del hormigón se puede estimar con los datos de las deformaciones para dos cotas distintas del nivel del embalse. Así, el empuje producido por el embalse produciría un cierto momento sobre un plano horizontal de referencia a la cota del extensómetro:

$$\Delta M = \frac{1}{6} [(H_2 - h_0)^3 - (H_1 - h_0)^3]$$

ΔM = incremento del momento producido por el embalse;
 h_0 = cota del punto donde está situado el extensómetro.
 H_2 = cota superior del embalse considerada.
 H_1 = cota inferior del embalse considerada.

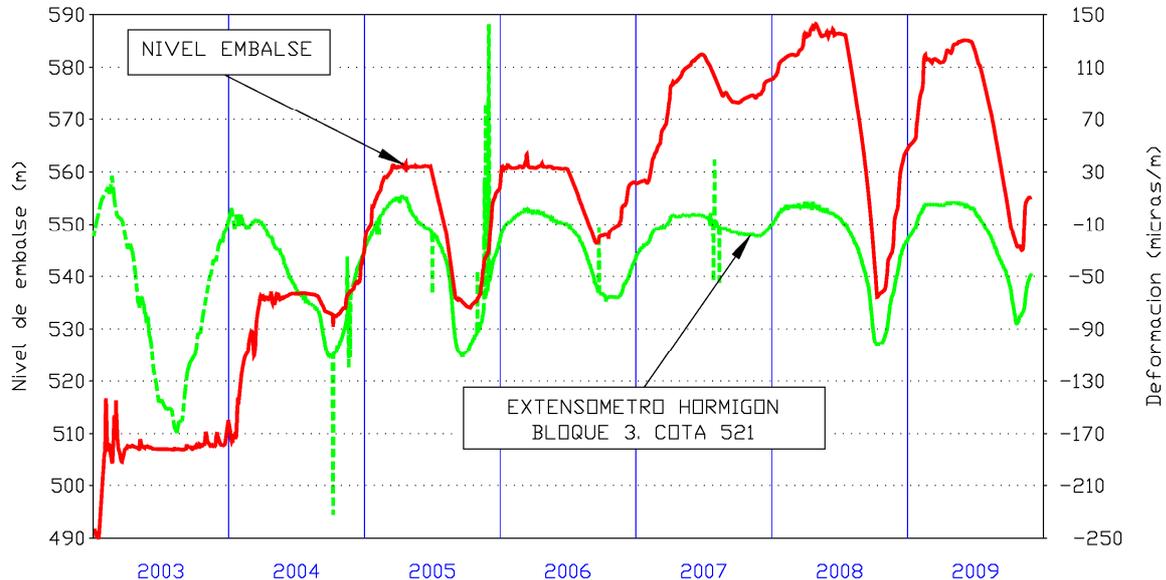


Figura nº 3.- Evolución del extensómetro del bloque nº 3

Este momento produciría unas tensiones sobre el plano horizontal en el que se sitúa el inclinómetro del siguiente valor:

$$\Delta\sigma = \frac{6M}{B^2}$$

$\Delta\sigma$ = incremento de tensiones..

M = momento aplicado a la base.

B = ancho de bloque a la cota donde está situado el extensómetro.

Y conocidas las tensiones ($\Delta\sigma$) es inmediato obtener el módulo de deformación (E) a partir de las deformaciones medidas en los extensómetros ($\Delta\epsilon$):

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon}$$

Realizando este estudio para extensómetros colocados en los bloques nºs 3 y 9 se ha obtenido que el rango de variación del módulo de deformación está entre 0,9-3,2 10^6 t/m².

4. AUSCULTACIÓN HIDRÁULICA

Los dos aspectos fundamentales que se analizan del terreno de cimentación, desde el punto de vista hidráulico, son el nivel piezométrico y la permeabilidad a partir de la medición de las filtraciones.

4.1 NIVEL PIEZOMÉTRICO

El nivel piezométrico en el cimiento bajo el cuerpo de presa se mide mediante una serie de piezómetros de cuerda vibrante. Además, en el pie de aguas abajo de algunos bloques se han instalado piezómetros abiertos.

Las presiones intersticiales vienen condicionadas por la cota del embalse. En la Figura nº 4 se muestra la planta de isopiezas correspondientes a mayo de 2008 cuando el embalse había alcanzado por primera vez el Máximo Nivel de Embalse e incluso se había producido el vertido por el aliviadero. Se observa la pérdida de carga que se produce en la zona de la pantalla de impermeabilización y drenaje (donde se juntan las líneas equipotenciales).

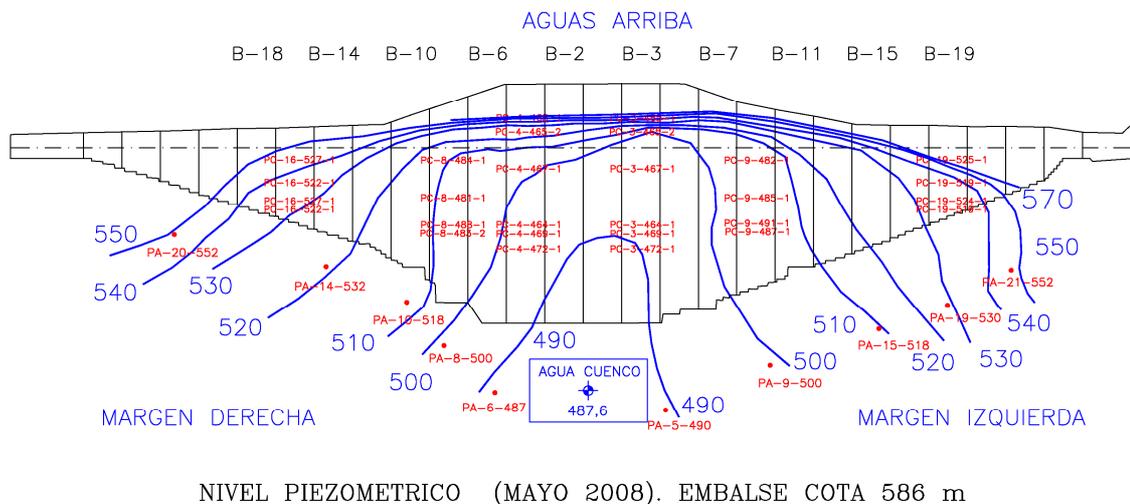


Figura nº 4.- Mapa de isopiezas

El análisis del estado piezométrico del cimiento para distintos niveles del embalse indica que el exceso de presiones intersticiales se disipa con relativa facilidad al descender el embalse. Y que luego, al subir de nuevo, se vuelven a incrementar las presiones, hasta valores parecidos a los existentes anteriormente para valores similares del embalse.

4.2 CAUDALES DE DRENAJE

Para reducir las presiones intersticiales en la cimentación se han perforado drenes aguas abajo del sistema de impermeabilización. El agua recogida es aforada en las galerías. En las galerías también se aforan una serie de drenes ejecutados en el cuerpo de presa, cuya finalidad es recoger el agua que se pueda infiltrar a través del propio hormigón y de las juntas.

Los caudales recogidos procedentes tanto del cimiento como del cuerpo de presa son aforados automáticamente en cuatro puntos de control, dos en la galería de la cota 476 m (margen derecha e izquierda) y dos en la galería de la cota 488 (margen derecha e izquierda).

Los datos indican que las filtraciones son parecidas en ambas márgenes y superiores las recogidas en la cota 488 m que a la cota 476 m. Las filtraciones totales máximas se midieron en mayo de 2008, cuando el embalse había alcanzado el valor máximo histórico. El caudal total fue próximo a los 900 l/min. El análisis realizado indica una clara relación entre las filtraciones y el nivel de embalse.

En la Figura nº 5 se ha dibujado la relación entre el nivel de embalse y el aforo total. Se puede ver que el aforo comienza a crecer de manera muy significativa cuando el embalse supera la cota 583,5 m. En la figura también se puede observar que las filtraciones no van incrementándose con el tiempo sino que permanecen similares e incluso algo inferiores a las históricas. Esto es debido a que se hicieron inyecciones de impermeabilización complementarias durante la Puesta en Carga.

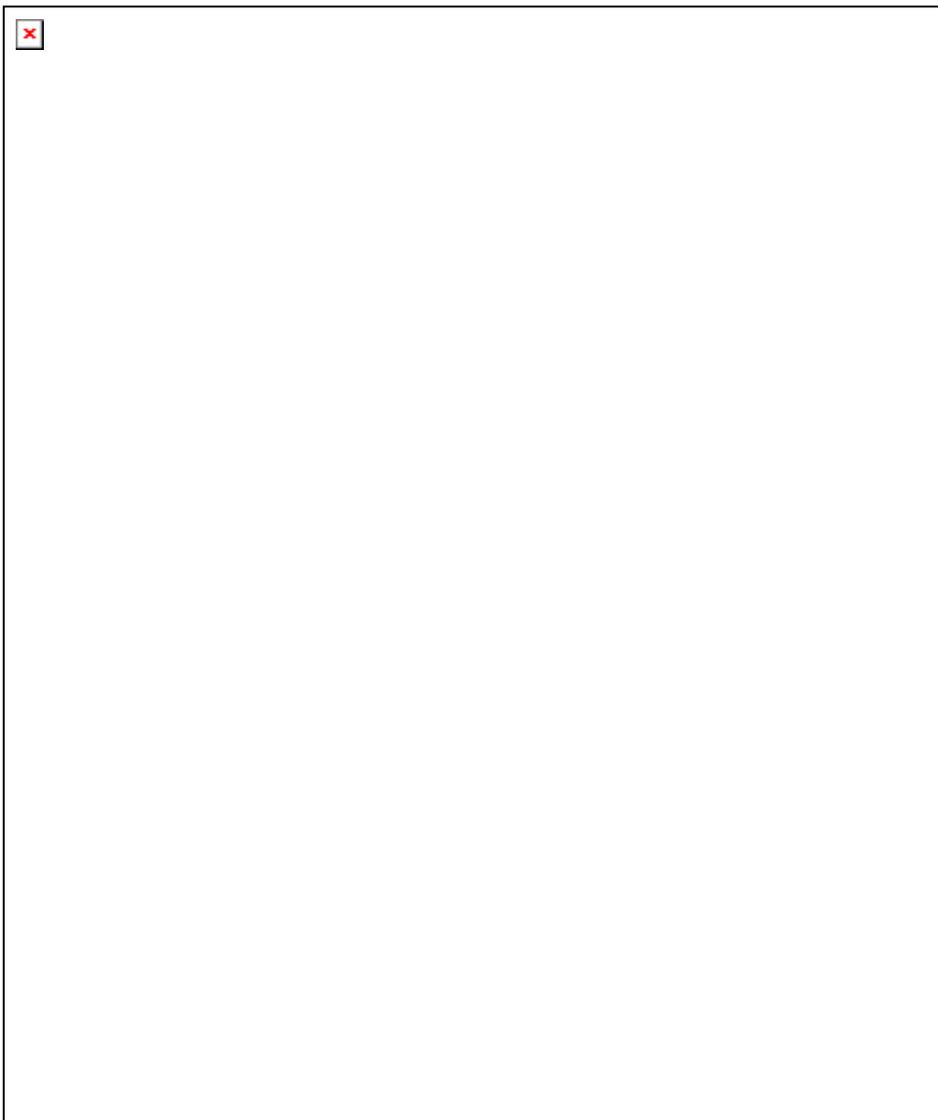


Figura nº 5.- Relación del caudal total aforado con el nivel del embalse

5. MOVIMIENTOS DE LA PRESA

Para conocer el movimiento de los distintos bloques de la presa se han dispuesto tres sistemas de auscultación. En primer lugar el control topográfico de la coronación mediante nivelación y colimación. Para conocer el posible giro de los bloques se han instalado péndulos directos. Por último, los péndulos inversos y los inclinómetros posibilitan conocer el desplazamiento en la base de la presa respecto al terreno.

Además, la deformación del cimiento se controla mediante una serie de extensómetros de varillas, situados en el pie de agua arriba. En los bloques nºs 8 y 9, además, existe un extensómetro vertical en la zona de aguas abajo. La precisión y la eficacia de estos equipos extensométricos no ha sido la deseable. En todo caso, si se eliminan los datos que resultan poco fiables parece que la deformación del cimiento durante el llenado no ha sido muy significativa. Esto se comprueba con otros equipos.

5.1. PÉNDULOS

Los péndulos se han instalado en los bloques nºs 3 y 4. En la Figura nº 6 se ha dibujado de manera conjunta la evolución temporal del nivel del embalse y del movimiento horizontal de la coronación de la presa (anclaje del péndulo directo), que sería la suma de las lecturas de los péndulos directos e inversos a la cota 510 m.

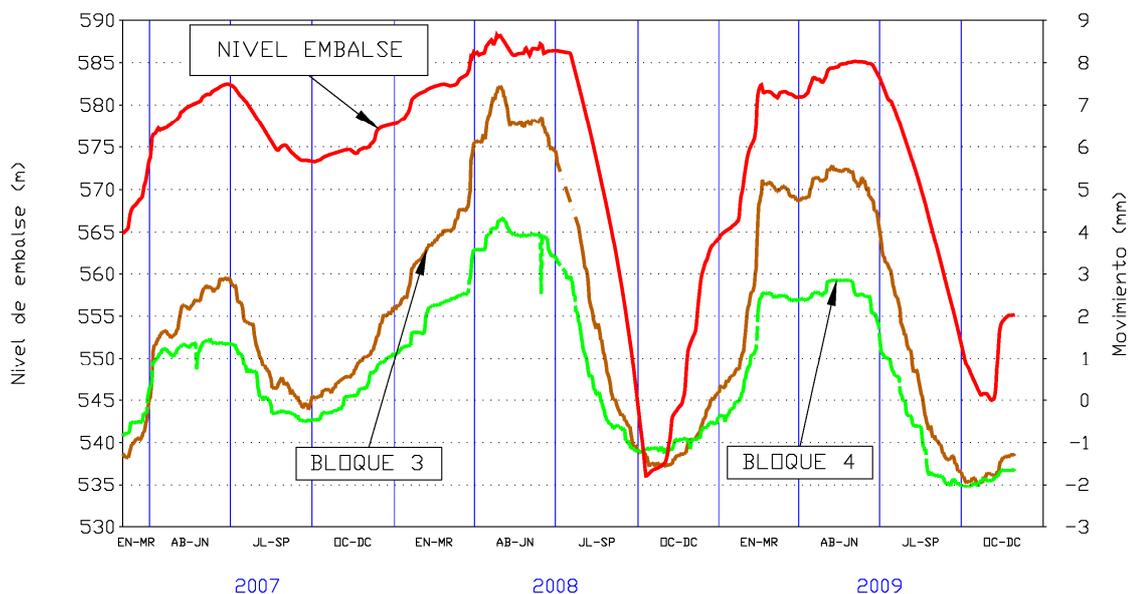


Figura nº 6 .- Evolución de los péndulos y del nivel del embalse

El giro de cada bloque se estima a partir de la lectura del péndulo directo a distintas cotas: 574 m, 552 m, 530 m y 510 m (está anclado a la cota 577 m). Por ejemplo, en el bloque nº 3 el desplazamiento horizontal a la cota 574 era de 0,65 mm en mayo de 2008 (Máximo Nivel del Embalse). Para esa misma

fecha el desplazamiento del mismo péndulo directo a la cota 510 m era de 5 mm. A partir de estos valores es posible estimar el giro correspondiente:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{(5 - 0,65) \cdot 10^{-3}}{64} = 6,79 \cdot 10^{-5}$$

Conocido este valor se podría estimar el módulo de deformación del cimien- to si se asimilará la cimentación del bloque a una zapata rectangular:

$$\theta = \frac{4 \cdot (1 - \nu^2)}{E \cdot L_1^2 \cdot L_2} \cdot M$$

θ es el ángulo de giro del bloque
 L_1 longitud de la base del bloque
 L_2 longitud transversal equivalente
 M momento resultante en la base del bloque
 E módulo de elasticidad de la roca de apoyo.

Operando la expresión anterior resulta que el módulo de deformación del ci- miento es del orden de 100.000 kp/cm².

5.2. INCLINÓMETROS

La información sobre los movimientos horizontales proporcionada por los péndulos, se completa con 4 inclinómetros instalados (dos inclinómetros en el bloque nº 3 y dos en el nº 4). Estos aparatos permiten conocer los despla- zamientos horizontales en toda la profundidad de la tubería (aguas arriba-aguas abajo y en la dirección que une los estribos).

Unas tuberías fueron ancladas 18 m en el terreno (denominados inclinóme- tros de la cota 488) y otros apenas 1,5 m (inclinómetro de la cota 510 m).

En el seguimiento de las lecturas se puede comprobar que las máximas de- formaciones de los inclinómetros se encuentran en un rango de ± 5 mm. No se observan indicios de posibles deformaciones horizontales en el cimien- to. Con las lecturas del inclinómetro de la cota 510 m del bloque nº 4 se puede estimar un movimiento acumulado a origen de unos 3 mm hacia aguas abajo.

5.3. CONTROL TOPOGRÁFICO

El control topográfico es llevado a cabo de manera periódica mediante nive- lación y colimación. En el control de la nivelación se observa que el asiento máximo anual se produce en los meses invernales cuando, debido al descenso de las temperaturas, el hormigón se contrae. Esta oscilación anual se puede ver de manera clara en la Figura nº 7 (punto N-18, situado en la zona central de la presa). La colimación indica que la presa se mueve hacia aguas abajo al elevarse el embalse y que durante los desembalses se produce un despla- zamiento de la coronación de la presa hacia aguas arriba. En la Figura nº 7 también se puede consultar la evolución de la colimación del punto S4-B6.

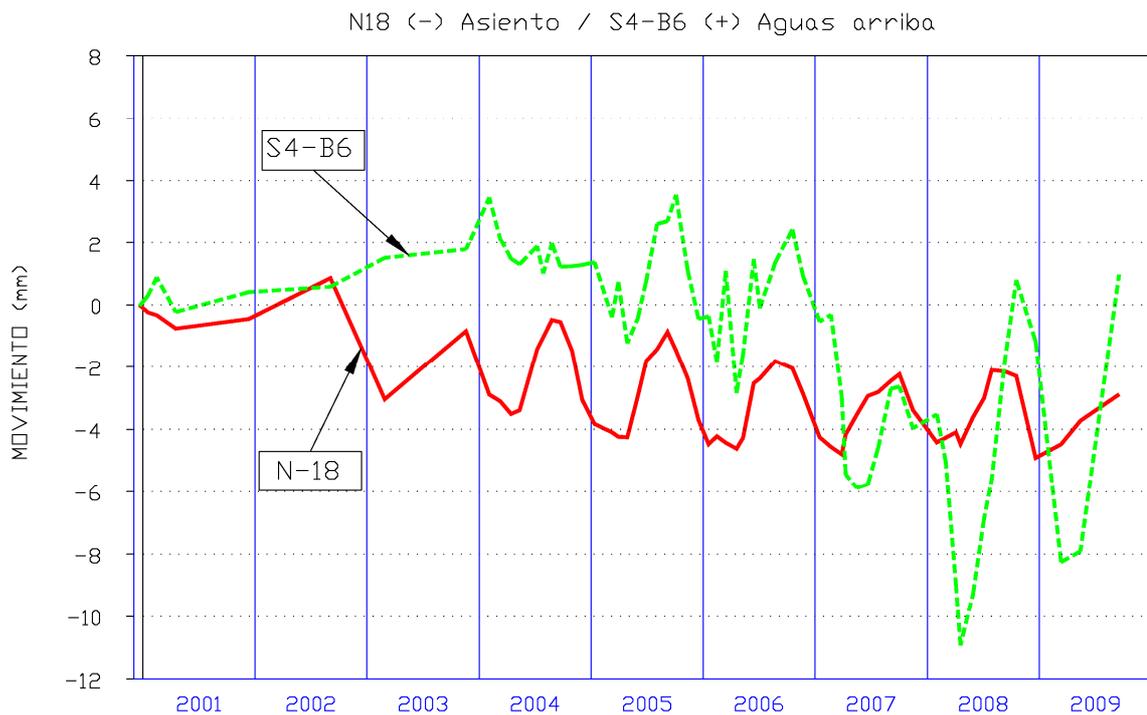


Figura nº 7.- Evolución del control topográfico

6. AUSCULTACIÓN DE LA MEGACAPA

En la margen derecha, en la zona del estribo de la presa existe un paleodeslizamiento fósil que se ha caracterizado en detalle. Para ello, se ha auscultado en 10 zonas. En cada una de ellas se realiza un control de las presiones intersticiales y de los movimientos (mediante inclinómetros y en superficie mediante control topográfico con GPS).

Los datos de los piezómetros instalados indican que las presiones intersticiales son prácticamente nulas ya que casi toda la megacapa está por encima del nivel del embalse.

El control topográfico detecta que en algunos puntos se producen deformaciones en profundidad (tuberías nºs 4, 5, 6, 7 y 9). Se detecta un cierto "salto" entre dos puntos consecutivos (separados 1 m). Sería un movimiento de cizalla de la tubería. En los inclinómetros nºs 4 y 6 se ha observado a 27-28 m de profundidad. En cambio, en los nºs 5 y 9 la deformación es más superficial 9-10 m. En la Figura nº 8 se ha representado la evolución de este movimiento de cizalla con el tiempo. En todos estos casos se produce un movimiento en la megacapa hacia aguas arriba. La velocidad de movimiento anual es del orden de 1 mm/año. Sólo en el inclinómetro de la zona nº 7 se ha detectado deformación de cizalla en las dos direcciones hacia aguas arriba y hacia la margen derecha (a 24 m y 31 m de profundidad desde la boca). Se trata de un movimiento natural preexistente que no se ha visto alterado por las alternancias del nivel de embalse ni por el desembalse brusco y amplio (bajada de 50 m en pocos meses) que se practicó, entre otros fines, para verificar que con esta drástica maniobra el deslizamiento fósil no era reactivado.

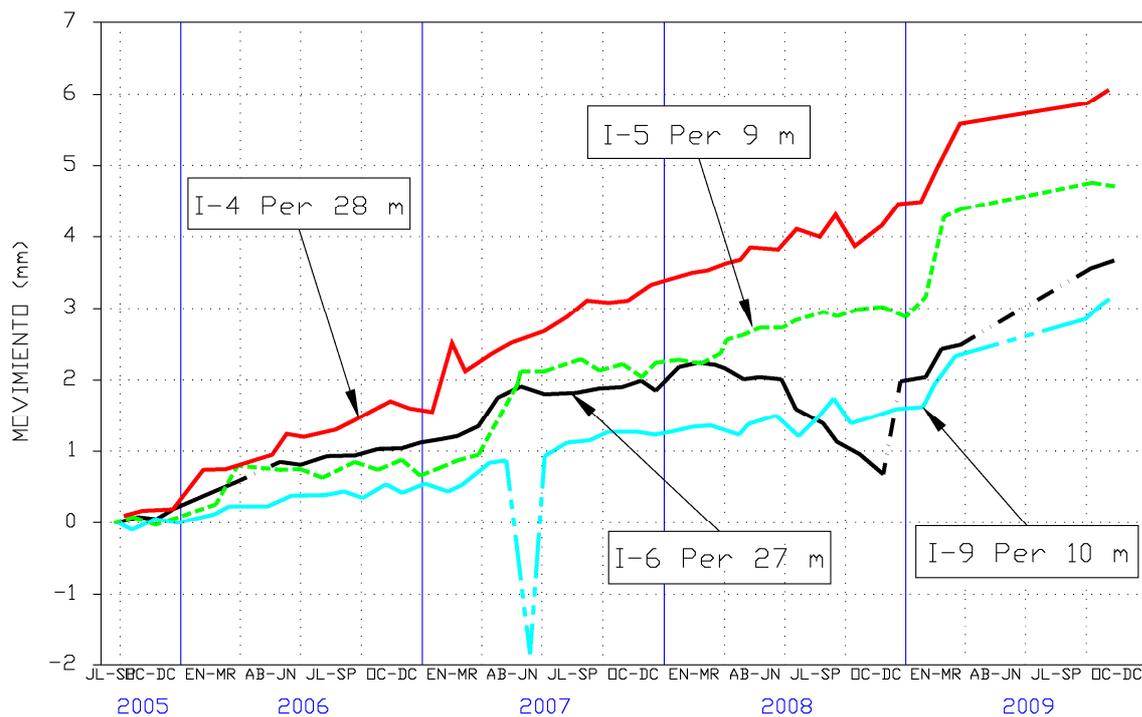


Figura nº 8.- Movimientos profundos en la megacapa

7. AUSCULTACIÓN DE LA PRESA AUXILIAR

En la presa auxiliar de la margen derecha se han dispuesto algunos elementos de auscultación. El sistema es parecido al de la presa principal pero con menor número de elementos. Los aspectos más significativos de la presa auxiliar a finales del año 2009 son los que se enumeran a continuación:

- La temperatura media del hormigón permanece prácticamente constante en los últimos años. Sólo se producen variaciones anuales de acuerdo a los cambios de la temperatura ambiente en las zonas próximas a los paramentos.

- El movimiento medio de las juntas transversales es prácticamente nulo. Las únicas variaciones que se registran son debidas a los cambios de la temperatura ambiente.

- Respecto a la piezometría del cimiento de la presa auxiliar, en los bloques nos 0 y 4 se mide a finales del 2009 cierto exceso de presiones intersticiales (2-3 mca), lo que indicaría que durante el desembalse no se produjo una disipación total de las presiones intersticiales existentes con niveles de embalse más altos.

- En los drenes perforados en el cimiento no se observa ninguna afluencia de agua significativa.

- La deformación vertical del cimiento de la presa auxiliar que se ha medido desde el origen de las lecturas (19-04-2001) es, de acuerdo a los datos de los extensómetros de varillas, de unos 6 mm.

- El control topográfico indica que la coronación de la presa se ha desplazado hacia aguas arriba unas décimas de milímetro.

8. COMENTARIOS FINALES

En este artículo se han descrito los aspectos más significativos del seguimiento que se ha realizado del Plan de Puesta en Carga del embalse de Itoiz. El buen funcionamiento del sistema de auscultación instalado en la presa así como su detallado control ha permitido conocer con bastante precisión el comportamiento de los aspectos principales de la presa principal y su cimientado, de la presa auxiliar y su cimientado y de la denominada megacapa. Una vez completado el Plan de Puesta en Carga con éxito, se ha comenzado a llevar a cabo la explotación del embalse con normalidad.

Para poder establecer de una manera sencilla si el comportamiento de la presa principal y de la megacapa es adecuado se establecieron una serie de parámetros de control indicando unos valores de alerta y de alarma. En concreto, en la presa principal son el aforo de caudales de drenaje y el movimiento horizontal de la presa medido con péndulos. En la presa auxiliar sólo se analiza la deformación del cimientado a partir de los datos de los extensómetros de varillas. Y en la megacapa, el movimiento en cabeza de los inclinómetros. De cada parámetro se ha establecido un valor de alerta y uno de alarma. Durante la explotación aún no se ha alcanzado el valor de alerta en ningún sensor.

REFERENCIAS

Ingeniería del Suelo. 2004-2009. Informes de auscultación del seguimiento del Plan de Puesta en Carga.

Lafuente, R y Zueco, M. 2001. Presa de Itoiz. Revista de Obras Públicas n ° 148.

Lafuente, R., Larroy, D., Rey, A., Rivas, P. Sánchez, F. y Zueco, M. 2007. Redacción del Programa de Puesta en Carga de la Presa de Itoiz en el río Iratí. VII Jornadas Españolas de Presas. Zaragoza.

Puesta en Carga UTE. 2008. Programa de Puesta en Carga de la Presa de Itoiz. Revisión 4.