

PRESA DE "EL VELLON"

Ing. C. C. P. J. G.^o AUGUSTIN

Ing. I. S. T. J. SERAFIM

1. ANTECEDENTES

El creciente desarrollo de la ciudad de Madrid y el consecuente aumento del consumo de agua, ha llevado a la Dirección del Canal de Isabel II a considerar la realización de nuevas obras e instalaciones de captación y transporte. Una de ellas, la obra de El Vellón, figura explícitamente en el Plan Reajustado y, posteriormente, en el Suplementario de Obras para la ampliación del suministro de agua a Madrid, junto con sus obras auxiliares complementarias, aprobado técnicamente por Orden ministerial de 20 de noviembre de 1965. Las obras auxiliares y complementarias comprenden las variantes de las comunicaciones generales, del Canal Alto y de su camino de servicio, en las longitudes afectadas por el embalse.

El caudal regulado por el embalse de El Vellón puede verterse al río Guadalix y derivarse por la presa de "El Mesto" y canal del mismo nombre, para su ingreso en el Canal Bajo, o mejor aún, conducirlo mediante un canal propio, llamado también de El Vellón, que parte de la presa y conduce el agua a la almenara de salida del sifón del Guadalix del canal de El Atazar. Este canal se encuentra actualmente en construcción.

El embalse de El Vellón no sólo se podrá llenar con agua del Guadalix, sino también por la que se conduzca por el Canal Alto, cuya variante pasa por la coronación de la presa, por lo tanto procedente del sistema Lozoya-Jarama-Sorbe, lo cual da una gran elasticidad y seguridad a la explotación y al aprovechamiento de los recursos hidráulicos de ambos sistemas.

La redacción del proyecto estuvo a cargo de "Consultores de Presas y Aprovechamientos Hidráulicos, S. A., CONSULPRESA", bajo la inspección y coordinación del ingeniero encargado de los embalses en el Canal de Isabel II, Sr. D. Benito Díaz y Díaz de la Cebosa. El proyecto fue firmado con la responsabilidad propia del mismo ingeniero encargado de los embalses, que también es el director-inspector de las obras.

Los estudios hidrológicos plantearon el problema de la no existencia de datos de aforos o lluvias en la cuenca del Guadalix. Por ello se acudió a los de los embalses de Puente Viejas, en el Lozoya, del Canal de Isabel II, y de Manzanares el Real, del río Manzanares, de

Hidráulica de Santillana, S. A. Entre ambas cuencas se encuentra totalmente encajada la del Guadalix, lo que proporciona suficiente garantía en los resultados obtenidos. Considerando que dicha cuenca participará de las condiciones hidrográficas de las cuencas limítrofes, y que se podría adoptar una solución intermedia en el cálculo de aportaciones, se dedujo.

| | |
|-----------------------------------|-----------------------|
| aportación media anual | 55,5 Hm. ³ |
| aportación media en año seco | 23,4 » |
| aportación media en año húmedo. | 69,6 » |

con una cuenca alimentadora de 218 Km.².

Con los datos referidos y escogido el emplazamiento de la cerrada, se señaló como máximo embalse el de la cota de agua 828,00 m. por consideraciones hidráulicas, topográficas y de expropiaciones, resultando una altura de presa entre coronación y cimientos de 50 m. con embalse de 45 Hm.³, y un posible caudal regulado en año seco, próximo a 1,5 m.³ s⁻¹.

Los sondeos realizados por Cimentaciones Especiales, S. A. Procedimientos Rodio, el examen de galerías y zanjas abiertas con objeto de estudio, y los posteriores informes geológicos, confirmaron lo acertado de la elección del emplazamiento de la presa.

La roca que sirve de asiento a la presa es de naturaleza gnésico-micácica, con planos de esquistosidad inclinados hacia aguas arriba, por lo tanto favorables a la cimentación. No se han notado accidentes tectónicos importantes; alguna pequeña falla, en la margen derecha, litoclasas y diaclasas normales a los planos de estratificación, de escasa importancia, ya que no tenían repercusión en profundidad. Sin embargo, la disposición y estructura del terreno en la parte alta del estribo derecho ha necesitado mayor información directa, mediante reconocimiento con pozos y galerías, y ejecución de ensayos, para apreciar a través de cálculos de estabilidad, si en la esquistosidad o en la fracturación residía algún riesgo de deformación importante bajo las cargas transmitidas al terreno por la estructura. Los estudios hechos se materializaron en una maqueta de madera del final de la bóveda y del estribo de la margen derecha, en la que el terreno, formado por plástico transparente, deja-

ba a la vista la dirección de los planos de fractura y esquistosidad, para los que se emplearon materiales de distinto color. Sobre esta representación del terreno se colocaron los vectores que representan los diferentes empujes de la estructura, con su resultante (fig. 1.^a). De las discusiones habidas resultó que se modificó, en parte, la concepción del proyecto, para alcanzar todavía mayor seguridad en esta parte de la obra, y se aumentó el plano de cimientos y su profundidad.

Las permeabilidades del terreno fueron mayores precisamente en dicha parte de la obra y superiores a las

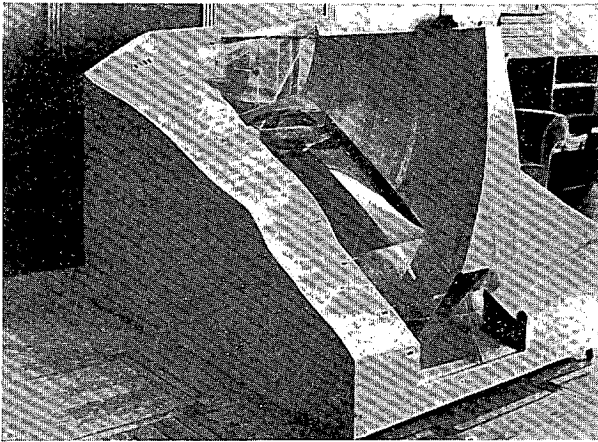


Fig. 1.^a — Maqueta de madera del final de la obra y estribo derecho para estudio de su estabilidad.

(Wood model of part of the dam and of the right abutment for the study of its stability).

normales que pueden esperarse en esta clase de roca; seguramente como consecuencia de un efecto mayor de la decompresión superficial, favorecida por la disposición y frecuencia de la esquistosidad, y por la fracturación que afecta en mayor proporción a la roca de esta parte.

Las referidas anomalías de la parte alta del estribo derecho, la necesidad de regular el ritmo de hormigonado con las temperaturas, el control de los hormigones, la disposición de las juntas, la auscultación de la obra, la necesidad de redactar proyectos parciales y de ejecutar los planos de obra de acuerdo con el proyecto general, etc., movieron al Canal de Isabel II a contratar una asesoría técnica con CONSULPRESA, como calculadora de la estructura y orientadora del proyecto general, sin perjuicio, naturalmente, de los informes y colaboraciones de los Servicios Geológicos de Obras Públicas, Asesoría Geológica, Servicio de Inspección de Presas, Centro de Estudios Hidrográficos y los laboratorios oficiales o de organismos de garantía. El trabajo en equipo de todas estas entidades ha sido de gran rendimiento y utilidad y ha redundado en la mejor calidad y mayor garantía de

la obra y, en definitiva, en beneficio del pueblo de Madrid, porque permitió, en un plazo breve, terminar la ejecución y puesta en servicio de las obras e instalaciones con las garantías que deben existir en estas especiales estructuras.

2. PROYECTO

La ubicación escogida para la presa coincidió con un estrechamiento del valle, que presenta buenas características topográficas para el encaje de una presa bóveda. El valle es en "V", abierto, ligeramente asimétrico, con las márgenes inclinadas sensiblemente a 40°, permitiendo ejecutar una presa bóveda con la relación cuerda-altura de 2,8, condición bastante favorable para la solución adoptada. La topografía de la cerrada permite que los estribos tengan unas dimensiones proporcionadas con el volumen total de la presa. En la figura 2.^a se presenta la planta general de la obra.

La presa es una bóveda gruesa o tradicional, de doble curvatura, con altura máxima de 50 m. y desarrollo del arco de coronación de 140 m., de arcos circulares de tres centros con radios mayores en la zona de estribos. Es un tipo de presa que permite un mejor aprovechamiento del hormigón por originar una disminución de los momentos flectores a que las estructuras arco-tradicionales están sometidas (1). Se llegó a esta solución después de estudiados distintos trazados de varias formas de bóvedas y estribos, correspondientes a otras tantas ubicaciones, los cuales han sido replanteados en el terreno previamente escogido, de modo que se pudo apreciar el sitio que proporcionaba el encaje más favorable de la estructura. Además, todos los estudios han sido acompañados de cubicaciones y cálculos someros de estabilidad, los cuales han conducido a la solución construida.

En la figura 3.^a se aprecia la definición del perfil central de la presa. Con esta estructura se alcanzaron buenas condiciones económicas y de seguridad, con volumen de hormigón cerca de la mitad del necesario para una presa de tipo gravedad.

Con el fin de garantizar una mayor continuidad de la estructura, se ha adoptado, para las juntas de la presa, una solución que aún es poco corriente en proyectos de este tipo y que consiste en reducir el número de juntas a lo largo de toda la altura de la presa, cuya ventaja técnica fue sugerida por el análisis de los resultados de observaciones de las juntas en presas bóvedas similares. Se proyectaron tres tipos de juntas: el primero (tipo I), juntas abiertas en la parte central y en la región de cimientos, que funcionaron como paso del agua una vez destruido el sistema de desviación del río; el segundo

(1) J. Laginha Serafim: "New shapes for arch dams". *Civil Engineering*, November 1966.

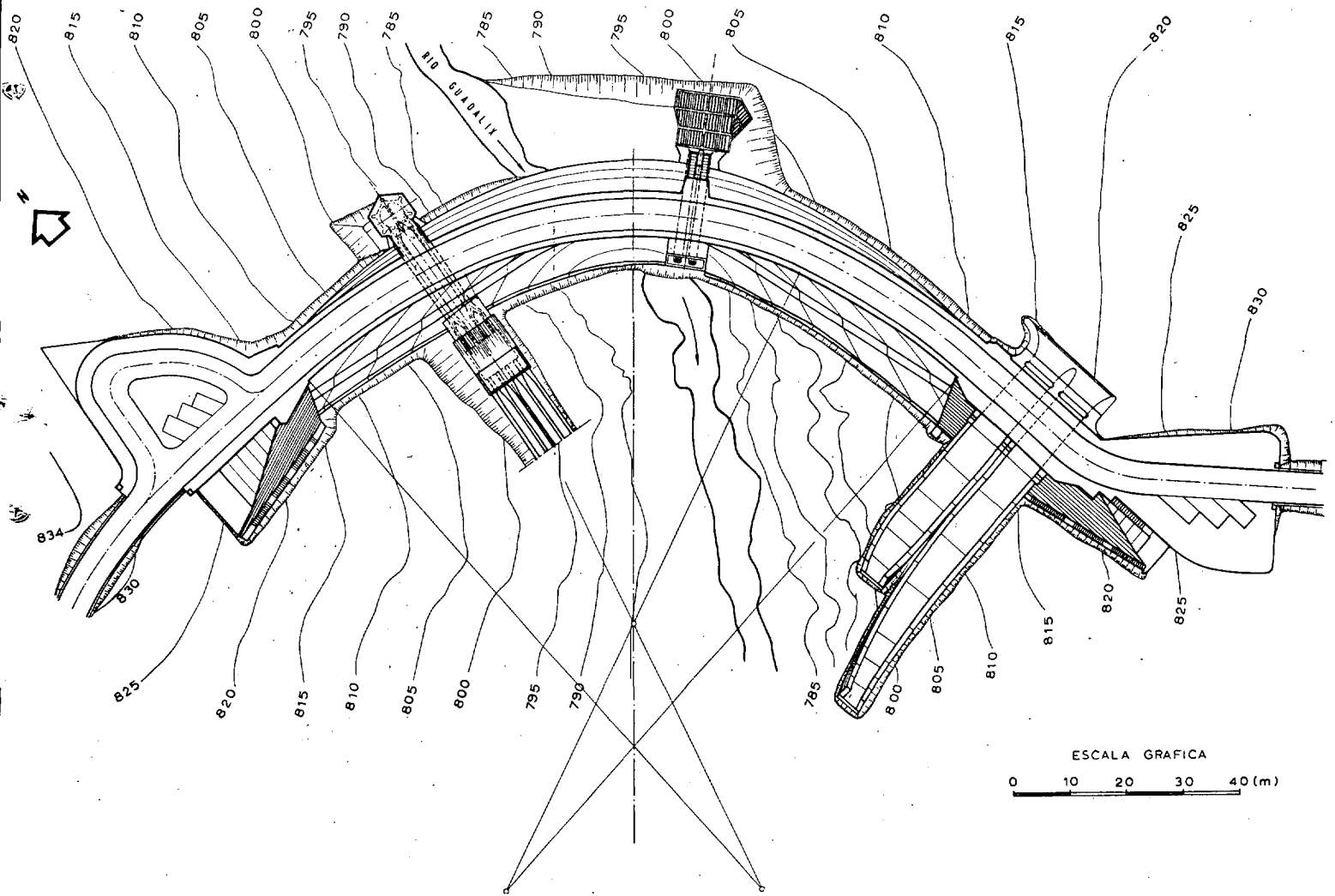


Fig. 2.^a — Planta general de la obra.
(General plan of the job).

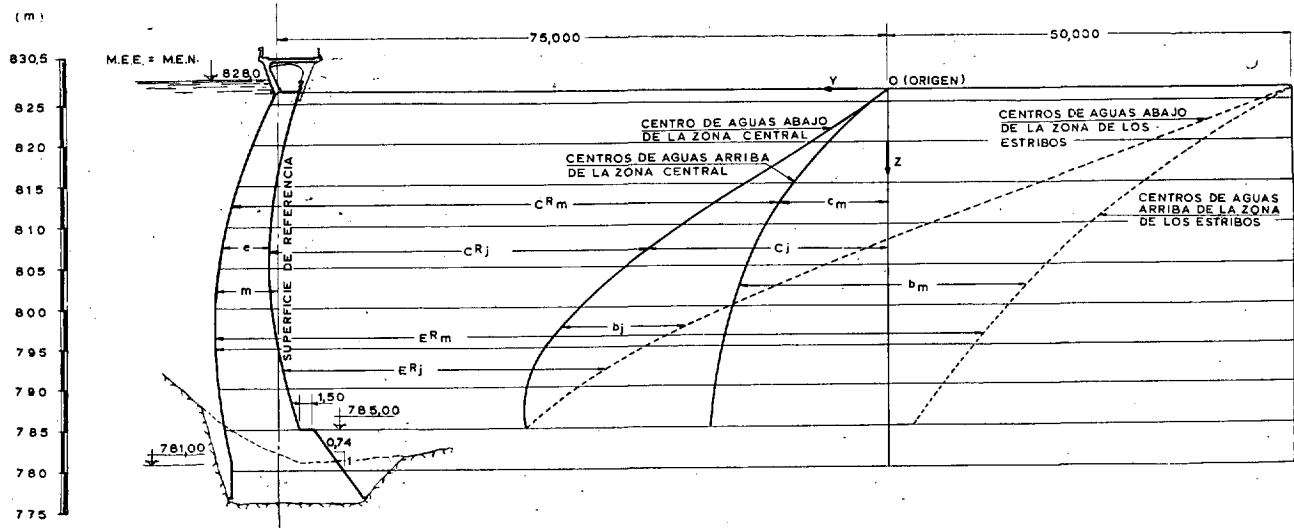


Fig. 3.^a — Sección central de la presa.
(Central section of the dam).

(tipo II), correspondiente a juntas a lo largo de toda la altura de la presa, y, finalmente, el tercero (tipo III), de pequeña longitud, partiendo de la cimentación a través del zócalo y entrando en la bóveda de 2 a 3 m., permitiendo en esa zona la libre contracción y evitando las grietas que tuvieran tendencia a formarse por la restricción impuesta por el terreno de la cimentación.

En el cálculo de los desplazamientos y de las tensiones, en la bóveda se ha utilizado un método de compatibilización de desplazamientos entre arcos y ménsulas, del tipo del conocido método "trial load" del Bureau of Reclamation, en que la distribución de las cargas por los arcos (cuatro) y ménsulas (siete) se obtuvo por resolución de un sistema de ecuaciones y no por tanteos y en que, además, las cargas consideradas tuvieron for-

ma distinta de la utilizada por el "trial load". Se hizo únicamente el ajuste radial entre arcos y ménsulas, y se ha recurrido a un programa de cálculo electrónico. El análisis de cada arco y de cada ménsula, en cuanto a los desplazamientos y a las tensiones producidas por las varias sollicitaciones admitidas, descomponiendo la componente horizontal de la presión hidrostática en cargas triangulares unitarias, ha sido realizada por ese programa. Seguidamente, el cálculo del ajuste propiamente dicho entre arcos y ménsulas, en vez de realizarse por tanteos, como ha establecido el "Bureau of Reclamation", ha sido hecho por resolución directa de un sistema de múltiples ecuaciones lineales, tantas cuantos los puntos de cruce entre arcos y ménsulas. Por fin, conocida la repartición de cargas, por resolución de este sistema de ecuaciones,

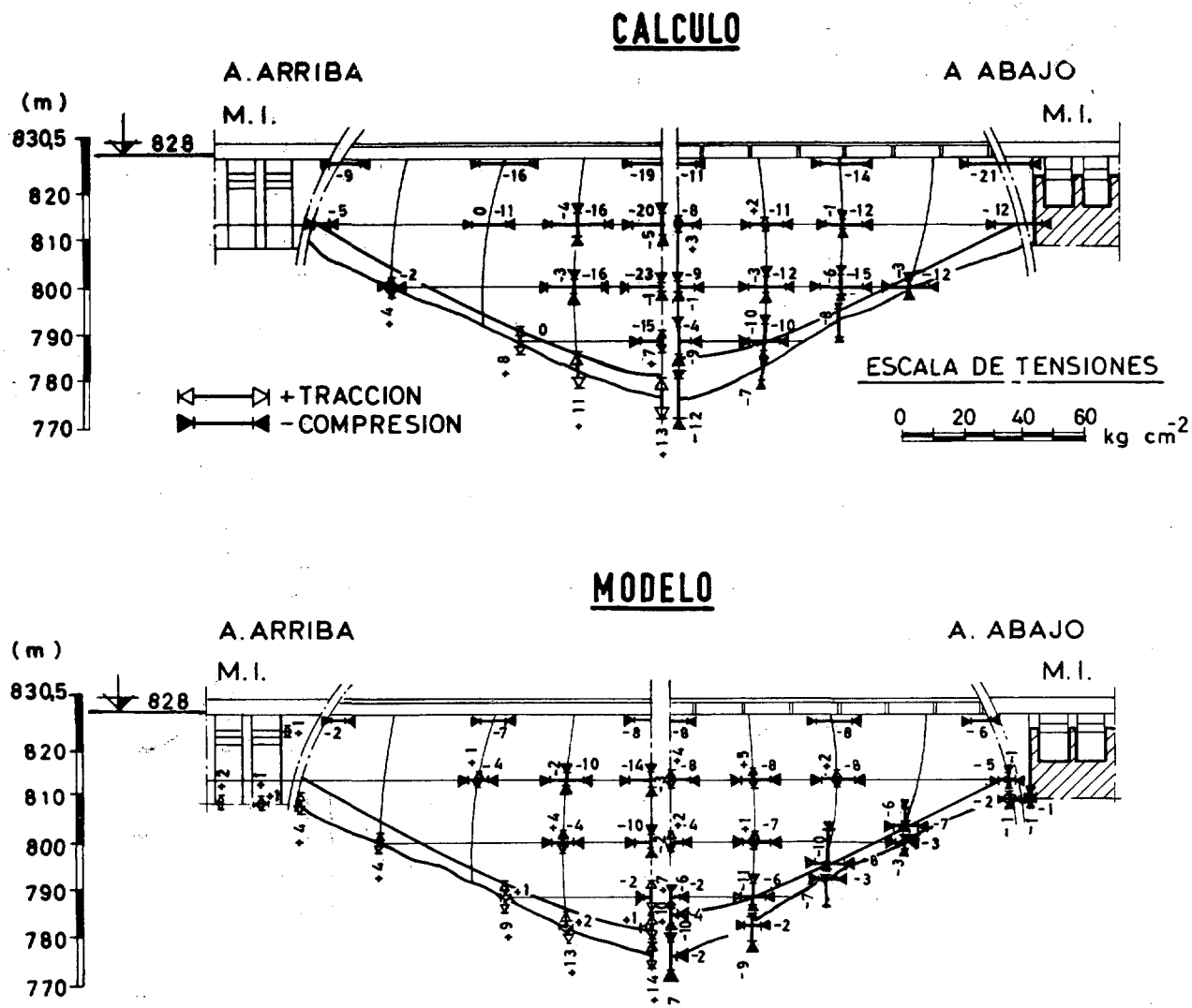


Fig. 4.^a—Comparación de tensiones dadas por el cálculo y por el modelo reducido.
(Comparison of stresses given by calculation and by model for the hydrostatic pressure effect).

se ha recurrido de nuevo al ya referido programa de cálculo electrónico para la determinación de las tensiones y desplazamientos de la bóveda sometida a la totalidad de las solicitaciones admitidas.

Las solicitaciones consideradas fueron el peso propio, la presión hidrostática, la subpresión y las variaciones de temperatura. Los resultados del cálculo, para la solicitación de la presión hidrostática, son presentados en la figura 4.^a bajo la forma de tensiones. Los valores determinados para las antedichas solicitaciones, en la

compresión, lo que nos permite concluir que, bajo el aspecto estructural, la presa está bien concebida, y que el trazado se adapta perfectamente a las características del valle.

La estructura fue ensayada, para el efecto de la presión hidrostática, en el Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil, de Lisboa, con resultados satisfactorios. En la figura 4.^a se comparan los resultados del ensayo en modelo reducido y los obtenidos a través del cálculo. La comparación de dichos resultados enseña que las ten-

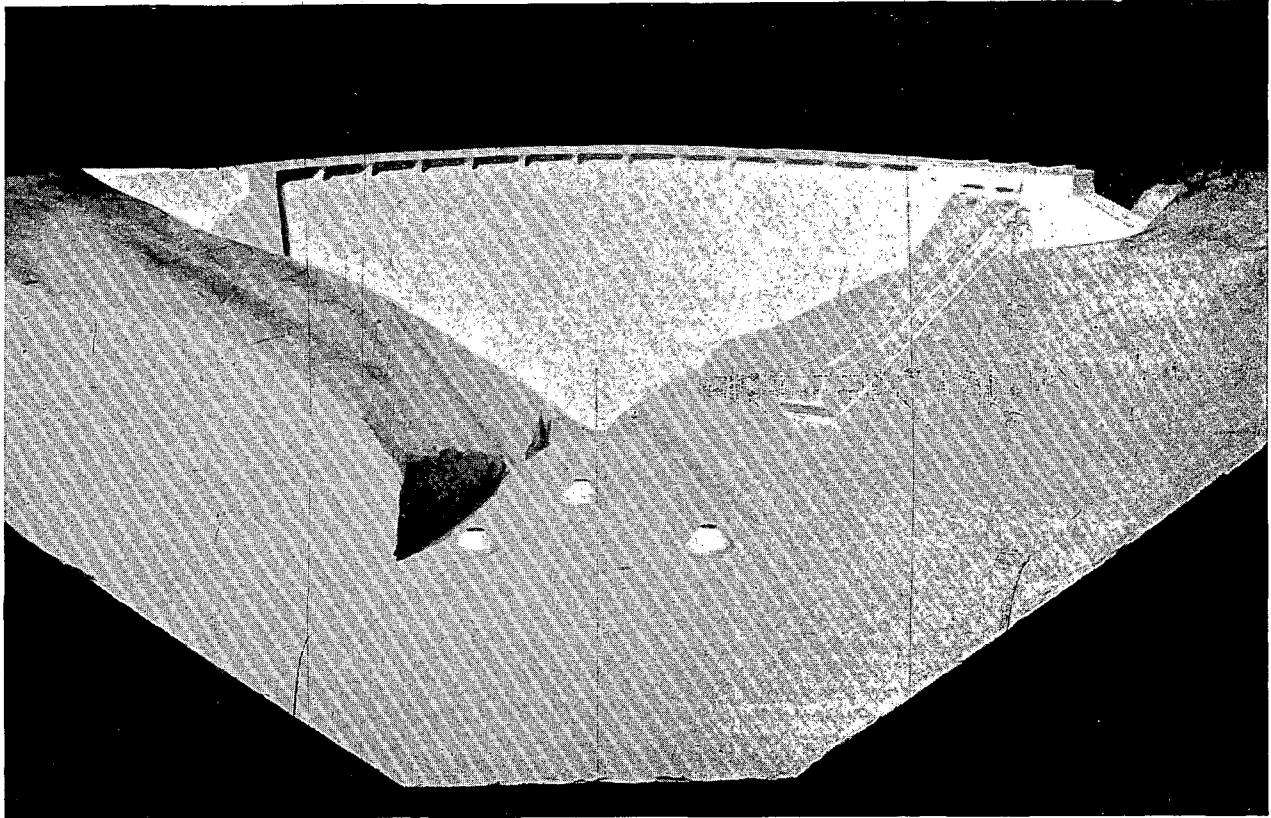


Fig. 5.^a — Modelo reducido para ensayos estructurales
(Plaster model for the structural tests in the Lisbon Laboratory).

hipótesis desfavorable de disminución de temperatura, son bastante bajos, tanto para las compresiones como para las tracciones, llegándose, en los arcos, a una compresión máxima de 27,4 Kg. cm.⁻², aguas arriba en la clave del arco a la cota 800, y a una tracción de 5,9 kilogramos cm.⁻² aguas arriba en el arranque del arco a la cota 788. En las ménsulas, los valores máximos son todavía más bajos, siendo la compresión máxima de 13 kilogramos cm.⁻², a la cota 788 de la ménsula 1, y la tracción máxima de 0,3 Kg. cm.⁻² a la cota 800 de la ménsula 3. Para las tres primeras solicitaciones estudiadas, esto es, sin considerar el efecto de la temperatura, toda la presa está sometida solamente a esfuerzos de

tensiones en los arcos, determinadas en el ensayo, son más bajas que las obtenidas en el cálculo, y que las tensiones en las ménsulas son en ambos casos de la misma orden de magnitud. Las diferencias encontradas se deben al hecho de que en el cálculo no se han considerado los corrimientos tangenciales y verticales, y tampoco el efecto de torsión. El modelo ensayado puede verse en la figura 5.^a.

El aliviadero con el umbral a la cota 828 m. está formado por dos canales, terminado en saltos de esquí, ubicados en el estribo de la margen izquierda, y calculados para un caudal total de 400 m.³ s.⁻¹; cada canal tiene una sección de entrada en orificio rectangular con

la solera a la cota 822 m. Las compuertas son de tipo Taintor, con unas ataguías de seguridad aguas arriba. La estructura se ha ensayado en el Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos.

Sobre el aliviadero está situado el camino de coronación de la presa. La desviación del Canal Alto, afectado por el embalse, se lleva sobre la coronación de la presa en una tubería metálica apoyada en unos tabiques de hormigón armado.

Los desagües de fondo son dos conducciones de 1,80 m. de diámetro cada una, que permiten evacuar a embalse lleno 150 m.³ s.⁻¹. Se encuentran situados en

de controlar el comportamiento de la bóveda y de la cimentación, tanto durante la ejecución de las obras como durante la primera puesta en carga completa y fase siguiente de su explotación. La figura 6.^a presenta el conjunto de dispositivos y montajes ejecutados en la presa para su auscultación. Se han instalado: seis grupos planos de extensómetros Carlson en el cuerpo de la presa, seis grupos unidimensionales en la coronación y tres grupos de extensómetros de gran base en la cimentación; 57 pares termoelectrónicos para la medición de temperaturas; nueve medidores de juntas tipo Carlson en el interior del hormigón; 37 ternas de bases de elongámetro

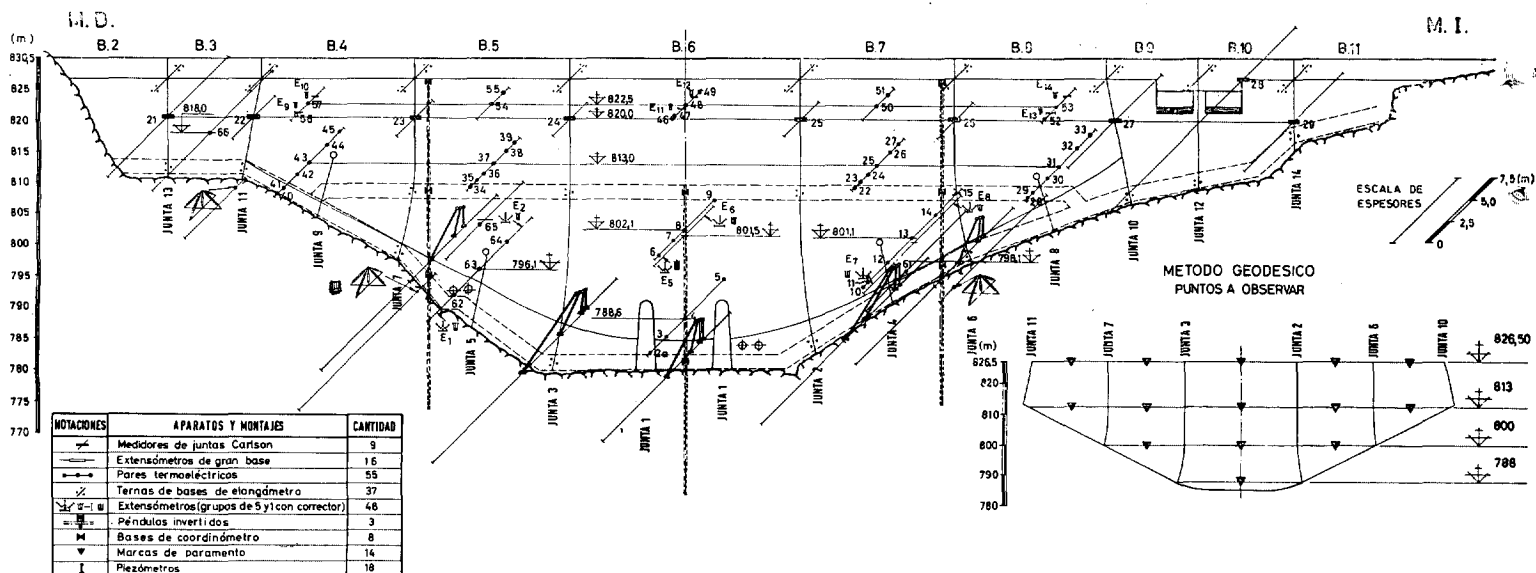


Fig. 6.^a — Conjunto de dispositivos y montajes para auscultación.
(Dispositives and mountings for observation).

el zócalo de la presa con el eje a la cota 783,50 m. y están provistos, aguas arriba de unas rejillas de hormigón armado y una ataguía tipo wagón, maniobrable desde la coronación. Aguas abajo hay válvulas dispersoras para regulación del caudal. La conveniencia de orientar el chorro de salida de los desagües de fondo hacia el eje del río aguas abajo, ha traído como consecuencia una entrada algo forzada por la disposición topográfica del terreno aguas arriba, por lo que hubo que estudiar la forma de desmontarlo y tratarlo para facilitar la entrada del agua y evitar aterramientos y dificultades de maniobra.

La torre de toma, con destino al canal de El Vellón, sita en la margen derecha con su solera a la cota 787 metros, está provista de sistemas de alimentación independientes que permiten tomar el agua a tres niveles diferentes: 793, 805 y 817 m. Las entradas de agua están reguladas por compuertas maniobradas desde la plataforma superior de la torre.

Se ha hecho la auscultación de la presa, con objeto

de controlar el comportamiento de la bóveda y de la cimentación, tanto durante la ejecución de las obras como durante la primera puesta en carga completa y fase siguiente de su explotación. La figura 6.^a presenta el conjunto de dispositivos y montajes ejecutados en la presa para su auscultación. Se han instalado: seis grupos planos de extensómetros Carlson en el cuerpo de la presa, seis grupos unidimensionales en la coronación y tres grupos de extensómetros de gran base en la cimentación; 57 pares termoelectrónicos para la medición de temperaturas; nueve medidores de juntas tipo Carlson en el interior del hormigón; 37 ternas de bases de elongámetro para la medición del movimiento de las juntas; 18 piezómetros, para la medida de las subpresiones, y tres péndulos invertidos para determinación de desplazamientos de la presa, respecto a puntos profundos de la cimentación. Está en montaje la instalación de la red de triangulación adecuada a la medición, por métodos geodésicos, de corrimientos horizontales de 14 puntos del paramento de aguas abajo, situados en los arcos de cálculo a cotas 826, 813, 800 y 788 al medio de los cinco bloques de la bóveda (fig. 6.^a). Además se harán mediciones de corrimientos horizontales por colimación con el objetivo fundamental de observar la clave de la coronación, que no pudo alcanzarse con el péndulo del bloque central por causa de la curvatura de la ménsula central. En cuanto a mediciones de corrimientos verticales por nivelación geométrica de precisión se prevé una línea de nivelación, la cual pasará por la coronación de la presa y saldrá directamente al terreno en las dos laderas, viniendo después en ambas hacia aguas abajo, y

nivelándose desde el terreno algunos puntos de la base de los bloques de los dos estribos.

Por medio de este sencillo sistema de control, no solamente se observará la seguridad de la obra, sino que también, como siempre sucede, podrán obtenerse datos para el mejor conocimiento del comportamiento de estas estructuras.

3. CONSTRUCCION

Redactado y aprobado el proyecto, dada su urgencia, fue preciso contratar su ejecución directa. En julio de 1965 se cursan cartas de invitación a empresas constructoras para el concierto directo y anticipado, y en octubre de 1965 se adjudican definitivamente las obras a la empresa M.Z.O.V. Gracias a una tramitación rápida se pudieron ganar efectivamente unos tres meses en los trabajos de las excavaciones, compensándose, en parte, los días perdidos por un otoño-invierno excesivamente lluvioso.

Las obras se han venido desarrollando desde los últimos meses de 1965 sin mayores complicaciones, y con arreglo a los planes previstos, aunque, como es natural en obras de esta naturaleza, se fueron presentando distintos problemas que se resolvieron a lo largo de los trabajos, sin mayores inconvenientes.

Fue primera incertidumbre la explotación de la cantera de caliza, por la alternancia de capas de margas o arcillas, que ensuciaban el árido, en algún caso con porcentaje de arcilla inadmisibles. Una explotación más cuidadosa y el afectar a las obras otras canteras, han resuelto este problema, que fue, en un tiempo, importante preocupación, porque además las diferentes canteras que se examinaron y explotaron, incluso con la colaboración de la Asesoría Geológica, dieron peores impresiones que la que se venía utilizando.

El hormigón usado ha sido de 250 Kg. de cemento por metro cúbico en zócalo y cuerpo de presa y de 200 Kg. por metro cúbico en los bloques de estribos de gravedad, con una relación agua-cemento media de 0,65. El control de materiales (cemento, áridos y hormigón) fue hecho a través de un laboratorio montado a pie de obra.

Durante los primeros cinco meses de hormigonado el árido estuvo constituido por cinco tamaños que se indican a continuación, como asimismo los respectivos porcentajes en peso:

| Tamaños (mm.) | Porcentajes (%) |
|------------------|--------------------|
| 80-60 | 22,9 |
| 60-30 | 27,3 |
| 30-8 | 17,1 |
| 8-2,5 | 13,1 |
| 2,5-0 | 19,6 |

Debido a que la producción de arena no era la deseable por insuficiencia de molienda de caliza, se empezó a emplear arena del río, la cual a su vez se comprobó tenía falta de finos y planteó el problema de su mezcla homogénea con la arena de caliza, ya que no había más que un silo para la arena. Por otro lado, la resolución del problema ya citado de eliminar la arcilla, en terrones y en polvo, a través de un cribado en cantera para rechazar todo el material inferior a 15 mm. que producía la machacadora primaria, condujo a que la fuente principal del árido de tamaño 30 a 8 mm. pasó a ser el girogravillador de la instalación de la presa. Dicho girogravillador producía un material extraordinariamente lajoso y con gran cantidad de agujas que daba lugar a un hormigón indócil, casi imposible de consolidar en buenas condiciones. La resolución conjunta de todos estos problemas llevó a la adopción de un hormigón de granulometría discontinua, eliminando por completo el árido de dimensiones 30 a 8 mm. De este modo, a partir del sexto mes de hormigonado, la composición del árido fue la siguiente:

| Tamaños (mm.) | Porcentajes (%) |
|------------------|--------------------|
| 80-60 | 9,4 |
| 60-30 | 47,2 |
| 8-2,5 | 16,5 |
| 2,5-0 | 26,9 |

La nueva granulometría dio buenos resultados, tanto en docilidad, como en densidad, como en las resistencias. Sin embargo, los resultados de roturas de probetas han puesto de manifiesto una dispersión un poco elevada, fundamentalmente por la dificultad en controlar adecuadamente la relación agua-cemento (con oscilaciones, como consecuencia de la variación del contenido de agua de las arenas), y además por la dispersión del cemento (del orden de 11 por 100 de desviación media cuadrática relativa). En un total de 650 probetas cúbicas de 20 centímetros de arista la resistencia media a los veintiocho días de edad fue 223 Kg. cm.⁻² y la resistencia característica fue 164 Kg. cm.⁻², o sea, el 80 por 100 de las probetas presentaron resistencias superiores a 164 kilogramos cm.⁻².

Los hormigonados empezaron prácticamente a principios de marzo de 1966. Todos los bloques de bóveda y estribos se encontraban a cotas ya próximas de la coronación un año después, exceptuando el bloque 9 del aliviadero.

Las figuras 7.^a y 8.^a presentan aspectos del hormigonado de la parte baja de los bloques centrales. En la primera de dichas figuras pueden apreciarse: las dos juntas abiertas (portillos) de la parte central para paso del agua; la boca de salida de los desagües de fondo; la gran longitud del bloque central que, por encima de las juntas abiertas, reunió los tres bloques inferiores. En la segunda figura puede apreciarse una parte de la superficie de excavación de la margen derecha y las dos tu-

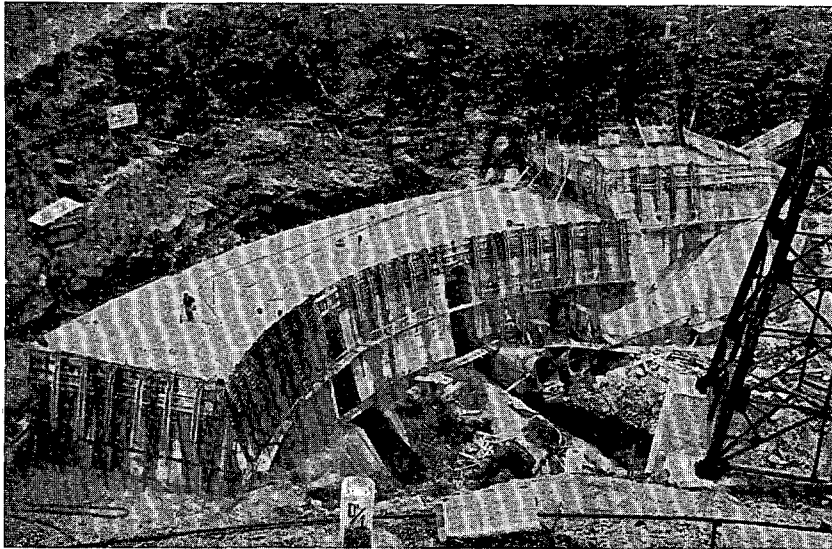


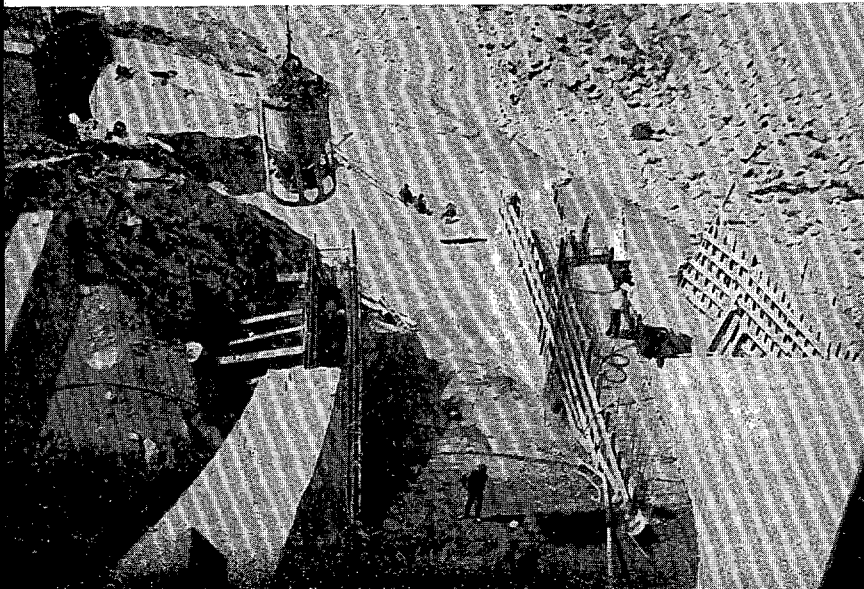
Fig. 8.^a — Aspecto de los bloques centrales el 20-7-66.
(Aspect of the central blocks on July 20, 1966).

Fig. 7.^a — Aspecto de los bloques centrales a mediados de junio de 1966. Véanse los portillos provisionales para paso del agua.

(Aspect of the central blocks at the middle of June, 1966. (Note the open joints for provisional discharging of water).



Fig. 9.^a — Hormigonado de los muros de los canales del aliviadero.
(Concreting of the walls of the channels of the spillway).



berías de la toma de agua. Estas tuberías, la construcción y montaje de los desagües de fondo, y además las compuertas del aliviadero y respectivas ataguías de seguridad, fueron ejecutadas por Material y Construcciones, S. A., MACOSA. La figura 9.^a presenta un aspecto del hormigonado de los muros-guías de los canales del aliviadero y las figuras 10 y 11 son vistas generales de la obra, respectivamente, desde aguas abajo y desde aguas arriba, justo en el día en que se empezó la primera fase

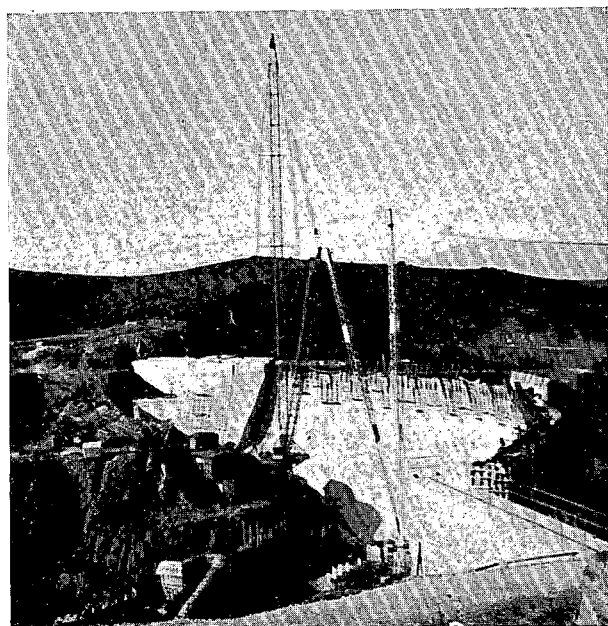


Fig. 10. — Vista general de la obra desde aguas abajo el 22-2-67 al iniciarse el embalse.

(General view of the work from downstream on february 22, 1967, at the beginning of the filling of the reservoir).

del llenado del embalse (hasta la cota 805). Finalmente, la figura 12 es un aspecto general de la bóveda en el mes de abril de 1967, pudiendo apreciarse el montaje, sobre la coronación, de la tubería metálica de la desviación del Canal Alto.

La primera campaña de inyecciones de juntas, en que se inyectaron los compartimientos hasta la galería horizontal, fue llevada a cabo durante la semana que antecedió al comienzo de la primera fase del llenado del embalse. La segunda campaña, en que se inyectaron los restantes compartimientos de las juntas de la bóveda y entre bóveda y estribos, fue hecha a primeros de marzo, antes de comenzar la segunda fase del llenado. La inyección de las juntas tipo I y III fue hecha a partir del zócalo aguas abajo y de la galería general de drenaje. La inyección de las juntas tipo II fue hecha a partir del paramento de aguas abajo y desde la galería de visita situada a la cota 807. El taponamiento de las juntas se efectuó con barras de plástico y láminas de cobre.



Fig. 11. — Vista general de la obra desde aguas arriba el 22-2-67.

(General view of the work from upstream on february 22, 1967).

Las inyecciones de juntas, todos los trabajos de inyecciones de consolidación y de pantalla, y además el sistema de drenaje de la cimentación de la presa, fueron ejecutados por Cimentaciones Especiales, S. A. Procedimientos Rodio.

4. PRIMERA PUESTA EN CARGA

El buen trabajo en equipo de todas las entidades que han colaborado en las obras, y además la aceleración conseguida en ellas, permitió empezar a embalsar el 23-2-67. El adelanto de una campaña de embalse ha su-

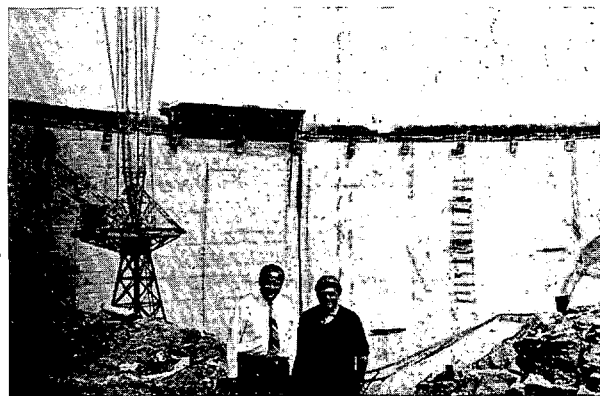


Fig 12. — Aspecto general de la bóveda en abril de 1967, con el embalse a la cota de la cresta del aliviadero. En primer lugar el ingeniero encargado D. Benito Díaz, con su ayudante colaborador a pie de obra D. Francisco Marín.

(General aspect of the dam on april, 1967, with the reservoir at the level of the crest of the spillway. In the foreground the engineer in charge, Mr. Benito Díaz, with his auxiliary engineer, Mr. Francisco Marín).

puesto, para el Canal de Isabel II, no sólo lo más importante de garantizar en lo posible el servicio, evitando las restricciones en el consumo de agua, sino también un

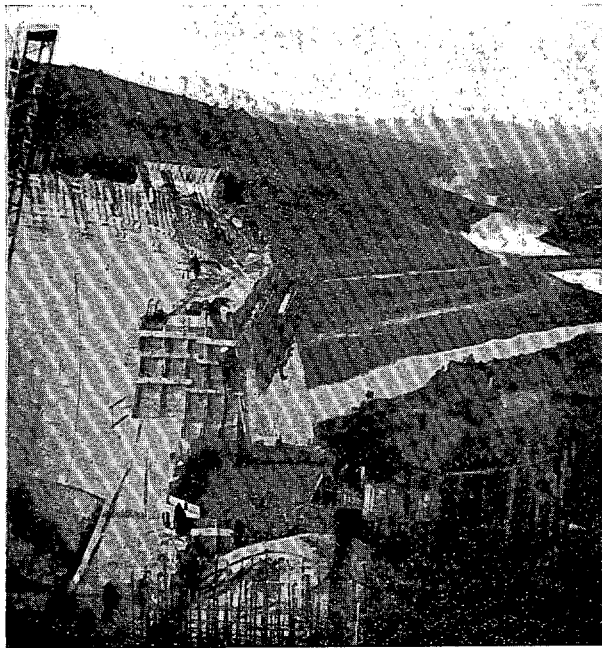


Fig. 13. — Vista hacia aguas arriba, horas después del comienzo del embalse el 22-2-67.

(View towards upstream hours after the commencement of the filling of the reservoir on February 22, 1967).

ingreso anual del orden de 90 millones de pesetas, cifra que tolera un razonable gasto adicional para acortar el

plazo, tan afectado por la muy lluviosa época de otoño-invierno de 1965-1966 y que tanto perturbó las excavaciones, pero que no hubo más remedio que acometer y continuar en esta época tan poco oportuna, dada la fecha de adjudicación; otra determinación hubiera supuesto retrasar su comienzo más de medio año, lo que no era posible; por comprometer las inyecciones.

En la figura 13 se presenta una vista del valle aguas arriba, unas horas después del comienzo del embalse. Se observa también un aspecto del hormigonado del primer bloque del estribo izquierdo y la cresta del canal del aliviadero de dicho bloque.

Con objeto de hacer el control cuidadoso del comportamiento de la obra durante la primera puesta en carga, se elaboró un programa adecuado de magnitudes a medir y frecuencias de mediciones respecto a las distintas fases del llenado. En dicho programa se previó la presentación de cinco informes, cada uno de ellos haciendo la apreciación sucinta del comportamiento de la presa relativamente a determinada cota del nivel del embalse. Las cotas elegidas fueron las 805, 822, 825, 827 y 828, en correspondencia con cinco fases del llenado, por lo que se han preparado ya dos de los antedichos informes, a añadir a otro preparado durante el período de construcción con objeto de definir los períodos aconsejables de inyecciones de las juntas.

En general, puede afirmarse que durante las dos primeras fases del llenado la presa ha presentado un buen comportamiento.

Las juntas han presentado aperturas corrientes antes de las inyecciones. Posteriormente no se han movido, como se deduce de la figura 14, donde se presenta su estado el 18-4-67 (fecha en que el agua alcanzó la cota 822), y en que los movimientos se determinan con relación a las fechas de las inyecciones, en los com-

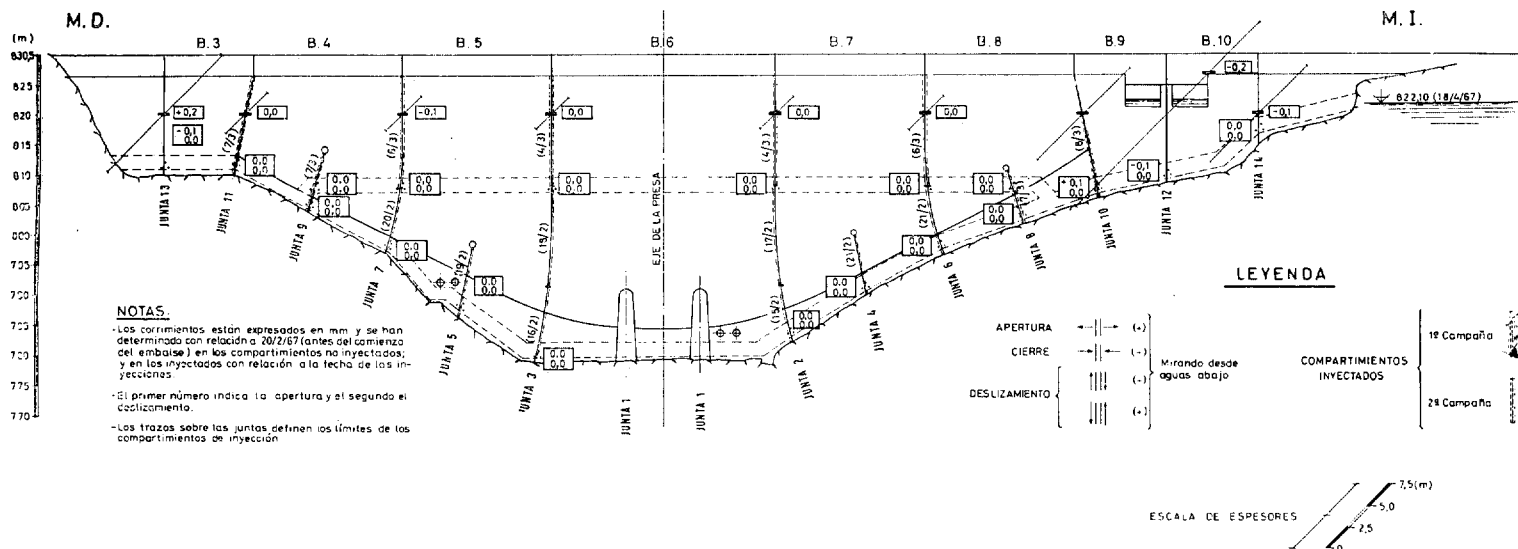


Fig. 14. — Estado de las juntas el 18-4-67.
(State of the joints on April 18, 1967).

partimientos inyectados, y en los restantes al 20-2-67, antes del comienzo del embalse. Los movimientos relativos entre bloques contiguos a compartimientos inyectados son nulos o muy pequeños.

En las figuras 15 y 16 se presentan algunos resultados más de la auscultación de la presa durante las dos primeras fases del llenado.

En la primera de dichas figuras se aprecia el estado térmico de la presa el 18-4-67, indicándose la temperatura en cada uno de los puntos donde dicha magnitud es medida. Se observa que la parte de aguas arriba de la presa está más fría que la de aguas abajo, siendo la

éstas han influido en los resultados desarrollando por su cuenta tensiones de compresión de origen térmico del orden de los 2 a 7 Kg. cm.⁻², naturalmente mayores en los puntos donde son mayores las variaciones puntuales de temperatura y según las direcciones donde el efecto de restricción es mayor. Son estas tensiones de origen térmico las responsables de que no se hayan desarrollado hasta ahora tensiones de tracción verticales, aguas arriba en la base de las ménsulas. Son ellas también las que conducen a que en los puntos de aguas arriba, la dirección de la tensión principal máxima sea paralela a la cimentación (dirección de máxima restricción). En cuan-

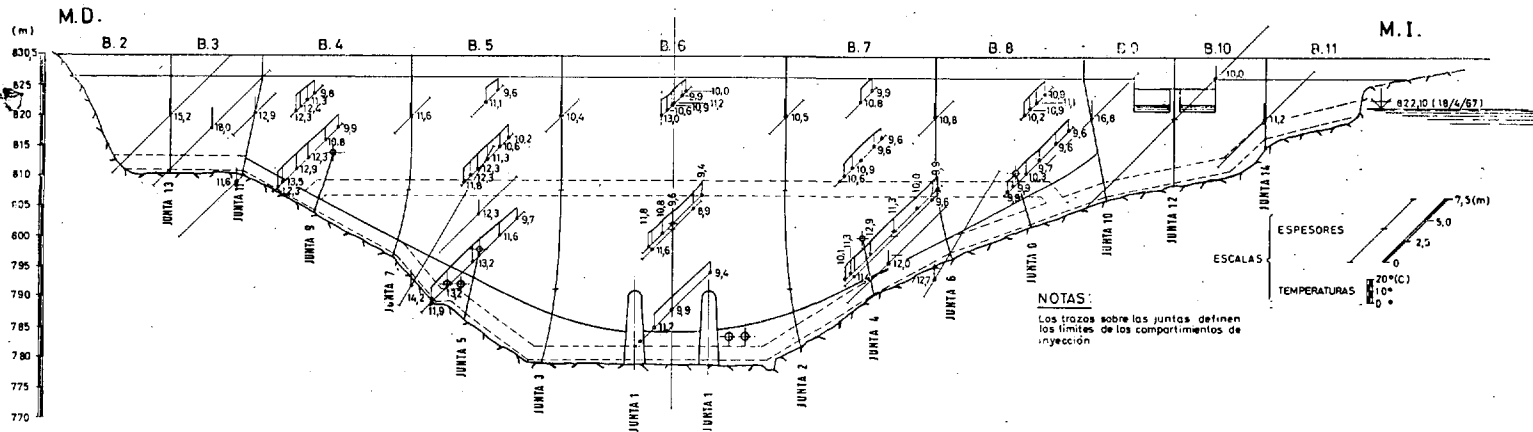


Fig. 15. — Estado térmico de la presa el 18-4-67.
(Thermic state of the dam on april 18, 1967).

diferencia de temperaturas medidas mayor en la mitad derecha que en la izquierda (como consecuencia de la diferente exposición de las dos mitades del paramento de aguas abajo a la radiación solar) y que hay uniformidad de temperatura en la capa de 1 m. adyacente al paramento de aguas arriba, como consecuencia del efecto térmico regularizador del agua del embalse.

En la segunda de dichas figuras se presentan las tensiones existentes el 18-4-67 (nivel del embalse 822) con relación al día 21-2-67 (antes de comenzar a embalsar) para los grupos planos, y con relación al 7-3-67 para los grupos unidimensionales de coronación, ya que sólo a partir de esta fecha la parte superior de la bóveda se monolitizó a través de las inyecciones de las juntas. Además se presentan en la misma figura las deformaciones unitarias reales desarrolladas en la roca, por efecto de los esfuerzos transmitidos por la presa, entre el 18-4-67 y el 21-2-67. Se han indicado también las variaciones puntuales de temperatura. En la bóveda

to a las tensiones obtenidas a través de los grupos de extensómetros de la cota 822,5, ellas traducen un comportamiento asimétrico de los arranques del arco a la cota 822,5, como consecuencia de la falta de continuidad estructural en el estribo izquierdo, ya que no se había hormigonado todavía la parte de coronación de los bloques 9 y 10. En lo concerniente a las deformaciones unitarias en la roca, de acuerdo con lo esperado, se observa que, en los grupos situados en los bloques 5-A y 7-B, las mayores deformaciones unitarias aparecen según la dirección del plano radial que baja a 45° hacia aguas abajo (dirección 5) y según las direcciones normales a las laderas en el plano tangencial (direcciones 6 en la ladera izquierda y 7 en la derecha). En cuanto al grupo situado cerca del pie de aguas arriba del bloque 3, las magnitudes relativas de dichas deformaciones también parecen ser acordes con los esfuerzos transmitidos al bloque: presión hidrostática sobre él, empuje de la aleta y empuje de los arcos superiores de la bóveda.

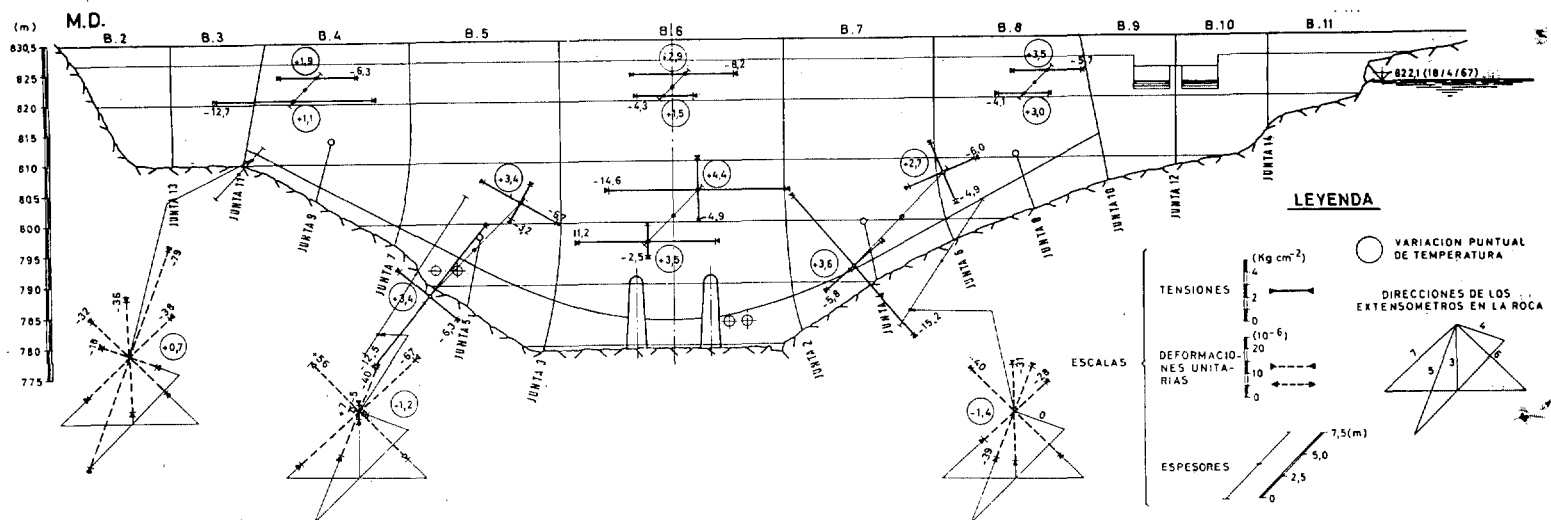


Fig. 16. — Tensiones en la bóveda y deformaciones unitarias en la cimentación desarrolladas durante el período de la primera y segunda fases del llenado del embalse.

(Stresses in the arch and strains in the rock foundation developed during the period of the first and second phase of the filling of the reservoir).

Todo el trabajo de auscultación se ha venido desarrollando en estrecha colaboración entre dos equipos: uno de campo, constituido por personal del Canal de Isabel II, y otro de oficina, constituido por personal de CONSULPRESA. Este último equipo ha dado al primero la asesoría necesaria para la ejecución de todo el trabajo de campo (colocación de aparatos, ejecución de montajes y cumplimiento de programas de lecturas), recibe las lecturas hechas en la obra por el primer equipo, hace los cálculos, traza los diagramas, interpreta y finalmente

elabora los informes sobre el comportamiento de la presa.

NOTA FINAL

Se agradece a M.Z.O.V. la gentileza del préstamo de los clichés de las fotos correspondientes a las figuras 7.^a, 9.^a y 12, con objeto de su integración en este trabajo. Don Marciano Quaresma Guerreiro prestó una decisiva ayuda a la redacción de este trabajo.