

COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

OBSERVACIÓN DE LOS CIMIENTOS DURANTE LA PUESTA EN CARGA DE LAS PRESAS

Antonio Soriano¹

RESUMEN: En este artículo se describen los rasgos principales del comportamiento de la cimentación durante la puesta en carga de tres presas importantes y singulares que han experimentado recientemente (año 2010) fuertes subidas de nivel de embalse.

El comportamiento de las tres presas ha resultado satisfactorio. Estos datos así como la experiencia obtenida en el estudio de otros llenados ponen de manifiesto la especial importancia de colocar buen número de piezómetros en los cimientos, medir las filtraciones (preferentemente con aforos selectivos) y controlar, de alguna manera, las deformaciones del cimiento.

1. INTRODUCCIÓN

El terreno es siempre un elemento dominante en el comportamiento de las presas. La hidrogeología y la geomorfología son las materias esenciales para elegir la ubicación de la cerrada. Y las características geotécnicas relacionadas con la permeabilidad, la resistencia y la deformabilidad del terreno las que deciden la tipología estructural de la presa.

El conjunto de la estructura de la presa y su cimiento ofrecerá una respuesta al llenado del embalse que es objeto de estudio en la fase de proyecto.

¹ Dr. ICCP, Universidad Politécnica de Madrid

Estos estudios están basados normalmente en experiencias previas (presas y terrenos similares) y en ensayos de campo y de laboratorio realizados en cada proyecto con este propósito específico; la comprobación a priori de una respuesta adecuada.

La estructura de la presa se construye con unos materiales que son susceptibles de control mediante ensayos y, ya durante la propia construcción, puede aumentarse la garantía de su respuesta al llenado mediante una observación adecuada de las deformaciones, de los movimientos de ciertos puntos de interés y, si es el caso, mediante observación de las presiones intersticiales. Pero el terreno de cimentación es menos asequible. Aunque durante la propia construcción se puede mejorar el conocimiento en lo que se refiere a su resistencia, deformabilidad y permeabilidad, no es hasta el final de la primera puesta en carga cuando ya se pueden confirmar las hipótesis de proyecto.

De lo dicho debe deducirse la especial importancia que tiene la observación de los cimientos de las presas durante su primera puesta en carga, pues es el camino más adecuado, y puede que sea el único realista, para contrastar las hipótesis de proyecto y aumentar de esa forma la fiabilidad (seguridad formal) de la presa.

Aunque es también muy importante observar la propia estructura de la presa y las laderas del embalse, en este escrito se considera únicamente la observación del cimiento que, como se ha dicho, es el elemento esencial y menos conocido del conjunto presa-terreno.

Para ilustrar los argumentos y conclusiones que se proponen en este escrito, se ha partido de la información concreta obtenida observando, durante el primer llenado, el cimiento de tres presas españolas que han sido construidas en terrenos teóricamente problemáticos y que han completado (o casi completado) su llenado en esta última primavera.

2. CIMENTACIÓN DE RULES

Existen varias publicaciones previas sobre la presa de Rules donde pueden consultarse detalles relativos al proyecto y construcción de esta presa. En las referencias bibliográficas adjuntas se citan algunas de ellas.

Una decisión importante relacionada con este proyecto ha sido la relativa a la elección del tipo de presa. En su día y tras un estudio bastante exhaustivo de posibles alternativas hubo que decidir entre dos opciones: presa de núcleo central de arcillas con espaldones de gravas, por un lado, y presa de fábrica tipo arco-gravedad, por otro.

Cabe citar que la principal ventaja de la opción de gravedad es la posibilidad de ejecutar un gran aliviadero de superficie centrado en la presa, mientras que su principal inconveniente era la cuestionable capacidad mecánica del cimiento para soportar una presa tan pesada. Se sabía que la roca de cimentación era poco resistente y muy deformable cuando se comparaba con la resistencia y la deformabilidad de rocas de cimentación de otras presas de esta envergadura (altura sobre cimientos de 130 m).

Como contrapunto, la solución de materiales sueltos presentaba la gran ventaja de su flexibilidad para adaptarse a las posibles deformaciones del cimiento pero hacía difícil la solución del gran aliviadero que se necesitaba.

La decisión técnica que finalmente se tomó condujo al proyecto de una solución de arco-gravedad con sección tipo robusta como se indica en Fig. 1. La planta de la presa puede verse en una figura que se incluye más adelante en Fig. 4.



Foto 1.- Presa de Rules

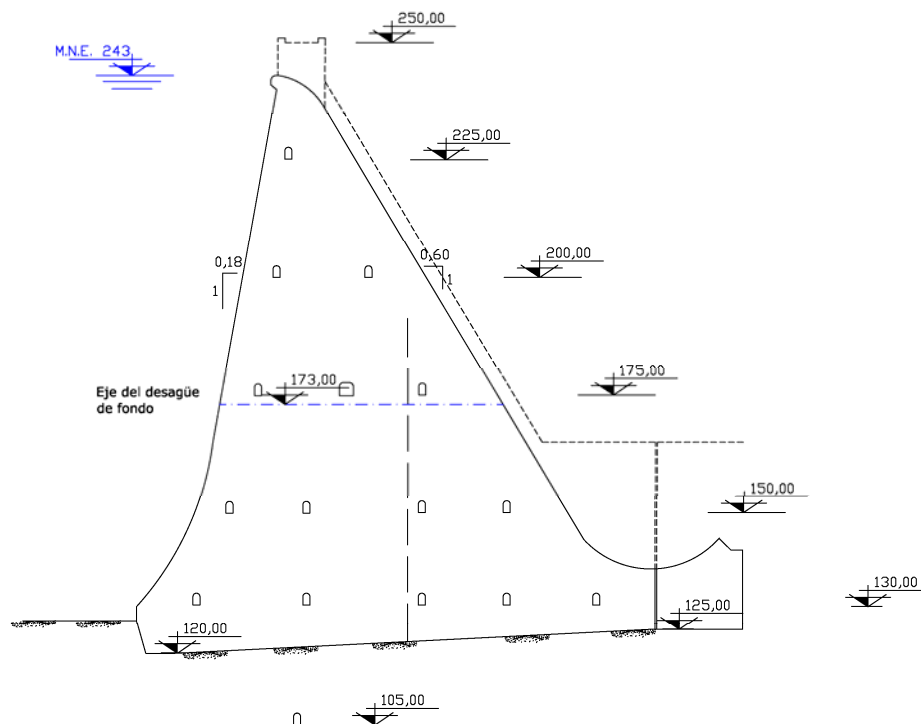


Fig. 1.- Sección tipo

Los ensayos de resistencia disponibles en la fase de proyecto indicaban que la seguridad de la presa frente a una eventual rotura del cimientto era suficientemente alta. Para volver a confirmar que la presa era suficientemente estable, al comienzo de la construcción se realizaron ensayos de corte “in situ” sobre la propia roca de cimentación. De los resultados de aquellos ensayos se da cuenta en la publicación de A. Soriano (1997).

Con aquellos ensayos se obtuvo además cierta información adicional relativa a la deformabilidad de la roca (zona más somera) que también permitió estimar las deformaciones del cimientto.

El sistema de observación del cimientto que se dispuso en la fase de proyecto consistió, esencialmente, en la vigilancia de tres aspectos:

- Observación de las subpresiones en la base de la presa.
- Observación de los caudales de filtración.
- Observación de los movimientos.

Estos tres aspectos son cruciales para evaluar la seguridad del conjunto presa-cimientto y han sido objeto de atención preferente durante la construcción y durante el posterior llenado.

Ya durante construcción se observó un asiento importante del cimientto debido al peso propio de la presa. De aquellos movimientos y de su interpretación se dejó constancia en publicaciones precedentes. Ver A. Nevot et al (Zaragoza, 2002).

Pero la respuesta más importante, la esperada con mayor interés técnico, es la que se ha medido recientemente durante el último episodio de la puesta en carga. Especialmente durante el reciente llenado brusco en este invierno de amplias lluvias 2009-2010.

La evolución del llenado de Rules se recoge en Fig. 2 donde puede verse que el gran empuje debido a los últimos veinte metros del embalse se ha producido de manera bastante rápida.

Viendo la evolución de los datos de auscultación durante el episodio de lluvias del final del año 2009 se recomendó, y se aceptó por parte de la Dirección de la Puesta en Carga de Rules, abrir los desagües para no sobrepasar la cota 238 (cinco metros bajo la cota del MNEN). A pesar de ello se superó ligeramente esa cota alcanzándose la 240.

Gracias al buen sistema de auscultación dispuesto y a la agilidad del sistema de transmisión e interpretación de datos, en poco tiempo se pudieron obtener conclusiones sobre la esperada respuesta del cimientto de Rules ante el llenado casi completo.

2.1 SUBPRESIONES

Una de las incógnitas principales sobre las que han de hacerse hipótesis en proyecto es la subpresión que actuará en la base de la presa. Y esa incógnita se ha desvelado ahora, recientemente. Con los datos de presión intersticial medidos por los piezómetros del cimientto se han podido preparar distintas figuras. Entre ellas la planta de isopiezas del cimientto que se incluye en Fig. 3

y el perfil de la cimentación del bloque central, Fig. 4, donde se incluye un diagrama con las subpresiones en el contacto presa-cimiento.

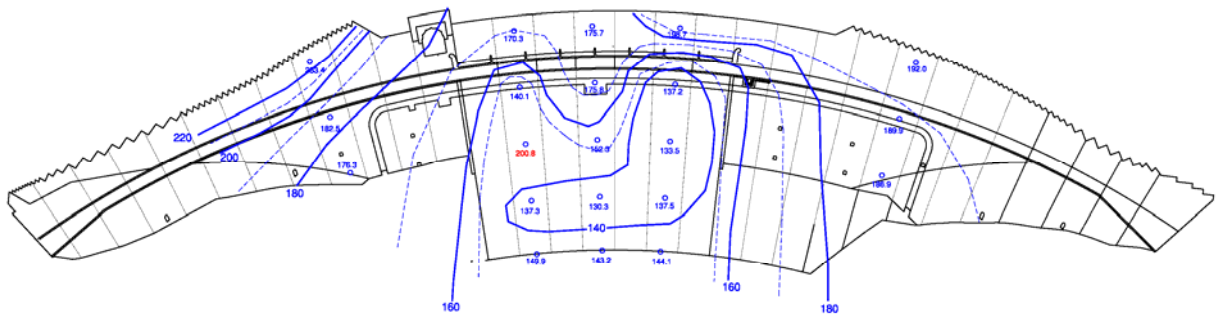


Fig. 3.- Planta de isopiezas

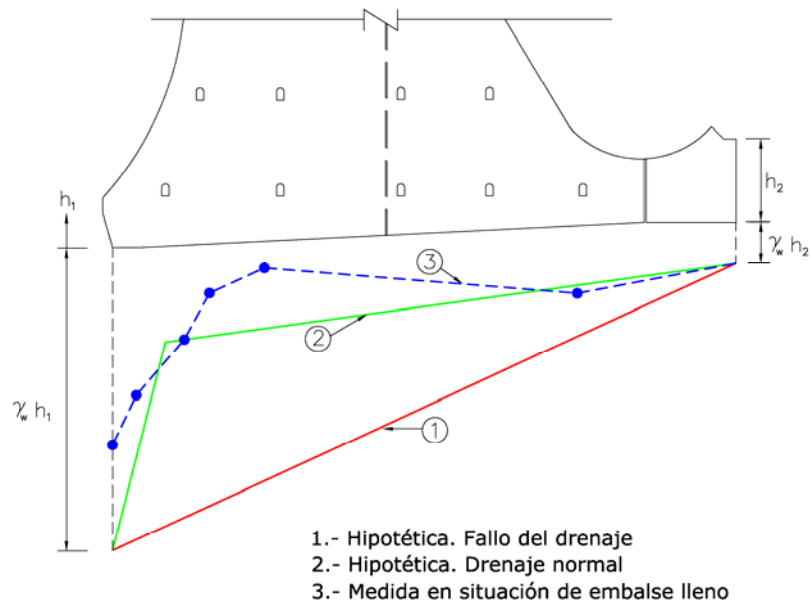


Fig. 4.- Subpresiones en el bloque central

Las subpresiones en la base de la presa (zona central) que se indican en Fig. 4 se comparan con dos hipótesis de proyecto habituales. Pero en este caso concreto y ante la importancia del caso en cuestión, se decidió en la fase de proyecto disponer una galería de drenaje profundo bajo la cimentación de la presa para reducir las subpresiones. Como resultado se puede apreciar que el beneficio de esa decisión de proyecto es patente y que las subpresiones son claramente más bajas que las que, de otra forma, habría que haber supuesto.

Se debe concluir que la observación detallada del mapa de presiones intersticiales en el cimiento de Rules ha servido para desvelar una de las principales incógnitas de proyecto sobre la que previamente se habían hecho algunas con-

jeturas (hipótesis). Y la realidad de la respuesta del cimiento ha sido favorable obteniéndose subpresiones moderadas.

2.2 CAUDALES DE FILTRACIÓN

La permeabilidad de la cerrada de Rules fue en su día objeto de un estudio detallado. No sólo se realizaron las prospecciones habituales (ensayo Lugeón) sino también ensayos de bombeo. Ver Nevot et al (1999).

Como consecuencia de estos ensayos se decidió en su día realizar una pantalla de impermeabilización de la cerrada desde la amplia red de galerías del cuerpo de presa y de esa manera se quiso no sólo reducir caudales de filtración sino también reducir las subpresiones.

Los datos de aforos de filtraciones se recogen de manera selectiva a distintas cotas y en las dos márgenes de la presa. Tales filtraciones se producen principalmente a través de la roca de cimentación y se recogen con el sistema de drenes. Lógicamente algunas filtraciones se escaparán al control de drenaje, pero, en todo caso, no se han detectado fuentes aguas abajo. El sistema de recogida de filtraciones parece adecuado.

El estudio de la variación de caudales medidos en cada aforador ha permitido preparar una serie de gráficos que relacionan el caudal de filtración con la cota del nivel del embalse. Ver Fig. 5.

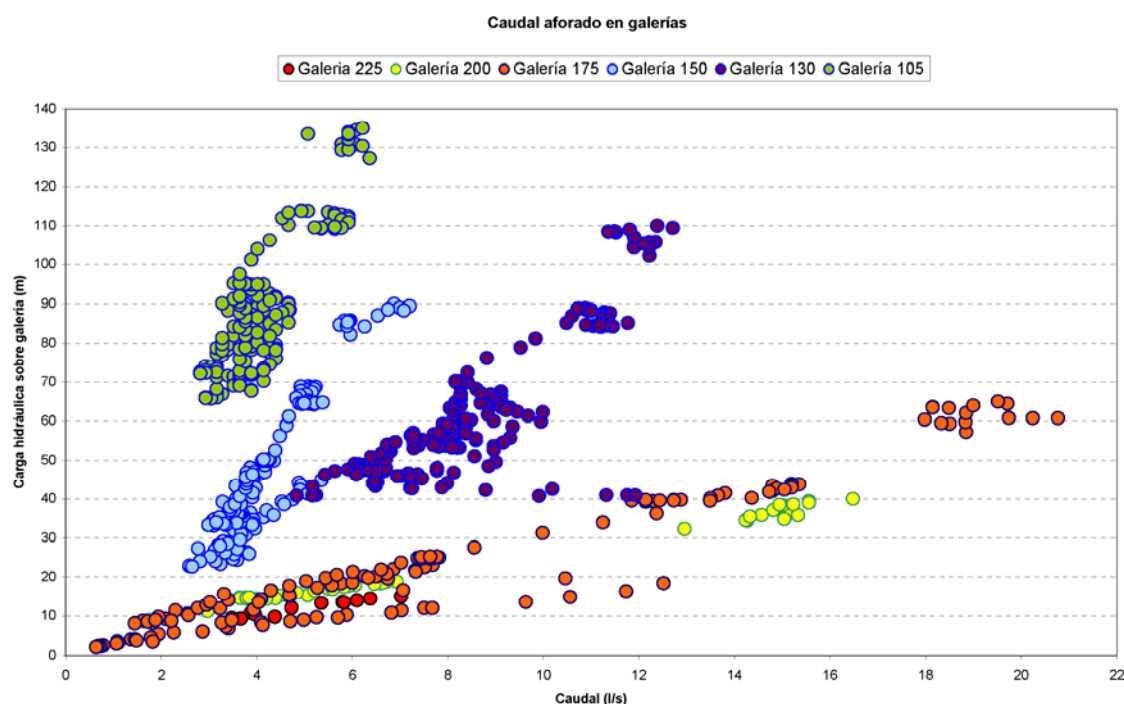


Fig. 5.- Caudales de filtración

Estos datos permiten realizar ahora, nuevamente, una estimación de la permeabilidad de la roca de cimentación de Rules tal como se hace, de manera aproximada, en los cálculos que se esbozan en Fig. 6. Se comprueba que efectivamente, a pesar de la teórica "impermeabilidad" de los esquistos de Rules, el macizo rocoso tiene una permeabilidad notable y eso justifica el esfuerzo

realizado para controlar las filtraciones ejecutando una importante pantalla de inyecciones de lechada de cemento.

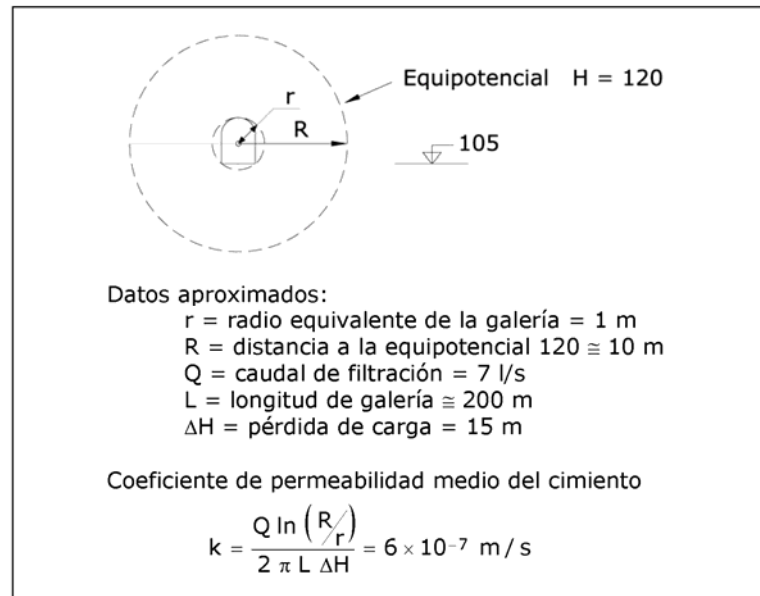


Fig. 6.- Estimación de la permeabilidad de la roca de cimentación

Con este tratamiento de impermeabilización, que se ha completado durante el periodo de puesta en carga realizando inyecciones complementarias, el caudal de filtración controlado se ha podido limitar, para la situación de embalse lleno, en menos de 80 l/s. Ver Fig. 7.

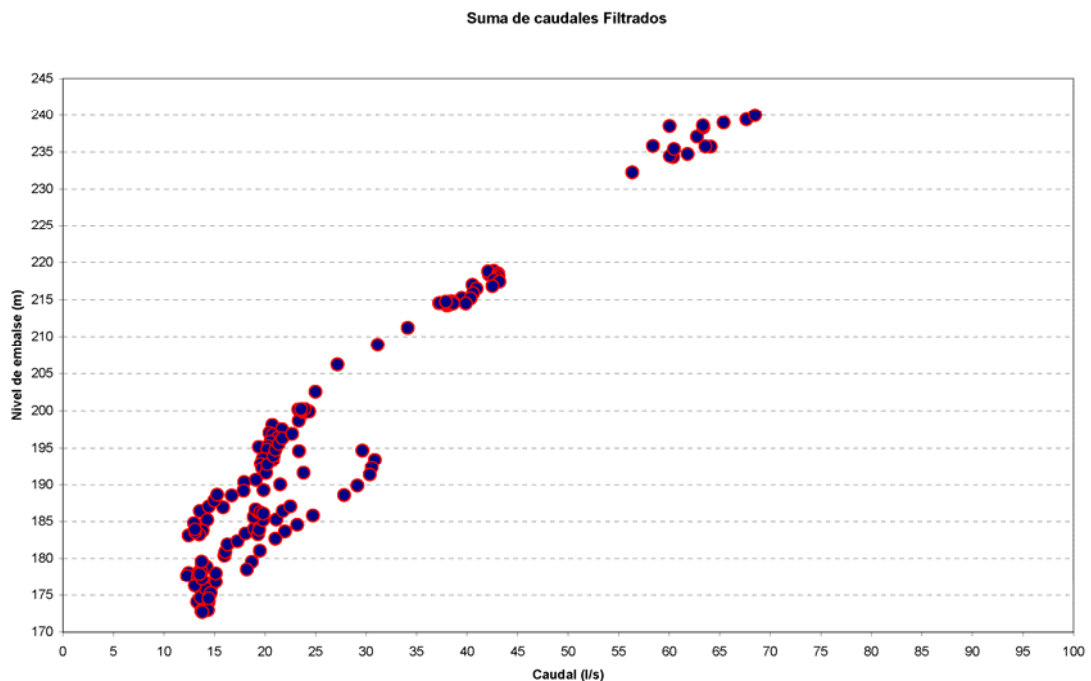


Fig. 7.- Correlación de filtración-cota de embalse

2.3 DEFORMACIÓN DEL CIMIENTO

La observación del comportamiento tenso-deformacional del cimiento en este tipo de presas puede y debe hacerse mediante sistemas de péndulos y extensómetros. Así se ha hecho en este caso. También puede utilizarse clinómetros o inclinómetros y otros equipos de mayor complejidad (trivec) que en esta obra no han sido utilizados.

Adicionalmente y como datos de gran interés en este y en otros casos semejantes, se ha llevado a cabo un control topográfico de los movimientos de la presa. Al ser una estructura bastante rígida, tales movimientos son principalmente un reflejo de la deformación del cimiento.

Los movimientos detectados por los péndulos en uno de los bloques pueden verse en Fig. 8.

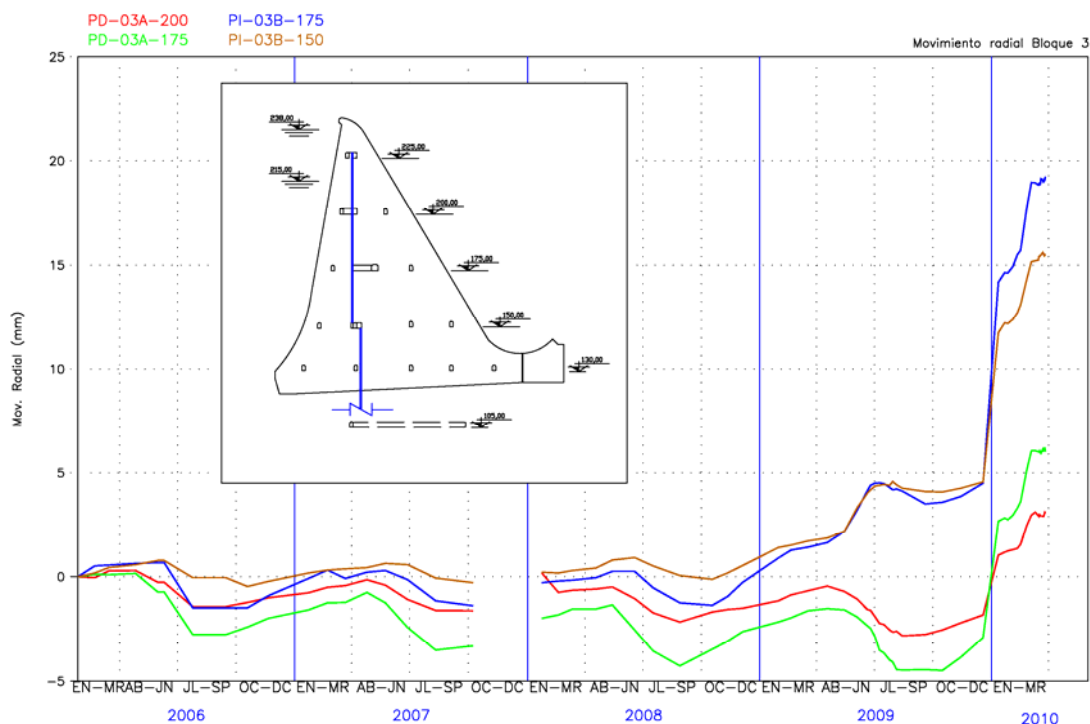


Fig. 8.- Movimiento de los péndulos del bloque B-3

La interpretación de estos datos puede hacerse de manera sencilla suponiendo que el movimiento de la presa es similar al de un bloque rígido que sufre, referido al centro de la base de la presa, un giro θ , un desplazamiento horizontal δ y un asiento s .

Los extensómetros de varillas anclados en el cimiento han permitido también obtener los desplazamientos horizontales, ofreciendo una cierta redundancia en el sistema. Y se ha visto que el desplazamiento horizontal de la base de la presa es tanto mayor cuanto más profundo es el punto de anclaje (punto teóricamente fijo) del elemento de medida. Esto, que complica la interpretación

de los datos, ha exigido ciertos cálculos adicionales para poder obtener una mejor aproximación al desplazamiento horizontal absoluto de la presa.

Debido al llenado de la presa, los movimientos absolutos, obtenidos tras la oportuna interpretación a partir de los movimientos relativos, han sido los siguientes: $\theta = 1,5 \times 10^{-4}$ rd, $\delta = 47$ mm y $s = 10$ mm.

Estos movimientos son compatibles con un valor del módulo de elasticidad medio de la zona de roca afectada del orden de 1,5 GPa.

El gráfico de mayor interés es el que se obtiene de ese proceso de interpretación y que conduce a representar la relación entre el empuje horizontal del agua del embalse sobre la presa en la sección central E y el desplazamiento de la base de los bloques de la zona central de la presa δ .

Este gráfico, que se representa en Fig. 9, es equivalente a los gráficos que en su día se obtuvieron al realizar los ensayos de carga “in situ” sobre bloques de hormigón colocados en el cimiento, comprimidos contra él y empujados con gatos. Ahora, sin embargo, se trata de un ensayo a escala natural y su valor es de un significado transcendente para evaluar la seguridad de la obra. La aparente correlación casi lineal hace pensar que se está lejos de la rotura que, en esta roca, y como se sabe con los ensayos previos, viene precedida por una amplia zona de comportamiento no lineal.

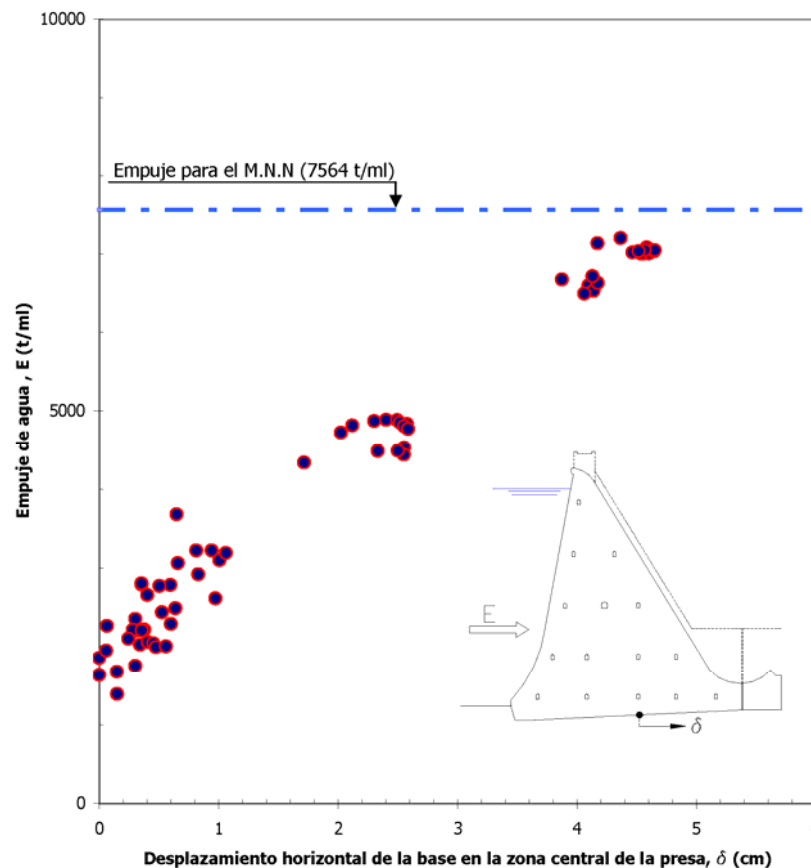


Fig. 9.- Relación Empuje-Desplazamiento

3. PRESA DE GIRIBAILE

La cerrada de la presa de Giribaile tiene una singularidad muy notable. Los paquetes areniscos triásicos que afloran en las laderas y en la zona central del cauce son deleznable. Están formados por arenas de granulometría muy uniforme que quedan ligeramente soldadas. Se estimó en su día que podrían ser incluso erosionables. Además, cerca de superficie, presentaban diaclasas casi verticales con gran apertura. Los paquetes de arenisca de gran espesor quedan intercalados en otros más arcillosos claramente impermeables. Coronando la serie triásica y en clara discordancia, existen depósitos miocenos poco permeables.

El proyecto dio solución a este importante problema especificando la construcción de una pantalla impermeable continua que cortase el flujo que pudiera producirse a través de las areniscas. Pero consideraciones posteriores realizadas durante la propia construcción movieron a modificar el proyecto para incluir un tapiz de arcilla en la base del espaldón de aguas arriba y disponer, además una galería perimetral desde donde se practicarían inyecciones de impermeabilización de las areniscas.



Foto 2.- Presa de Giribaile

Las Figs. 10 y 11 indican un esquema de la disposición general en planta de la presa y una sección tipo de la presa.

Durante la construcción se produjo un deslizamiento del espaldón de aguas arriba propiciado por la debilidad del tapiz de arcilla sobre el que se apoyaba. Y esto se resolvió colocando un refuerzo en el pie (1^{er} refuerzo) que después hubo que ampliar (2^o refuerzo) y volver a ampliar más tarde (3^{er} refuerzo).

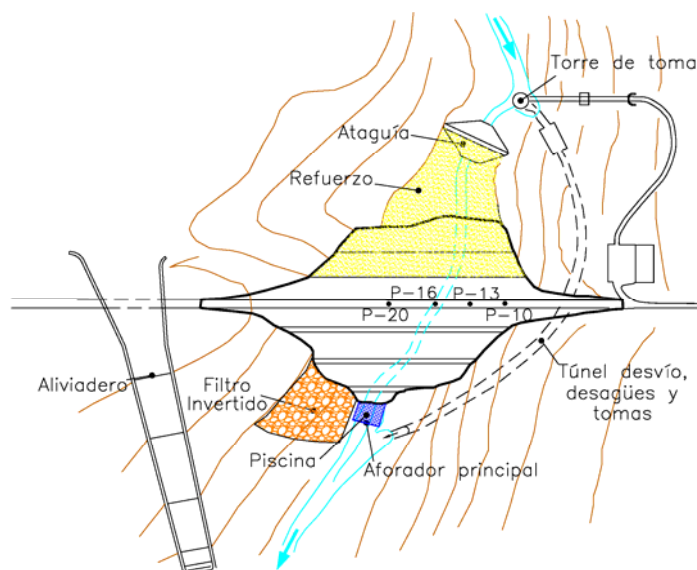


Fig. 10.- Giribaile. Planta esquemática

SECCION TIPO DEL PERFIL P-13

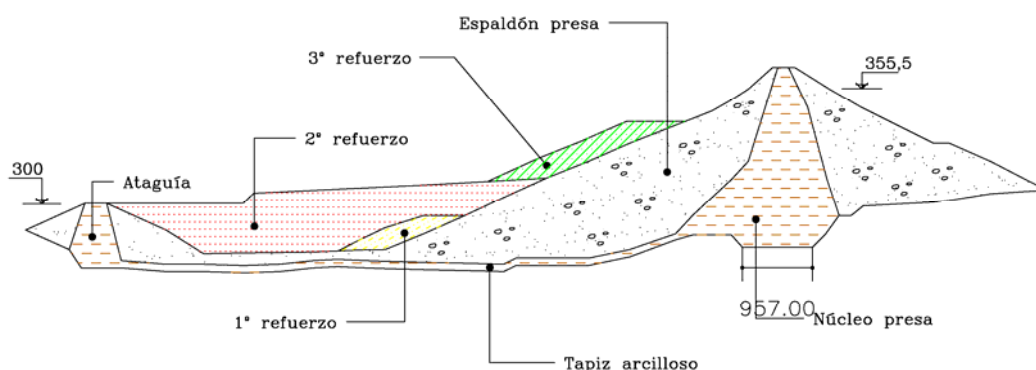


Fig. 11.- Giribaile. Sección tipo esquemática

Durante la construcción se practicaron inyecciones en el cemento utilizando diversas técnicas. No es este el lugar para comentar estos trabajos que pueden verse en la publicación de J. Martín (1.993). Pero cabe destacar que, en agosto de 1.995 y debido a las altas presiones de inyección que se usaron, la lechada que se quería forzar para penetrar dentro de las areniscas dirigió su flujo hacia el núcleo, lo atravesó verticalmente fracturándolo y emergió por la coronación del cuerpo de presa cuya cota de construcción era ya próxima a la cota definitiva.

Es evidente que una presa con estos precedentes merecía un seguimiento cuidadoso durante la puesta en carga. Y así se ha hecho. No sólo con la vigilancia permanente de las posibles filtraciones sino también a través de un amplio sistema de auscultación de presiones de agua y de movimientos.

El llenado de Giribaile se ha realizado durante varios años y lentamente. En Fig. 12 puede verse la evolución histórica del nivel del embalse.

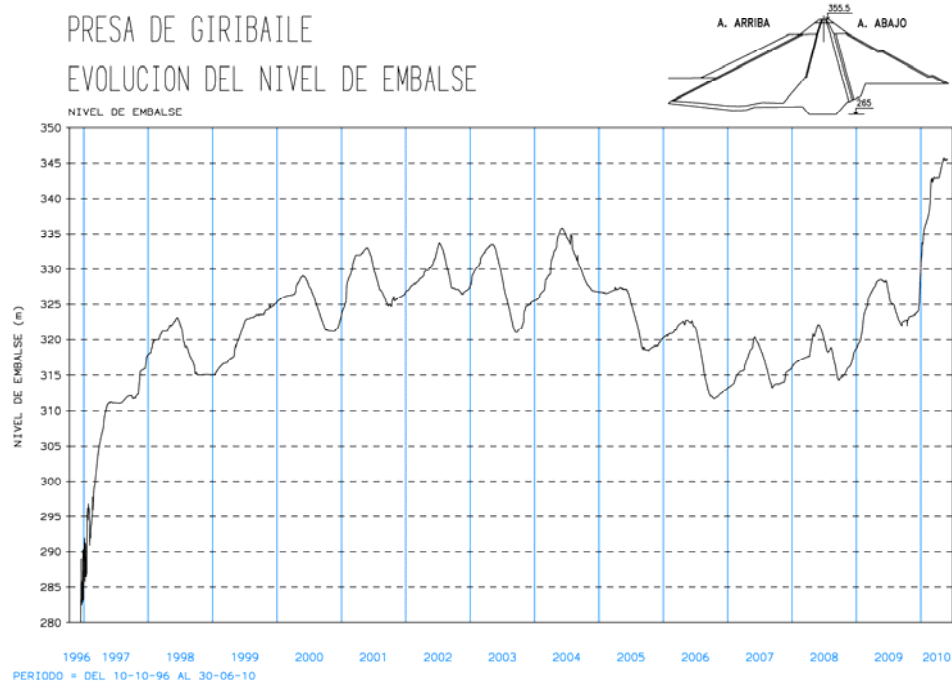


Fig. 12.- Evolución del nivel de embalse

La observación visual de las laderas, aguas abajo de la presa, puso en evidencia de manifiesto la existencia de surgencias de aguas con síntomas de arrastre de arenas lo que creó cierta alarma y obligó a disponer un filtro invertido en la margen derecha.



Foto 3.- Filtro invertido en margen derecha. Giribaile

El llenado de Giribaile se ha completado recientemente de manera brusca y se ha conocido finalmente la respuesta de su cimiento que, en líneas generales y como se describe a continuación, ha sido correcta.

3.1 NIVELES PIEZOMÉTRICOS

El nivel piezométrico de las aguas que circulan por los cimientos de Giribaille ofrece una panorámica compleja, difícil de describir. En términos generales puede decirse que existen dos acuíferos desconectados. Uno profundo cuyo nivel piezométrico queda marcado por un paquete de areniscas y otro más somero que afecta a los estratos impermeables del mioceno de la zona alta de la cerrada. En Fig. 13 se indica la línea piezométrica que se puede preparar con los niveles que se observan a lo largo de la galería perimetral.

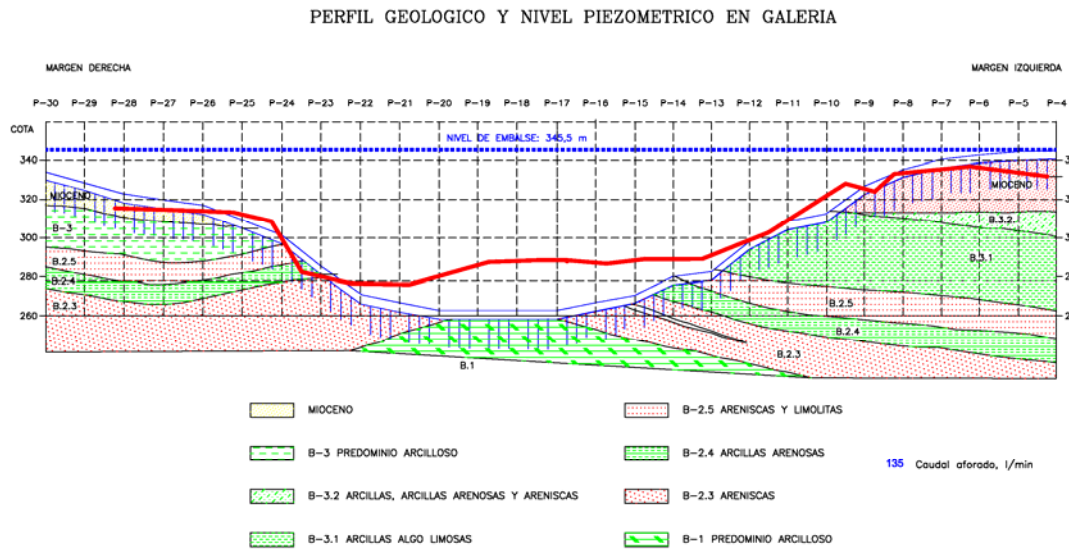


Fig. 13.- Niveles piezométricos en la galería perimetral

Con estos datos piezométricos y con los datos de otros piezómetros de la amplia red de observación instalada se ha podido preparar también la planta de isopiezas que se indica en Fig. 14.

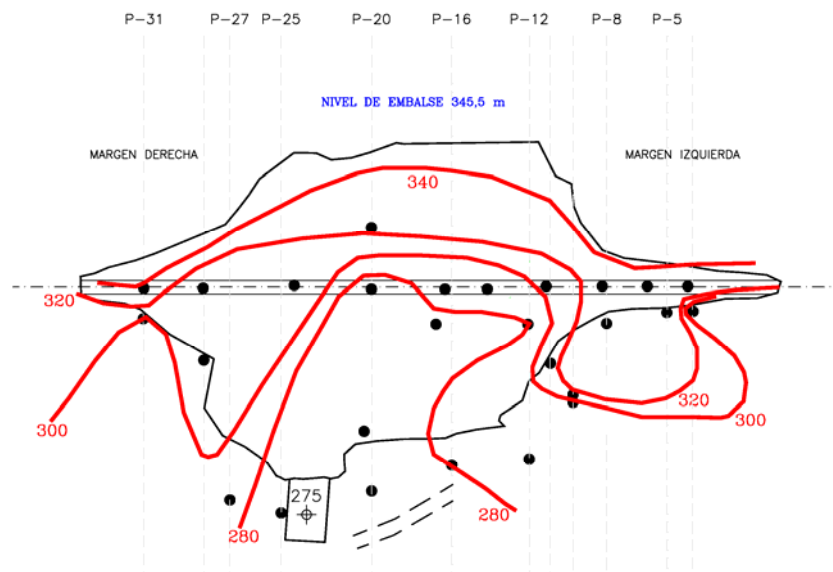


Fig. 14.- Planta de isopiezas

Se aprecian en estos datos varios hechos destacables. Por un lado puede verse la eficacia del tapiz de arcilla y de las inyecciones de impermeabilización del cimientto que hacen que, en la zona central de la cimentación, el nivel piezométrico sea ya unos 60 m más bajo que el nivel del embalse y sólo unos 5 m superior al nivel piezométrico del pie de presa. Por otro lado se observa que en la zona alta de las laderas, donde las rocas miocenas ofrecen mayor impermeabilidad, los niveles piezométricos aguas abajo son muy altos y no se advierte apenas eficacia alguna del tratamiento de impermeabilización.

3.2 CAUDALES DE FILTRACIÓN

Los caudales de filtración principales discurren por las areniscas más permeables del cimientto. Las zonas margosas de la parte alta de la cerrada, a pesar de tener gradientes hidráulicos altos, apenas ofrecen caudales de filtración importantes.

La mayor parte de las filtraciones que atraviesan el cimientto acceden al sistema de drenaje después de ser filtrados por el manto de arenas sobre el que apoya el espaldón de aguas abajo del cuerpo de presa. Luego emergen al pie de presa donde existe un muro que corta las filtraciones y permite su aforo. El caudal recogido en ese aforador ha evolucionado históricamente tal como se indica en Fig. 15. Con estos datos se comprueba que durante los años que ha durado la puesta en carga el caudal de filtración para una misma cota de embalse ha ido reduciéndose como consecuencia de los trabajos de inyección que han venido realizándose de manera continua. También se observa que la ley de crecimiento del caudal de filtración con la cota de embalse es prácticamente lineal como correspondería a un flujo a través de un único foco de filtraciones en las areniscas de la parte baja de la cerrada; al subir el nivel de embalse no aparecen nuevas vías de filtración.

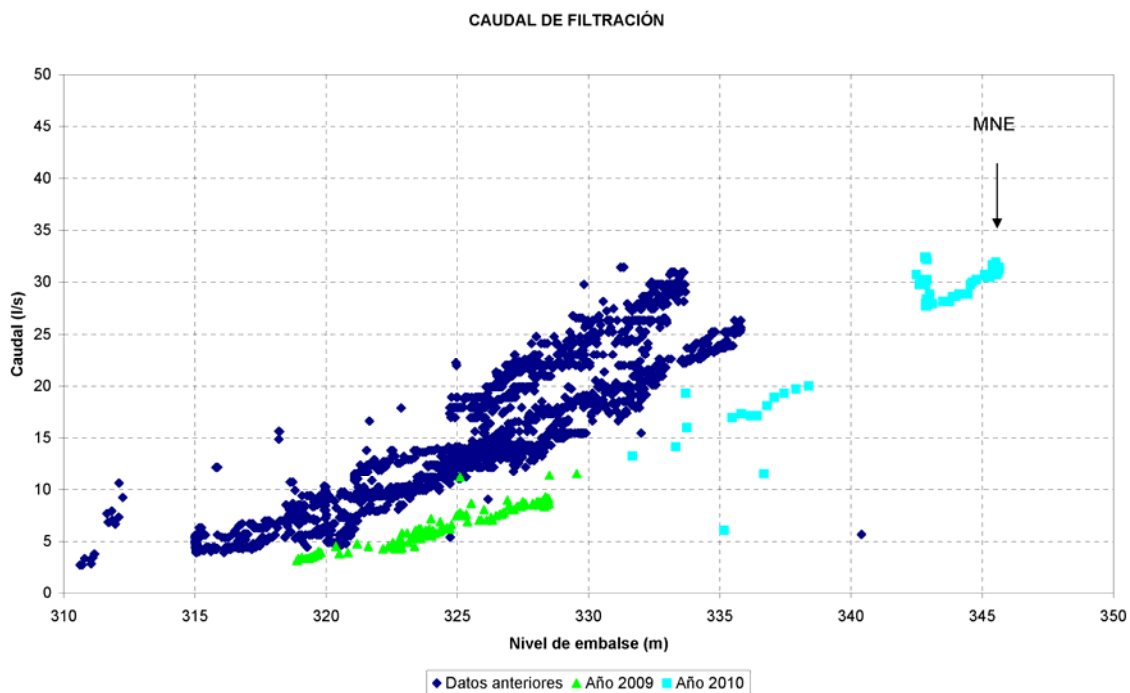


Fig. 15.- Evolución de caudales de filtración

3.3 DEFORMACIONES DEL CIMIENTO

Los paquetes de areniscas y de margas de la cerrada tienen una deformación escasa. Los materiales de los espaldones de la presa y sus protecciones de escollera son también poco deformables. Sin embargo, los asientos registrados en la coronación de la presa son muy importantes; mucho mayores que los que cabría esperar en una presa de este tipo.

La evolución de los asientos de coronación durante la puesta en carga se recoge en Fig. 16. Se aprecia un primer asiento brusco evidente que ocurrió al principio del llenado (inicio del año 1997) y que se atribuyó a la humectación de las gravas y de la escollera del espaldón de aguas arriba. También se atribuyó a esta causa el segundo asiento brusco que ocurrió un año más tarde al aumentar nuevamente el nivel del embalse. Pero la información posterior puso en entredicho esa interpretación pues las nuevas subidas del embalse no han supuesto la aparición de nuevos asientos bruscos adicionales. La nueva interpretación de los hechos observados conduce a pensar hoy que la génesis de los asientos bruscos estriba en la debilidad estructural del tapiz de arcilla. Las primeras subidas del nivel del embalse restaron peso efectivo a los refuerzos del pie del espaldón de aguas arriba lo que supone una merma de la seguridad al deslizamiento del cuerpo de presa. Y eso se traduce en un movimiento de descenso de la coronación. Para cotas de llenado altas ocurre lo contrario, la parte que entra en flotación al ser sumergida es la parte alta de la presa. El menor peso efectivo de esta zona redunda en un beneficio de la seguridad frente a deslizamiento y como consecuencia los asientos siguen la ley natural de fluencia.

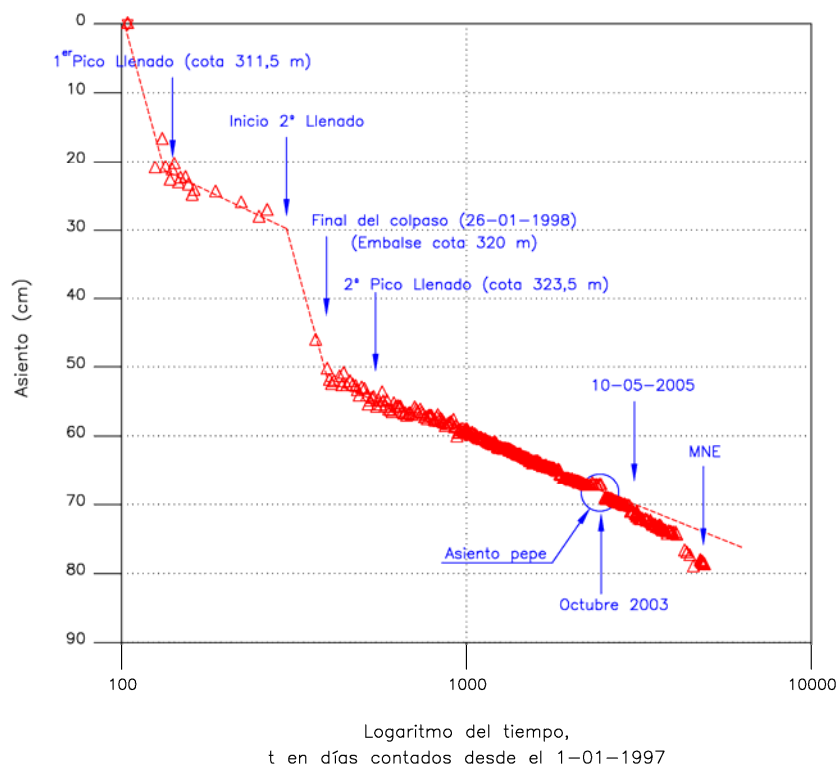


Fig. 16.- Asientos de coronación

Este aspecto del comportamiento del cimientó, entendiendo por tal el tapiz de arcilla, es novedoso y su constatación conduce a pensar que el cuerpo de presa es especialmente sensible a las oscilaciones del embalse cuando éstas se producen en el rango de embalses bajos, bajo la cota de embalse 320 aproximadamente.

4. PRESA DE LA LOTETA

La presa de La Loteta está construida sobre los depósitos miocenos de margas y yesos del valle del Ebro. El gran vaso natural de la presa es una depresión geomorfológica que tiene su salida a través del barranco del Cañizal cuyo curso ha sido cerrado por la presa. Este vaso se usará para almacenamiento de aguas de aportación externa (aguas del Canal Imperial o del Canal de las Bardenas) para abastecimiento a la ciudad de Zaragoza.



Foto 4.- Presa de La Loteta

La sección tipo de la presa de La Loteta se indica en Fig. 17. Tiene como rasgos esenciales el gran tapiz impermeable que se extiende desde el núcleo para pasar bajo el espaldón de gravas y extenderse hasta buena distancia hacia aguas arriba. Pero el rasgo más destacado es la presencia de abundantes yesos en el terreno de apoyo. Más detalles de esta presa pueden verse en las publicaciones que se citan en las referencias.

La evolución del nivel del embalse se refleja en Fig. 18 donde se distingue, tras una primera fase de llenado lenta hasta alcanzar la embocadura de los desagües de fondo (embalse muerto), dos etapas de llenado con aguas de boca procedentes del prepirineo.

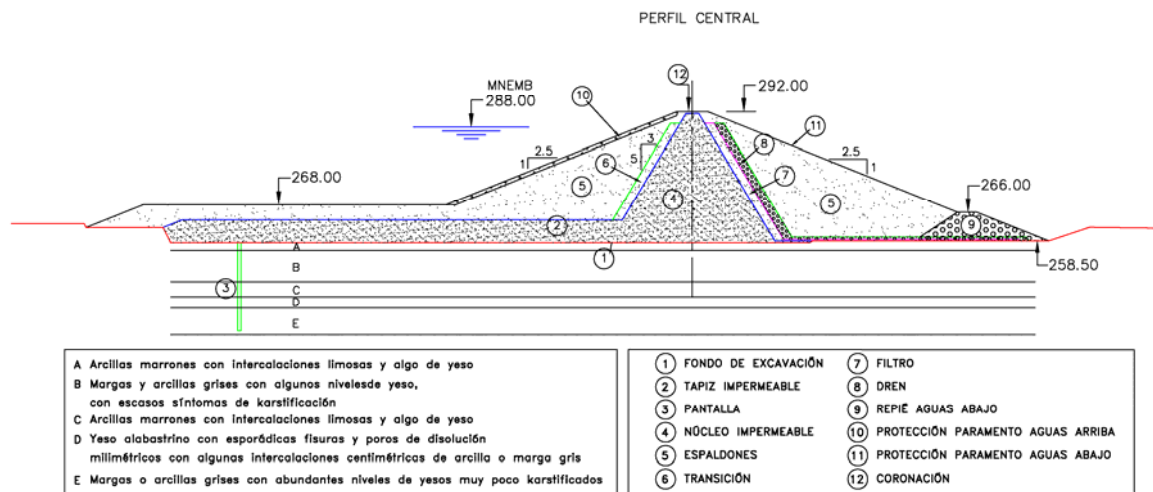


Fig. 17.- La Loteta. Sección tipo

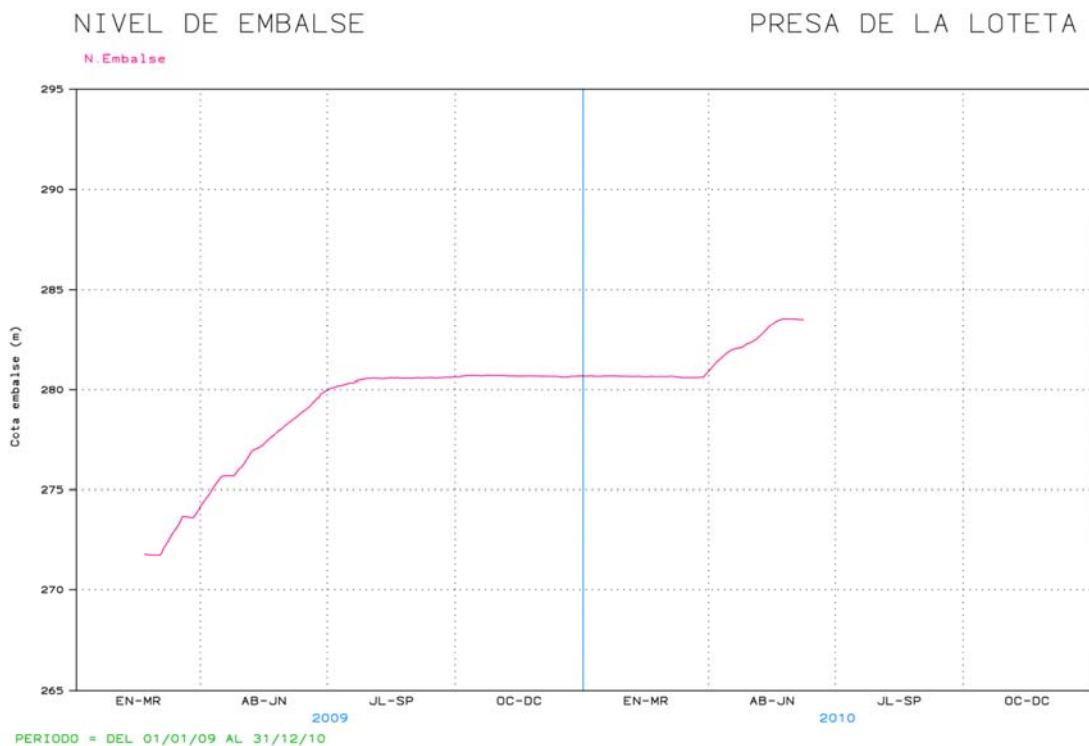


Fig. 18.- Evolución del nivel de embalse

4.1 NIVELES PIEZOMÉTRICOS

La amplia red de piezómetros dispuesta para observar la respuesta de la cimentación al llenado del vaso ha permitido dibujar la planta de isopiezas que se incluye en Fig. 19 (zona central de la presa) y Fig. 20 (zona de estribos).

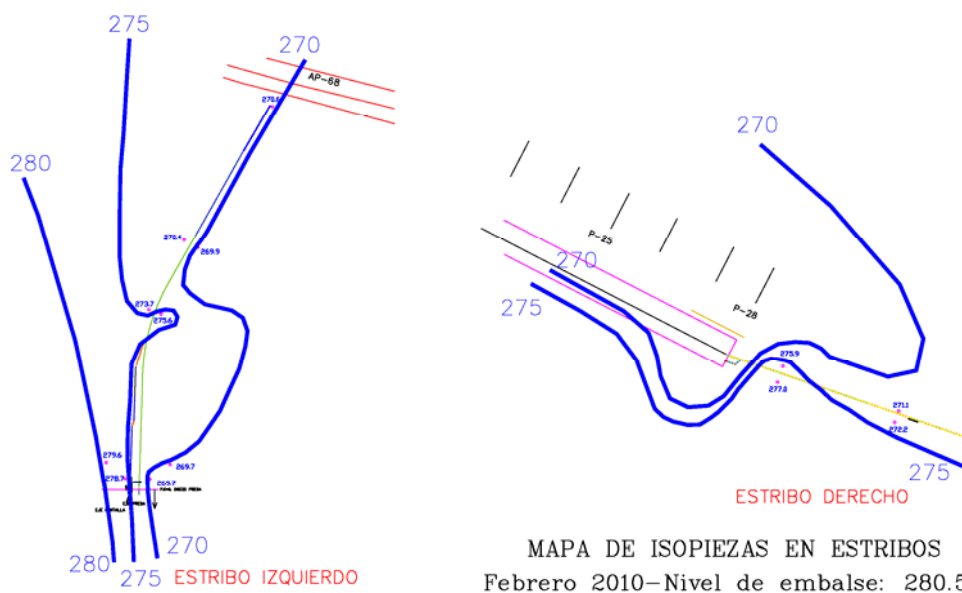
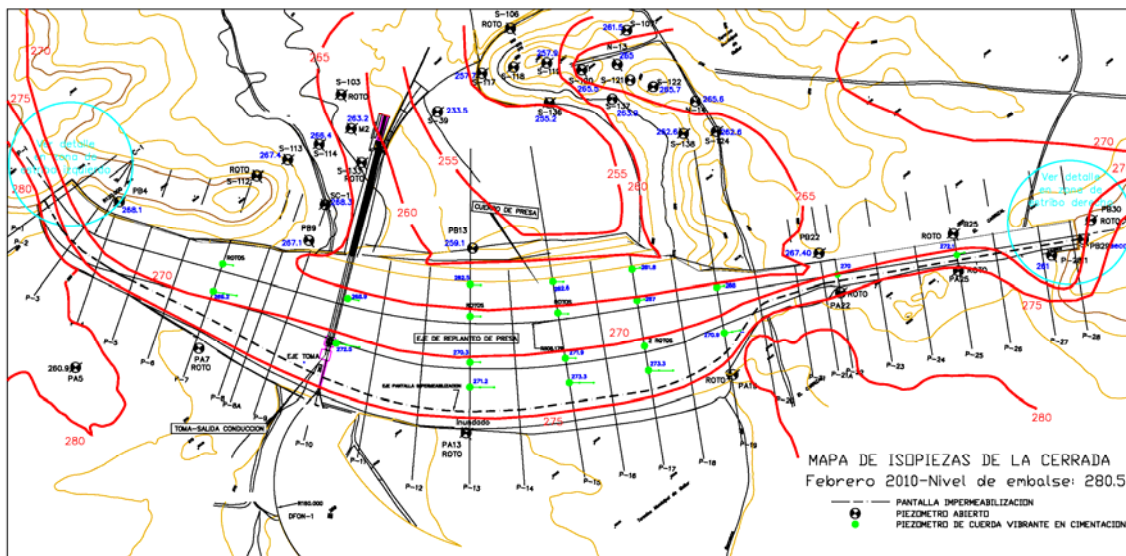


Fig. 20.- Planta de isopiezas. Estribos

Estos mapas permiten obtener varias conclusiones de gran interés técnico. Una de ellas se refiere a la eficacia del tapiz impermeable y de la pantalla continua de bentonita cemento que se construyó en el extremo de aguas arriba del tapiz impermeable. Como consecuencia de la presencia del tapiz las presiones intersticiales en la roca de la cerrada son más bajas que las correspondientes a la carga hidráulica del embalse. La pantalla de impermeabilización continua se construyó para cerrar posibles vías locales de agua. Y, con los datos actuales no se aprecia la existencia de ninguna vía local en la zona central de la presa, donde existe esta pantalla continua. No ocurre lo mismo en las pantallas de impermeabilización de los estribos. Si bien el estribo derecho pa-

rece ofrecer un buen cierre hidráulico, en el estribo izquierdo parece existir una zona por donde las aguas del embalse pueden atravesar la cortina de inyecciones de impermeabilización.

4.2 CAUDALES DE FILTRACIÓN

Los caudales de filtración que se recogen en el sistema de drenaje han venido aumentando paulatinamente a medida que ha ido subiendo el nivel del embalse. Su evolución puede verse en Fig. 21.

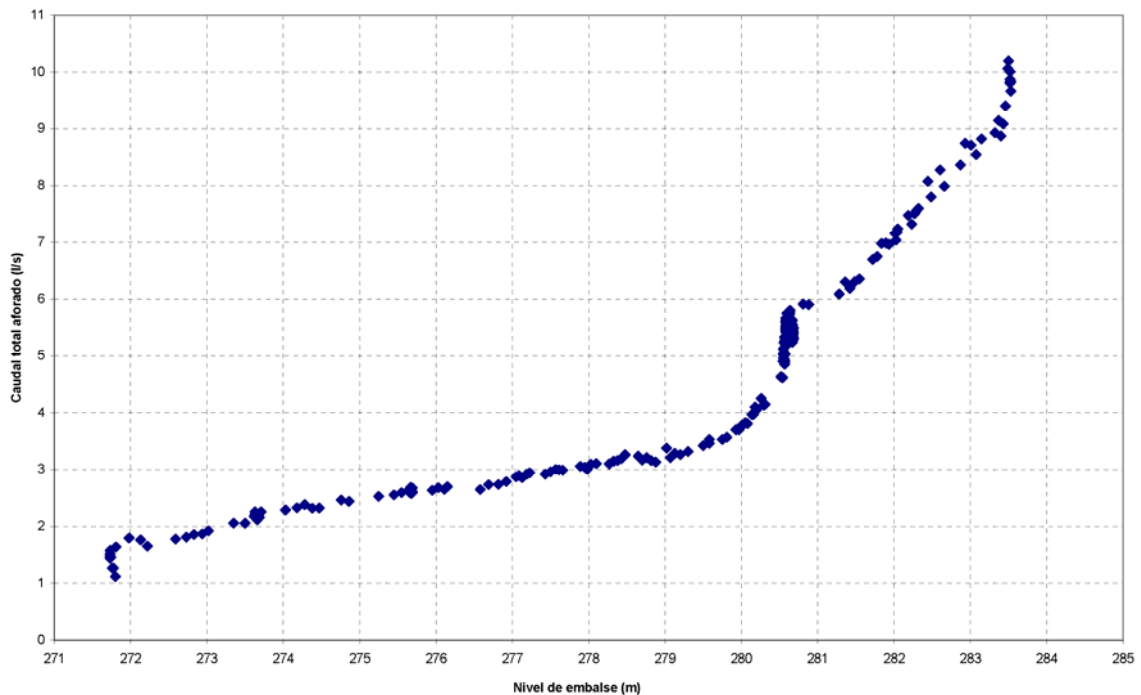


Fig. 21.- Evolución de caudales de filtración

Destaca el hecho del retraso de la respuesta del caudal para ajustarse al nuevo nivel del embalse. Esto indica que la zona de filtración requiere cierto volumen de agua para “llenarse” (saturarse) cuando asciende el nivel del embalse.

Hoy (junio 2010) el máximo caudal filtrado, controlado y aforado, asciende a algo más de 10 l/s, cuando faltan por llenar los últimos 4,5 m del embalse. Esto conduce a pronosticar que, si no cambia cualitativamente el régimen de filtración, para la situación de embalse lleno el caudal de estas fugas controladas podría alcanzar los 20 l/s.

La cantidad de sales disueltas en el agua del entorno del embalse son muy notables en las zonas donde las aguas tienen poco movimiento. Allí se llegan a medir más de 1000 meq/l de sulfatos y cloruros. Las aguas que se escapan al sistema de estanqueidad y fluyen hacia el sistema de drenaje rondan una salinidad del orden de 100 meq/l. Y las aguas embalsadas tienen pocas sales, menos de 10 meq/l. Estos datos se indican de manera gráfica en Fig. 22.

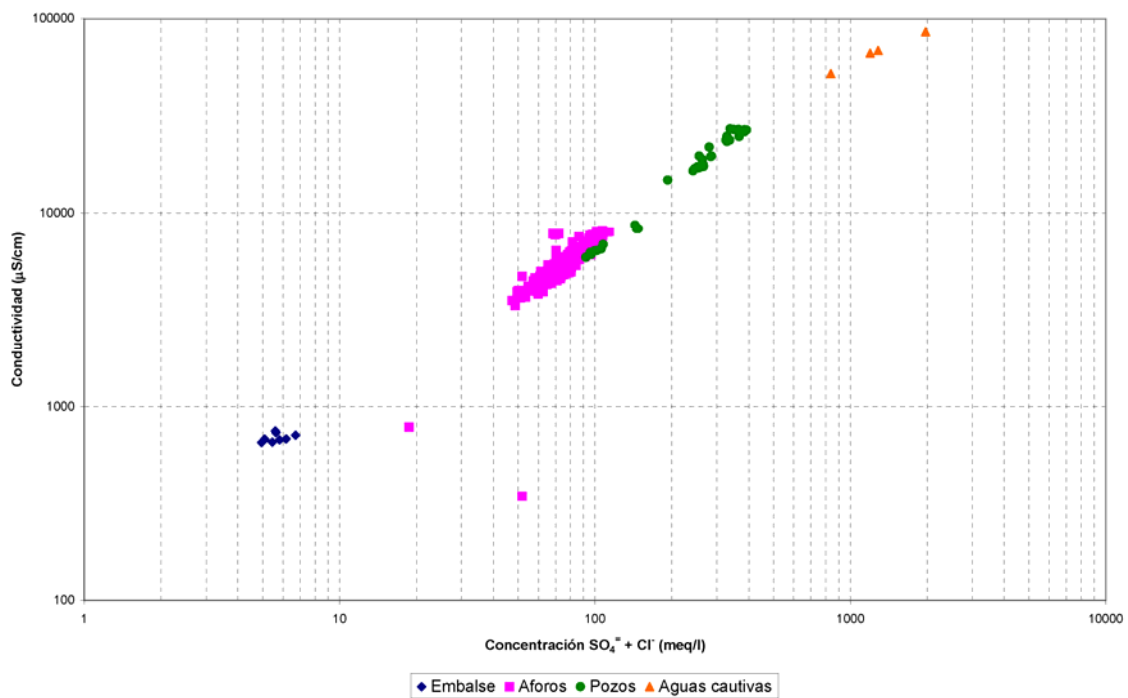


Fig. 22.- Química de las aguas de filtración

Las aguas no parecen arrastrar sólidos en suspensión, sólo llevan sales disueltas. En las balsas de decantación que existen en las estaciones de aforo únicamente se aprecian unos pocos (mínimos) arrastres que se interpreta que proceden de posibles partículas preexistentes en el sistema de conducciones de drenaje. Ver Foto 5.



Foto 5.- Partículas decantadas en la estación de aforo de drenes

4.3 ASIENTOS DE LA CIMENTACIÓN

La estructura de la presa está formada por espaldones de grava y un núcleo de arcilla procedente del proceso de desmenuzamiento y recompactación de las propias margas de la zona. Los asientos medidos durante la construcción han sido convencionales, tal como corresponde a una presa de este tipo bien compactada y apoyada sobre un cimiento poco deformable.

Los asientos de la coronación que se han medido después son también normales y siguen una ley de fluencia natural. Ver Fig. 23. No se ha detectado en consecuencia ningún movimiento que pueda ser debido a algún defecto del cimiento.

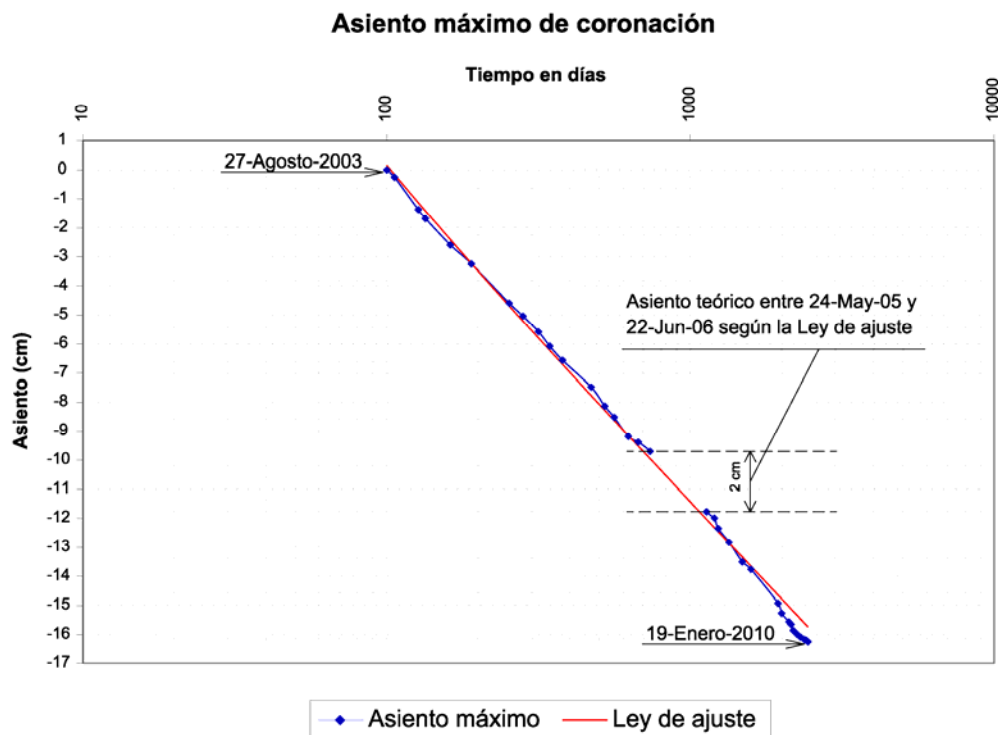


Fig. 23.- Asientos de coronación

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

En este artículo se describen los rasgos principales del comportamiento de la cimentación durante la puesta en carga de tres presas importantes y singulares que han experimentado recientemente (año 2010) fuertes subidas de nivel de embalse.

La presa de Rules (arco gravedad de 130 m de altura) ha sufrido movimientos apreciables que no han afectado a su estructura, tiene un estado de subpresiones aceptable y su sistema de control de filtraciones hacia los drenes recoge caudales del orden de 80 l/s.

La presa de Giribaile (núcleo central de arcilla, espaldones de gravas protegidos con escollera y 90 m de altura) ha requerido ciertos refuerzos pero ha completado satisfactoriamente su puesta en carga con niveles piezométricos aguas abajo más altos que los deseables pero que no causan efectos negativos apreciables. Y los caudales de filtración son moderados; en total del orden de 50 l/s para el embalse lleno.

En La Loteta (núcleo central de arcillas, espaldones de grava y 34 m de altura) la singularidad del cimientado que contiene abundante yeso, no ha inducido hasta la fecha, con el llenado hasta unos 4,5 m bajo el MNNE, ningún síntoma de anomalía grave. Los niveles piezométricos son moderados, no se han observado síntomas de deformación anormal del cimientado y las filtraciones son de agua que tiene abundante cantidad de sales disueltas y que hasta hoy han sido de un caudal que, extrapolado por la condición de embalse lleno, no parece que vaya a superar los 20 l/s.

Aún siendo tan diferentes, la observación del cimientado de estas tres presas ofrece rasgos comunes que también se aprecian en otras que han completado su llenado recientemente y cuyos datos se han presentado en estas jornadas. Son estas otras presas Itoiz y Rialp.

Los niveles piezométricos altos en la zona de aguas abajo tratan de evitarse mediante pantallas de impermeabilización y drenaje. Un fallo en este sistema puede comprometer la estabilidad de las presas por excesiva subpresión y puede comprometer el buen funcionamiento de los cimientos provocando filtraciones en las laderas o en el pie de presa con el consiguiente peligro de erosión. La vigilancia de los niveles piezométricos en el cimientado es posible y se puede conseguir con una auscultación adecuada. Parece que en presas similares a las estudiadas se necesita para ello varias decenas (cerca de un centenar) de piezómetros convenientemente dispuestos.

La observación de los caudales de filtración merece también un esfuerzo especial pero no tanto por conocer su cuantía como por verificar que son de agua limpia y comprobar su estabilidad temporal. Los cimientos de las presas pueden soportar sin deterioro caudales de filtración importantes, pero sería muy negativo y alarmante que tales caudales no fuesen estables, que crecieran con el paso del tiempo y con el nivel de embalse constante, o que presentasen arrastres sólidos. Es siempre muy conveniente disponer aforos selectivos (por zonas). Siempre es deseable que en presas de gran porte, como las consideradas, se disponga de al menos diez zonas de aforo. Esto permite un estudio mejor y, ante eventuales reparaciones, un mejor conocimiento de las zonas a actuar.

Los movimientos de las presas son, en buen número de casos, un reflejo de la deformación del cimientado. Por eso este sistema de observación (movimiento) es útil para detectar posibles anomalías en la cimentación. En presas de fábrica son de gran interés los péndulos y los extensómetros. La experiencia de Rules mueve a recomendar péndulos inversos bien profundos y el uso de extensómetros de sólo una varilla para garantizar mejor su correcto funcionamiento.

La vigilancia de los tres aspectos citados (piezometría, filtraciones y movimientos) pueden permitir la detección de anomalías e incluso estudiar eventuales soluciones para corregirlas. Pero siempre son la observación visual fre-

cuenta y las inspecciones periódicas los elementos clave para detectar eventuales incidentes.

Los pronósticos de comportamiento de la cimentación hechos a priori, durante la fase de proyecto e incluso durante la construcción, deben confirmarse observando con detalle el proceso de puesta en carga. Con ello se gana fiabilidad (seguridad de la obra) y se aprende. Después, transmitiendo la experiencia que se adquiere, tal como ha querido hacerse modestamente con este artículo, se mejora el conocimiento.

6. REFERENCIAS

- Lafuente Dios, R. (2004). "La presa de La Loteta". Revista de Obras Públicas nº 3441 págs. 153-166. Febrero.
- Lafuente Dios, R., Granell, J., Poyales Morales, I. y Flórez Casillas, V. (2007). "Presa de La Loteta. Un emplazamiento estratégico". Ingeniería Civil nº 144, págs. 117-120.
- Lafuente R, Gómez R. and Martínez, J.M. (2002). "La presa de La Loteta" (Gallur, Zaragoza). VII Jornadas Españolas de Presas. Zaragoza. 29-31 de mayo.
- Lafuente R., Gómez R, Alonso, M. and Martínez, J.M. (2002) "La pantalla de impermeabilización de la presa de La Loteta". VII Jornadas Españolas de Presas. Zaragoza. 29-31 de mayo.
- Lafuente R., Gómez R, Gesti, J.A. and Martínez, J.M. (2002) "Reconocimiento geológico-geotécnico de la cimentación de la presa de La Loteta". VII Jornadas Españolas de Presas". Zaragoza. 29-31 de mayo.
- Lafuente R., Gómez R, Soriano, A., Sánchez, F. and Martínez, J.M. (2002) "Los principales materiales de construcción de la presa de La Loteta". VII Jornadas Españolas de Presas. Zaragoza. 29-31 de mayo.
- Martín Pérez, J., Soriano Peña, A., Valderrama Conde, M. y González Galindo, J. (2000). "Monitoring safety against sliding of Giribaile dam". XX Congreso Internacional de Grandes Presas. Beijing (China), September, 2000.
- Martín Pérez, J. (1993). Métodos tradicionales y nuevas técnicas de tratamientos de cimentaciones con especial referencia de cimientos difíciles. "La presa de Giribaile". IV Jornadas Españolas de Presas. Murcia, Mayo 1993.
- Nevot A., Simic, D., Bernal, A., Capote, A. y López de Alda, J.F. (1993). "La cimentación de la presa de Rules en el río Guadalfeo (Granada)". IV Jornadas Españolas de Presas. Murcia. Mayo 1993
- Nevot Pérez, A. (2001). "Presa de Rules, Granada. Solución eficaz". Revista Cauce nº 107.
- Nevot Pérez, A. (2004). "La presa de Rules". Revista de Obras Públicas nº 3441 pp. 131-154. Febrero.
- Nevot Pérez, A. y Soriano Peña, A. (1999). "Permeabilidad del aluvial y del cimiento de la presa de Rules". VI Jornadas Españolas de Presas. Málaga, 8-10 de junio 1999.
- Nevot Pérez, A. y Soriano Peña, A. (2002). "Asientos de la cimentación de la presa de Rules". VII Jornadas Españolas de Presas. Zaragoza 29-31 de mayo de 2002. Vol. II. Pp. 517-526.

- Nevot Pérez, A., Costa Pereira, M., Portillo Rubio, E. Y Bernal Riosalido, A. (1993). "Ensayos in situ de deformabilidad y de resistencia del macizo rocoso en la cimentación de la presa de Rules". IV Jornadas Españolas de Presas. Murcia. Mayo 1993.
- Soriano Peña, A. (1997). "Shallow foundations of retaining structures on weak rocks". Proceedings of the Fourteenth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Hamburgo, 6-12 September, 1997.
- Soriano Peña, A. (2006). "La Loteta dam. Seepage control". Twenty-Second International Congress on Large Dams. Barcelona, 18-23 de junio.
- Soriano Peña, A. y Sánchez Caro, F.J. (1999). "Deformaciones en presas de materiales sueltos". VI Jornadas Españolas de presas. Málaga, 8-10 Junio 1999.
- Soriano, A. y Sánchez, F. (1997) "Sobre la evaluación de la seguridad de las presas de materiales sueltos". Revista de Obras Públicas nº 3.371., págs. 97-113. Diciembre.