

Presas de El Atazar, tratamiento de fisuras del paramento de aguas arriba

Por RODOLFO URBISTONDO ECHEVERRIA
y LUIS YGES GOMEZ

Dres. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

En febrero de 1978, la presa de El Atazar sufrió una importante fisuración (ver revista de «OBRAS PUBLICAS» abril-mayo de 1982, pág. 257 a 268). De los estudios y planteamientos que se elaboraron para reparar la citada fisuración, surgió una cuestión que es la que a continuación se comenta.

1. INTRODUCCION

La presa de El Atazar está situada en el tramo inferior del río Lozoya, muy próxima a la confluencia de éste con el Jarama.

Es la última de las presas de embalse actualmente en servicio en el río Lozoya, y la última de las construidas para regular totalmente las aguas de aquel río con destino al abastecimiento de Madrid.

Aún cuando resulta posible el aprovechamiento hidroeléctrico de la energía derivada por los canales de conducción, la finalidad principal de la Presa de El Atazar, es la regulación de las aguas para el abastecimiento de Madrid y su provincia. La presa crea el quinto embalse de regulación en el río Lozoya; aguas arriba se encuentran los embalses de El Villar, Puentes Viejas, Riosequillo y Pinilla. Con su capacidad de embalse de 426.000.000 m³, ocupa el primer lugar de los dispositivos de regulación del CANAL DE ISABEL II, que en ocho grandes embalses dispone de una capacidad conjunta de 800.000.000 m³, de los que más del 50 por 100 corresponden al embalse creado por la presa de El Atazar.

Los recursos totales regulados del río Lozoya suponen 10,5 m³/seg de recursos regulados disponibles para abastecimiento de agua de Madrid y su provincia. Ello da una idea de la importancia que para el normal funcionamiento del abastecimiento tiene el embalse de El Atazar,

habida cuenta de que desde hace más de seis años el consumo medio anual bruto del abastecimiento de agua superó 450.000.000 m³ anuales.

1.1. La Presa

El Atazar es una presa Bóveda-gruesa, de doble curvatura, con una altura sobre cimientos de 134 m, cimentada sobre pizarras de silúrico, atravesadas por tres sistemas de diaclasas, de los que dos son paralelos a las laderas y el tercero normal al río. La superficie de agua a la cota de máximo nivel ordinario es de 1.000 Ha, y el plano de agua para máximo embalse normal está situado a la cota 870.

Comenzó la construcción de la presa con el año 1968, y el hormigonado en el mes de abril del mismo año. Se terminó prácticamente cuatro años más tarde, aunque el primer embalse parcial comenzó a finales de 1970, después de cerrado el túnel de desvío. En marzo de 1971, el embalse alcanzó la cota 824, en la que se mantuvo hasta el 31 de enero de 1972, fecha en que reanudó el llenado y alcanzó la cota 860 en abril del mismo año.

En el primer período de llenado, el comportamiento de la presa apareció como absolutamente normal, mientras que, al alcanzar el nivel del embalse cotas sucesivas entre la 824 y la 860, comenzó a manifestarse una asimetría

PRESA DE EL ATAZAR, TRATAMIENTO DE FISURAS DEL PARAMENTO DE AGUAS ARRIBA

en comportamiento de presa con movimientos más acusados en los bloques de la margen izquierda respecto a los de la margen derecha. El resultado era previsible a la vista de los informes geológicos, reconocimientos geofísicos y tratamiento de las diaclasas de cimentación previos a la iniciación de las obras.

Entre los meses de enero y febrero de 1972, y coincidiendo con la elevación del nivel de agua, se abrió una fisura en la presa a la cota 770, que cortó el hastial de aguas arriba de la galería situada a esta cota en el bloque segundo de la margen derecha. La fisura se trató con inyecciones de cemento desde la galería, atravesándola con taladros e inyectando mortero de cemento a través de estos hasta dejarla completamente en seco.

Se detectó, además, una familia de fisuras altas, entre las cotas 800 y 845 (que indudablemente se habían producido antes de comenzar el embalse y de la inyección de las juntas entre bloques), originadas por el desplome de las ménsulas que producía tracciones de 16 kg/cm².

2. FUNCIONAMIENTO DE LA PRESA HASTA EL AÑO 1978

Desde abril de 1972 hasta diciembre de 1977, la presa se ha comportado normalmente, y los movimientos registrados corresponden al efecto combinado de las variaciones térmicas y de las variaciones de carga hidrostática.

Desde septiembre de 1977 hasta mediados de febrero de 1978, prácticamente sin variación en el nivel de embalse, la presa llega, por disminución de la temperatura ambiente, a la deformación máxima hacia aguas abajo, otra vez con desplazamientos mayores en su parte izquierda, como consecuencia de la mayor y ya conocida deformabilidad de la ladera izquierda y de la rigidez introducida en la estructura por la gran viga zócalo que se consideró conveniente construir en el apoyo de la margen derecha; así lo demuestra la comparación de lecturas entre péndulos (los impares son de la margen izquierda y los pares de la derecha) a la cota de lectura 865, con el nivel de embalse 858 el 28 de abril de 1972, y 865 el 17 de enero de 1978.

Cota Lectura Péndulos 865	28-4-72	17-1-78	Diferencia cm.
	C. Embalse 858 cm.	C. Embalse 865 cm.	
Péndulo 1	2,87	5,37	2,50
Péndulo 2	2,00	4,12	2,12
Péndulo 3	2,00	4,12	2,12
Péndulo 4	1,80	2,87	1,07
Péndulo 5	0,60	1,45	0,85
Péndulo 6	0,37	0,88	0,51

La deformación de origen térmico entre Septiembre de 1977 y finales de enero de 1978, antes mencionada, aparece así reflejada en las lecturas de los péndulos:

Cota Lectura Péndulos 865	20-9-77	15-2-78
	C. Embalse 867,5 T = 17° C	C. Embalse 867,5 T = 2° C
Péndulo 1	4,00	5,60
Péndulo 2	2,87	4,50
Péndulo 3	2,98	4,25
Péndulo 4	2,05	3,08
Péndulo 5	1,05	2,58
Péndulo 6	0,47	0,98

Durante el año 1977, se manifestó la entrada de agua por la fisura existente en la cota 770, en el bloque n.º 2, que salía por drenes pasantes que atravesaban la fisura y se dejaron abiertos cuando se trató en el año 1972. A finales de 1977 el caudal aforado en dichos drenes empezó a ser de cierta importancia y llegó a los 25 l/seg.

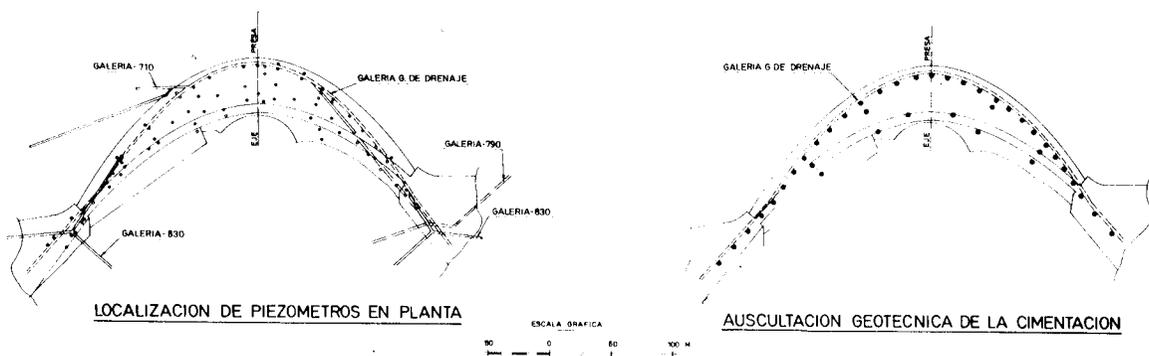
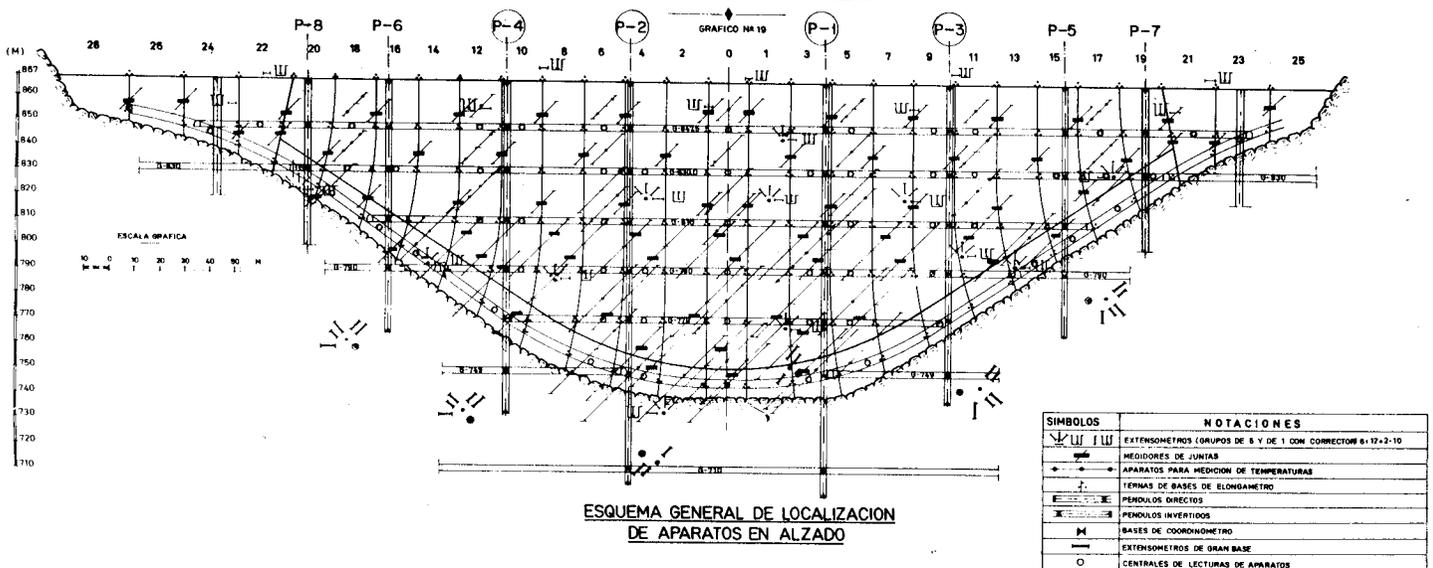
3. ENERO Y FEBRERO DE 1978

Durante el mes de enero y primeros días de febrero de este año, el nivel del embalse se mantuvo en el entorno de la cota 864 (máximo embalse, 870).

Las fuertes lluvias de aquellos días hacen subir el embalse desde la cota 864, que tenía el día 1 de febrero, a la 868,72, el día 18 de este mes, y se mide una entrada de agua por la propia fisura y por los drenes de control de fisura del orden de los 150 l/seg. Se observa que la fisura en su intersección con la galería 770 se había extendido a los bloques 0, 4 y 6.

PRESA DE EL ATAZAR, TRATAMIENTO DE FISURAS DEL PARAMENTO DE AGUAS ARRIBA

AUSCULTACION EN PRESA



4. ACTUACIONES

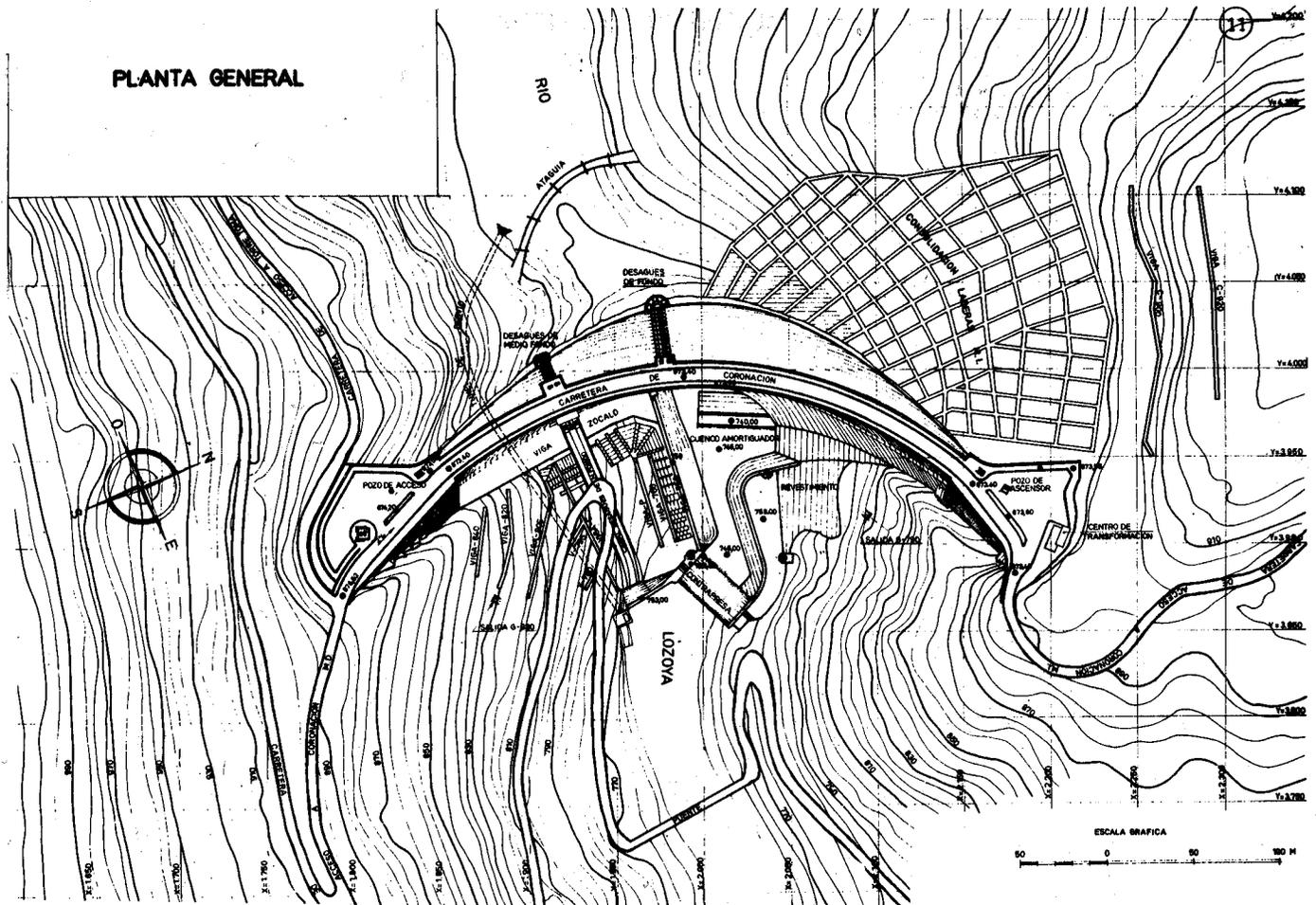
El normal comportamiento observado en todo momento por el terreno, tanto en el cimiento como en las laderas, alejó toda inquietud sobre la posibilidad de existencia de un riesgo inmediato para la estructura. Esta consideración, confirmada posteriormente por la detención de la propagación de la fisura, permitió adoptar la decisión de no vaciar el embalse, a pesar de que de este modo se iban a dificultar indudablemente las operaciones de detección, seguimiento y corrección de la fisura. Aconsejaba esta decisión el hecho de ser el embalse de El Atazar pieza absolutamente clave para el abastecimiento de Madrid, que almacenaba, en febrero de 1978, cerca de 400 Hm³. El tiempo ha confirmado la prudencia de la solución adoptada, ya que de haberse vaciado El Atazar en febrero de 1978, hubiera sido prácticamente inevitable el establecimiento de restricciones en Madrid y su

entorno en el año 1981, restricciones que hubieran sido mucho más graves durante los años 1982 y 1983.

Adoptada esta primera decisión de no vaciar el embalse, se escogió la cota 864,3 como cota a la que habría de mantenerse el nivel del agua el mayor tiempo posible, con objeto de facilitar la interpretación de los efectos de las distintas medidas que habrían de ensayarse y aplicarse, tanto para la precisa definición geométrica de la fisura, cuanto para su posterior tratamiento y corrección.

5. INVESTIGACION DE LAS DIMENSIONES DE LA FISURA

Desde principios de marzo se inició la investigación para determinar las dimensiones de la fisura, con taladros descendentes de gran longitud desde la galería 790 hacia aguas arriba y



desde la galería de los desagües de fondo, en donde se sacaron testigos de 300 mm de diámetro para ensayos del hormigón.

Como complemento de estos taladros descendentes se hicieron otros ascendentes desde la galería perimetral para cubrir la zona comprendida entre los taladros anteriores y la galería 770.

Se realizaron uno o dos taladros por bloque, entre los bloques 7 y 10; se pudo así determinar que la fisura estaba situada entre los bloques cinco y ocho, ambos inclusive, y dentro del cuerpo de la presa definía una superficie sensiblemente plana y subhorizontal.

Simultáneamente, se realizaron taladros cortos con martillo y sonda desde la galería 770, según dos perfiles por bloque en sentido transversal de la galería.

Esta investigación se hizo con más detalle en los bloques 2 y 4, desde la galería 758, por si

podiera tener importancia un conjunto de pequeñas fisuras que se observaban en la propia galería (lado aguas abajo) y en el péndulo existente en el bloque 4.

El conjunto de estos trabajos permitió conocer que la fisura principal (cota 770) afectaba al paramento de aguas arriba de los bloques 8, 6, 4, 2, 0, 1 y 3, y penetraba en ellos en una profundidad variable (entre 1/3 y 3/4 de su espesor) con un desarrollo y superficie estimados de 160 m y 3.000 m², respectivamente.

Era probable que esta «fisura principal» estuviera acompañada de otras de menor importancia, paralelas a la anterior, que determinarían en algunos bloques no una fisura única, sino una «zona de fisuración».

Para conocer el espesor de la fisura se realizó una inyección con masilla EPOXI en el bloque 0 por uno de los taladros de investigación, y se extrajo un testigo mediante perforación de

otro taladro junto a aquél. El resultado fue un testigo de hormigón, con un espesor de fisura inyectada de 3 mm. Posteriormente se pudo observar la fisura en varios taladros que la cortaban, introduciendo una cámara de televisión por dichos taladros. Durante los trabajos de tratamiento, el espesor de fisura más grande que se encontró fue de 8,5 mm en el bloque 6.

6. ARREGLO DE LA FISURA

En el artículo publicado en la Revista de Obras Públicas de abril-mayo de 1982, se expusieron las investigaciones realizadas para definir las dimensiones de la fisura, así como todas las operaciones realizadas para su arreglo.

Se realizaron un conjunto de trabajos, descritos en el artículo antes mencionado, como son, pruebas sísmicas de la cimentación y del hormigón, cálculo del estado tensional de la Presa, por elementos finitos, considerando los dos estados de la presa, presa fisurada y sin fisurar, caminos recorridos por el agua de filtración dentro del cuerpo de presa detectados con isótopos, etc.

Un trabajo que resultó muy interesante fue el ejecutado por submarinistas. Trabajando a 94 m de profundidad consiguieron taponar la fisura desde aguas arriba, con lo que facilitaron las posteriores inyecciones de la fisura ya que, aunque no se evitó la presión del agua, sí se consiguió disminuir su caudal y velocidad. No se consiguió con este trabajo dejar en seco la fisura ya que esta estaba comunicada con las juntas de los bloques y sólo se cortó el agua que pasaba directamente por la fisura en su intersección con el paramento.

Con ensayos apropiados se definió el material a inyectar. Las condiciones impuestas a dicho material fueron:

- No miscible con el agua.
- Polimerizable con el agua.
- Tiempo de polimerización suficientemente largo.
- Módulo elástico menor que el del hormigón para permitir deformaciones.

Los ensayos de inyección permitieron definir las condiciones necesarias para tener buen éxito

con dichas inyecciones:

- Limpieza lo más perfecta posible de los planos que definían la fisura.
- Inyectar desde aguas abajo hacia aguas arriba y desde los extremos de la fisura hacia el centro de la presa.
- Inyectar de manera que el producto correspondiente entrase con más presión que el agua que pasaba por la fisura, es decir, que el producto entrase a una presión del orden de 12 ó 13 kg/cm². Ello obligó a unas presiones en bomba del orden de 50 kg/cm² y a inyectar con diez bombas a la vez en cada bloque para conseguir una inyección total del mismo.

Después de inyectar cada zona de la fisura, se sacaban testigos con sonda de la zona inyectada, y si el testigo obtenido no era aceptable, se volvía a reinyectar la zona hasta obtener testigos que confirmaran un pegado perfecto. Se consiguió así un resultado muy satisfactorio.

La fisura se terminó de arreglar a finales del año 1979 y se llegó por primera vez en la vida de la presa al máximo embalse normal (cota 870) el 6 de julio de 1980.

Al analizar soluciones para la corrección de la avería se tuvo en cuenta la posibilidad de que al rellenar la fisura con material impermeable en una gran zona de aguas arriba de la presa, el relleno según características pudiese actuar como cuña en los movimientos hacia aguas arriba de la parte de ménsula por encima de la fisura y producir tracciones e incluso fisuras en el paramento de aguas abajo. Como a continuación se expone, parece claro que el funcionamiento elástico de la presa no ha sido afectado por dicho relleno.

7. AUSCULTACION DE LA PRESA

En el plano que se acompaña (Auscultación en Presa), aparece esquematizado el plan inicial de auscultación de la presa. Posteriormente, se ha aumentado la instrumentación, según necesidades. Así, por ejemplo, se han colocado últimamente péndulos en secciones próximas a los estribos (péndulos 7 y 8). Se han colocado extensómetros de resistencia eléctrica y de

PRESA DE EL ATAZAR, TRATAMIENTO DE FISURAS DEL PARAMENTO DE AGUAS ARRIBA

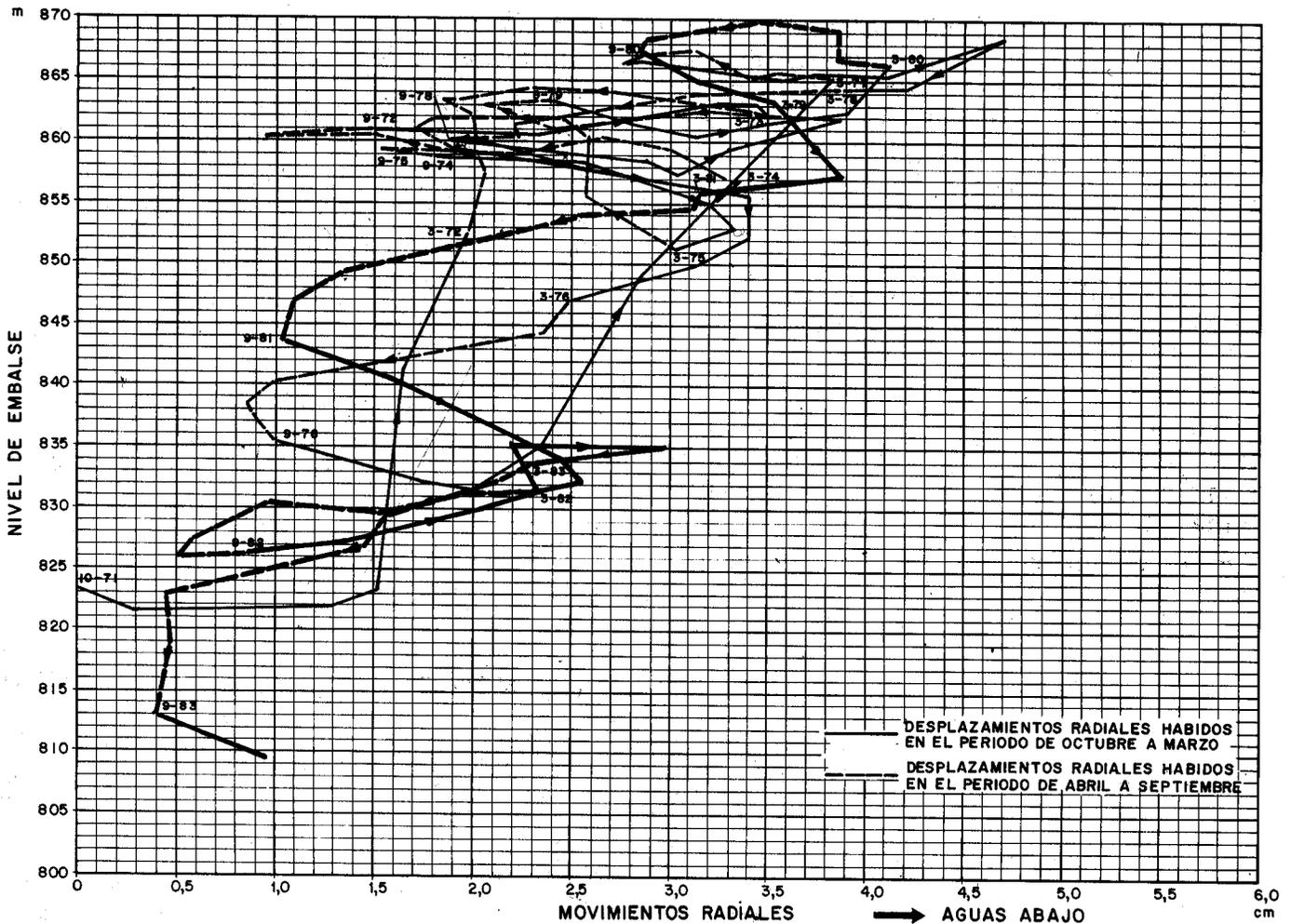


Gráfico 2.—Péndulo 2, Base 1.

8. MOVIMIENTOS DEL PUNTO DE CORONACION DEFINIDO POR EL PENDULO 1, BASE 1 (Gráfico n.º 1)

Tanto en este gráfico como en los siguientes se han destacado los tramos de poligonales correspondientes a épocas frías y épocas calientes. El sistema de ejes, recoge en abcisas desplazamientos hacia aguas abajo, y en ordenadas, niveles de embalse.

Así se puede observar la influencia de las dos cargas más importantes, la debida a temperatura y la hidrostática.

La cimentación de la presa está aproximadamente a la cota 740. Cuando empezó a funcionar el péndulo 1, la cota de embalse era ya la 824; por ello, el punto de origen del gráfico es

en abcisa 0 (desplazamiento) y en ordenadas (nivel de embalse) 824.

En algunos vértices de la poligonal se ha indicado la fecha, con el número del mes y año.

Es fácil observar que en muchas épocas en las que el nivel de embalse no varía, la presa se mueve hacia aguas arriba o aguas abajo, según se trate de época caliente o fría (entorno del verano o entorno del invierno).

Asimismo los tramos de subida o de bajada del embalse son siempre distintos, aún correspondiendo a épocas térmicas análogas. Esto es debido a desplazamientos de conjunto presacimientos no recuperables.

La máxima amplitud del movimiento es de 6 cm. Por haberse llegado al nivel de embalse más bajo desde que empezó a funcionar dicho

péndulo, la presa ha llegado a la posición de mayor desplazamiento aguas arriba, una vez descontados los movimientos plásticos de toda la estructura. Esta posición es la correspondiente al vértice marcado 9-83 (septiembre 1983).

perfectamente la asimetría existente en el funcionamiento de la presa.

La diferencia entre posiciones, más aguas abajo es de algo más de un centímetro.

Este funcionamiento asimétrico de la presa se debe a distintas condiciones de sustentación, principalmente al estado de la roca de cimentación y también a la insolación a que está sometida la estructura, cuyo paramento aguas abajo está orientado sensiblemente al S.E.

9. MOVIMIENTO DEL PUNTO DE CORONACION DEFINIDO POR PENDULO 2, BASE 1

Este punto es simétrico del P-1, Base 1 respecto al eje de presa; el del P-1 en la zona de la margen izquierda y el del P-2 en la zona de la margen derecha.

El comportamiento de este punto es muy parecido al anterior. Comparándolos podemos ver

10. MOVIMIENTO DE LOS PUNTOS DEFINIDOS POR PENDULO 3, BASE 1, Y PENDULOS 4, BASE 1

Las observaciones y comentarios anteriores para los puntos definidos por los péndulos 1 y

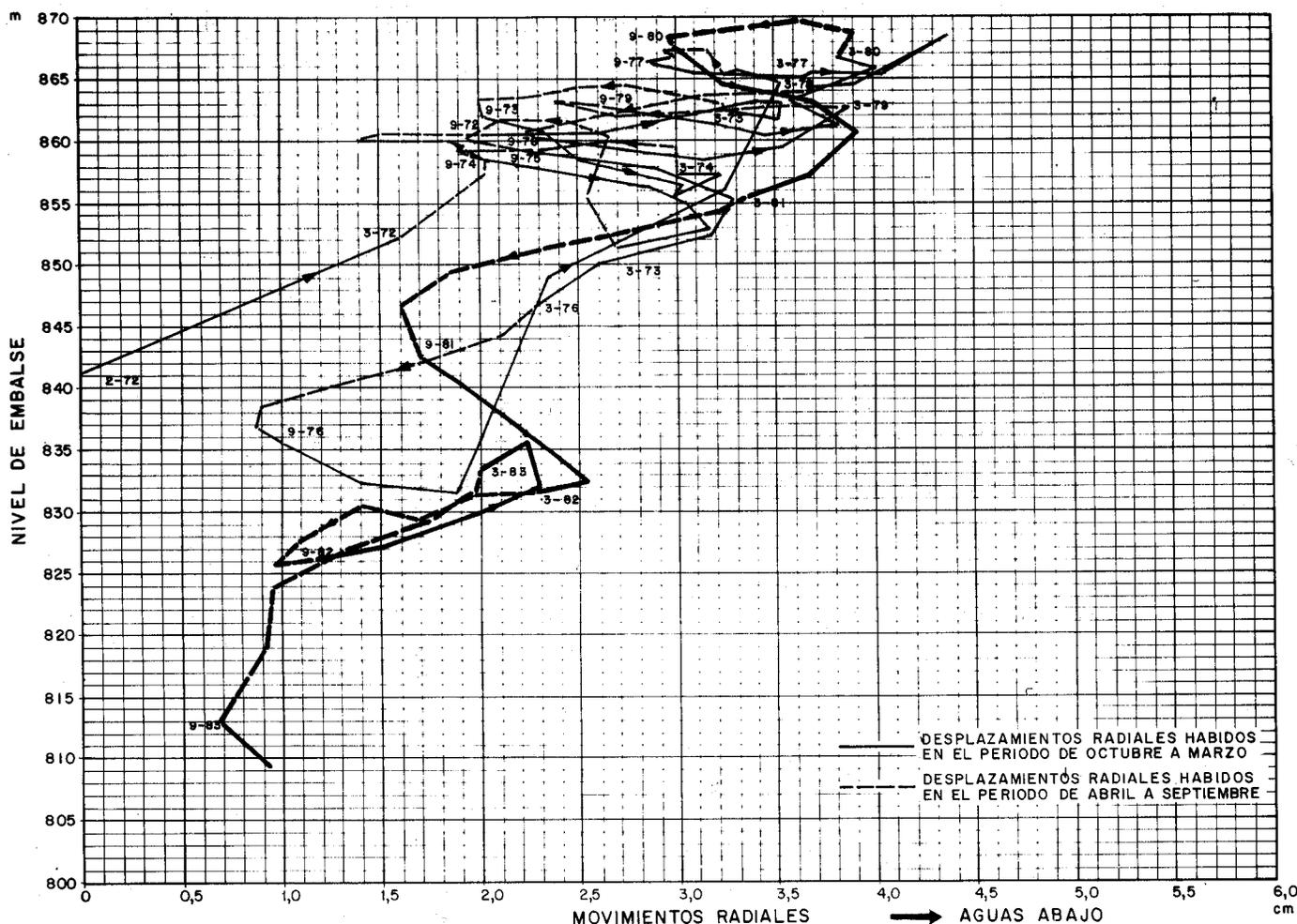


Gráfico 3.—Péndulo 3, Base 1.

CUADRO DE MOVIMIENTOS DE APERTURA-CIERRE Y TEMPERATURAS DADOS POR DISPOSITIVOS DE CONTROL DE FISURA DESDE EL ORIGEN HASTA EL 23/9/83

Bloque	Dispositivo N.º	Cota aprox. de fisura	Distancia aproximada al paramento de aguas arriba (m)	Temperaturas medias		Movimientos medidos (mm)		
				Extremas (° C)	El 23/9/83	Máxima apertura	Máximo cierre	El 23/9/83
3	2 - 3 D	768	2,0	5,9 a 7,8	5,9	+ 0,10	- 0,05	- 0,02
	2 - 3 I	761	2,0	7,3 a 8,7	8,2	0,00	- 0,34	- 0,34
1	3 - 1	770	2,5	5,9 a 8,1	6,3	+ 0,03	- 0,13	- 0,08
	2 - 1	771	2,5	6,4 a 8,3	6,6	+ 0,06	- 0,08	- 0,03
0	4 - 0	772	2,5	6,1 a 7,5	6,1	+ 0,19	- 0,05	0,00
	3 - 0	771	2,5	6,0 a 7,4	6,0	0,00	- 0,18	- 0,15
2	3 - 2	775	2,0	6,4 a 7,9	6,4	+ 0,12	- 0,18	- 0,15
	2 - 2	775	2,5	6,3 a 7,7	6,4	+ 0,09	- 0,21	- 0,15
	1 - 2 B	774	12,0	9,4 a 10,1	9,8	+ 0,01	- 0,10	- 0,08
	1 - 2 A	771	12,0	8,6 a 9,8	9,6	+ 0,01	- 0,12	- 0,07
4	3 - 4	772	2,5	7,0 a 8,4	7,0	+ 0,12	- 0,09	+ 0,09
	2 - 4	772	1,5	6,5 a 7,8	6,6	+ 0,09	- 0,21	- 0,18
	1 - 4	769	12,0	8,8 a 10,0	10,0	0,00	- 0,33	- 0,32
6	3 - 6	774	1,5	6,1 a 7,4	6,1	+ 0,11	- 0,03	+ 0,01
	2 - 6	775	1,0	6,3 a 7,9	6,3	+ 0,24	- 0,27	- 0,21
8	2 - 8	776	1,5	6,1 a 7,3	6,1	+ 0,04	- 0,13	- 0,11

(+) Movimientos de apertura.
 (-) Movimientos de cierre.

tran que las deformaciones de la misma han alcanzado valores mayores, hacia aguas arriba, que en todo su historial, desde la puesta en servicio.

Estos movimientos están dentro de los máximos admitidos para su buen funcionamiento, y han tenido lugar al quedar casi vacío el embalse.

Parece razonable pensar que si la presa hubiera sufrido alguna modificación significativa en su comportamiento global como estructura, como consecuencia de la inyección de resina realizada en una zona tan crítica y con una extensión tan importante, su capacidad de deforma-

ción habría sufrido alguna modificación de carácter restrictivo, que no ha sido observada.

Teniendo en cuenta que el citado desplazamiento se ha efectuado sobre la zona del cuerpo de aguas arriba, donde se ha introducido, en la fisura abierta, una «cuña» de un material heterogéneo con el de la presa, y que a pesar de ello no se han observado anomalías de ningún tipo en el paramento ni en el cuerpo de presa de aguas abajo (donde podría temerse la aparición de fisuras), se puede concluir que el tratamiento realizado no ha tenido ninguna influencia negativa sobre el comportamiento estructural de la presa.