

Auscultación de la presa de Huesna durante la construcción y primer ciclo de llenado-vaciado

Por **FERNANDO DEL CAMPO RUIZ**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (INTECSA).

M.^a GABRIELA MAÑUECO PFEIFFER

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (INTECSA).

BENIGNO BAYAN JARDIN

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

1. INTRODUCCION

La PRESA DE HUESNA, situada sobre el río Rivera de Huesna, afluente por la margen derecha del río Guadalquivir, es de escollera con pantalla asfáltica, con una altura máxima sobre cimientos de 73 m. (cota de coronación 280 m.s.n.m). Su aliviadero es de labio fijo de 470 m³/s de capacidad, y se encuentra situado en un collado de la margen derecha a 1 km. del emplazamiento de la presa, siendo la cota del umbral del vertedero la 275,50. El desagüe de fondo, constituido por dos conductos rectangulares de 1,00 x 1,00 m², se ubica en el falso túnel que ha servido como desvío del río durante la construcción. Existen otras dos obras de hormigón dentro del cuerpo de presa que son la galería, por la que discurrirá la conducción de toma, y el plinto, sobre el que se apoya la parte inferior de la pantalla asfáltica, que es visitable, casi en su totalidad, mediante una galería perimetral. La obra de toma, con tres niveles de captación, se encuentra situada sobre la margen izquierda y está constituida por una galería adaptada al terreno, con tres torretas de toma pentagonales.

La presa contribuye a la regulación de la cuenca del Guadalquivir y a la laminación de avenidas, siendo su principal razón de ser el abastecimiento de agua potable a un conjunto de poblaciones situadas en su mayoría en la margen izquierda del Guadalquivir.

Las figuras 1 y 2 corresponden a la planta esquemática y al perfil principal de la presa, donde se ha indicado la situación de los aparatos del sistema de auscultación.

2. CONSTRUCCION DE LA PRESA Y LLENADO DE EMBALSE

El presente artículo tiene por objeto describir y analizar la información obtenida mediante el sistema de auscultación, sobre el comportamiento de la presa durante el período transcurrido desde el inicio de su construcción hasta estos momentos (febrero 1991), en que se está procediendo a su segundo llenado. Para poder comprender mejor este comportamiento, debemos referirnos por un lado, a la construcción de la presa y por otro a la auscultación del embalse, ya que tanto una como otra presentan unas características que pueden ser atípicas.

La construcción del cuerpo de presa, constituido por escollera de pizarra, se inició a finales de 1985, y se desarrolló por así decirlo "normalmente", finalizando la colocación de las pizarras (volumen total: 1.100.000 m³) en agosto de 1987. En cambio, la realización de la pantalla asfáltica tuvo lugar entre marzo y junio de 1989, es decir, dos años más tarde. Esto ha permitido que la mayor parte del asiento por peso propio de la escollera tuviera lugar antes de la construcción de la pantalla y posterior llenado de embalse.

Sin embargo, el fenómeno más destacable en la Presa de Huesna es el hecho de que a raíz de las riadas que tuvieron lugar en el Sur de España, en noviembre y diciembre de 1989, se optó por cerrar los desagües de fondo de la presa. Esto dio lugar a que en un plazo de quince días, en noviembre de 1989, el nivel de embalse subiera del orden de 20 metros. En diciembre de 1989, el nivel de embalse alcanzó la cota 266, sin que estuviera com-

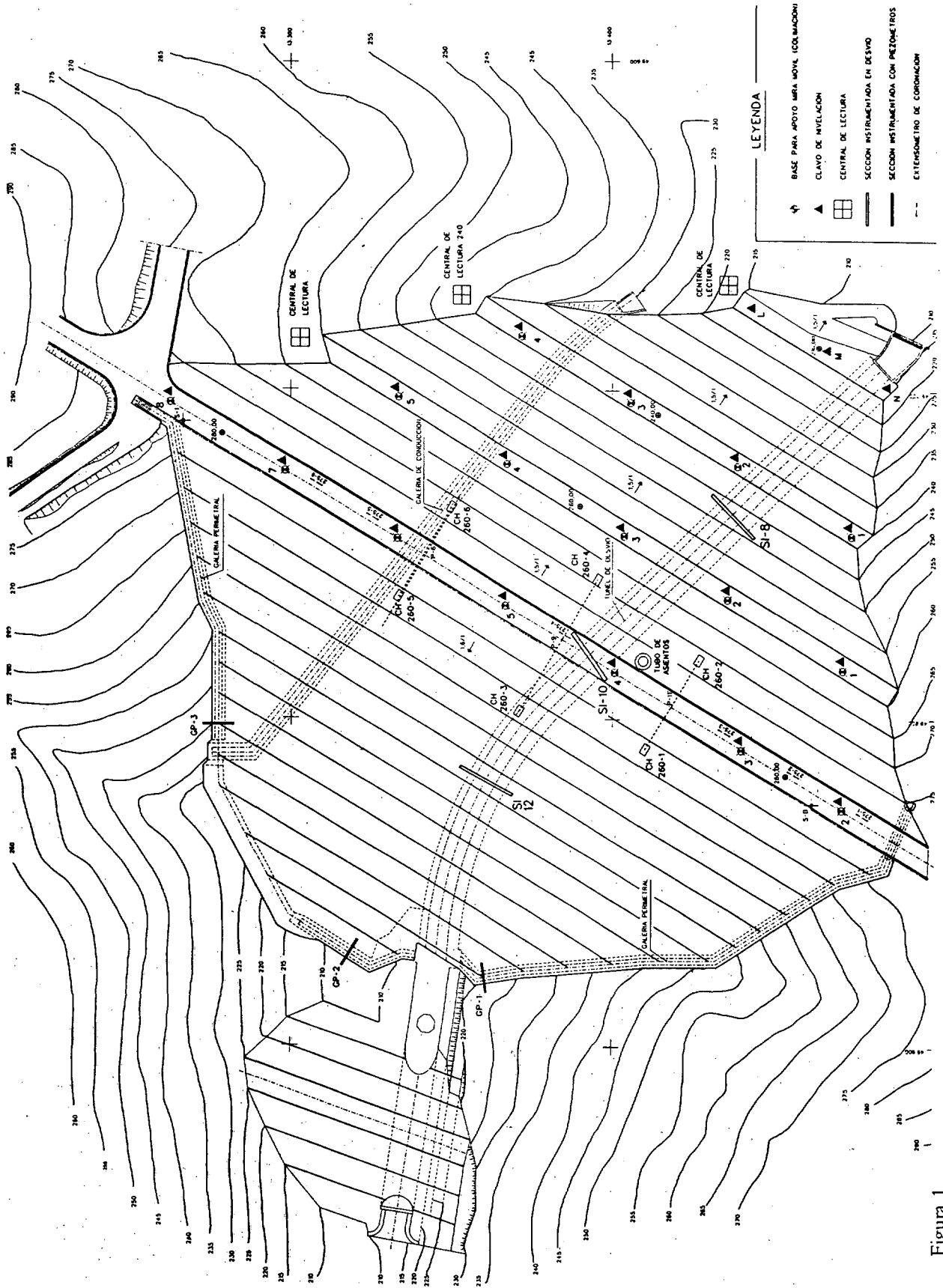


Figura 1

AUSCULTACION DE LA PRESA DE HUESNA DURANTE LA CONSTRUCCION Y PRIMER CICLO DE LLENADO-VACIADO

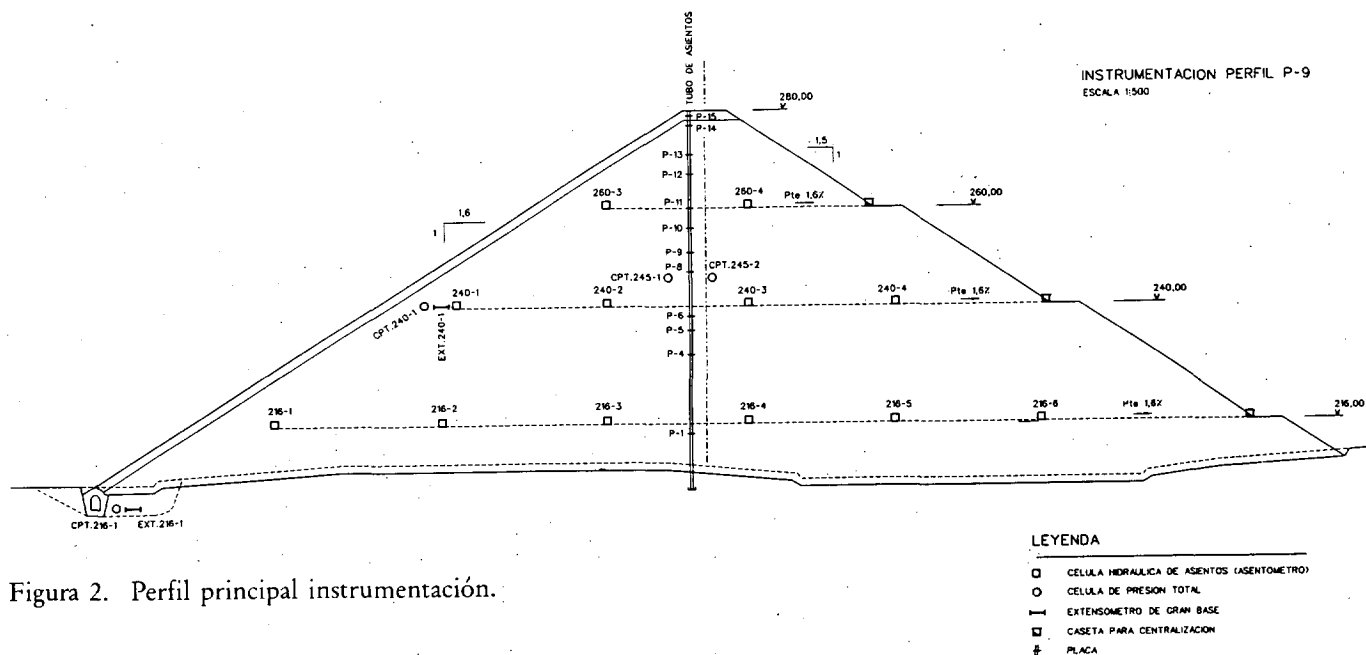


Figura 2. Perfil principal instrumentación.

CUADRO N.º 1

MAGNITUD	INSTRUMENTOS	N.º COLOCADO	OBSERVACIONES
ASIENTOS	<ul style="list-style-type: none"> • Células hidráulicas • Tubo de asentamientos • Testigos de nivelación 	6, 5 y 6 1 3, 4, 5 y 8	Cotas 216, 240 y 260 Perfil principal Cotas 216, 240, 260 y 280
DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES	<ul style="list-style-type: none"> • Bases para miras de colimación 	4, 5 y 8	Cotas 240, 260 y 280
PRESIONES	<ul style="list-style-type: none"> • Células de presión de cuerda vibrante • Células de presión de cuerda vibrante • Células de presión de cuerda vibrante 	2 4 x 3 secciones 1 x 2 puntos	Cota 245 Trasdos de la galería Plinto y cota 240
DEFORMACIONES	<ul style="list-style-type: none"> • Extensómetros de gran base • Extensómetros de gran base • Extensómetros de cuerda vibrante • Extensómetro de varillas y clinómetros 	6 1 x 2 puntos 10 3 y 3	Cota 275, direcc. eje presa Plinto y cota 240 En armadura int. y ext. En 3 secciones
PRESIONES INTERSTICIALES	<ul style="list-style-type: none"> • Piezómetros de cuerda vibrante 	7	A lo largo galería perim.
FILTRACIONES	<ul style="list-style-type: none"> • Aforadores Thomson 	2	Final de las galerías

pletamente terminada la pantalla de inyecciones del terreno, por lo que hubo que abrir los desagües de fondo durante unos días. Desde primeros de enero de 1990 hasta mediados del mes de mayo, el llenado se produjo de forma gradual, al tiempo que se completaba la pantalla de inyecciones.

Entre mayo y agosto de 1990 se procedió a vaciar el embalse. Esta situación estaba prevista puesto que se pensaba aprovechar el agua embalsada en invierno para los riegos del verano siguiente, ya que no estaba terminada la red de abastecimiento, pero era además necesario para terminar la construcción de la torre de toma, interrumpida por las riadas.

3. SISTEMA DE AUSCULTACION

El conjunto de los instrumentos de auscultación instalados en la Presa de Huesna constituye un sistema bastante completo con el que se pretende alcanzar un doble objetivo: controlar y vigilar la obra y, al mismo tiempo, poder investigar su comportamiento y compararlo con el previsto en proyecto para aprovechar los conocimientos adquiridos en obras futuras.

La citada instrumentación está destinada a medida de las siguientes magnitudes:

- Asientos en el cuerpo de presa.
- Presiones en el cuerpo de presa.
- Deformaciones en el cuerpo de presa.
- Presiones en la zona de la pantalla y plinto.
- Deformaciones en la zona de la pantalla y plinto.
- Presiones en el contacto de la escollera con la galería del desagüe de fondo.
- Deformaciones de la galería del desagüe de fondo.
- Deformaciones en la galería perimetral.
- Presiones intersticiales y filtraciones.

En el cuadro número 1 se indican los diversos tipos de aparatos dispuestos para determinar cada uno de estos parámetros, lo que complementa la información suministrada en las Figuras 1 y 2, a efectos de disponer de una visión de conjunto del sistema de auscultación.

4. COMPORTAMIENTO DE LA PRESA

4.1. Desplazamiento del cuerpo de presa

La auscultación topográfica se inició posteriormente al comienzo del primer llenado del embalse y con una cota del mismo muy cercana a la máxima alcanzada por lo que, desgraciadamente, no

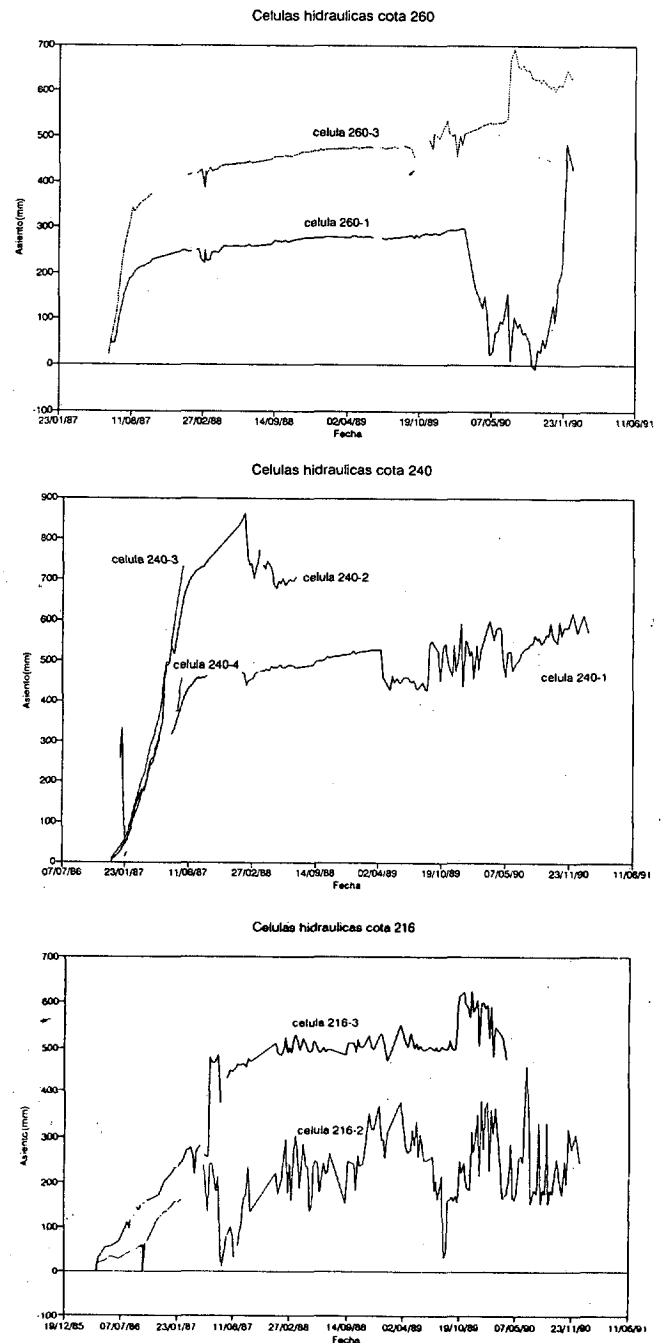


Figura 3. Células hidráulicas.

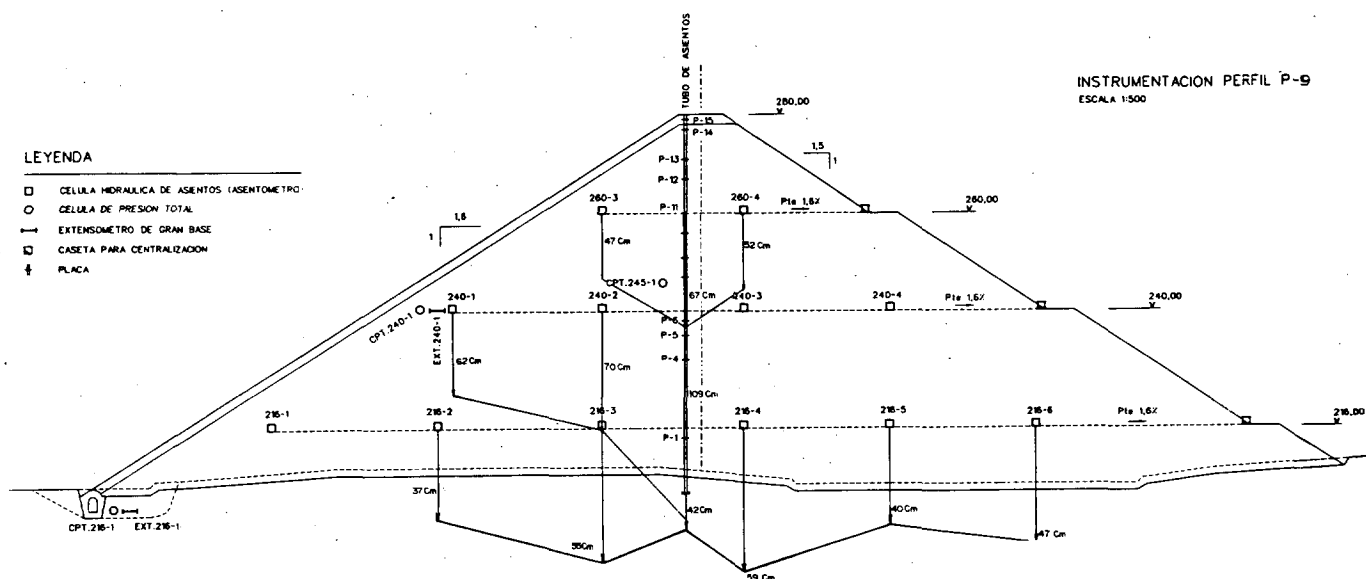


Figura 4. Asientos en perfil principal (construcción).

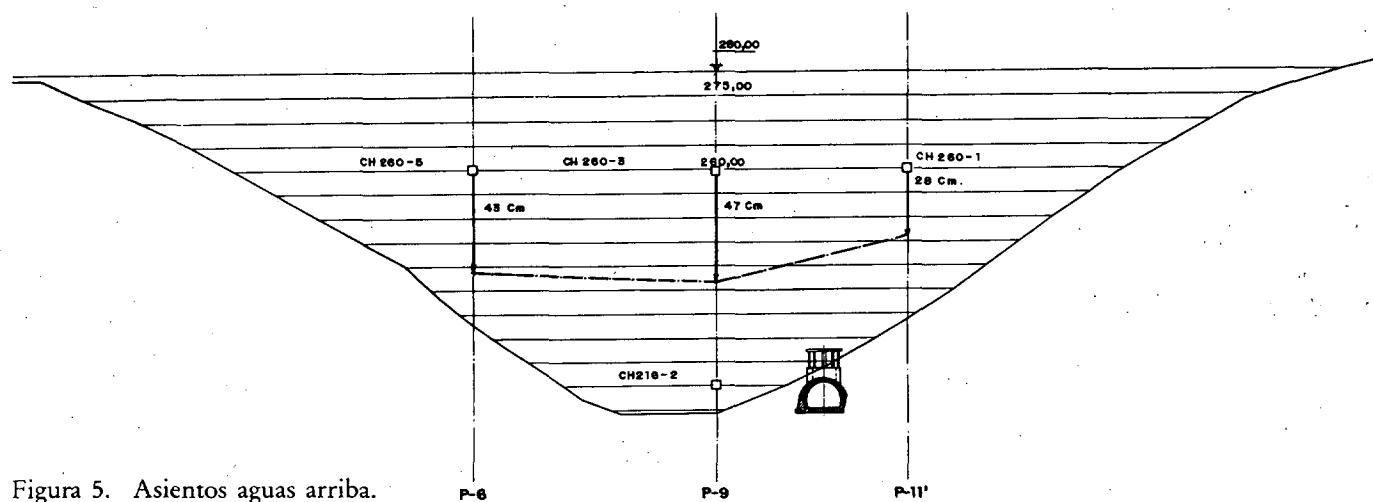


Figura 5. Asientos aguas arriba.

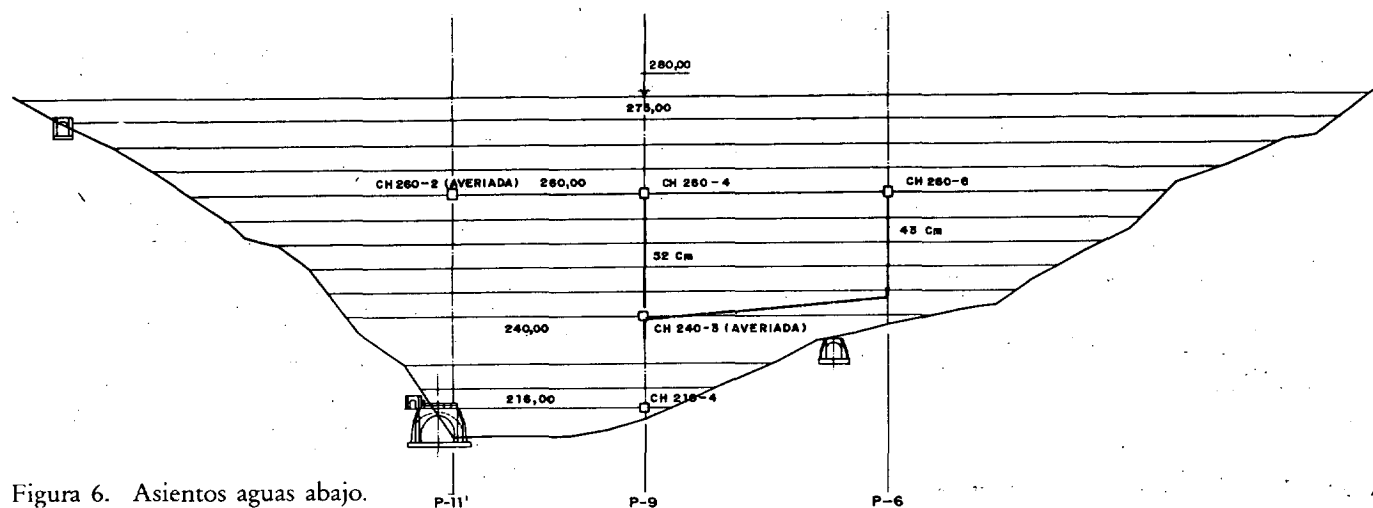


Figura 6. Asientos aguas abajo.

ha podido servir para dilucidar las discrepancias registradas entre las medidas realizadas con los otros aparatos disponibles (células hidráulicas y tubo de asientos). No obstante, sí se puede considerar como un parámetro significativo el hecho de que los desplazamientos registrados hasta ahora, tanto en horizontal como en vertical son de orden milimétrico y oscilan entre un asiento nulo en la berma de la cota 216 y un asiento de 1 cm registrado en coronación. Durante el primer llenado, y por la misma causa, los desplazamientos horizontales medidos por colimación ofrecen resultados poco significativos. Aunque se trata de las medidas más fiables, también han sido las más espaciadas debido a su complejidad.

A falta de más datos topográficos, el seguimiento de los asientos se ha realizado mediante las células hidráulicas y el tubo de asientos durante la construcción de la presa. Este último se averió al final de la construcción, por lo que desde entonces el seguimiento más frecuente se ha realizado a través de las células hidráulicas. En la figura 3, se han recogido los gráficos más significativos de la evolución de las células hidráulicas desde su colocación. En el gráfico correspondiente a la cota 240 puede observarse que tres de las cuatro células situadas a esa cota han dejado de funcionar. Lo mismo ha sucedido con la célula 216-1 y con la 260-6. Esto es frecuente, según consta en la bibliografía sobre presas de escollera, siendo la causa principal del fenómeno

la dificultad de conectar estas células con las casetas de lectura, situadas a distancia importante, mediante un frágil tubo que, incluso con una colocación cuidadosa, termina sufriendo deformaciones (o roturas). Esta misma circunstancia dificulta la circulación del agua y la estabilización necesaria para la realización de las lecturas, por lo que, aunque se realizan tres lecturas espaciadas dos horas cada día de medida y se registra la media de ellas, los resultados presentan importantes oscilaciones, como se observa en los gráficos de la figura 3.

En las figuras 4, 5 y 6 se han recogido los asientos totales al final de la construcción, según el perfil transversal principal y los perfiles longitudinales de aguas arriba y aguas abajo, respectivamente. Para su obtención ha sido necesario hacer abstracción de las citadas oscilaciones, eligiendo valores representativos. Los asientos producidos por el llenado del embalse han sido poco significativos.

En la figura 7, se han recogido los desplazamientos máximos correspondientes al tubo de asientos, que dejó de poder ser utilizado en julio de 1989 tras la introducción de una piedra por una persona incontrolada (lo que confirma la necesidad de proteger los aparatos de medida contra los extraños). Hasta entonces, este aparato había dado medidas mucho más homogéneas que las de las células hidráulicas; esta experiencia avala nuestra opinión de que parece aconsejable colocar algún tu-

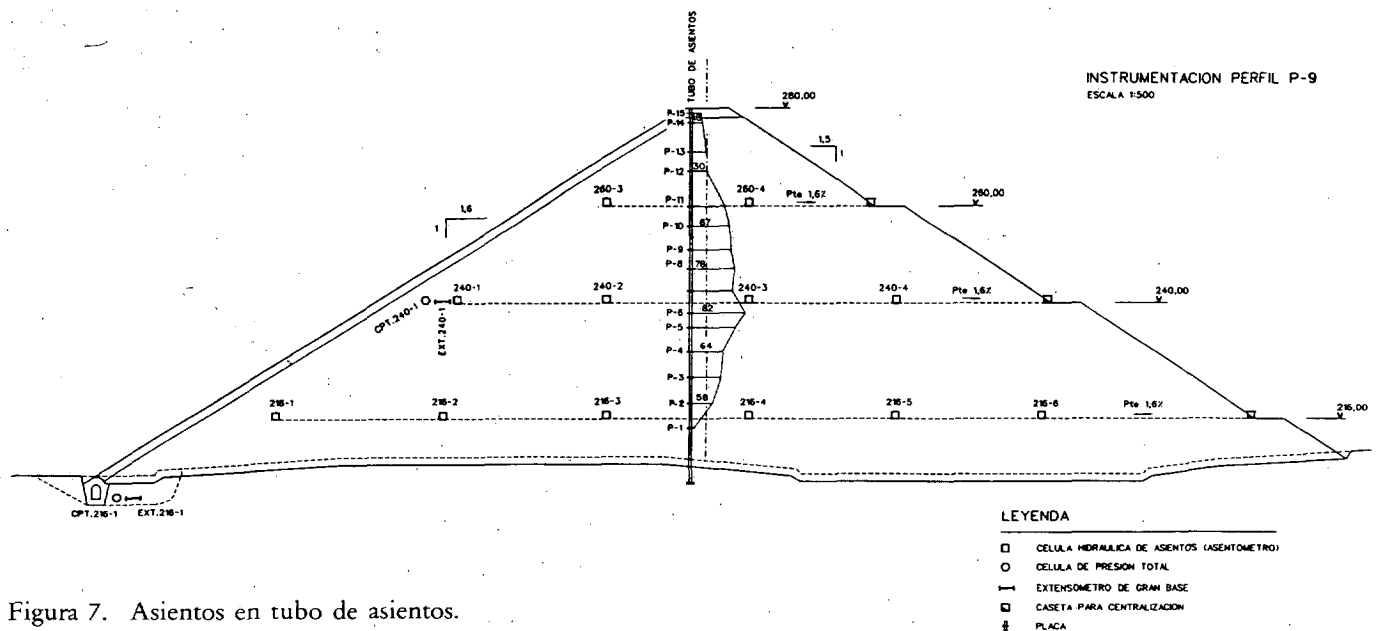


Figura 7. Asientos en tubo de asientos.

bo más en las presas de escollera puesto que, aunque tienen un coste bastante mayor que el de las células, son más fiables. Volviendo a la figura 7, en ella se observa que los asientos durante la construcción responden a la forma habitual, donde el máximo movimiento corresponde a un punto situado algo por debajo de la cota media del perfil, y oscila entre el 0,7 y 1,2% de la altura de presa. En este caso, el asiento de la placa 8, que está situada en dicha cota media, es el 1,18% de la altura de presa. Un resultado que puede parecer excesivo es el de la placa 6 (1,09 m.), que representa el 1,5 % de la altura de presa pero tampoco es de extrañar puesto que en otras presas de escollera blanda se han registrado asientos mayores. De hecho, el valor del módulo edométrico de 367 kp/cm² es bajo comparado, por ejemplo, con el de las grauvacas y pizarras lajosas de la presa de Mackintosh (640 kp/cm²) pero está muy por encima del de las pizarras y grauvacas de la presa de Martín Gonzalo (117 kp/cm²). El valor correspondiente del módulo de elasticidad de la escollera sería de 330 kp/cm² con un coeficiente de Poisson $\nu = 0,20$.

5. PRESIONES EN EL CUERPO DE PRESA

Se ha intentado determinar las presiones en el cuerpo de presa mediante la colocación de dos células de presión a la cota 245, a ambos lados del tubo de asientos. Estas células indican valores muy distintos entre sí aunque, según se puede ver en la figura 8, ambos valores se han mantenido estables. La célula situada aguas arriba registra presiones de 4,5 a 5 kp/cm² y la de aguas abajo de valores del

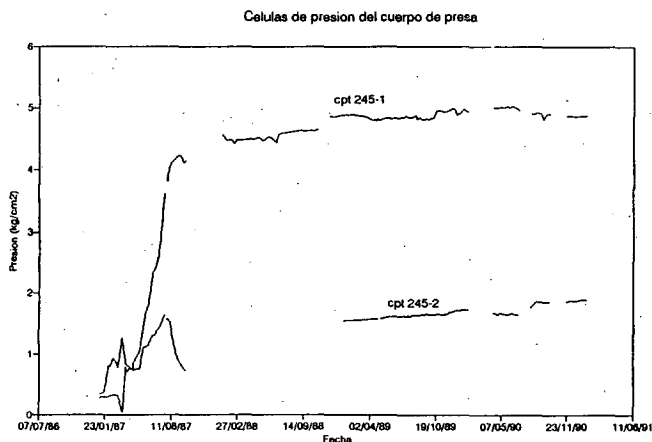


Figura 8. Células de presión en cuerpo de presa.

orden de 1,5 kp/cm². Estos valores no se han visto afectados por las oscilaciones del nivel de embalse. Como por otro lado, la presión sobre estas células debería ser $\sigma = 2,31 \times 35 = 8,085$ kp/cm², pensamos que no miden correctamente debido, posiblemente, a defectos de colocación o no fueron colocadas en posición horizontal o la transmisión de tensiones no es adecuada por no haberse seleccionado el material circundante para repartir las cargas. Esto nos lleva una vez más a resaltar las dificultades que presenta la correcta colocación de los aparatos en las presas de escollera y las importantes repercusiones que ello tiene sobre la fiabilidad de las medidas obtenidas.

6. DEFORMACIONES EN EL CUERPO DE PRESA

El control de las deformaciones en coronación se realiza a través de seis extensómetros horizontales de gran base, situados a la cola 275, en la dirección del eje de presa, de los que funcionan cinco actualmente. Todos ellos registran alargamientos (fig. 9), salvo el 275-4 que corresponde al perfil central de la presa. En todos ellos se observan también oscilaciones de ciclo anual, con una amplitud máxima de 4 mm., que no se han visto afectadas ni por el llenado ni por el vaciado del embalse, por lo que indudablemente son de origen térmico (es de hacer notar que el embalse no ha superado la cota 275). Las mayores deformaciones corresponden al extensómetro 275-6 situado en la margen izquierda, que sin embargo es la más tendida, con una pendiente bastante uniforme, y han alcanzado un valor de 13 mm. hasta la fecha.

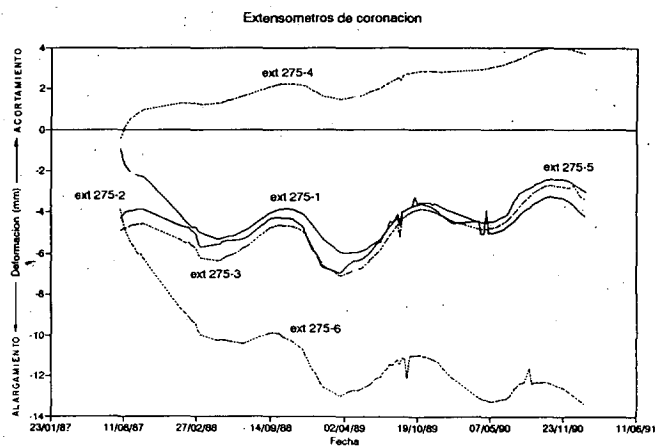


Figura 9. Extensómetros de coronación.

7. AUSCULTACION DE PLINTO Y PANTALLA

La auscultación de la zona del plinto y de la pantalla se ha realizado, respectivamente mediante dos conjuntos de extensómetro y célula de presión situados a las cotas 216 y 240 (mitad de la altura de presa), en el perfil principal. Además de esto, se han colocado, para el control de movimientos en el plinto, tres conjuntos formados por un extensómetro de varillas y una base para clinómetro. Las lecturas de estos últimos extensómetros son todavía escasas, por lo que no se ha tratado de ellos aquí.

En los aparatos del plinto (cota 216), no se han podido tomar lecturas durante largo tiempo, según se puede observar en la figura 10, por estar la zona más baja del plinto inundada. En la célula de presión total situada a dicha cota se produjo un aumento de presiones en diversas etapas, hasta registrar una punta de 2 kg/cm². Con el vaciado del

embalse, se ha registrado un claro descenso por debajo de 0,5 kg/cm². Estas variaciones están de alguna manera desfasadas respecto a las deformaciones indicadas por el extensómetro situado a la misma cota, existiendo algunas claras coincidencias y ciertas discrepancias. Las deformaciones del citado extensómetro aumentaron en el momento de la construcción de la pantalla, descendieron durante el llenado del embalse, estabilizándose antes de completarse éste y han vuelto a presentar la misma onda con el final de vaciado e inicio del segundo llenado.

La célula de presión de la pantalla, que registra una presión más o menos uniforme inferior a 1 kg/cm² antes del primer llenado, se estabilizó en 1,23 kg/cm² durante el llenado, lo que no se corresponde con los 30 m. de carga de agua sobre ella pero que sí coincide, con un ligero desfase, con las deformaciones de orden milimétrico del extensómetro.

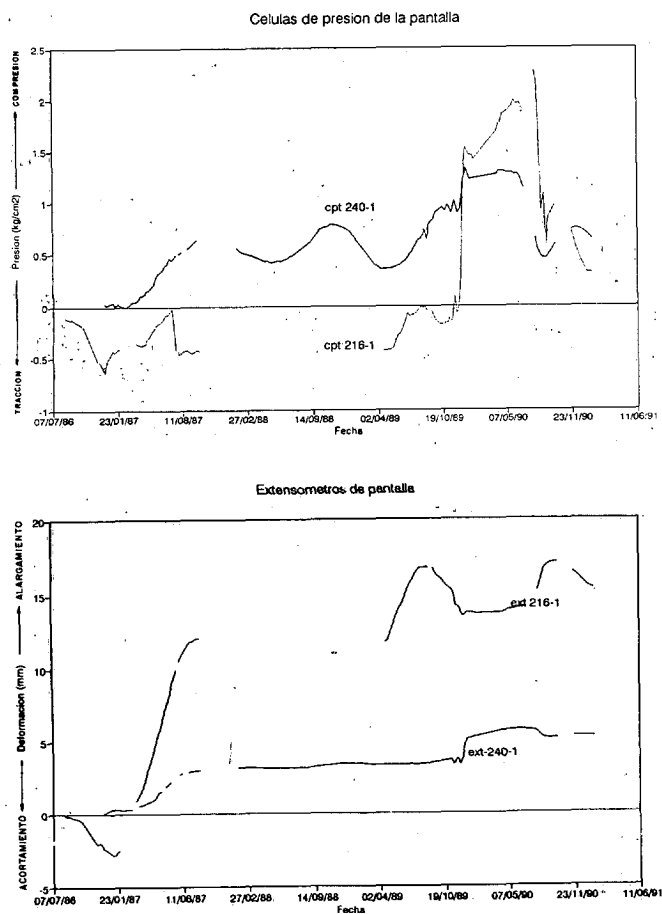


Figura 10. Auscultación de la pantalla.

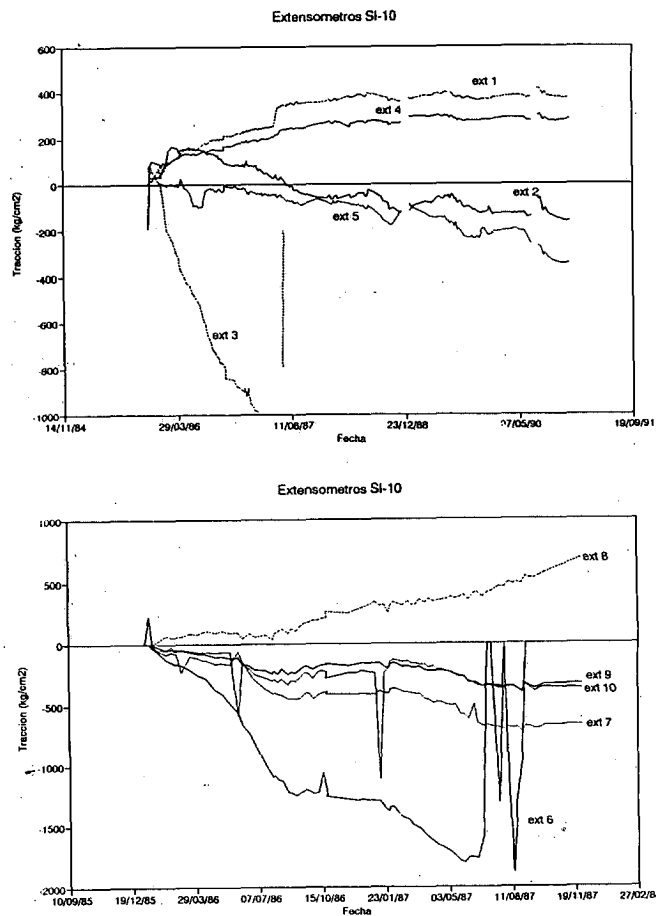


Figura 11. Extensómetros de la galería.

8. AUSCULTACION DE LA GALERIA DE DESVIO Y DESAGÜES DE FONDO

El control de la galería de desvío del río, en la que van instalados los desagües de fondo, se ha realizado a través de tres secciones de control, en cada una de las cuales se dispusieron cinco pernos de convergencia para medir deformaciones y cuatro células de presión en el trasdós de la galería para medir la presión entre la escollera y el hormigón (ver figura 15). Además, en la armadura de la sección central, se colocaron diez extensómetros con objeto de poder controlar las tensiones. En lo que se refiere a los pernos de convergencia, es preciso decir que dieron escasos resultados debido a las complicaciones que suponía realizar la toma de datos en un túnel por donde circulaba agua (desvío del río), con poca iluminación y de dimensiones considerables (7 x 5,7 m. en bóveda de tres centros); teniendo en cuenta que la toma de datos requería al menos un día por sección auscultada, y que la precisión de las medidas obtenidas era insuficiente, obteniéndose resultados incoherentes, se optó por abandonar estas medidas. Aunque se trata de una experiencia negativa, hemos considerado útil apuntarlo, puesto que puede servir de experiencia a otros proyectistas.

Como hemos dicho, en la sección central (SI-10) se colocaron cinco extensómetros en la armadura exterior y otros cinco en la interior que corresponden a los gráficos de la figura 11. Los dos gráficos de la figura no abarcan el mismo período de tiempo, ya que una de las riadas en las que el túnel entró en carga arrancó el tubo protección de los cables de conexión y rompió los cables de los extensómetros del intradós, que no han podido ser reparados. Los extensómetros del trasdós, indican compresiones en el acero de 200 kp/cm² a media altura de la galería de visita y en el punto diametralmente opuesto y tracciones de 300 kg/cm² en la zona de unión de la galería de visita y de casi 400 kg/cm² en el hastial opuesto (ver figura 15). Estos valores no se han visto afectados por el llenado del embalse, pero sí por el primer vaciado en el que han aumentado las compresiones.

En la figura 12 hemos incluido los resultados obtenidos en las células de presión de las tres secciones auscultadas, las cuales ponen de manifiesto uno de los fenómenos más interesantes detectados, ya

que se observa claramente un ciclo térmico anual, ligeramente suavizado por el llenado del embalse. Las oscilaciones detectadas ya en sus inicios dieron lugar a una cierta inquietud, por lo que se analizó el fenómeno mediante un modelo matemático estructural de la galería donde se suponía una variación de la temperatura media de la galería de 15° C

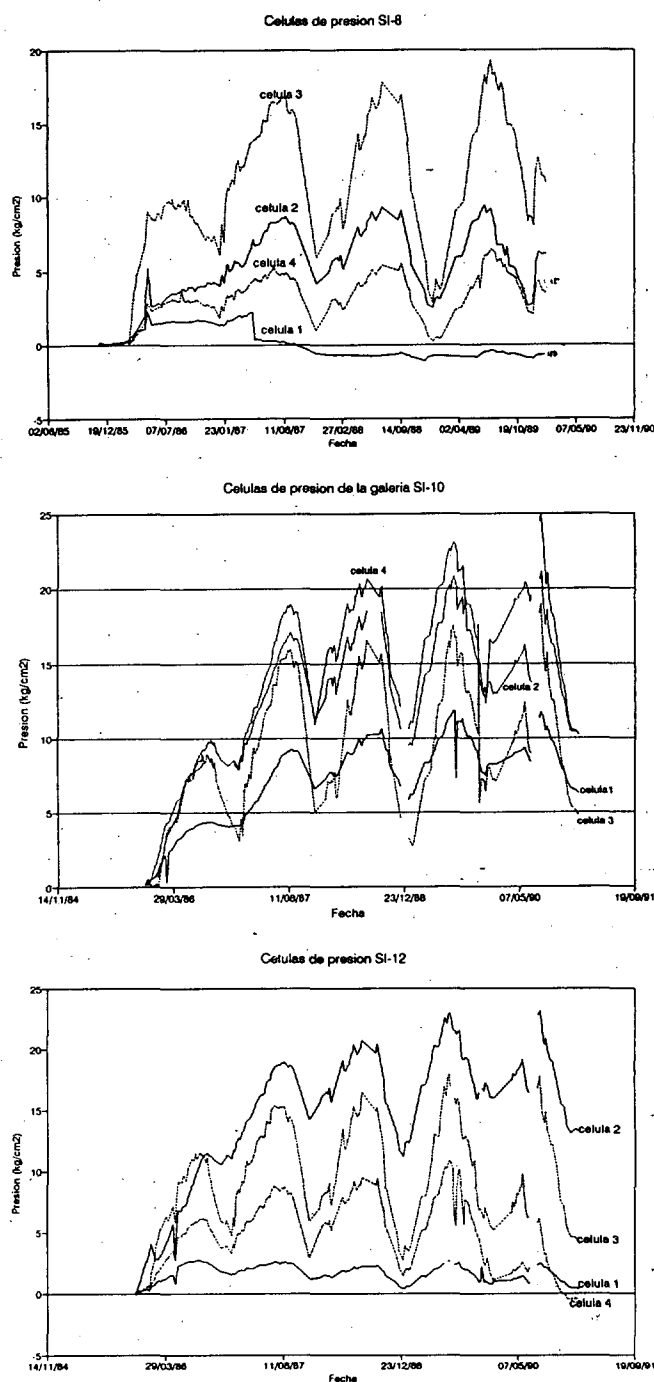


Figura 12. Células de presión de la galería.

entre el invierno y el verano. Para que las variaciones de la ley de presiones registradas fueran similares a las calculadas, era necesario suponer, de acuerdo con las características de deformabilidad que, de hecho, debe tener un relleno compactado, una variación elíptica del módulo de balasto entre 6.500 en horizontal y 11.000 t/m³ en vertical en las secciones extremas y entre 5.000 y 8.000 t/m³ en la sección central. Con estas hipótesis, las leyes de variación calculadas se ajustaban bastante bien a las registradas, lo que nos permitió ver que el fenómeno no era alarmante. Por otra parte, las hipótesis realizadas en cuanto a que la variación térmica se producía únicamente en la galería y sobre todo en lo referente a los valores y variación del módulo de balasto, para cuya determinación se carecía de datos, podían alejarse de la realidad si se seguían haciendo extrapolaciones hasta cuadrar todos los resultados. Hemos tratado de encontrar referencias de un fenómeno análogo en presas de características similares y, hasta ahora, sólo hemos encontrado la de la presa de Little Para (Australia) que dispone de un sistema equivalente, aunque el intervalo de media incluido en la citada referencia (número 1) no abarca un período de tiempo suficiente. No obstante, seguimos estudiando este tema, puesto que pensamos que este tipo de células, en las que el elemento sensor es un cilindro, es de las menos sensibles a la temperatura y, por lo tanto, el origen debería estar en un cambio térmico en la escollera o en el hormigón. En el caso del hormigón, sí era posible cuando funcionaba el desvío, que la circulación del agua y del aire indujeran cambios térmicos en el túnel, pero, de ser esta la única causa, el efecto se habría atenuado con el cierre del tapón, cosa que no ha sucedido. Habría por lo tanto que pensar en que la escollera es sensible a los cambios térmicos, incluso a profundidades importantes.

9. FILTRACIONES

Los aforadores Thompson previstos para el control de filtraciones han sido instalados recientemente. Hasta ese momento, y desde marzo de 1989, se han medido los caudales de filtración mediante una probeta y un cronómetro. En la margen izquierda, en la zona correspondiente a 4.000 m² de pantalla, el caudal máximo de filtración ha sido de 0,29 l/s, de los que aproximadamente 0,2 l/s correspon-

den al drenaje de la escollera y el resto proviene de la pantalla de drenaje y de las pérdidas del tubo de drenaje de la galería de toma (que se encontraba inundada en ese momento). El sistema de drenaje de la margen derecha, que abarca una zona correspondiente a unos 16.000 m² de pantalla, registró un máximo de 5,3 l/s. De éstos, más de 2 l/s provienen de la aleta de salida del túnel de desvío, aunque este valor no es constante, por lo que hay que pensar que se debe a infiltraciones de la escorrentía en las laderas. Otra contribución, del orden de 1 l/s, tiene su origen en la pantalla de drenaje, cuyo caudal se ha ido reduciendo con el avance de la cortina de inyecciones. Por último, el caudal máximo obtenido en los drenes de la escollera es de 1,5 l/s. Este caudal se ve afectado por el hecho de que la zona más profunda del plinto está por debajo de la cota de salida del cauce, lo que provoca un flujo en sentido contrario al del cauce. Aun suponiendo que se deba todo él a filtraciones en la

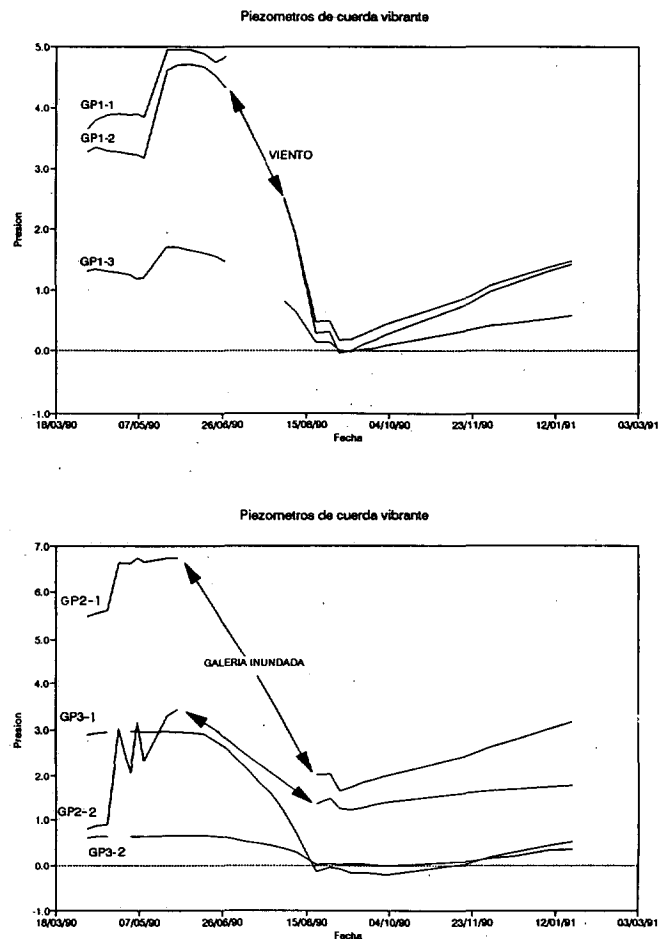


Figura 13. Piezómetros.

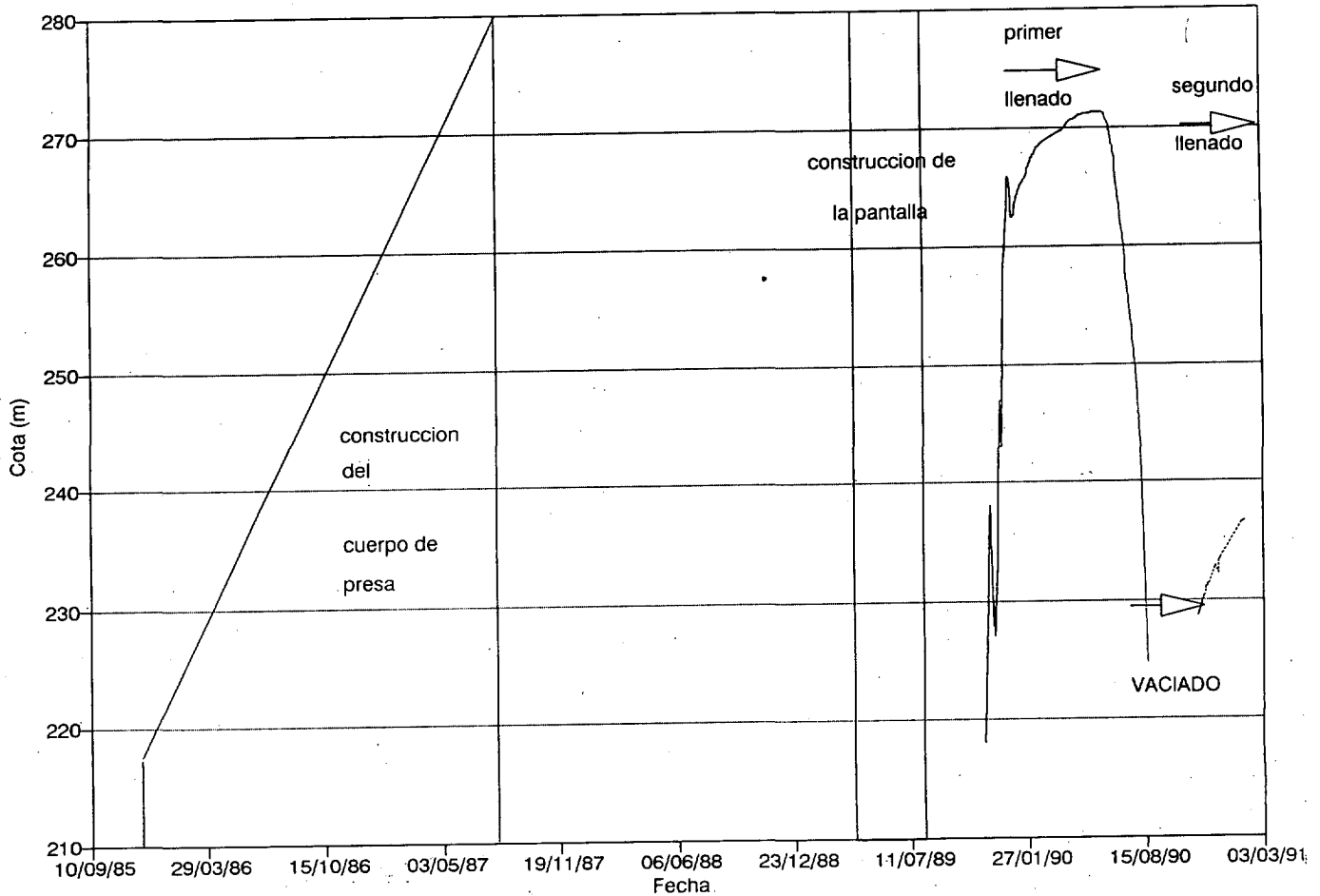


Figura 14. Construcción de la presa y evolución del embalse.

pantalla, el valor del caudal de filtración sería de 9×10^{-5} l/s/m², bastante aceptable.

10. SUBPRESIONES

En la figura 13, hemos incluido los gráficos correspondientes al comportamiento de los siete piezómetros instalados para controlar las subpresiones. Las curvas de resultados no comienzan con presión nula, ya que no se pudo comenzar la toma de datos hasta marzo de 1990, estando ya en el embalse lleno. Tres de los piezómetros no han sobrepasado los 3 kg/cm², y tan solo uno de ellos se aproxima a 7 kg/cm². Aunque la toma de datos se ha visto dificultada por el funcionamiento de los desagües de fondo, el descenso de presiones se ha producido simultáneamente con el primer vaciado del embalse, como corresponde. La recarga se ha iniciado al mismo tiempo que el segundo llenado, y

los piezómetros situados a las cotas más bajas son los que presentan un gradiente mayor.

11. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados de la auscultación de la presa de Huesna hasta el momento, podríamos concluir que se adapta a una de las características señaladas por J.B. Cooke para las presas de escollera con pantalla de hormigón: "los movimientos post-constructivos son pequeños (y cesan al cabo de unos años)". Por otra parte, cuando el comportamiento de la presa es bueno, como en este caso, la instalación de un sistema de auscultación completo permite obtener una base de datos para proyectos e investigaciones futuras. Para ello, es importante establecer un buen plan de auscultación y facilitar al máximo la tarea del personal encargado a pie de presa, pero también analizar cada una de

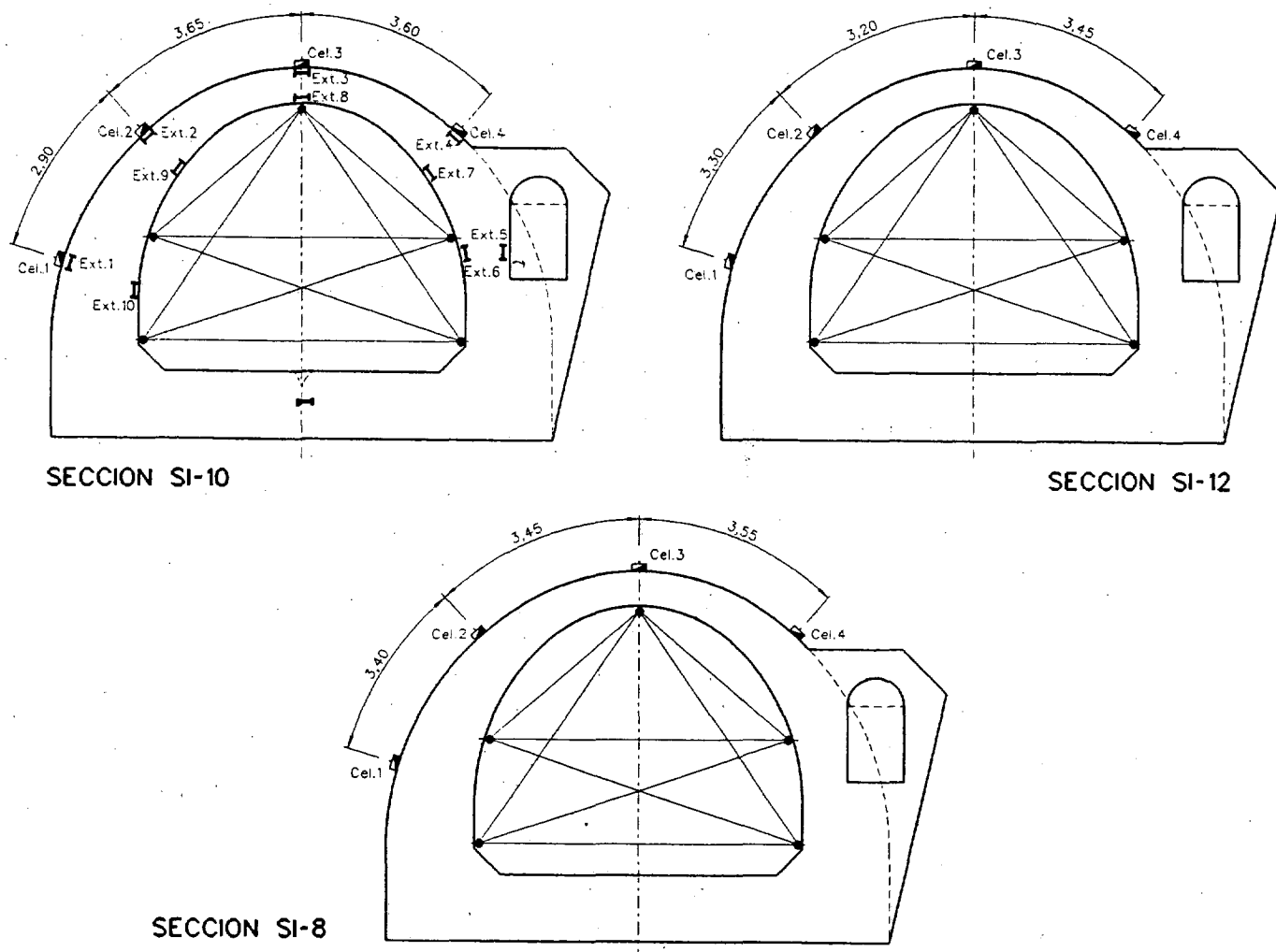


Figura 15. Auscultación de la presa.

las medidas a realizar para disponer de parámetros de comparación desde el primer momento y estudiar también las dificultades que puede plantear la medida en el momento de realizarla. Esto último es especialmente importante en las presas de escollera donde el cableado de los instrumentos a través del material, que dificulta la puesta en obra, presenta un gran riesgo de averías. Por último, queremos señalar la importancia de iniciar la auscultación topográfica tan pronto como sea posible puesto que ofrece mayores garantías y permite establecer un punto de comparación con los movimientos registrados en el cuerpo de presa.

REFERENCIAS

1. J. BARRY COOKE Y JAMES L. SHERARD. Concrete face rockfill dams. Design, Construction and Performance. ASCE 1985.
2. M. SERRANO TOVAR, J. L. SORIA. A. Mienza. Behaviour of Sallente dam. 16 Congreso de Grandes Presas C. 16. San Francisco 1988.
3. J. B. COOKE. The concrete faced rockfill dam. Water Power and Dam Construction. Enero 1991.
4. B. BAYAN, M. ROMANA, J. M. Buzón. Pedraplén de ensayo en la presa de Huesna. Simposio sobre terraplenes, pedraplenes y otros rellenos. C.3.4. Madrid, marzo 1986.
5. C. OTEO. Auscultación. Curso de presas de materiales sueltos. CEDEX. Madrid, abril 1990.
6. S. URIEL. Presas. Cap. 18. Geotecnia y cimientos III. Madrid 1975.