

COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

LA PRESA DE VADOMOJÓN: COMPORTAMIENTO 12 AÑOS TRAS EL FIN DE CONSTRUCCIÓN.

Julián Portillo Aguilar¹.
Francisco Samper Urbano².

RESUMEN: La presa de Vadomojón está situada sobre el río Guadajoz, en los términos municipales de Baena (Córdoba) y Alcaudete (Jaén). Esta presa es de materiales sueltos, con núcleo vertical construido con limos arcillosos extraídos del aluvial del río y espaldones de escollera caliza margosa procedentes de cerros de la zona del embalse. El núcleo y los filtros descansan sobre un sustrato geológico de margo-calizas, mientras que los espaldones lo hacen sobre materiales aluviales. La altura máxima sobre cimientos es de unos 70 m.

La construcción del cuerpo de presa finalizó en agosto de 1995. En junio de 1996 comenzó el primer llenado, que se prolongó hasta junio de 1998. Desde esa fecha, la presa se encuentra en explotación.

Esta presa se encuentra intensamente instrumentada, con numerosos sensores en el cuerpo de presa y en su entorno.

En la presente comunicación se describen y analizan los resultados de la instrumentación hasta el fin del año hidrológico de 2007.

El seguimiento de la instrumentación ha permitido comprobar el buen comportamiento global de la presa hasta esa fecha, así como extraer interesantes enseñanzas acerca de la evolución de la presa y la propia instrumentación.

¹ Licenciado Ciencias Geológicas. Geotecnia y Cimientos, S.A. jportilloa@geocisa.com

² Ingeniero Canales Caminos y Puertos. Geotecnia y Cimientos, S.A. fsamperu@geocisa.com

1.- INTRODUCCIÓN

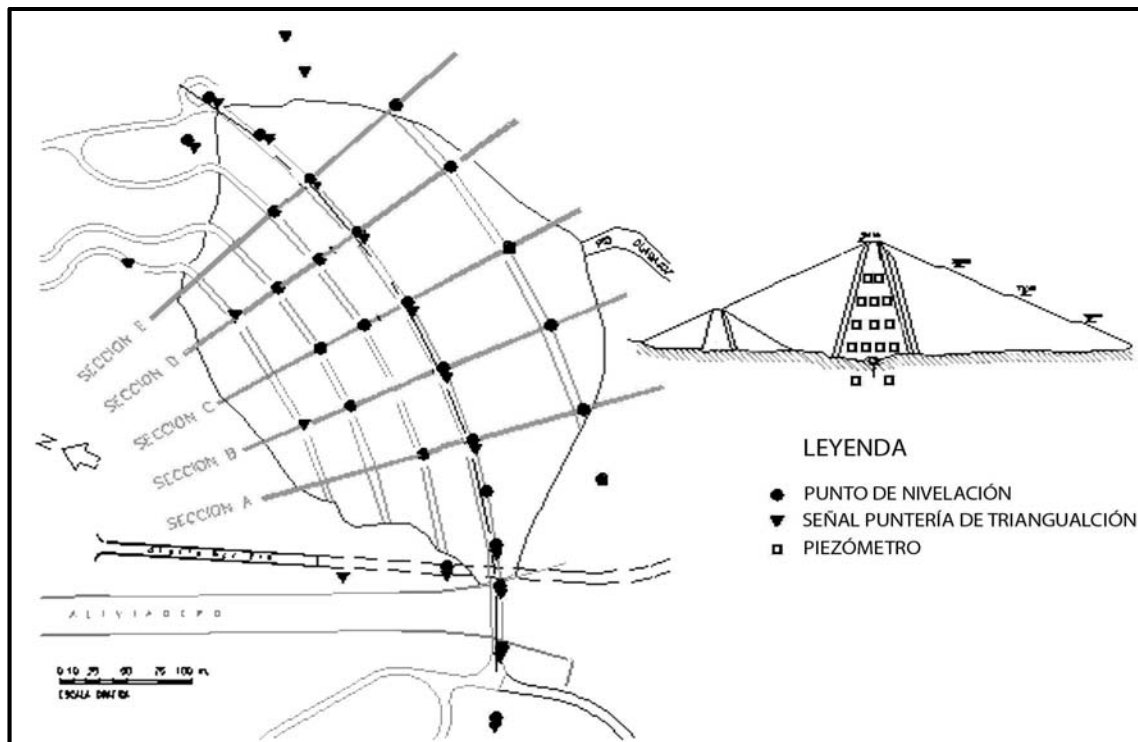
La presa de Vadomojón, administrada por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (C.H.G.), se encuentra en el tramo intermedio del río Guadajoz, en los términos municipales de Baena y Alcaudete, situados en las provincias de Córdoba y Jaén, respectivamente.

Se trata de una presa de materiales sueltos, cuya sección transversal está formada por un núcleo impermeable de arcilla y espaldones de escollera caliza y espaldones de escollera caliza. Entre el núcleo y los espaldones se han dispuesto filtros para la protección del primero. Para la construcción de la presa se adoptó una planta curva, con un radio de 525 m y una longitud media en coronación de 427 m.

La coronación de presa está situada a la cota 369,00 m.s.n.m, tiene una anchura en coronación de 7 m y su altura máxima sobre cimientos es de 75 m.

A lo largo de la presa y coincidiendo con su eje existe una galería perimetral para inspección y control de la misma

El sistema de evacuación está formado por el aliviadero y los desagües de fondo, situados ambos en la margen izquierda.



La instrumentación se concentra básicamente en 5 secciones (A, B, C, D y E).

2.- SISTEMA DE AUSCULTACIÓN

En la tabla n° 1 se indican los equipos de medida existentes en la presa y su cimiento para controlar su comportamiento en fase de explotación:

TABLA N° 1- EQUIPOS DE INSTRUMENTACION

SITUACIÓN	MAGNITUD MEDIDA	EQUIPO DE LECTURA	UDS.	SUMA PARCIAL
Cuerpo de presa	Movimientos externos	Triangulación - Señales de puntería	13 (13)	125 (223)
		Nivelación - Hitos	16 (23)	
	Movimientos internos	Células hidráulicas de asiento	2 (15)	
		Anillos de asiento	0 (59)	
		Tuberías inclinométricas	0 (10)	
		Extensómetros de gran base	0 (6)	
	Presiones intersticiales	Piezómetros de cuerda vibrante	57 (60)	
	Presiones totales	Células presión total	34 (34)	
Movimientos de juntas y grietas	Medidores tridimensionales de juntas	3 (3)		
Contacto núcleo-aliviadero	Presiones intersticiales	Piezómetros de cuerda vibrante	3 (3)	6(6)
	Presiones totales	Células presión total	3 (3)	
Macizo de apoyo	Movimientos externos	Triangulación-Señales	5 (7)	262(268)
		Triangulación-Bases	5 (5)	
		Nivelación - Hitos	0 (4)	
	Presiones intersticiales	Piezómetros de cuerda vibrante	6 (6)	
		Drenes	120(120)	
		Pozos de control	3 (3)	
	Caudales filtrados	Aforo drenes	120(120)	
		Vertederos de aforo	2 (2)	
		Caudalímetro totalizador	1 (1)	
			Total	393 (497)

() Entre paréntesis equipos operativos a fin de construcción

En la tabla anterior no se incluyen los sensores empleados para el control de las variables naturales y de explotación, al no ser objeto de la presente comunicación.

En ella también se observa que ha quedado fuera de servicio gran parte de la instrumentación empleada para el control de los movimientos internos del cuerpo de presa.

Sin embargo, prácticamente todos los sensores utilizados para la medida de las presiones totales e intersticiales en el cuerpo de presa y su cimiento se encuentran operativos.

Por otro lado, también están operativos casi todos los sensores empleados para el control de los movimientos externos y de los caudales drenados.

4.-RESULTADOS DEL SEGUIMIENTO DE LA INSTRUMENTACIÓN

4.1.- NIVEL DE EMBALSE

En la figura 2 se incluye la evolución del nivel de embalse en el periodo de estudio.

Se observa que tras el primer llenado, que finalizó en junio de 1998, el nivel de embalse hasta junio de 2004 ha oscilado entre los 347 m.s.n.m. y el NMN (363,50 m), el cual ha superado en dos ocasiones (26/4/01 y 25/5/04), registrándose el nivel máximo el 21/5/01 con una cota de 363,70 m.s.n.m. Posteriormente, en 2005, se produce un descenso del nivel hasta la cota 338 entorno a la cual se mantiene hasta el final del año hidrológico 2007.

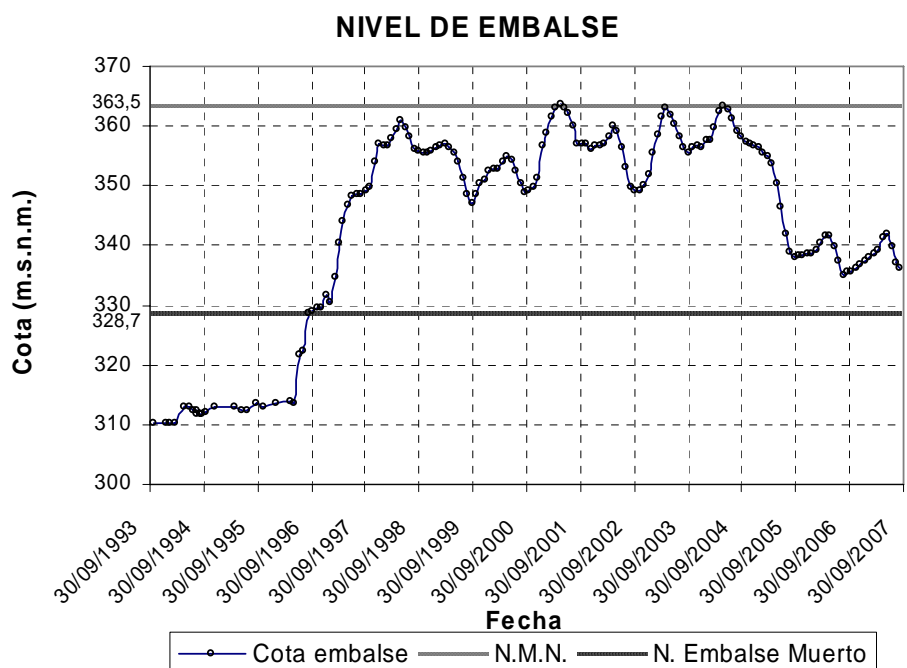


Fig. 2. Evolución del nivel de embalse

4.2.- MOVIMIENTOS VERTICALES

En la figura 3 se muestran los asientos experimentados en coronación durante el periodo de estudio en comparación con el nivel de embalse.

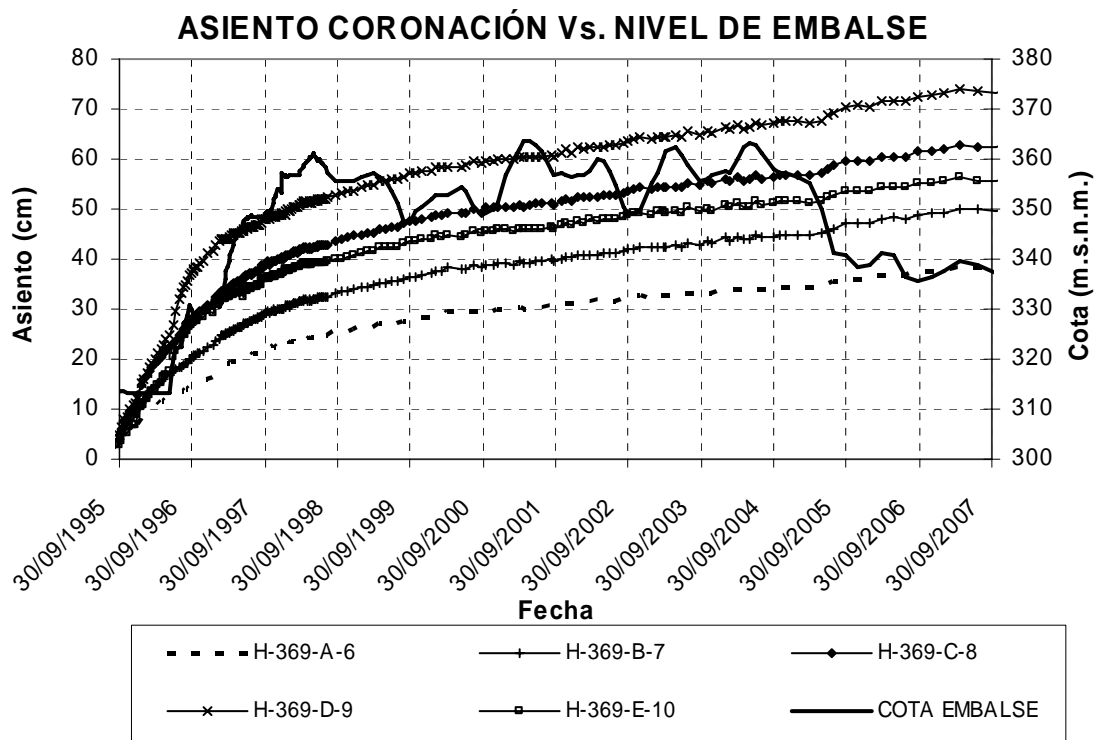


Fig. 3. Evolución del asiento en coronación respecto al nivel de embalse

Se observa un rápido crecimiento de los asientos en coronación hasta el fin del primer llenado, que se atribuyen al colapso por humectación del espaldón de aguas arriba y a la saturación o consolidación del núcleo.

Con posterioridad, se produce una esperable reducción en la velocidad de asiento. Los asientos en este periodo siguen sensiblemente una ley logarítmica; en la sección central resulta un índice de asientos (IA), también en ese periodo, del 0,4 %, que está dentro del rango habitual para presas de estas características (Soriano, 1993).

Y por último, a partir del descenso del nivel de embalse en el año 2005 se produce una aceleración de los asientos, que se atribuye al aumento de la presión efectiva en el cuerpo de presa.

Por otro lado, se observa que el mayor asiento (73 cm) no se ha producido en la sección central (C) sino en la D situada más cerca del estribo derecho. Esto se explica por una heterogeneidad en el cimiento de la presa ya detectado en fase de construcción, y que no afecta a su buen comportamiento.

Además, el asiento de la sección central es de unos 63 cm, lo que supone un 0,9 % de la altura de la presa, algo por encima de lo esperado en este tipo de presas.

4.3.- MOVIMIENTOS HORIZONTALES TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES

Los movimientos horizontales transversales tienen valores que oscilan entre ± 3 cm alrededor de la lectura inicial y no es posible correlacionarlos con el nivel de embalse, lo que indica la estabilidad de la presa en relación a este aspecto.

Los movimientos horizontales longitudinales muestran un “flujo” de los materiales hacia la sección D, ya detectado en fase constructiva, y que se atribuye a la heterogeneidad del cemento. El máximo movimiento horizontal medido ha sido de 6-8 cm.

4.4. CONTROL DE PRESIONES INTERSTICIALES EN EL CUERPO DE PRESA

En la figura n° 4 se muestra la evolución de la cota piezométrica de cuatro piezómetros situados a la misma cota en la misma sección del núcleo, junto con la cota del nivel de embalse. El comportamiento de estos cuatro piezómetros es representativo del resto. En ellos se observa que la cota piezométrica medida sigue fielmente el nivel de embalse y la atenuación que se produce de la cara de aguas arriba a la de aguas abajo del citado núcleo.

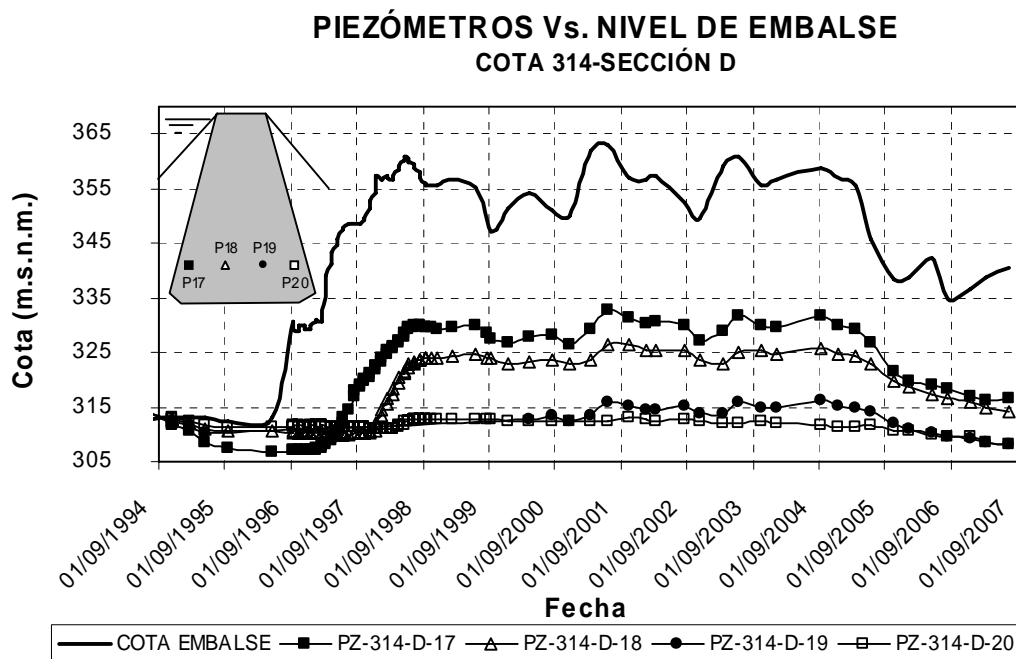


Fig. 4. Evolución de las presiones intersticiales en el núcleo a la cota 314 sección

Se ha comprobado que estas cotas piezométricas no superan las teóricas para cada nivel de embalse, para la red de filtración que se obtiene en cada caso a partir de los parámetros de proyecto, confirmando la ausencia de excesos de presiones intersticiales en el núcleo y mostrando un buen comportamiento en relación a este aspecto.

Por otro lado, se ha observado que el paralelismo entre presiones intersticiales y el nivel de embalse se va atenuando con el tiempo. Esta pérdida de presión que en estos 12 años se estima en $0,3 \text{ Kg/cm}^2$ se ha interpretado como una pérdida de tensión de la cuerda de los piezómetros. Este hecho se hace evidente en aquellos sensores que nunca han estado sumergidos, como es el caso de los situados en el muro del aliviadero (ver figura nº 5).

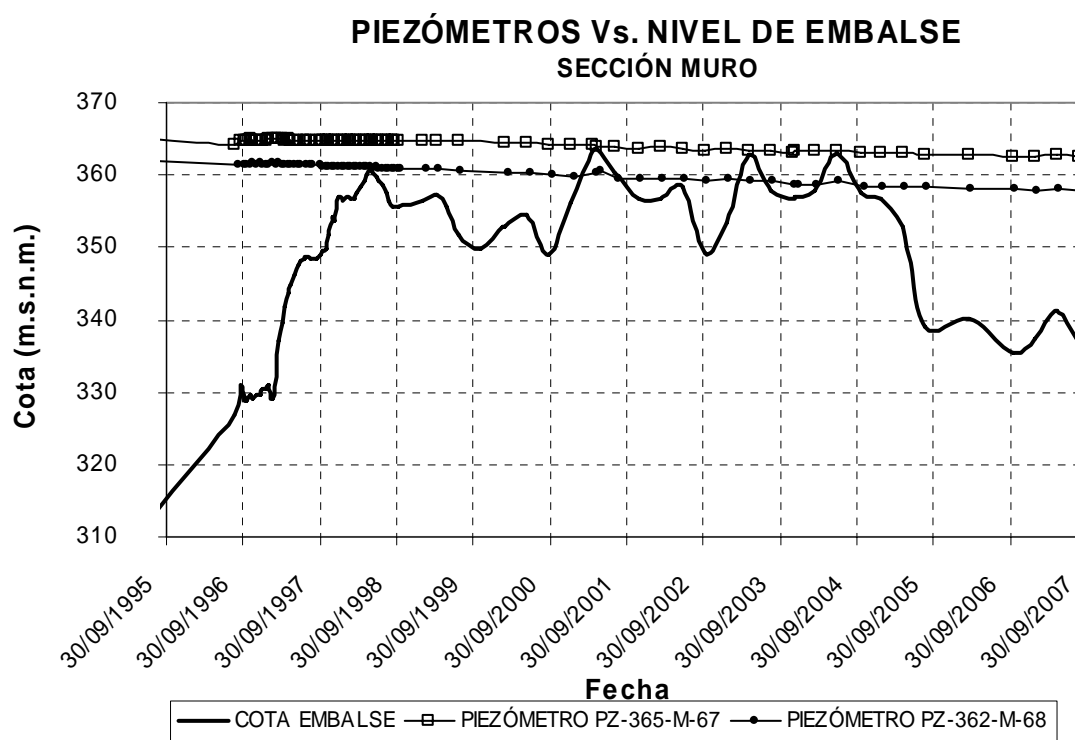


Fig. 5. Evolución de las presiones intersticiales en el muro del aliviadero

Parece razonable, a la luz de estos resultados, que sería aconsejable en la construcción de nuevas presas instalar piezómetros de cuerda vibrante en puntos situados fuera de la influencia del nivel de embalse con el objeto de utilizarlos como correctores. Tal y como se viene haciendo con los extensómetros de cuerda vibrante en las presas de hormigón.

4.5. CONTROL DE PRESIONES TOTALES Y EFECTIVAS EN EL CUERPO DE PRESA

Se han analizado las presiones registradas por las células de presión total y las presiones efectivas calculadas a partir de los datos de dichas células y los piezómetros asociados correspondientes.

Se ha podido observar (ver figura nº 6) que las presiones totales oscilan, como es lógico, con los cambios en el estado tensional del cuerpo de presa debidos a variaciones del nivel de embalse.

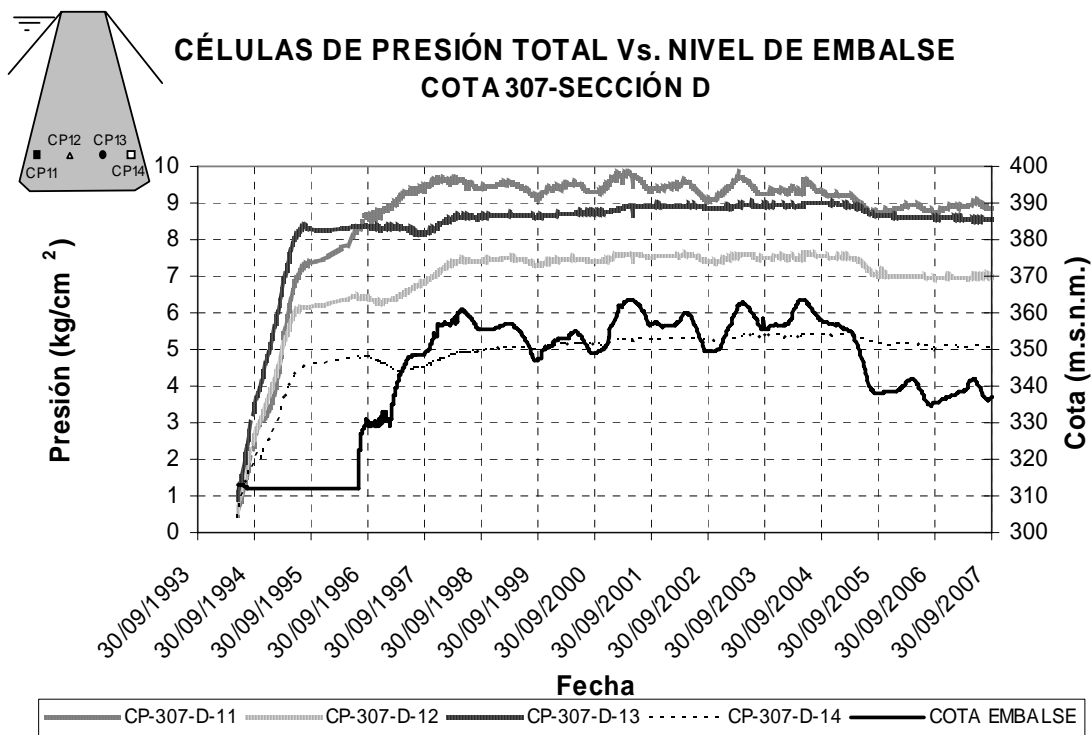


Fig. 6. Evolución de las presiones totales en el núcleo a la cota 307 sección D

La deriva observada en los piezómetros también se intuye en las células de presión total, aunque se hace más difícil corroborarlo y estimar su magnitud al no contar con células libres de cargas.

En el caso de las presiones efectivas se observa que en ningún punto se han detectado presiones efectivas verticales nulas lo que provocaría un riesgo de inestabilidades en el núcleo de presa, confirmándose el buen comportamiento del citado núcleo.

4.6. AFORO DE FILTRACIONES

En la figura 7 se muestra la evolución de las filtraciones recogidas por cada margen, el conjunto de ambas y el nivel de embalse.

Durante las primeras fases de llenado, los caudales evacuados superaron los 400 l/min. Las inyecciones efectuadas los años 1997 y 1998 redujeron esos caudales, sobre todo los de la margen derecha, a valores que no han superado los 270 l/min.

Así, a partir de esa fecha, los caudales evacuados evolucionan paralelamente al nivel de embalse; verificándose que para cada nivel de embalse el caudal aforado es sensiblemente el mismo, no evolucionando en el tiempo, lo que indica el buen comportamiento de la presa en relación a este aspecto.

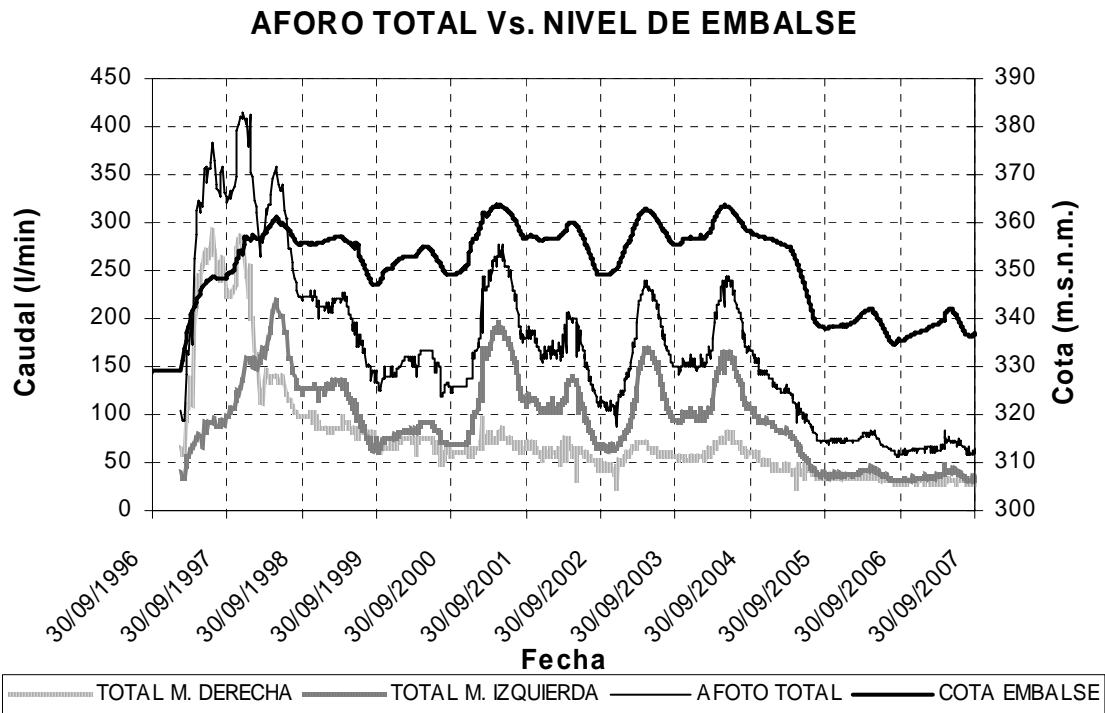


Fig. 7. Evolución de las filtraciones frente al nivel de embalse

4.7. PRESIONES INTERSTICIALES EN EL CIMIENTO

Los tres piezómetros de cuerda vibrante situados aguas abajo de las pantallas de inyección y drenaje no han medido cotas piezométricas significativas (normalmente no superan la cota 310 m.s.n.m.).

Los tres piezómetros situados aguas arriba, tienen un comportamiento heterogéneo. Así, uno de ellos prácticamente no ha registrado cotas piezométricas de entidad; mientras que los dos restantes siguen la evolución del nivel de embalse, si bien uno de ellos se acerca más a los valores del citado nivel que el otro.

En definitiva, de los resultados de los piezómetros de cuerda vibrante dispuestos en el cimiento se deduce un buen comportamiento de la presa; si bien los situados aguas arriba tienen un comportamiento variable, lo que se atribuye a la también variable permeabilidad de la cerrada.

5.-CONCLUSIONES

El análisis de los 12 años de seguimiento de la presa de Vadomojón ha permitido obtener enseñanzas sobre el comportamiento de la misma y su instrumentación.

En concreto, se ha comprobado la buena respuesta que ha tenido la presa en este periodo, tal y como respaldan los registros de la instrumentación. Se

han observado eventos como la reactivación de los asientos cuando se producen desembalses importantes y se ha seguido la evolución de los movimientos del cuerpo de presa que indican una cierta fluencia de la misma hacia su margen derecha, que no compromete su seguridad.

Respecto a la instrumentación, se han detectado fenómenos como la deriva en los equipos de cuerda vibrante en seguimientos a largo plazo (lo que se ha atribuido a la pérdida de tensión en las cuerdas) y la idoneidad de la instalación de ciertos dispositivos en presas de tierras. Todo esto debe permitir mejorar los diseños en futuros sistemas de instrumentación.

6.- AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración prestada para la elaboración de la presente comunicación a la CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR y al personal GEOCISA encargado del tratamiento de los datos de la instrumentación.

7.- REFERENCIAS

Colegio de Ingenieros Caminos Canales y Puertos. Comité Nacional Español de Grandes Presas “Auscultación de las presas y sus cimientos. Guías técnicas de seguridad de presas P-7”. Servicio Publicaciones Escuela Ingenieros CC y P.2004.

J. del Campo, F. Samper y E. Cabeza, “Primer llenado de la presa de Vadomojón: Movimientos en el cuerpo de presa y su entorno” VII Jornadas Españolas de presas, Zaragoza 2002.

I. Maillo, P. Sola, F. Samper y E. Cabeza, “Presiones intersticiales y caudales de filtración de la presa de Vadomojón durante primer llenado” VI Jornadas Españolas de presas, Málaga 1999

I. Maillo, P. Sola, F. Samper y A. Sanchez del Rio, “Instrumentación de la presa de Vadomojón” Curso sobre auscultación de obras geotécnicas. CEDEX. Madrid 1997

I. Maillo, P. Sola, F. Samper y A. Sanchez del Rio, “Comportamiento de la presa de Vadomojón durante su construcción” V Jornadas Españolas de presas, Valencia 1996

A. Soriano, “El comportamiento de las presas de materiales sueltos y su auscultación” Simposio sobre geotecnia de presas de materiales sueltos, Zaragoza 1993

J. Dunnycliff. “Geotechnical Instrumentation for monitoring field performance”. Wiley 1988.