

EL EMBALSE DE "EL VELLON" EN EL RIO GUADALIX, CON DESTINO AL ABASTECIMIENTO DE AGUA A MADRID

Por JOSE GARCIA AUGUSTIN

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

La necesidad de disponer en plazo perentorio de agua regulada para el abastecimiento de la capital, hizo preciso acometer el estudio del aprovechamiento del río Guadalix, mediante la construcción de un embalse en el mismo, cuya ubicación fue escogida, aproximadamente, a 1 Km. aguas abajo de la confluencia con el arroyo Aibala, en las cercanías del sifón del Guadalix del Canal Alto, y hacia el Km. 29 del camino de servicio de este canal, que parte del Km. 45,60 de la carretera general de Madrid a Irún, y sirve de acceso a las obras. La proximidad de este embalse a Madrid, lo que le da además un carácter de verdadero depósito de regulación y reserva, su fácil aprovechamiento por los canales Bajo o Atazar, y su llenado por las aportaciones de la cuenca propia o del sistema Lozoya-Jarama-Sorbe, lo presentaban como muy interesante.

Esta obra 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 y complementarias, aprobado técnicamente por Orden ministerial de 20 de noviembre de 1965, y establecida su financiación por el Decreto del Ministerio de Hacienda de 17 de marzo del año siguiente. Está incluida en el tercer Grupo de Obras — Obras nuevas, concepto 8 — de urgente realización, apartado 2, con sus dos capítulos de "Presa de embalse" y de "Obras auxiliares y Complementarias", comprendiendo estas últimas las variantes de las comunicaciones generales del Canal Alto y de su camino de servicio, en las longitudes afectadas por el embalse. En el Grupo 4.º, se incluye el importante coste de las expropiaciones, por inundar una fértil vega de los términos municipales de Guadalix y Pedrezuela.

El caudal regulado por este embalse 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 y, finalmente, en los depósitos 2.º y 3.º, 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, para su envío al 4.º depósito, en la Plaza de Castilla. Este canal se encuentra actualmente en construcción.

Este embalse 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 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.

El exceso de trabajo que pesaba sobre el personal del Canal de Isabel II, y la necesidad de disponer cuanto antes del proyecto para este embalse, hizo preciso el

encargo de la redacción del mismo a: "Consultores de presas y aprovechamientos hidroeléctricos, S. A." (Consulpresa), bajo la inspección y coordinación del ingeniero encargado de embalses en el Canal de Isabel II, que, además, debería redactar en plazo breve los importantes proyectos de las obras auxiliares y complementarias, tales como: desviación del Canal Alto y de su camino de servicio, desviación de la carretera de El Molar y Guadalix, caminos auxiliares del embalse, edificios para la explotación, conservación, dirección y administración y, además, el preciso de el canal de El Vellón con su camino de servicio, línea de transporte de energía eléctrica y, finalmente, emprender el importante expediente de expropiaciones, ya que se afectaba amplia y fértil vega, lo que impediría embalsar si no se pagaba a tiempo la ocupación de los terrenos. Todas estas obras son necesarias para poner en servicio el embalse de El Vellón, y cuyo retraso podría acarrear, a su vez, el de la puesta en explotación de la obra principal o embalse. Considérese que si la obra de presa, propiamente dicha, tiene un presupuesto próximo a los 100 millones de pesetas, el conjunto de todas estas obras e instalaciones y abono de terrenos se elevará a 250 millones de pesetas.

El proyecto sería firmado con la responsabilidad propia del ingeniero encargado de los embalses del Canal de Isabel II, que sería también el Director-Inspector de las obras; el proyecto se tramitaría normalmente, con los informes preceptivos hasta la aprobación superior, autorización del gasto y de ejecución de la obra.

No existiendo datos de aforos o lluvias en la cuenca del Guadalix, se acudió a los de los embalses de Puentes 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 el Guadalix, lo que daba garantía en los resultados que se obtuvieran. Se calcularon las superficies entre curvas de nivel con afección a cada una de las alturas de lluvias o nieves obtenidas de las observaciones en dichos embalses, a las que se aplicaban unos coeficientes para deducir la escorrentía que se calculó por la fórmula clásica de $C = A \sqrt{P}$, en la que el número A se relacionaba con la altitud topográfica, distinguiendo lluvia y nieve.

Así, se dedujo:

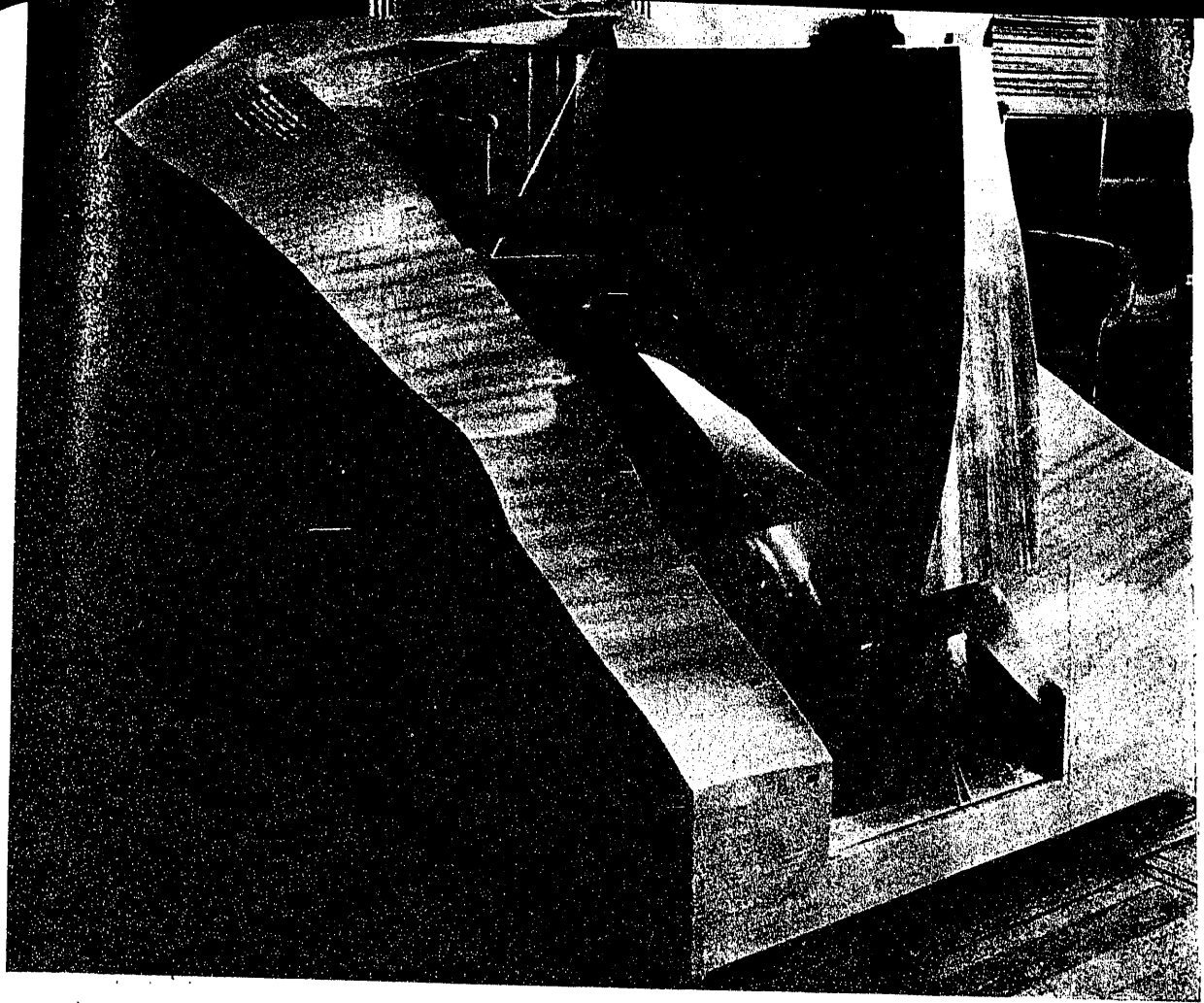
Aportación media anual	55,5 Hm. ³
Aportación media año seco	23,4 Hm. ³
Aportación media año húmedo	69,50 Hm. ³

con una cuenca alimentadora de 218 Km.².

Con estos datos 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 50,00 m., con embalse de 45 Hm.³, y un posible caudal regulado en año seco, próximo a 1,5 m.³/segundo.

Los posteriores informes geológicos, mediante los sondeos realizados por Cimentaciones Especiales, S. A., procedimientos Rodio, confirmaron lo acertado de la elección del emplazamiento de la presa en la cerrada indicada.

La roca que sirve de asiento a la presa es de naturaleza gneísico-micácea, con una esquistosidad favorable a la cimentación. La disposición del terreno en la parte alta del estribo derecho ha necesitado mayor información directa, mediante la apertura de pozos y galerías, toma de muestras y ensayos, con la intervención de



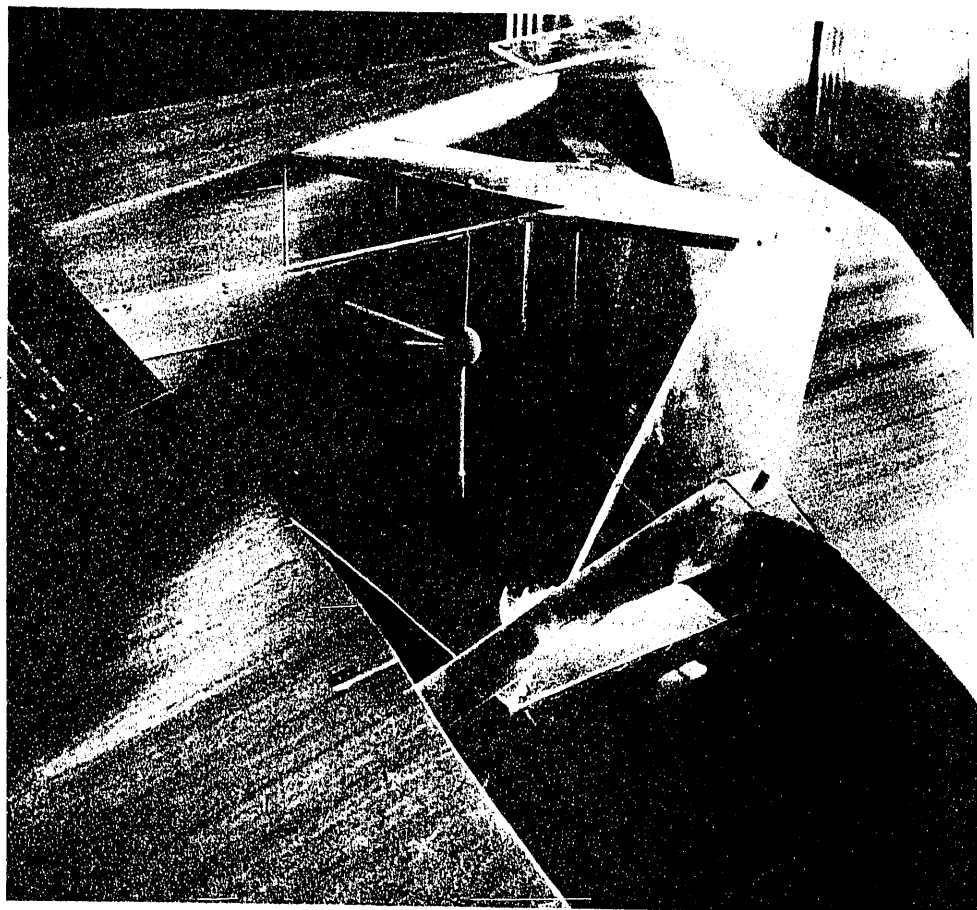
Fotografía 1.—Presa de El Vellón. Modelo para estudio del estribo derecho. Conjunto.

los asesores técnicos y de los organismos oficiales encargados de la inspección de la obra, para apreciar si en la esquistosidad o en la fracturación residía algún riesgo de deformación importante bajo las cargas de sollicitación transmitidas al terreno por la estructura cargada. Emitió informes la Asesoría Geológica, realizó unos cálculos Consulpresa, en dos hipótesis diferentes, y opinó la Inspección de Presas. Para la mejor resolución de este delicado asunto, se construyó una maqueta de madera del estribo derecho, parte alta, que comprendía el final de la bóveda y el estribo de esta margen, en la que el terreno, formado por plástico transparente, dejaba a la vista la dirección de los planos de fractura y esquistosidad, para los que se emplearon materiales de distinto color que materializaban su situación en el terreno en relación con la estructura. Sobre esta representación del terreno se colocaron los vectores que representaban los diferentes empujes de la estructura, con su resultante. Las fotografías número 1 y 1 bis, ponen de manifiesto el modelo sobre el que últimamente se discutió la disposición del estribo, modificándose, en parte, la concepción del proyecto, para alcanzar mayor garantía en esta parte de la obra, y se aumentó el plano de cimientos y su profundidad.

Las permeabilidades del terreno, determinadas por la absorción de agua en los sondeos, fueron mayores precisamente en esta parte de la obra y superiores a las normales que pueden esperarse en esta clase de roca; seguramente como consecuen-

cia de un efecto mayor de la descompresión 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.

Redactado y aprobado el proyecto, dada su urgencia, fue preciso contratar su ejecución directa, amparándose en el Decreto de 15 de julio de 1965 que dispuso la urgencia de las obras incluidas en el plan, y autorizaba no sólo la contratación directa, sino también la anticipada.



Fotografía 1 bis. — Presa de El Vellón. Detalle modelo reducido estribo derecho.

La tramitación general de este expediente ha sido la siguiente:

1-27 julio 1965: Se cursan cartas de invitación a empresas constructoras, para el concierto directo y anticipado.

2-7 agosto 1965: Se aprueban definitivamente el proyecto y el Pliego de Cláusulas Administrativas y Económicas, autorizándose la contratación directa. Salida del Ministerio, 20-VIII-65, llegada a la Dirección del canal, 26-VIII-65.

3-30 agosto 1965: Se abren los pliegos de las ofertas recibidas.

4-23 septiembre 1965: Se propone la adjudicación a M.Z.O.V.

5-30 octubre 1965: Se adjudican definitivamente las obras.

6-28 noviembre 1965: Se firma la escritura de contrata.

Gracias a esta tramitación 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. El exceso de obra como consecuencia de la mayor profundidad de cimientos, sobre todo en la parte alta de la margen derecha, y del correspondiente aumento de volumen de hormigón, necesita una aceleración de obra, para que el reformado se pueda ejecutar dentro del plazo del proyecto primitivo.

Las anomalías de la parte alta del estribo derecho, a las que ya nos hemos referido, y tratadas con originalidad por Consulpresa, la necesidad de regular el ritmo de hormigonado con las temperaturas, el control de los hormigones, la disposición de las juntas, la colocación y lecturas de los aparatos de control, la interpretación de un pliego de condiciones no muy preciso, la necesidad de redactar proyectos parciales de acuerdo con el proyecto general, etc., nos movieron 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

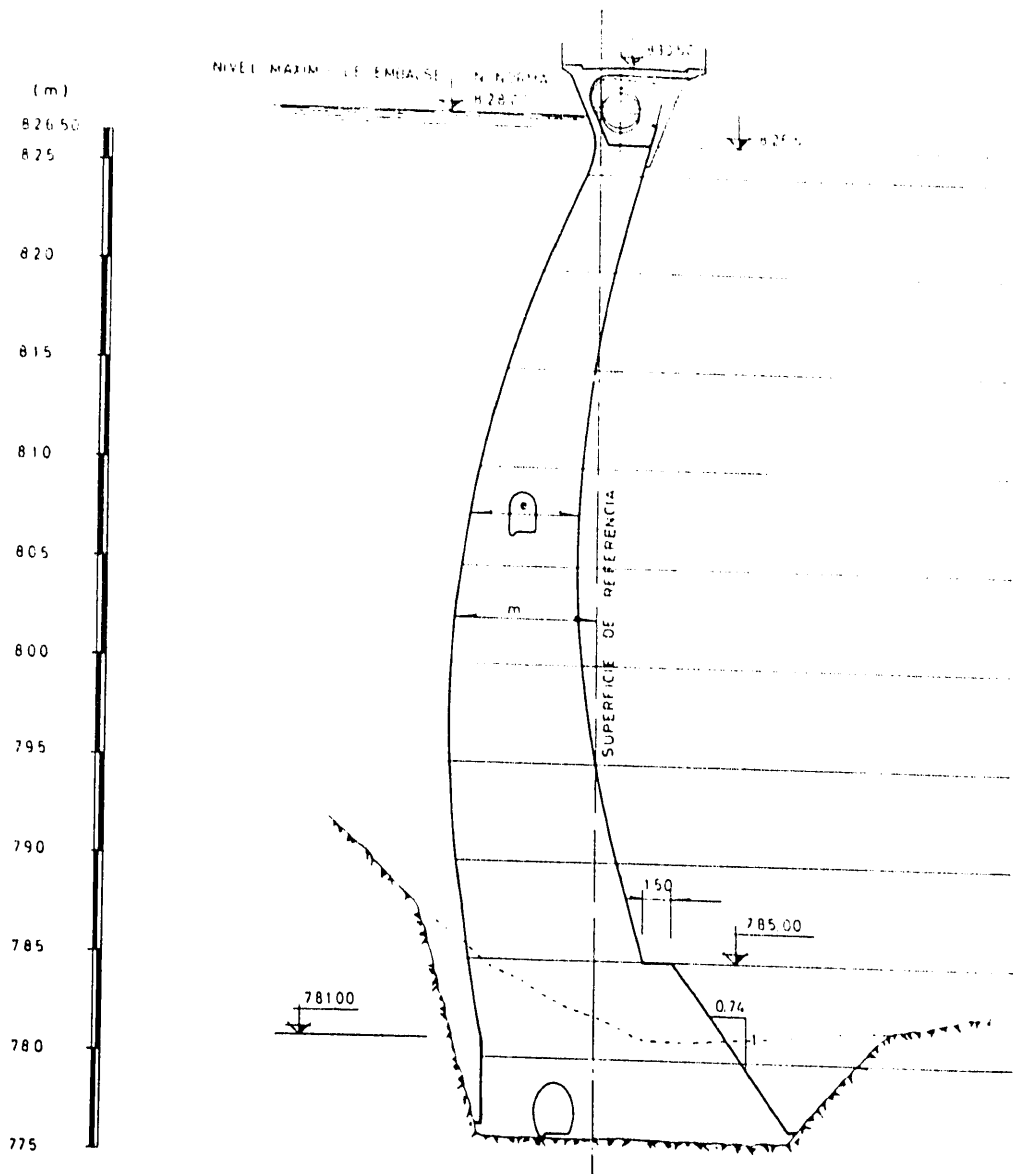


Fig. 1.ª — Sección transversal de la presa.

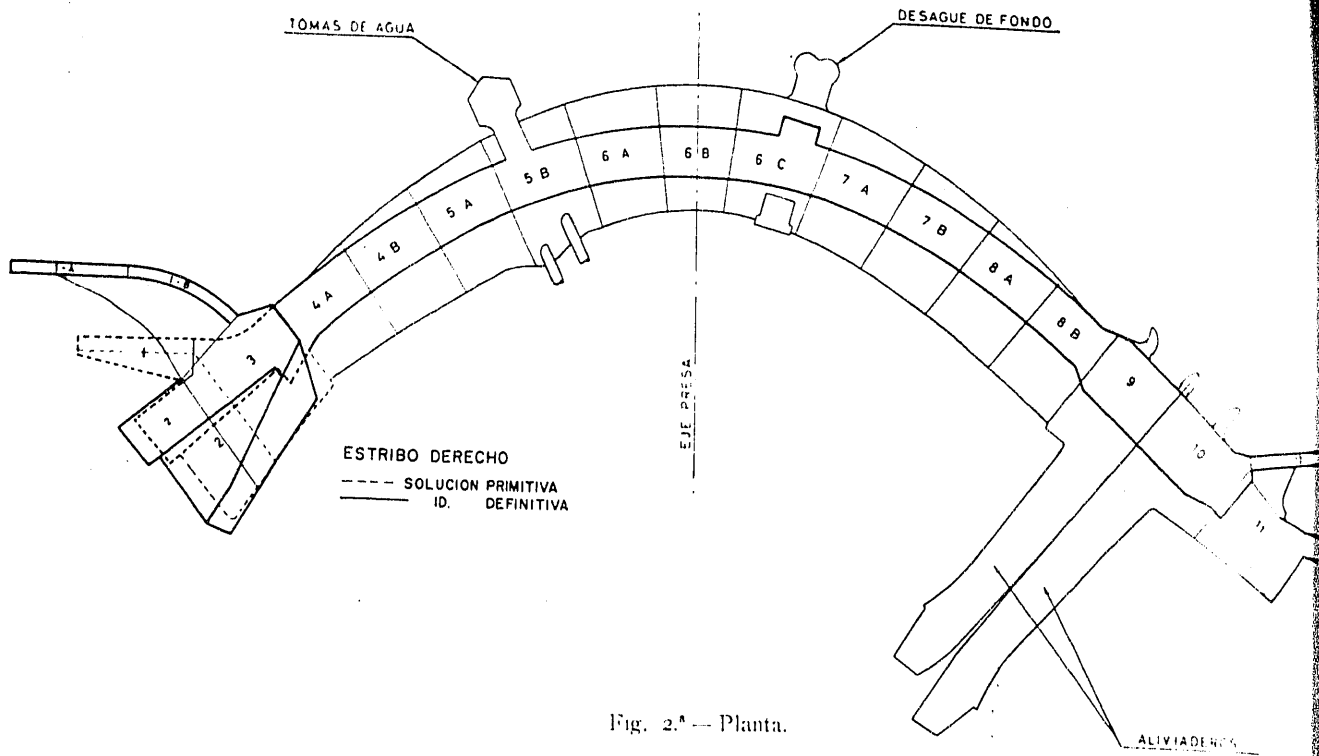


Fig. 2.ª — Planta.

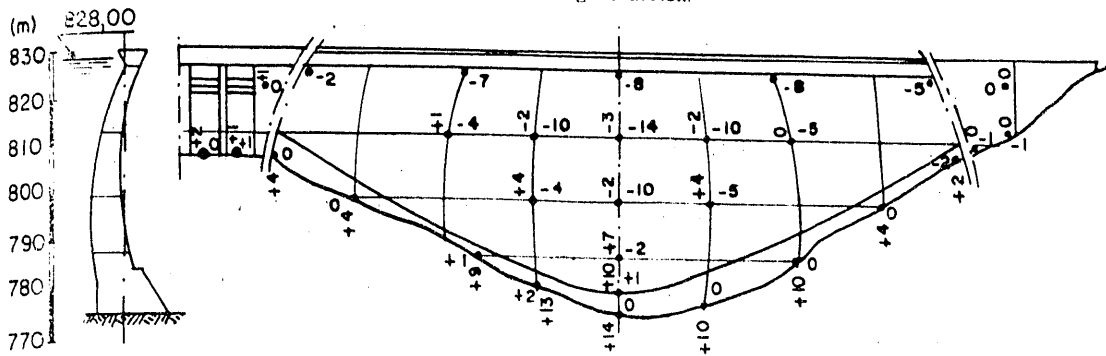
ción de Presas, Centro de Estudios Hidrográficos y los laboratorios oficiales o de organismos de garantía. Todos estos servicios han prestado su colaboración con gran competencia, de forma muy eficaz y estimable. El trabajo en equipo ha sido de gran rendimiento y utilidad para el Canal de Isabel II, siendo de justicia agradecer públicamente esta colaboración conjunta, que ha redundado en la mejor calidad y mayor garantía de la obra y, en definitiva, en beneficio del pueblo de Madrid, porque permitirá, 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.

Por todo esto, y además mediante la aceleración de las obras, pensamos que puedan estar dispuestas para embalsar hacia primeros de 1967. Adelantar una campaña de embalse supone, para el Canal de Isabel II, no solo lo más importante de garantizar en lo posible el servicio, evitando las restricciones en el consumo de agua, sino también un 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 pasados, 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. Añádase a esta circunstancia el que, como es muy frecuente en estos casos, y a pesar de las previas investigaciones y estudios, el volumen de excavación hasta terreno firme ha sido superior al del proyecto, sobre todo en la parte alta de la ladera derecha, y cuyas profundidades se determinaban por las actas de la Asesoría Geológica autorizando el hormigonado; todas estas realidades alargarían aún más el plazo, agravando las perturbaciones producidas por el mal tiempo, si no se hubieran tomado determinaciones para evitarlo.

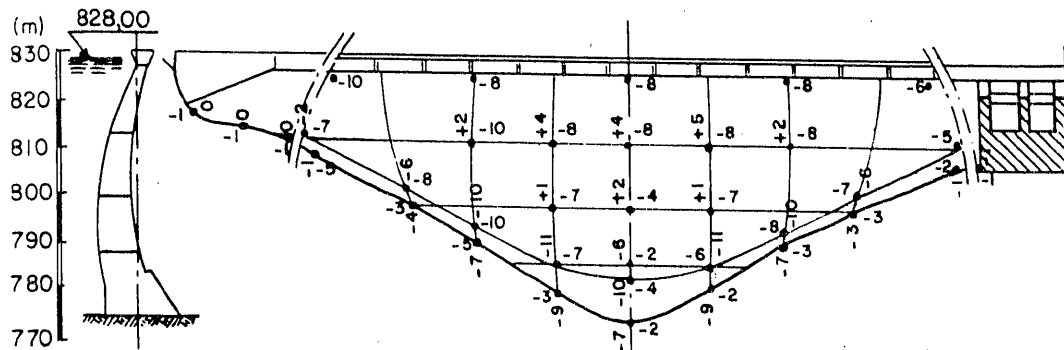
TENSIONES NORMALES EN EL MODELO DEBIDAS A LA PRESION HIDROSTATICA AL NIVEL 828,00 M.

VALORES DE ENSAYO

Paramento de aguas arriba.

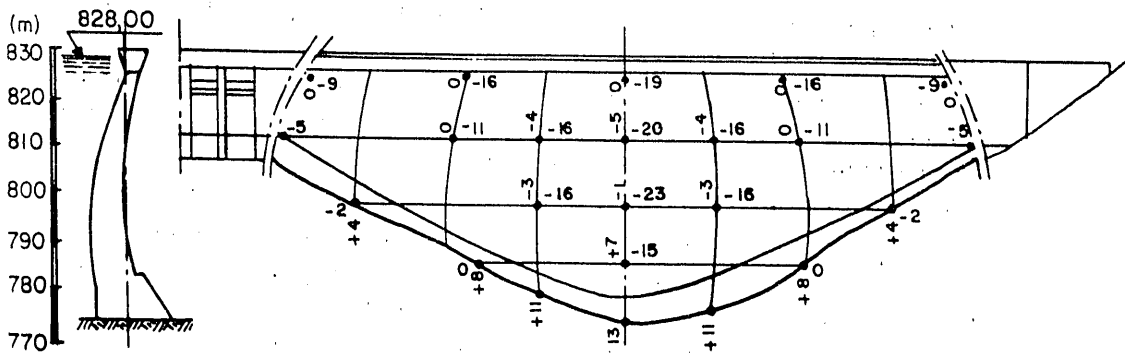


Paramento de aguas abajo.

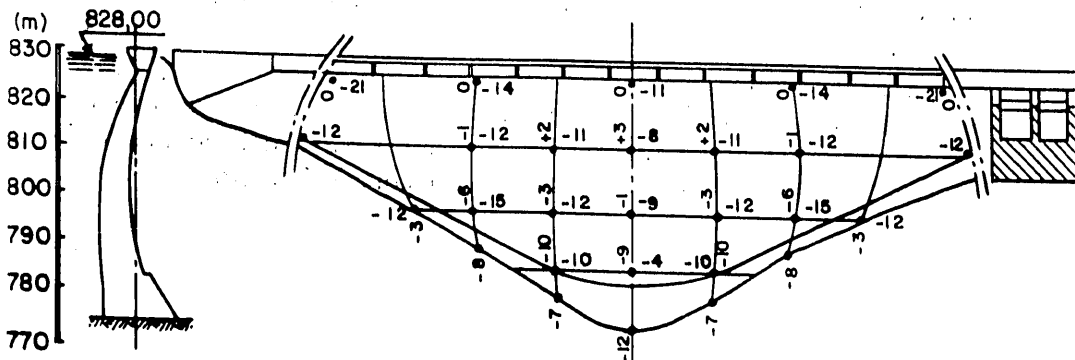


VALORES DE CALCULO

Paramento de aguas arriba.



Paramento de aguas abajo.



Consulpresa redactó un proyecto de presa bóveda gruesa o tradicional, de doble curvatura, con altura máxima de 50 m. y desarrollo del arco de coronación de 140 m., con arcos circulares de 3 centros, con radios mayores en la zona de estribos de hormigón en masa, con dosificación de 250 Kg. de cemento en zócalo y cuerpo de presa, y de 200 Kg. en los macizos de estribos de gravedad. En la figura 1.ª se aprecia la sección más alta de la estructura, y en la 2.ª, la planta. El presupuesto total de contrata comprende los de: presa, aliviadero, desagüe de fondo, torre de toma, caseta de máquinas, canal y carretera de coronación, compuertas y mecanismos, tratamiento de cimientos y cortina de impermeabilizaciones, aparatos de medida y conservación. El importe total es de 90 133 977,48 pesetas.

Con esta estructura se alcanzaban buenas condiciones económicas y de seguridad, con volumen de hormigón muy sensiblemente inferior al de una presa de tipo gravedad.

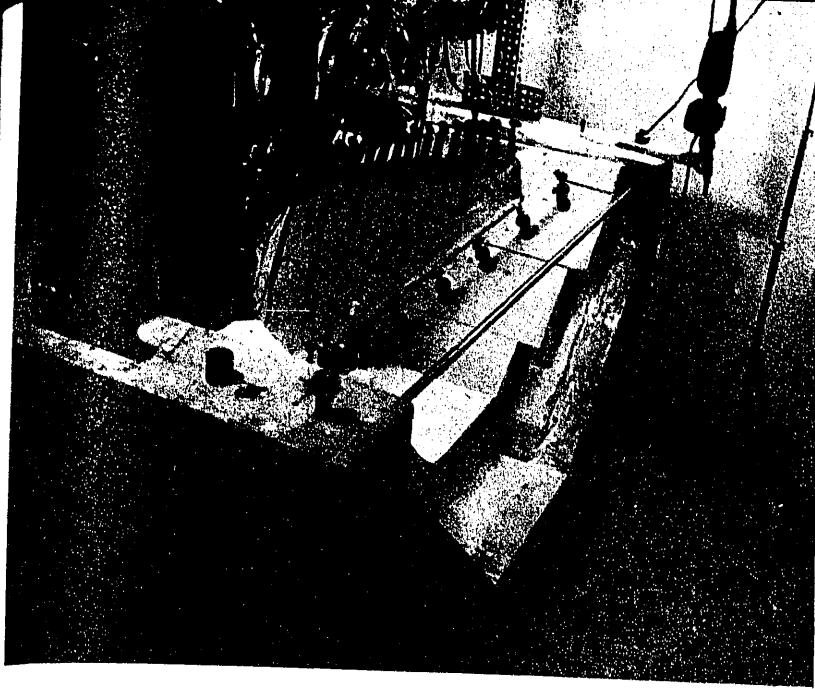
Las tensiones máximas son de 30 Kg./cm.² de compresión en la clave aguas arriba a la cota 800 m., y de 6 Kg./cm.² de tracción en los arranques aguas arriba de la bóveda a la cota 788 m.; en las ménsulas, los valores son más bajos: en la ménsula número 1, o central de la presa, la compresión es de 13 Kg./cm.² a la cota 788 m. La tracción máxima, de 0,3 Kg./cm.², tiene lugar a la cota 800 m. en la ménsula número 3, es decir, hacia las laderas.

En el cálculo de los desplazamientos y de las tensiones en la bóveda se ha utilizado un método de compatibilización de los desplazamientos entre arcos y ménsulas, en que la distribución de las cargas por estos elementos se obtiene por la resolución de un sistema de ecuaciones. Se hizo únicamente el ajuste radial entre arcos y ménsulas, y se recurrió a un programa de cálculo electrónico. El análisis de cada arco y de cada ménsula, en cuanto a desplazamientos y tensiones, producido por el peso propio, presión hidrotástica, subpresión y variaciones de temperatura ha sido realizado por ese programa. El cálculo de ajuste, propiamente dicho, entre arcos y ménsulas, se realizó por resolución directa de un sistema de múltiples ecuaciones lineales referidas a los cruces de ambos elementos, 4 arcos y 7 ménsulas. Conocida la repartición de cargas se recurrió nuevamente al referido cálculo electrónico, para la determinación de las tensiones y desplazamientos de la bóveda, sometida a la totalidad de las solicitaciones.

La estructura fue ensayada en el Laboratorio de Ingeniería de Lisboa, con resultados satisfactorios, según se indica en la figura 3.ª. La diferencia se debe a que en el cálculo se introdujo la variación de temperatura. El modelo puede verse con todos los elementos de comprobación, en la fotografía número 2.

Se proyectan tres tipos de juntas: el primero, juntas abiertas en la parte central y en la región de cimientos, que funcionarán como paso del agua una vez destruido el sistema de desviación del río; el tipo segundo, correspondiente a juntas a lo largo de toda la altura de la presa, y, finalmente, el tipo tercero, que son las 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 dilatación y evitando las grietas que tuvieran tendencia a formarse por la restricción impuesta por el terreno de la cimentación.

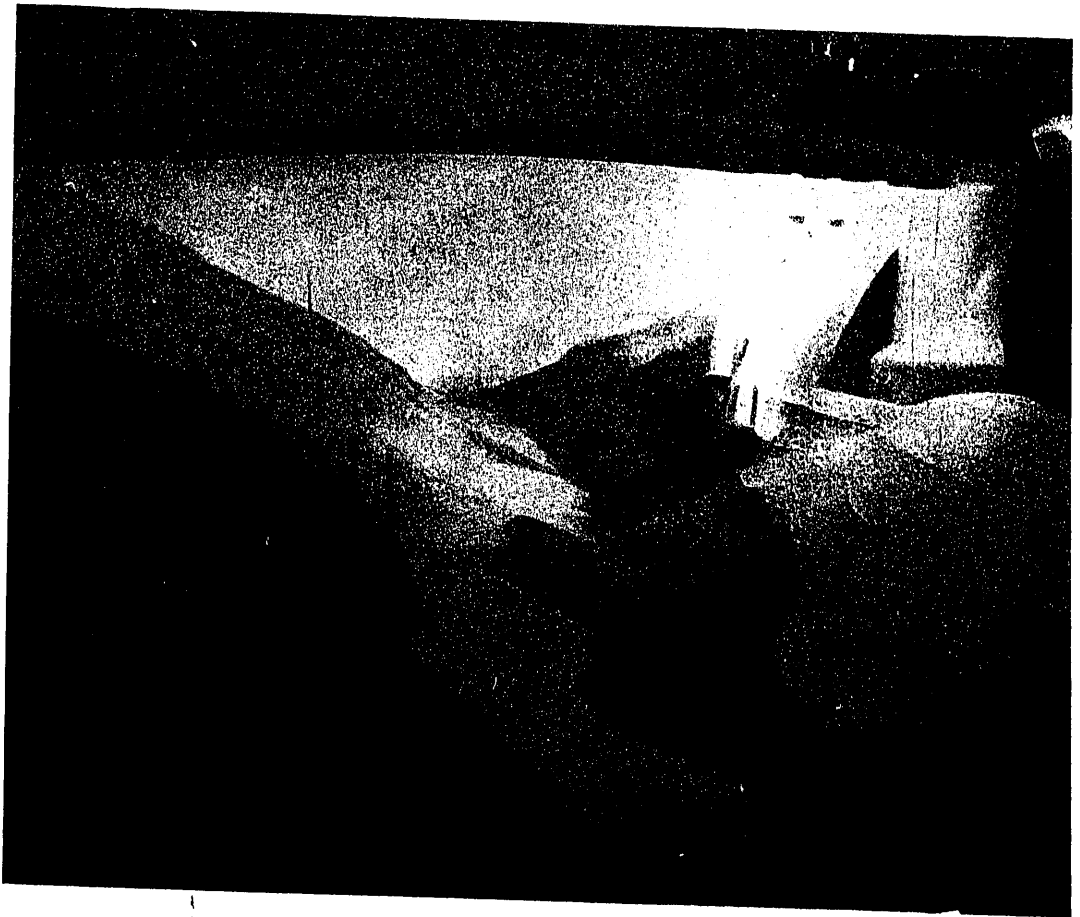
La inyección de las juntas tipos primero y segundo se prevé en el proyecto sean hechas a partir del zócalo aguas abajo, y de la galería general de drenaje; la inyección de las juntas tipo tercero, se hará a partir del paramento de aguas abajo y desde una galería de visita situada a la cota 807 metros.



Fotografía 2.— Ensayo de la presa en modelo reducido.

El taponamiento de las juntas se efectuará con barras de paraplástico y lámina de cobre.

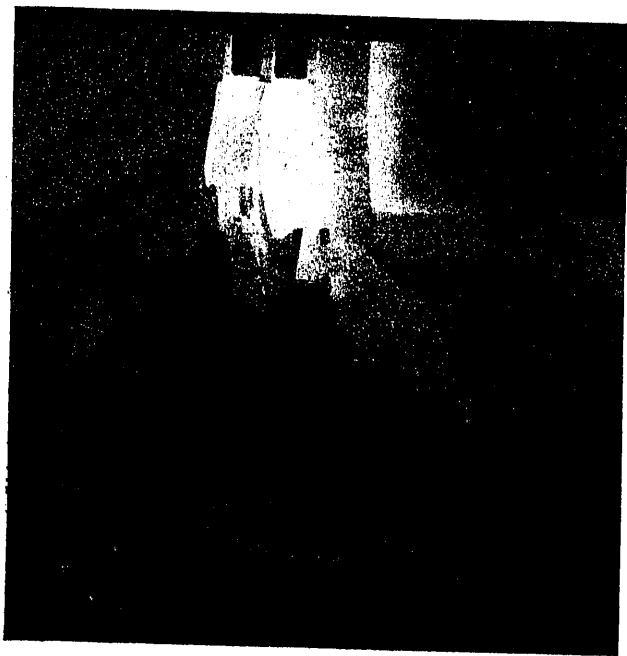
El aliviadero con el umbral a la cota 828 m. está formado por dos canales terminados en saltos de esquí, ubicados en el estribo de la margen izquierdo, y calculados para un caudal total de 400 m.³/s.; cada canal tiene una sección de entrada



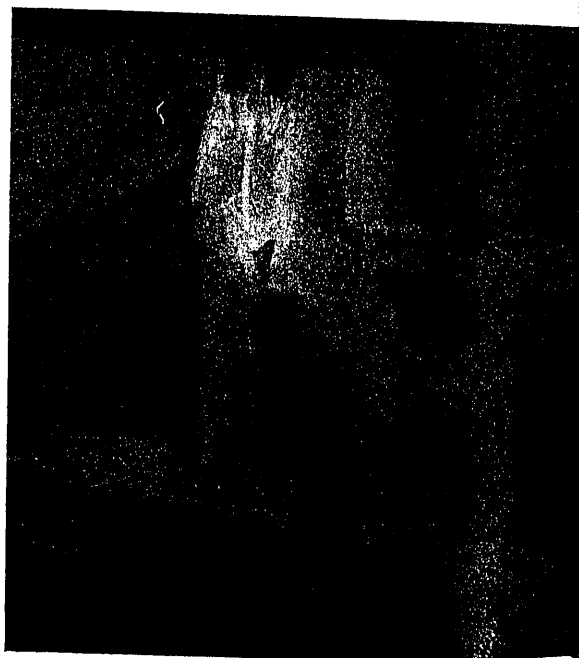
Fotografía 3.— Maqueta conjunta presa aliviadero.



Fotografía 4.— Disposición del aliviadero. Maqueta.



Fotografía 5.— Una fase del funcionamiento del aliviadero en modelo reducido.



Fotografía 6.— El aliviadero, en modelo reducido en funcionamiento.

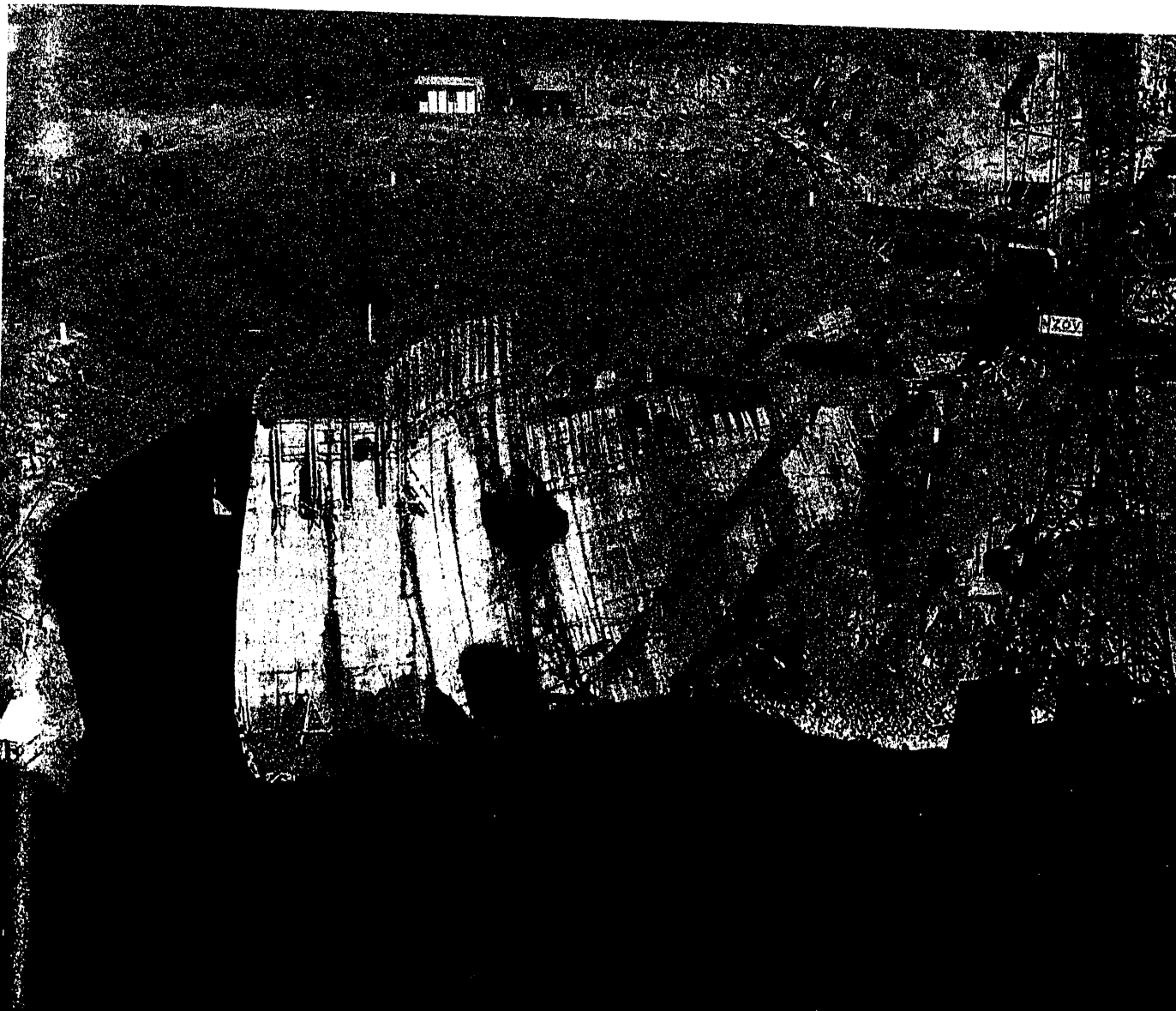
en el anteproyecto de 6×4 m. con la solera a la cota 822 m. A los vanos se adaptarán unas compuertas tipo Taintor, con unas ataguías de seguridad agua arriba.

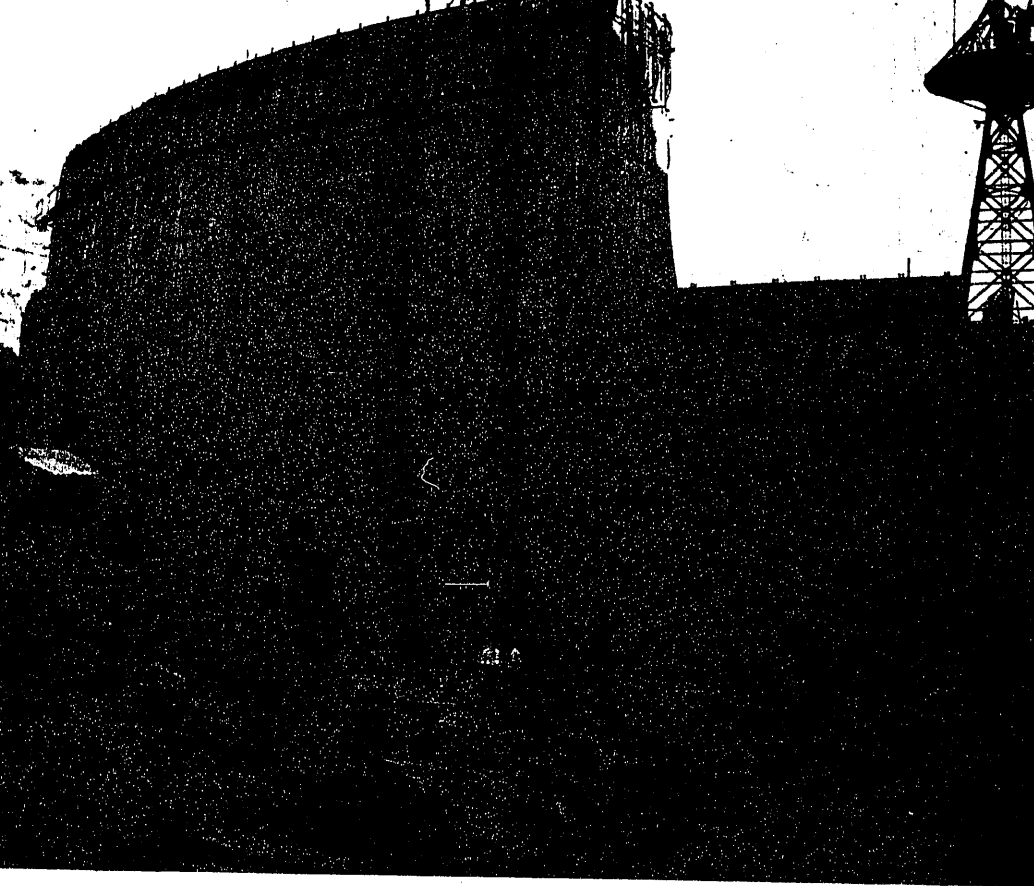
La estructura se ha ensayado en el Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos. Los resultados de estos ensayos se han ido recogiendo en el proyecto parcial definitivo del aliviadero, que ha servido para redactar unas bases concretas respecto a las dimensiones de las compuertas, y celebrar un concurso entre casas especialistas a través de la contrata principal de la presa, y que ha terminado en una adjudicación a MACOSA, dentro del presupuesto ofrecido y las ayudas necesarias, y que rebasa el que figuraba a tanto alzado en el proyecto.

Las fotografías números 3, 4, 5 y 6 indican la situación del aliviadero en la presa; un detalle de la maqueta del mismo y dos fases de funcionamiento durante los ensayos del modelo reducido.

Sobre el aliviadero va el camino de coronación de la presa. En el proyecto la desviación del Canal Alto, afectado por el embalse, se llevaba con buen criterio sobre la coronación de la presa en una estructura de hormigón armado. Adjudicada la obra, se estimó preferible independizar la estructura del Canal Alto, concebida de hormigón armado, de la de hormigón propio de la presa, proyectándose una tubería metálica apoyada en unos tabiques de hormigón armado; este proyecto

Fotografía 7.— Presa de El Vellón. En construcción 8 agosto 1966. Vista aguas abajo desde la margen derecha.





Fotografía 8. — Embalse de El Vellón. Situación de las obras el 8-VIII-66. Vista desde aguas arriba.

parcial se desarrolló por Consulpresa con las indicaciones y condiciones que estableció el Canal de Isabel II a estos efectos.

Para los desagües de fondo se prevén dos conducciones de 1,80 m. de diámetro cada una, que permiten evacuar a embalse lleno 150 m.³/s., según informe del Centro de Estudios Hidrográficos. Se encuentran situados en el zócalo de la presa con el eje a la cota 783,50 m. y están provistos, agua arriba, de unas rejillas de hormigón armado y una ataguía tipo wagón maniobrable desde la coronación con sujeciones de guías metálicas. Agua abajo está previsto la instalación de una válvula dispersora que regulará el caudal. También para estos desagües se estableció un Pliego de Bases para su adjudicación a través de la contrata principal, resultando adjudicatario, asimismo, MACOSA. También, se estima esta parte de la obra en el proyecto como un presupuesto a tanto alzado a detallar posteriormente.

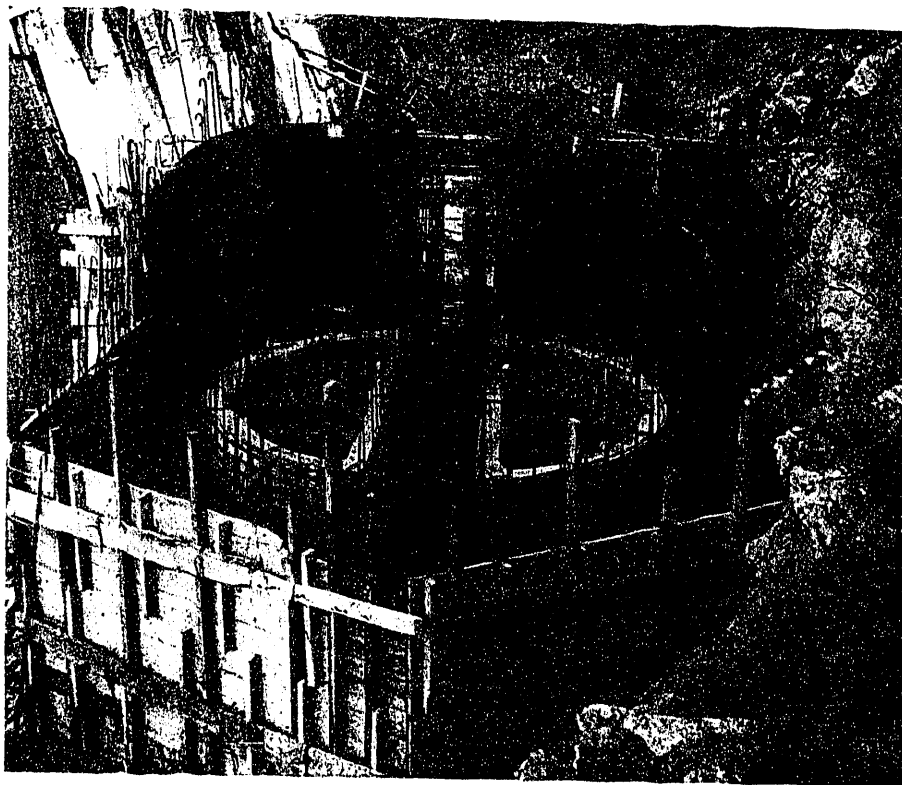
La conveniencia de orientar el chorro de salida de los desagües de fondo hacia el eje del río agua abajo, ha traído como consecuencia una entrada de agua algo forzada por la disposición topográfica del terreno en este lugar; se está estudiando la forma de desmontar el terreno y tratarlo para facilitar la entrada de agua y evitar aterramientos y dificultades de maniobra.

Se ha previsto, también, una torre de toma, con destino al canal de El Vellón, situada en la margen derecha con la solera de toma a la cota 787 m., provista de sistemas de alimentación independientes, que permiten tomar el agua a tres niveles diferentes: 793, 805 y 817 m. Las entradas de agua estarán reguladas por compuertas maniobradas desde la plataforma superior de la torre.

Se ha previsto la auscultación de la presa como control del comportamiento de la estructura y de la cimentación, tanto durante la ejecución de las obras como durante la explotación de la instalación.

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

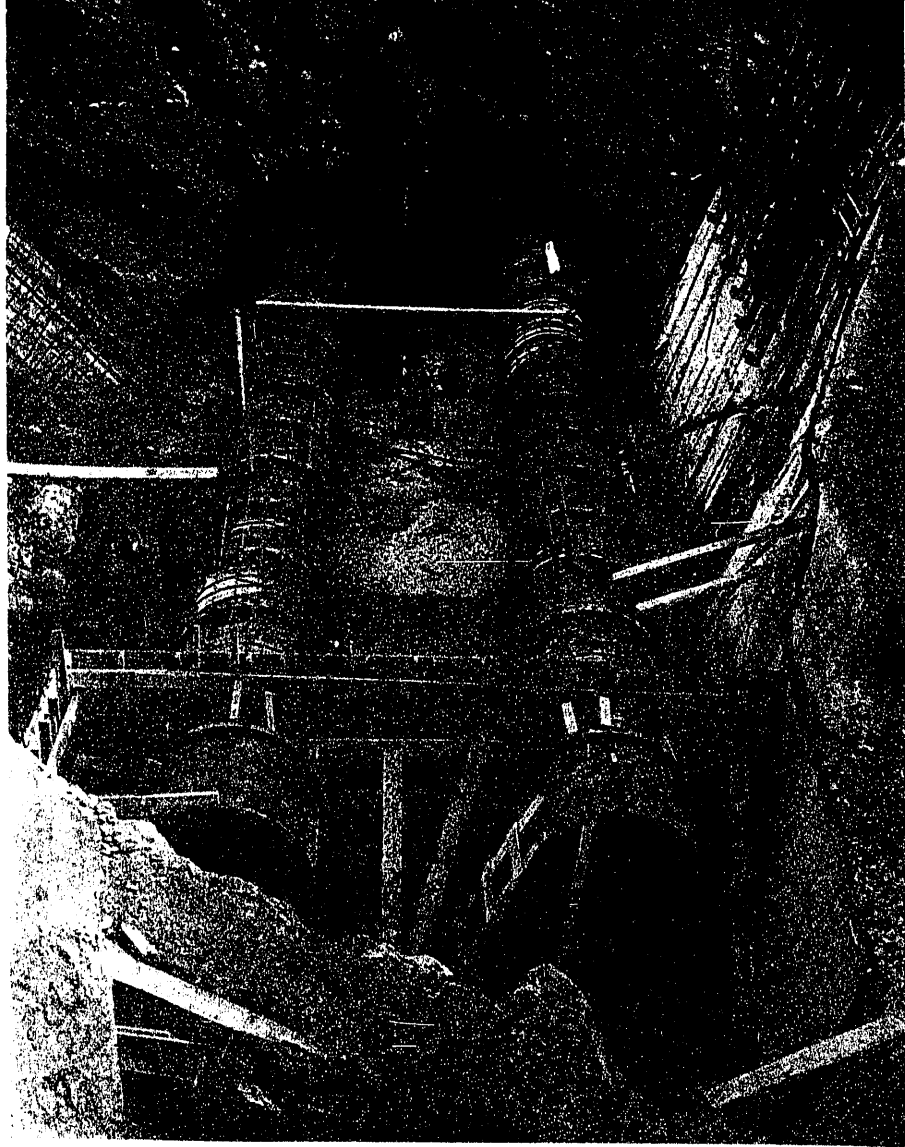
Como material de auscultación se han previsto: extensómetros Carlson para la presa, y de gran base para la cimentación; pares termoelectricos para la medición de temperaturas; medidores de juntas tipo Carlson en el interior del hormigón; bases de elongómetros para la medición del movimiento de las juntas; piezómetros, para la medida de las subpresiones, y, finalmente, péndulos invertidos para determinar los desplazamientos absolutos de la presa. Está en estudio la instalación de las estaciones de medida de los distintos aparatos citados. Los aparatos de medida se encuentran estimados a tanto alzado en el presupuesto parcial número 10 del general, sin ninguna prescripción en el pliego.



Fotografía 9. — Embalse de El Vellón. Arranque de la torre de toma del canal de El Vellón, en 8-VIII-66.

Las obras vienen desarrollándose sin mayores complicaciones, y con arreglo a los planes previstos, con la idea de que pueda entrar en servicio a primeros de 1967 y poder empezar a embalsar en este año, lo que dependerá de su meteorología en las épocas de invierno y primavera (lluvias, nieves).

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, parecen haber resuelto este problema, que fue, en un tiempo, importante preocupación, porque además las diferentes canteras que se examinaron y exploraron, incluso con la colaboración de la Asesoría Geológica, dieron peores impresiones que la que se venía utilizando.



Fotografía 10. — Embalse de El Vellón. Tuberías para la toma en el margen derecha, 8 de agosto de 1966.

Se ha montado un laboratorio a pie de obra, que verifica los ensayos de la piedra de la cantera, granulometría, áridos y hormigones, y control de la temperatura de hormigonado, estableciendo los intervalos de trabajo.

Se ha formado un equipo de colocación de los aparatos de auscultación, en parte, con la colaboración de Consulpresa, por no disponer el Canal de Isabel II de personal en la cantidad suficiente, que posteriormente, efectuará las lecturas y entregará debidamente al del Canal, que se hará cargo directo de estas observaciones.

Las fotografías 7, 8, 9 y 10 indican diversas fases de la obra.

La número 7 es una vista desde la margen derecha; la número 8, el paramento de agua arriba donde se aprecia el portillo para desviación del río, una vez instaladas las derivaciones provisionales; la número 9, el arranque de la torre de toma del canal de El Vellón en la margen derecha, y, finalmente, la 10, las dos tuberías inferiores de la torre de toma.

El coste total de la obra de la presa, sus instalaciones auxiliares y complementarias, y las expropiaciones, supondrán un desembolso muy aproximado a los 25 millones de pesetas, por lo que se obtiene el agua embalsada a 5,00 pesetas, lo que supone, a las bajas tarifas actuales, amortizar en unos tres años todo este gasto conjunto.