

# LOS NUEVOS APROVECHAMIENTOS HIDROELECTRICOS DE ALMOGUERA Y ZORITA DE LOS CANES, SOBRE EL RIO TAJO

Por J. A. VICENS GOMEZ-TORTOSA y J. HERNANDEZ RUBIO, Ingenieros de Caminos.

*En nuestro número de febrero de 1948, dimos cuenta, en un artículo de nuestro compañero señor Lázaro Urra, del Plan general de aprovechamientos hidráulicos del Tajo hasta Talavera, y en el número siguiente publicamos, bajo el mismo epígrafe del presente, un artículo de los mismos autores, describiendo el Salto de Zorita de los Canes. A continuación nos satisface publicar la descripción del interesante Salto de Almoguera, completándose así el trabajo descriptivo de ambos aprovechamientos.*

## II

En nuestro anterior artículo dimos a conocer las características fundamentales del Salto de Zorita. Nos ocuparemos a continuación de las obras del Salto de Almoguera, cuya planta general, esquemática, se acompaña en la figura 1.<sup>a</sup>.

Las condiciones geológicas del emplazamiento de la presa de Almoguera acusan alguna mayor cantidad de nódulos yesosos incrustados en las margas, y en algunos niveles, la presencia de débiles capas de yeso cristalizado, que obligaron a adoptar precauciones especiales que más adelante se detallarán.

Ya se indicó que la presa de derivación es, en todo, análoga a la de Zorita de los Canes, por lo que se refiere a los perfiles del vertedero y del cuenco amortiguador, así como al número, tipo y dimensiones de las compuertas, dado que los aliviaderos se han previsto para la misma capacidad de desagüe, por no variar sensiblemente la cuenca receptora de uno a otro salto.

Las leves diferencias de proyecto se reducen a que el azud tiene 2 m. más de altura, y la pasarela inferior de servicio existente en Zorita se ha transformado en un puente de 5 m. de anchura, habilitado para el paso de grandes cargas, ya que era necesario llegar sobre él hasta la Central con los pesados equipos de maquinaria.

Aparte de ello, este puente constituye una mejora importante para las comunicaciones de aquella zona, pues anteriormente el paso del río se realizaba mediante una pequeña barca, por cuyo motivo hubo de construirse un puente provisional al dar comienzo las obras (fig. 2.<sup>a</sup>), ya que éstas requerían el cruce constante del río con camiones para el transporte de cemento, hierro y demás materiales.

La topografía del terreno obligó a completar el cierre, añadiendo al azud un espigón de tierra de 250

metros de longitud. Debido a la abundancia de arcillas y arenas en las proximidades de la obra, y al volumen relativamente modesto del espigón (17 000 m.<sup>3</sup>), en su totalidad fué ejecutado con una mezcla de arena y arcilla, que garantiza la impermeabilidad sin necesidad de precauciones especiales.

La cimentación del mismo se prolongó mediante una pantalla de arcilla, apisonada mecánicamente, que atraviesa la capa superior de gravas, hasta alcanzar las margas impermeables.

La construcción del azud siguió fases semejantes a las de la presa de Zorita, pero las condiciones geológicas del cauce, que presentaba en toda su anchura espesores de acarreo no inferiores a los 3 m., impidieron la construcción de ataguías de mampostería, cuya sólida cimentación hubiera ofrecido serias dificultades. Por ello, los recintos de ataguías (fig. 4.<sup>a</sup>) se cerraron mediante un tablestacado formado por perfiles Larsen núm. 3, hincados hasta alcanzar penetración suficiente en las margas.

La necesidad de emplear varias veces el mismo perfil obligó a extraerlos repetidamente con medios de fortuna; no obstante la limitada eficacia de los medios disponibles, se consiguió la hinca y extracción de los perfiles, sin deterioro importante del material.

Al amparo de los recintos de ataguía así formados se extrajeron los acarneos y posteriormente se excavaron las margas hasta encontrar estratos de suficiente consistencia, sin inclusiones yesíferas notables. De la importancia de las excavaciones realizadas en la cimentación, da idea el perfil tipo de presa (fig. 3.<sup>a</sup>).

De todas formas, y como quiera que al descender la excavación se cortaron algunos pequeños estratos de yeso cristalizado, se adoptaron precauciones especiales encaminadas a evitar el ataque del hormigón por las aguas selenitosas, a cuyo fin se substituyó, en tales zonas, el encofrado por el muro de ladrillo cerámico, trabado con cal hidráulica, rellenando posterior-

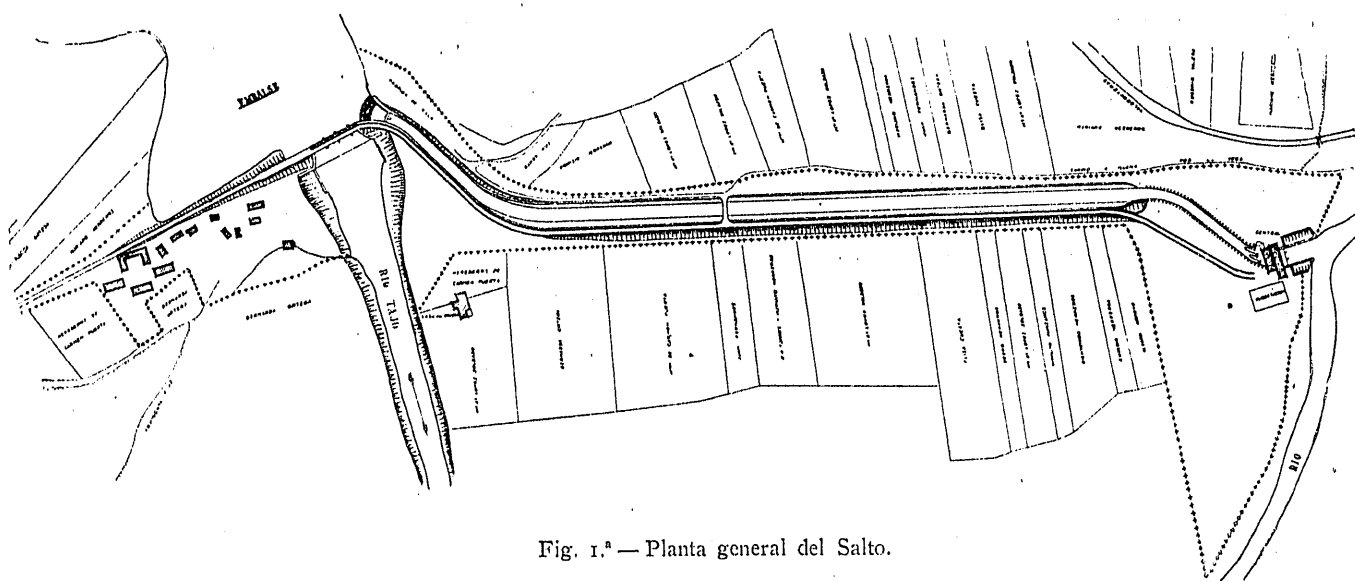


Fig. 1.ª — Planta general del Salto.

mente el espacio entre la excavación y el muro con arcilla apisonada.

Los áridos para la fabricación de hormigones se obtuvieron de las graveras próximas a la obra. Esto permitió simplificar al máximo la instalación de hormigonado, ya que solamente fué necesario disponer un tromel para la clasificación de áridos y una hormigonera de 1 000 litros de capacidad, con dosificador automático de cemento.

La distribución del hormigón se realizó por medio de vagonetas y puentes de servicio, con lo cual las instalaciones resultaron muy sencillas.

Tónica general de la obra fué la celeridad que hubo de imprimirse a los trabajos con el fin de lograr la más urgente puesta en servicio del salto. Así, el hormigonado de cimientos en la presa comenzó en pleno invierno, en condiciones climatológicas desfavorables y afrontando el riesgo de las crecidas propias

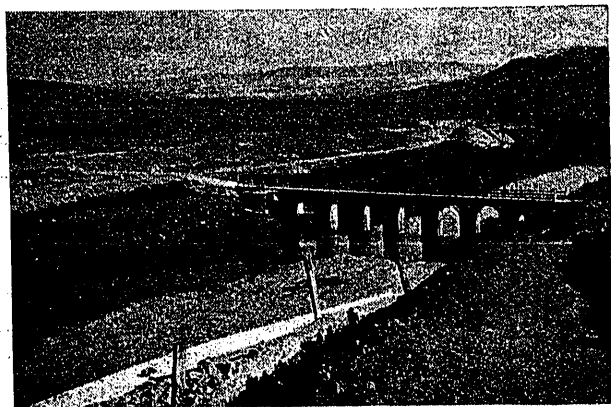


Fig. 2.ª — Puente provisional de servicio.

de la estación. Afortunadamente, tal eventualidad no se presentó, y el programa de obras pudo desarrollarse sin contratiempos de importancia.

Al igual que en Zorita, la construcción de los tramos de hormigón armado del puente de paso y del puente superior de mecanismos fué realizada colgando el encofrado de la armadura rígida.

Para las excavaciones de cimentación, explotación de graveras y extracción de los materiales para la construcción del espigón de tierra, se utilizaron dos pallas mecánicas de 3/4 de m.<sup>3</sup> de capacidad, que aceleraron considerablemente todos estos trabajos, con el empleo exclusivo de la mano de obra local.

El espigón fué construído por capas de 50 cm. de espesor, consolidadas con apisonadoras.

La toma de agua queda situada en la margen izquierda, enlazando directamente con las obras del azud. Delante de ella va la rejilla, constituída por 8 paneles trapeciales que apoyan sobre ligeros tabiques de hormigón armado (fig. 6.ª), en cuya parte superior se ha dispuesto una pasarela de servicio que permite la inspección y limpieza de los paneles. Delante de la rejilla se colocará una ataguía flotante, formada por cajones metálicos unidos rigidamente, que servirá para impedir la llegada de las brozas hasta la rejilla.

Al extremo de la viga flotante, y también junto al primer panel de la rejilla, existen pequeñas compuertas de 1 x 1 m. para la evacuación de las brozas acumuladas. Estas compuertas desaguan sobre el vertedero, delante de la compuerta de fondo, a través de una galería dispuesta en el estribo de la presa.

A la salida del bocal se ha construído una pila provista de ranuras para ataguiar el canal en caso necesario, a cuyo efecto se ha dispuesto, por encima

de ella, una pasarela de hormigón. No obstante, en circunstancias normales, el canal permanecerá siempre en comunicación con el embalse.

Esta disposición tiene la ventaja de ahorrar las compuertas de toma, y para hacerla posible, se ha dado a la sección del canal un resguardo de 2 m., equivalente al del embalse, de los cuales sólo 1 m. corresponde al resguardo propiamente dicho, de la sección revestida, mientras que el resto se ha conseguido colocando los caballeros de la excavación en las inmediaciones del canal, en la forma que indica la fig. 10. Es de advertir que el resguardo de 1 m. era el mínimo indispensable para poder utilizar el canal en las épocas de avenidas extraordinarias, de manera que la dispo-

sición indicada no representa encarecimiento sensible de las obras.

El canal está dispuesto para transportar un caudal máximo de  $80 \text{ m.}^3/\text{seg.}$ , con velocidad de  $2,10 \text{ m./seg.}$  En la mayor parte de su longitud tiene sección trapecial con taludes  $1/1$ , 5 m. de anchura en fondo y 15,50 en coronación, y un calado de 4,25 m. Por las características del trazado, la sección mojada va en desmonte, mientras que el resguardo va en terraplén, revistiéndose la sección con un espesor de 25 cm. de hormigón en masa. La configuración del terreno permitió adoptar este perfil en la mayor parte del trazado; sin embargo, en los primeros 300 m. de recorrido fué necesario cortar un pequeño collado, y en esta parte se ha adoptado un perfil rectangular de 9 m. de anchura por 4,25 de profundidad. Asimismo, en los últimos 150 m., donde la rasante del terreno no permitió llevar el canal en desmonte, hubieron de construirse los cajeros mediante muros de contrafuertes, como indica la fig. 13. La sección de este muro es bastante robusta, pues por estar cimentado sobre

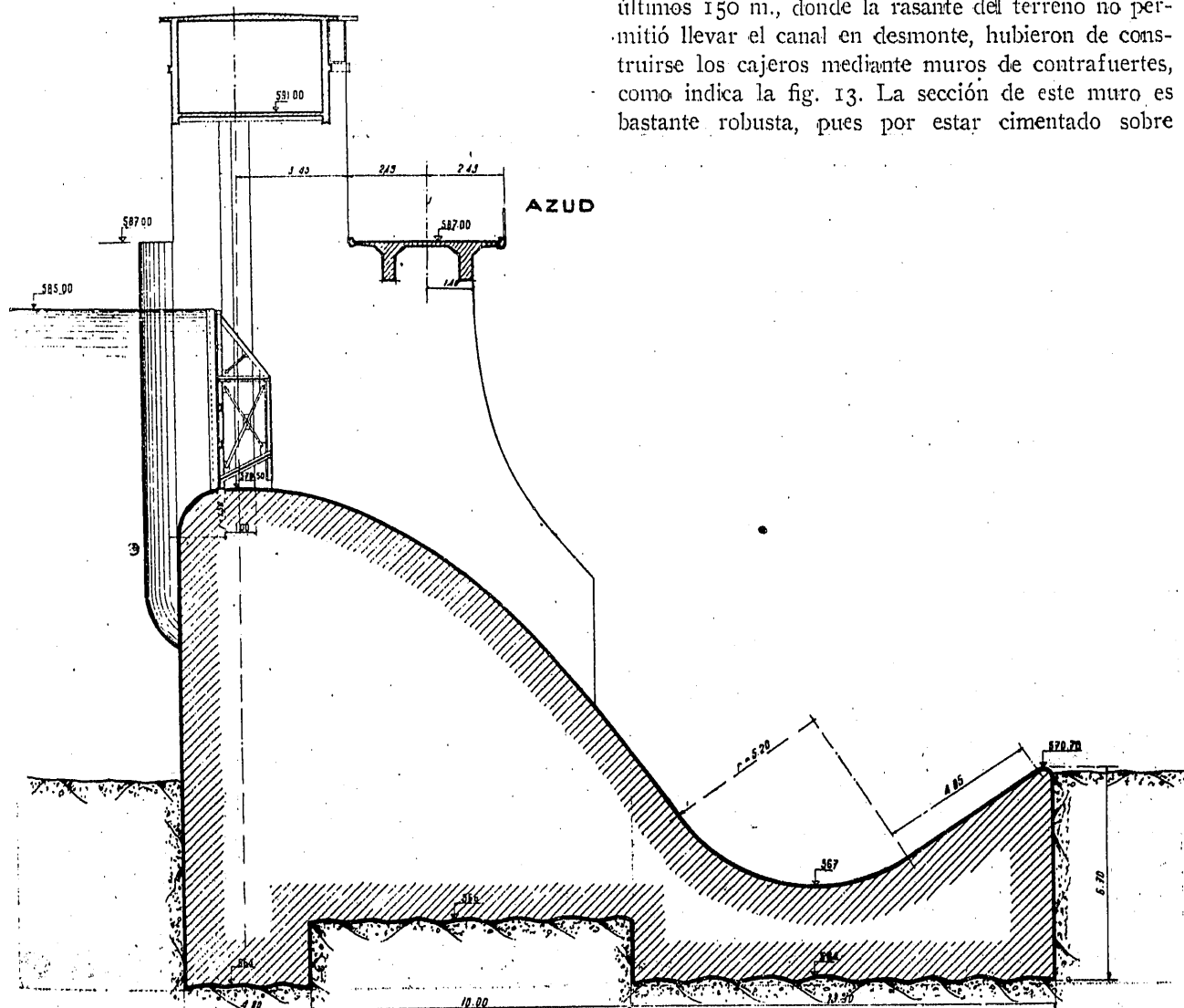


Fig. 3.<sup>a</sup> — Sección tipo de la presa.

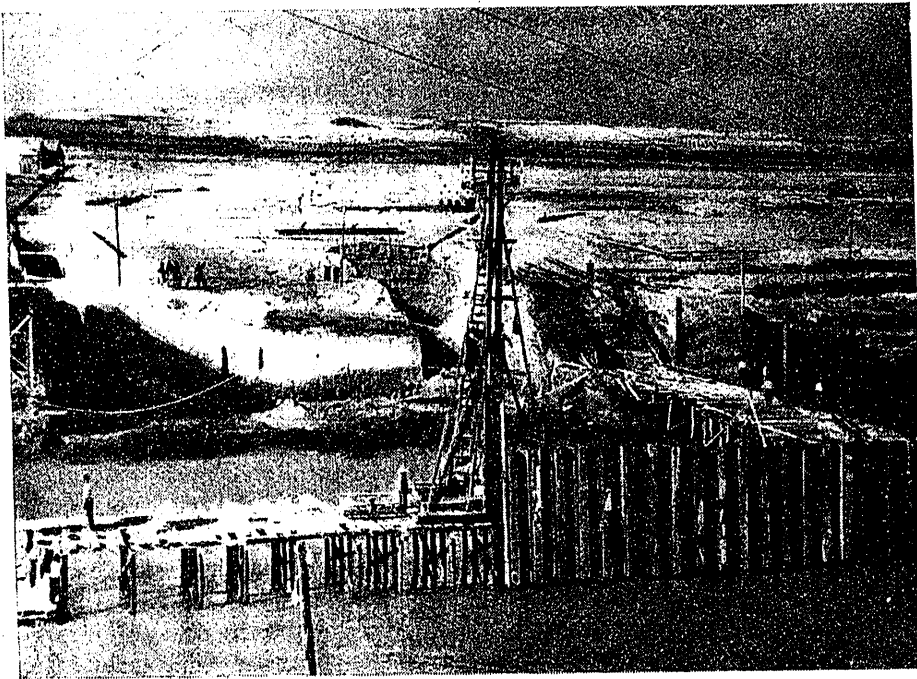


Fig. 4.<sup>a</sup> — Hincas de tablestacas para el primer recinto de ataguías.

La impermeabilización de estas juntas se ha logrado disponiendo vigas de apoyo, de hormigón en masa, entre cada dos losas, tanto en los cajeros como a lo largo de la solera, pintadas todas ellas con productos bituminosos, para impedir la adherencia del hormigón y facilitar los posibles movimientos, dificultando, simultáneamente, la circulación del agua.

En la zona de contrafuertes, la impermeabilidad se consiguió cerrando las juntas mediante un cuadrado de madera pintado con alquitrán y embebido en el hormigón. Los resultados obtenidos con tan sencilla disposición han sido completamente satisfactorios, no observándose, en la gran

margas flojas, se procuró que la resultante quedase muy centrada, tanto a canal lleno como a canal vacío. La cámara de carga se suprimió prácticamente, pues efectuado el estudio del movimiento de las ondas producidas en el canal por la apertura o cierre de los grupos, quedó comprobado que en ningún caso rebasan el resguardo existente.

Para evitar la fisuración del revestimiento, se han dispuesto juntas de contracción a lo largo del canal, cada 5 m., manteniendo también esta separación entre juntas en la zona de contrafuertes.

mayoría de las juntas, ni la menor mancha de humedad, a pesar de haberse medido juegos importantes de las mismas.

La excavación del canal dió lugar a la extracción de 96 000 m.<sup>3</sup> de arena y tierra, que se realizó, en su mayor parte, cuando todavía no se disponía de elementos mecánicos.

El resultado económico obtenido con la excavación a mano y el transporte a caballeros con tracción animal, fué altamente satisfactorio, si bien es cierto que



Fig. 5.<sup>a</sup> — Hormigonado de la presa en el segundo recinto de ataguías.

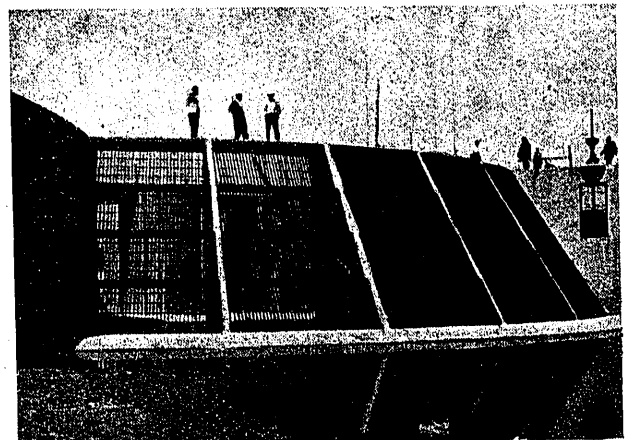


Fig. 6.<sup>a</sup> — Reja de la toma.

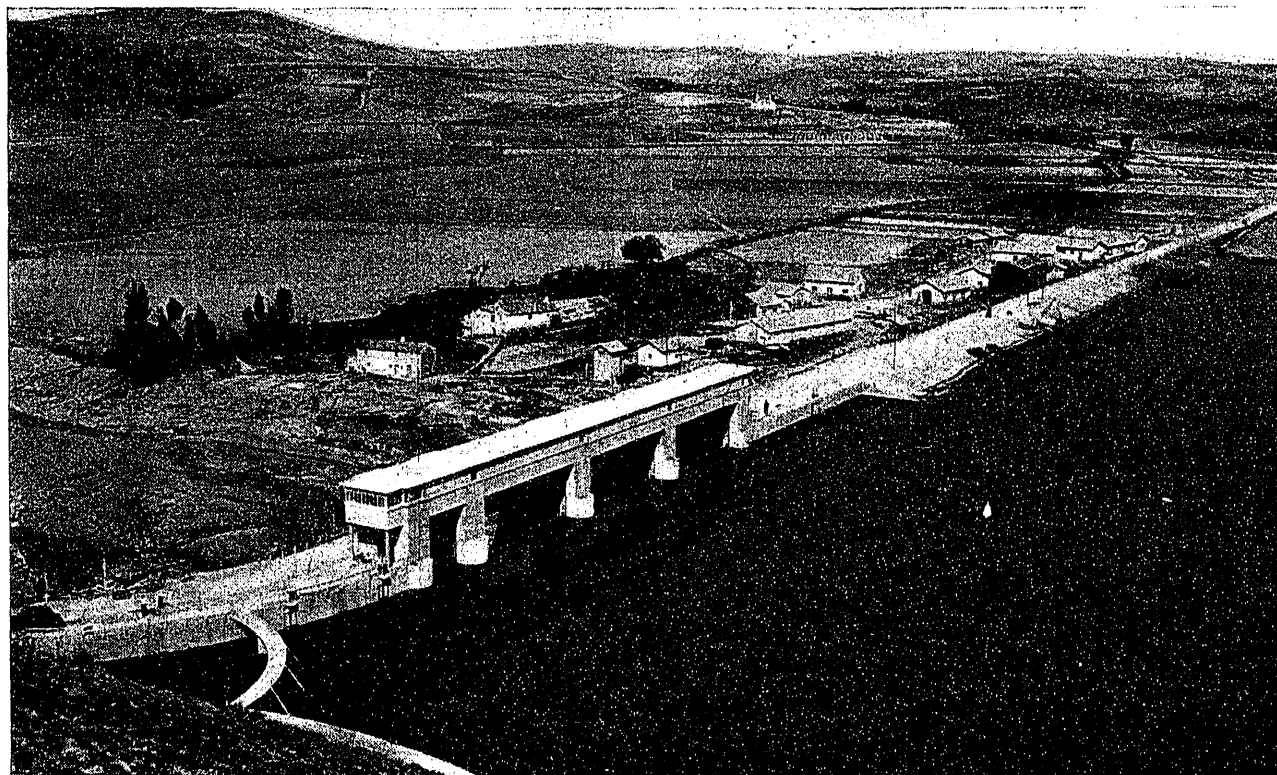


Fig. 7.<sup>a</sup> — Vista desde aguas arriba del espigón, presa y toma.

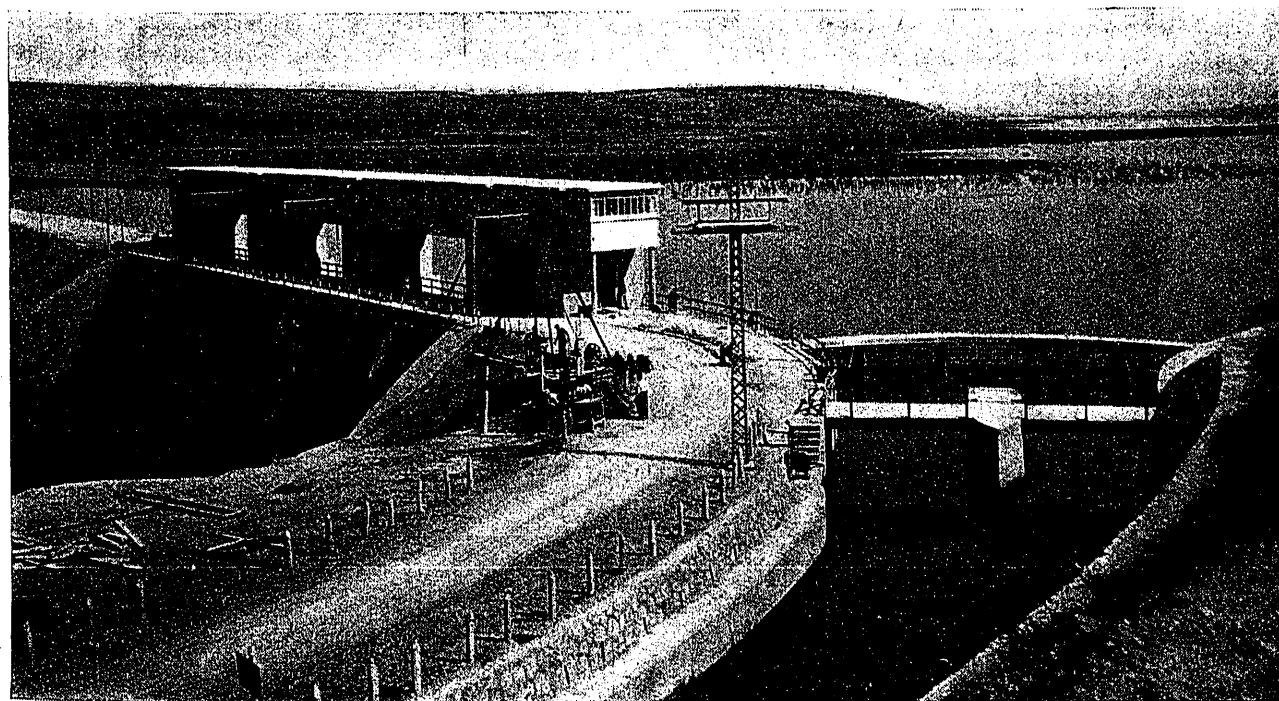


Fig. 8.<sup>a</sup> — Presa y bocal vistos desde el estribo izquierdo.



Fig. 9.ª — Construcción del Canal. Encofrado rodante.

las características del terreno hacían particularmente fácil la excavación a pico y el refino.

El revestimiento se comenzó hormigonando la solera por paños alternos, con el fin de no acumular retracciones.

A continuación se procedía a la ejecución de los cajeros, también por paños alternos, sujetando los encofrados por un andamio rodante sobre la solera, cuya disposición puede apreciarse en la fig. 9.ª, dispositivo que permitió un ahorro muy importante en madera. La fabricación del hormigón se hizo situando hormigoneras de 300 litros de capacidad a lo largo del canal, transportándose el hormigón mediante vagonetas. El propio andamio facilitó el cruce del canal con las vagonetas para hormigonar el cajero opuesto.

Se dispuso a lo largo del canal una tubería con agua a presión para el curado del revestimiento, ya que eran frecuentes temperaturas diurnas de 40°. Con

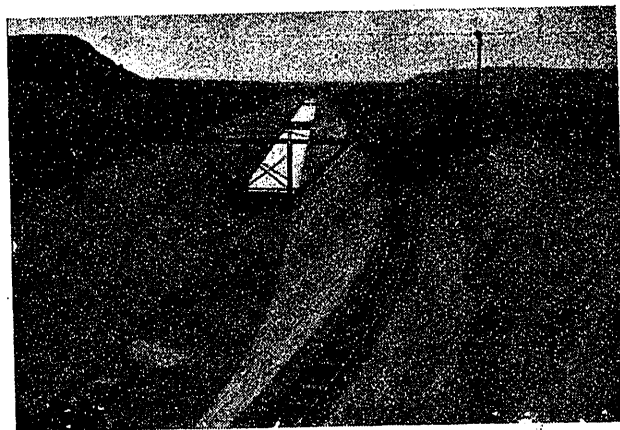


Fig. 10. — Tramo de canal terminado, con las ataguías para el curado de solera.

el mismo fin se construyeron de trecho en trecho, y a medida que la obra progresaba, pequeñas presas en el interior del canal, que permitían tener éste inundado, obteniéndose así condiciones óptimas para la conservación de la solera y al mismo tiempo un ambiente húmedo en el interior del canal que beneficiaba el curado de los cajeros.

Hacia la mitad del canal se construyó un tramo recto de hormigón armado, utilizando como cimbra el propio terreno, que fué extraído de debajo del tramo cuando éste alcanzó su capacidad de resistencia.

La disposición general de la Central se asemeja, en todo, a la de Zorita de los Canes, descrita en nuestro anterior artículo; alberga, como aquélla, dos grupos turbina-alternador, gemelos de los de Zorita, estando dispuesto el emplazamiento para la colocación, en su día, del tercer grupo.

El enlace entre el extremo del canal y las cámaras

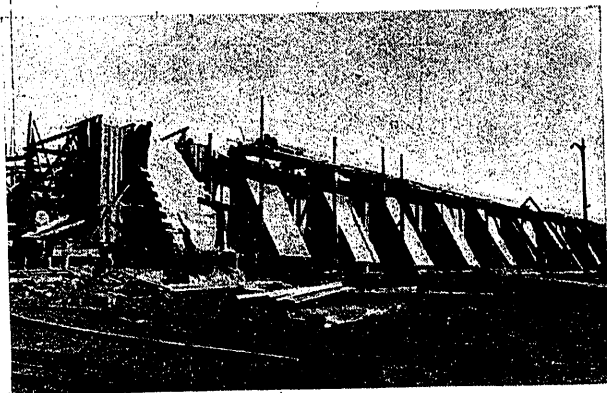


Fig. 11. — Canal. Construcción de la zona de contrafuertes.

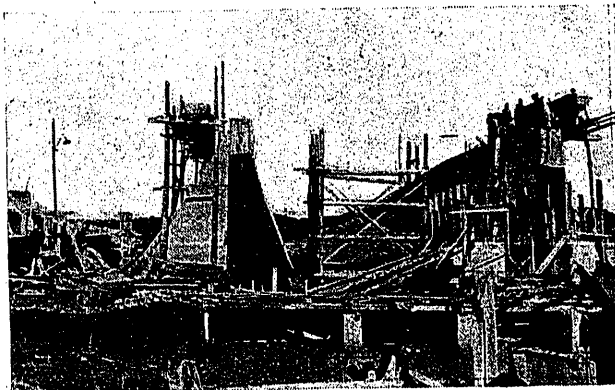


Fig. 12. — Canal. Construcción de la zona de contrafuertes.

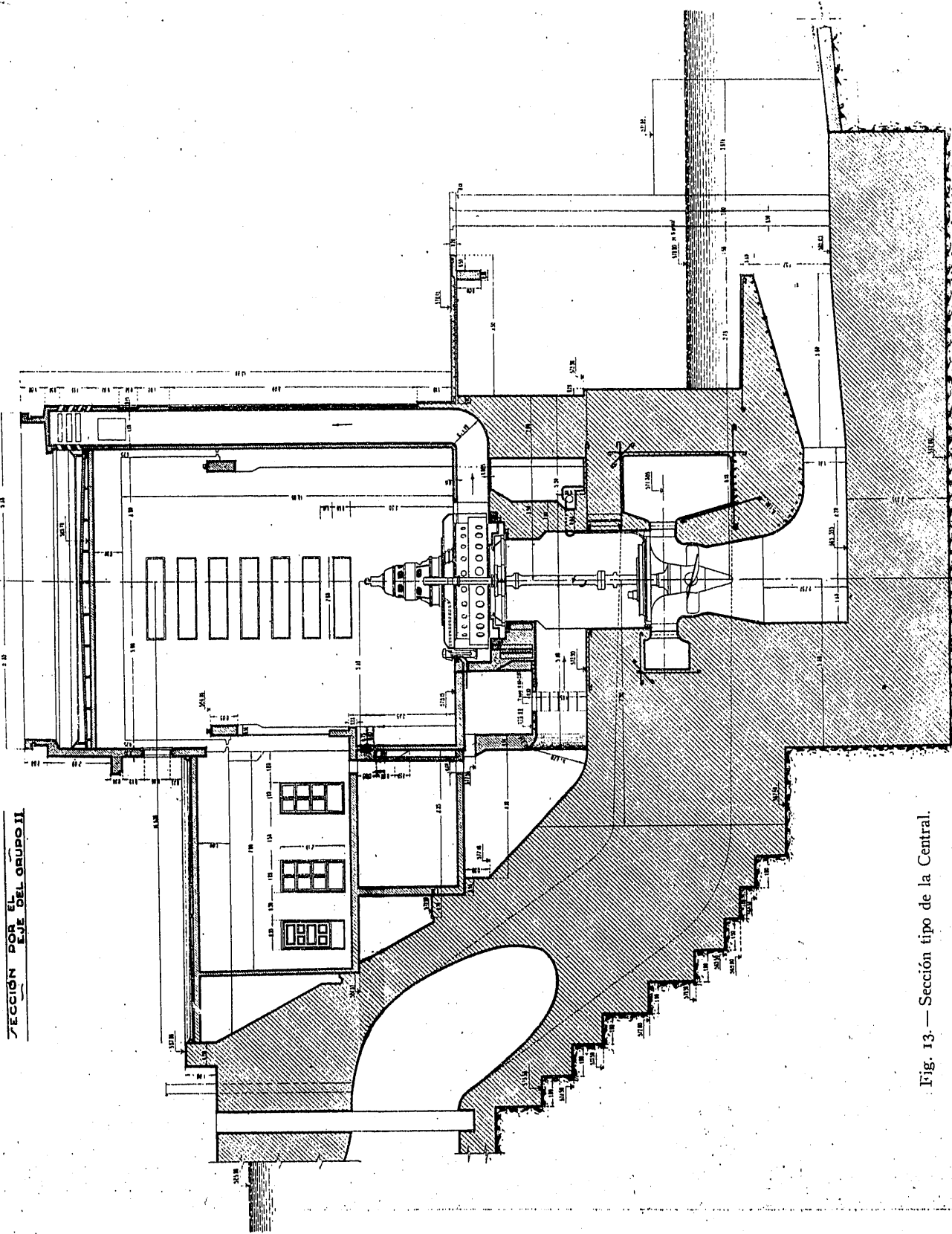


Fig. 13. — Sección tipo de la Central.

espirales de las turbinas se lleva a efecto mediante tuberías de hormigón armado de corta longitud, que atraviesan el muro frontal de cierre.

El diámetro de estas tuberías es de 3,80 m., y delante de ellas se han dispuesto los cierres, constituidos por compuertas rectangulares de  $3,50 \times 3,50$ , que permiten dejar fuera de servicio cualquiera de las turbinas.

El espacio comprendido entre el muro de cierre extremo del canal y la sala de máquinas propiamente dicha, se ha utilizado para construir en él una edificación, en la cual se alojan los servicios auxiliares: cuadros de mando, batería, almacenes, taller, etc.

De las características generales de la Central da clara idea el perfil tipo que aparece en la fig. 13.

El desagüe de las turbinas se lleva a cabo mediante un canal de descarga de sección rectangular y de 30 metros de longitud, revestido en su totalidad de hormigón en masa.

La excavación de la Central y canal de descarga (unos 40 000 m.<sup>3</sup>) se realizó, en su mayor parte, mecánicamente.

Como las margas que se cortaron hasta llegar a la cimentación presentaban inclusiones de yeso, hubo necesidad de extremar las precauciones en algunos puntos, utilizando en todo caso el mismo procedimiento descrito anteriormente.

Toda la infraestructura de la Central fué construída en hormigón en masa, con cubicación aproximada

de 7 500 m.<sup>3</sup>, armando exclusivamente las zonas correspondientes a las cámaras espirales. La superestructura, al igual que en Zorita de los Canes, se ha ejecutado completamente en hormigón armado, con pórticos articulados de 9,50 m. de luz, sobre los cuales descansa la viga de rodadura del puente-grúa; la cubierta y los forjados laterales han quedado sin revestir por estimar que esta solución es la más armónica y sincera.

Al igual que en Zorita, se ha construído inmediatamente próxima a la Central la subestación transformadora de salida, cuyas estructuras son también de hormigón armado.

Dieron comienzo las obras de este aprovechamiento el día 18 de noviembre de 1943, y se realizaron las pruebas del primer grupo el día 29 de junio de 1947.

Aun cuando de la sucinta descripción que de las obras hemos hecho se desprende que en ningún momento se ha tropezado con dificultades extraordinarias de orden técnico — aparte de las interrupciones originadas por las eredas, que fueron las normales de este tipo de obras —, la construcción no estuvo exenta de problemas graves de otro orden, derivados especialmente del período de anormalidad económica en que se llevaron a cabo. Así, por ejemplo, las severas restricciones en el consumo de gasolina del año 1945, crearon trastornos en el desenvolvimiento normal de las obras, y problemas análogos se presentaron en los suministros de cemento, explosivos y energía eléctrica, principalmente; no obstante, tales dificultades pudieron ser vencidas, y de ello es buena prueba el breve plazo en que las obras se han llevado a cabo.

No queremos terminar sin dejar constancia del apoyo que en todo momento hallamos en los Organismos oficiales, y que contribuyó de modo decisivo al éxito de la empresa. La acción tutelar y de guía de los Servicios Hidráulicos del Tajo, bajo cuya inspección técnica se realizaron las obras, así como las facilidades encontradas en los Ministerios de Obras Públicas e Industria y Comercio, nos permitieron disponer de las ventajas inherentes a las obras declaradas de Absoluta Necesidad Nacional, faci-

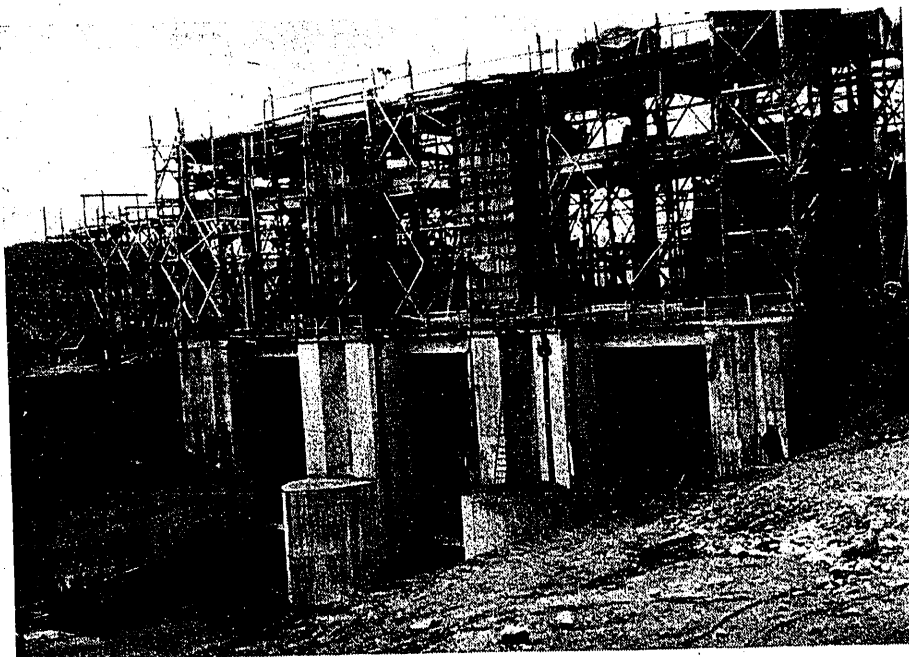


Fig. 14. — Construcción de la sala de máquinas.



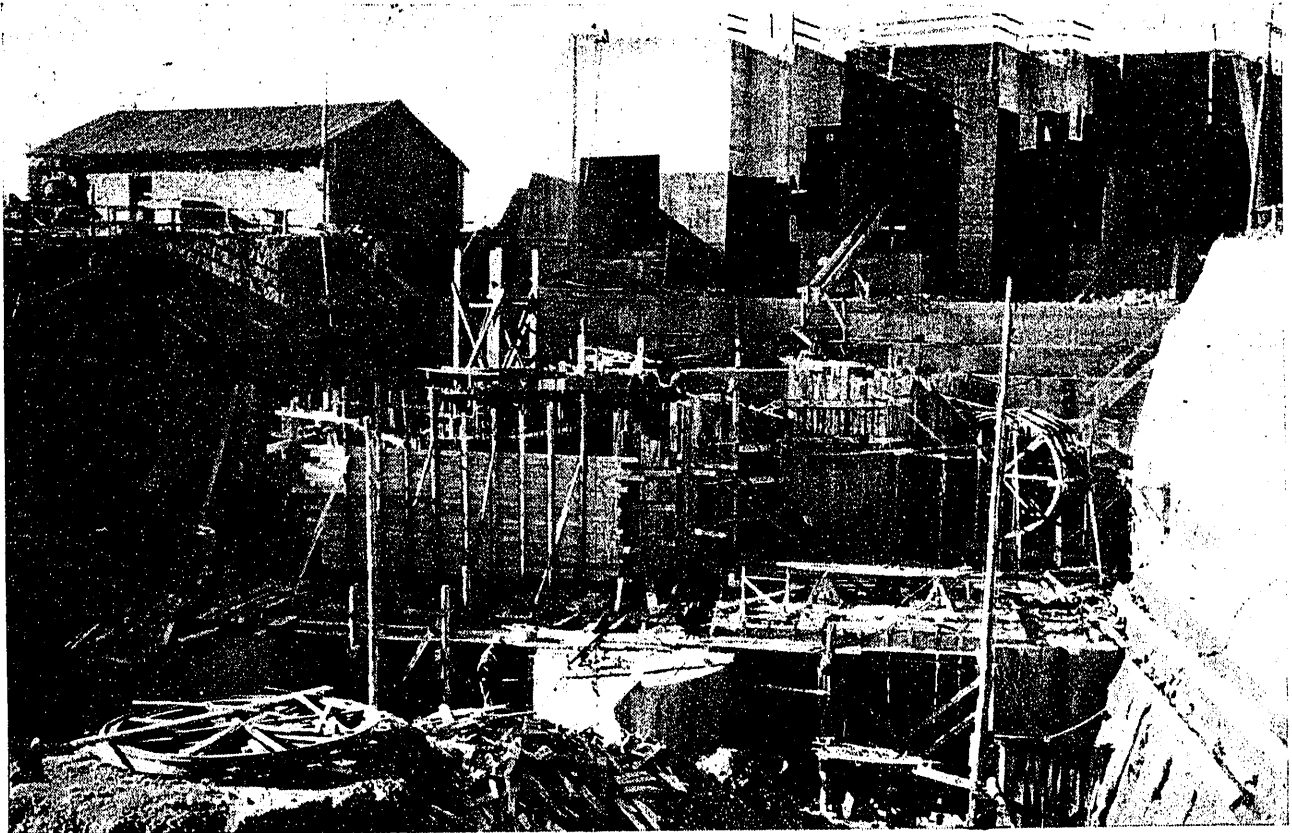


Fig. 15. — Construcción de la Central. Al fondo, las cabezas de las tuberías de presión con el alojamiento para las compuertas.

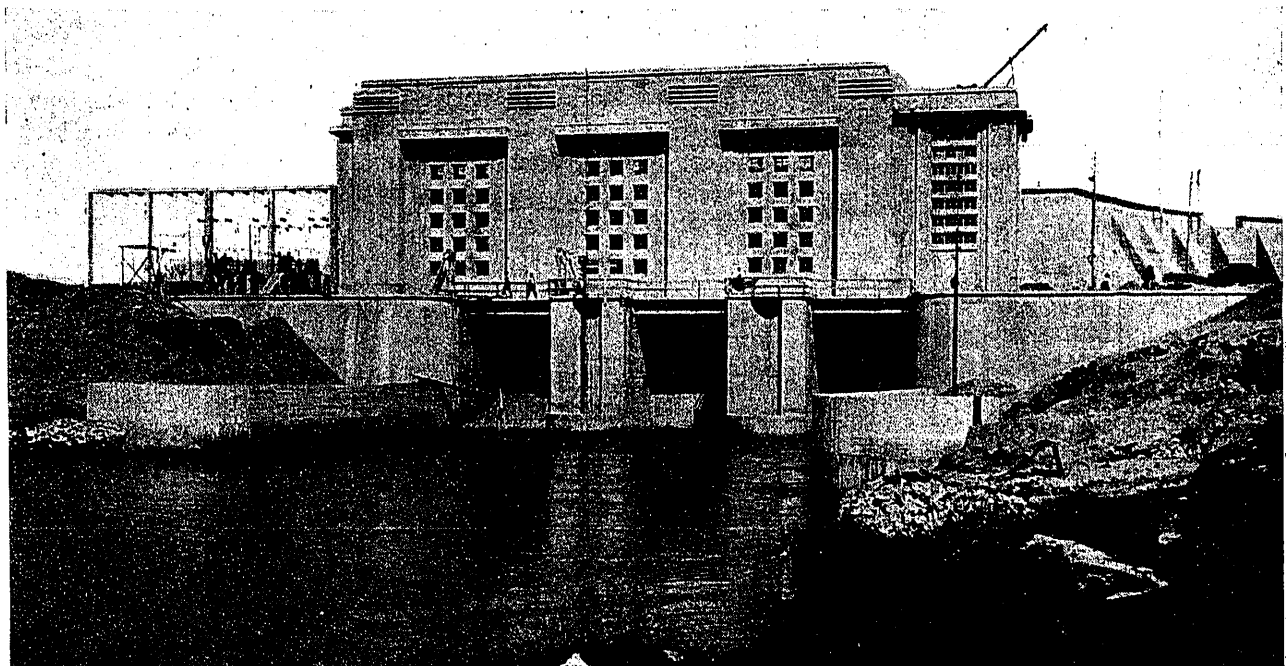


Fig. 16. — Vista de la Central, canal de descarga y Subestación.

litando la tramitación de pedidos y cupos de materias primas intervenidas y resolviendo cuantas dificultades de orden administrativo pudieran presentarse.

La obra civil de los aprovechamientos fué realizada, en colaboración, por las Empresas Obras y Construcciones Industriales, S. A., y Huarte y Compañía, S. L., bajo la dirección técnica del Ingeniero de Caminos D. José Temes Riancho. Los proyectos

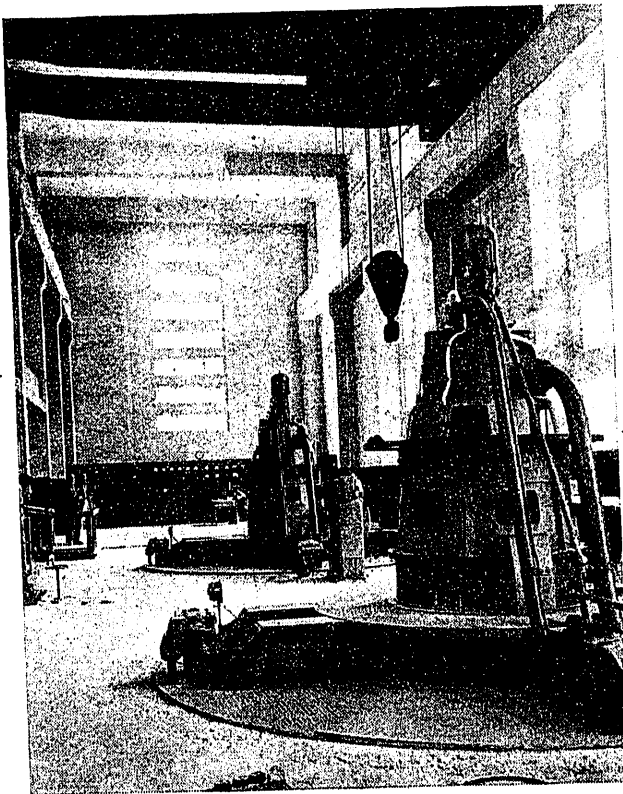


Fig. 17.— Interior de la sala de máquinas.

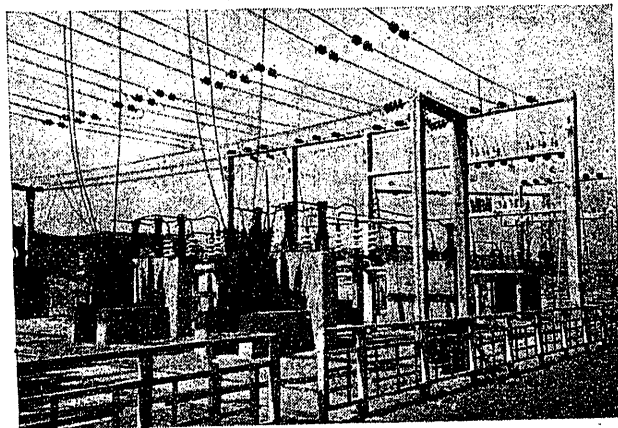


Fig. 18.— Subestación transformadora de salida.

y planos de obra fueron elaborados por el Servicio de Estudios Eléctricos del Banco Urquijo, bajo la dirección del Ingeniero de Caminos, Profesor de Hidráulica de la Escuela, D. Enrique Becerril y Antón-Miralles.

Las compuertas y válvulas fueron construídas por Boetticher y Navarro, S. A., en colaboración con Basconia. El suministro de las turbinas corrió a cargo de la firma sueca "Karlstad Mekaniska Werkstad", y los alternadores han sido fabricados por la "ASEA" de Västeras (Suecia).

Finalmente, los transformadores de potencia se construyeron en España, por General Eléctrica Española, y el resto del aparellaje y cuadros de mando, instalados con carácter provisional, han sido fabricados, asimismo, en España. Sin embargo, está previsto el mando de las Centrales de Zorita y Almoguera, a distancia, desde el Salto de Bolarque, esperando que este sistema de mando y control pueda quedar instalado en plazo no superior a un año.