

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

Por J. A. VICÉNS GÓMEZ-TORTOSA y J. HERNÁNDEZ RUBIO, Ingenieros de Caminos.

*Se describe en este artículo el importante Salto denominado de Zorita de los Canes, a que se hacía referencia en otro de nuestro número anterior, en el que el Sr. Lázaro Urra hacía una descripción general del plan de nuevos aprovechamientos de la Unión Eléctrica Madrileña. La eficaz colaboración que los autores han prestado al desarrollo del Proyecto y a la ejecución de las obras, hace que la descripción sea muy completa e interesante. Otro artículo próximo se dedicará al Salto de Almoguera.*

## I

En un artículo recientemente publicado en la REVISTA por D. Juan Lázaro Urra, Profesor de la Escuela de Caminos y Subdirector de Unión Eléctrica Madrileña, se hacía mención de estos saltos, cuyas obras se han terminado recientemente, hallándose en la actualidad en período de pruebas.

Aunque estos aprovechamientos no ofrecen ninguna particularidad excepcional que suponga novedad importante en la técnica de las construcciones hidráulicas, constituyen, sin embargo, un ejemplo reciente y aleccionador de cómo es posible la explotación económica de los tramos de escasa pendiente, mediante la construcción de saltos de baja presión.

La participación que hemos tomado en la redacción de los proyectos, así como en la ejecución de las obras de estos saltos, nos mueve a comunicar a nuestros lectores sus características generales y algunos detalles de los proyectos, así como de los procedimientos de construcción, en la creencia de que pueden ofrecer algún interés como información de actualidad.

Según se indicaba en el artículo anteriormente citado, estos saltos aprovechan los desniveles existentes en el río Tajo, en los 30 kilómetros inmediatamente siguientes al desagüe de la Central de Bolarque.

El cauce del río discurre en este tramo con pendiente casi uniforme de 0,001 sobre estratos del mioceno lacustre, constituídos en su totalidad por margas arcillosas y calizas, con algunas inclusiones nodulares de yeso, y estratos de areniscas más o menos consistentes, pero siempre de débil potencia.

Estos estratos, casi horizontales, tienen un ligero buzamiento hacia agua abajo, de tal modo que en Zorita predominan las areniscas del tramo inferior, y en Almoguera, las arcillas y margas, con mayores inclusiones de yeso, y alguna caliza del piso superior.

La formación terciaria está recubierta, en las proximidades del cauce del río, por aluviones cuaterna-

rios de escaso espesor, con abundantes graveras que han proporcionado a pie de presa excelentes áridos para el hormigón.

Sobre estos estratos, muy erosionables en general, el río ha excavado su cauce en forma de U, con una profundidad media de 10 m., suficiente para contener las máximas crecidas. En aguas normales, el calado del río no excede de 2 a 3 m.

A ambos lados de este cauce, el terreno se extiende casi horizontalmente; circunstancia ésta que limitaba la altura disponible para cualquier presa de derivación, a menos de aumentar excesivamente su longitud e inundar importantes superficies de terreno cultivado.

La topografía del terreno tampoco se prestaba, sin un excesivo encarecimiento de las obras, a la construcción de un canal de gran longitud, y por ello, después de varios tanteos, se hizo evidente la conveniencia de fraccionar el tramo en dos saltos.

Aprovechando la circunstancia favorable de presentar el río dos grandes meandros, uno a la altura del pueblo de Zorita de los Canes, y otro, cerca de Almoguera, se proyectaron dos saltos gemelos, constituidos cada uno de ellos por una presa de derivación situada al comienzo del meandro, que crea por sí sola un salto de unos 11 m. y una conducción que, cortando aquél, lleva las aguas hasta la central y permite ganar otros 3 ó 4 m. de salto. La favorable situación geográfica de los meandros utilizados se aprovechó en los proyectos respectivos para unificar en 15 m. los saltos brutos, que, habida cuenta de las pérdidas de carga a pleno caudal, se reducen a 14,50 m. netos.

Esto, unido a la semejanza absoluta de los aliviaderos, ha permitido unificar tanto la maquinaria de las Centrales como las compuertas y mecanismos de las presas con una positiva economía.

La única diferencia importante entre uno y otro aprovechamiento, estriba en que la conducción del Salto de Zorita se ha hecho en túnel a presión, mientras que la topografía del terreno aconsejó en Almo-

guera efectuar esta conducción por medio de un canal a cielo abierto.

Nos ocuparemos en este artículo del Salto de Zorita, dejando para otro la descripción del Salto de Almoguera.

mínima abertura, para evitar la presencia de depresiones en cualquier posición de compuertas.

La altura del azud, entre el umbral de las compuertas y el lecho del río, es de 7 m., y hasta la cimentación, de 11 m., de forma que la altura total de

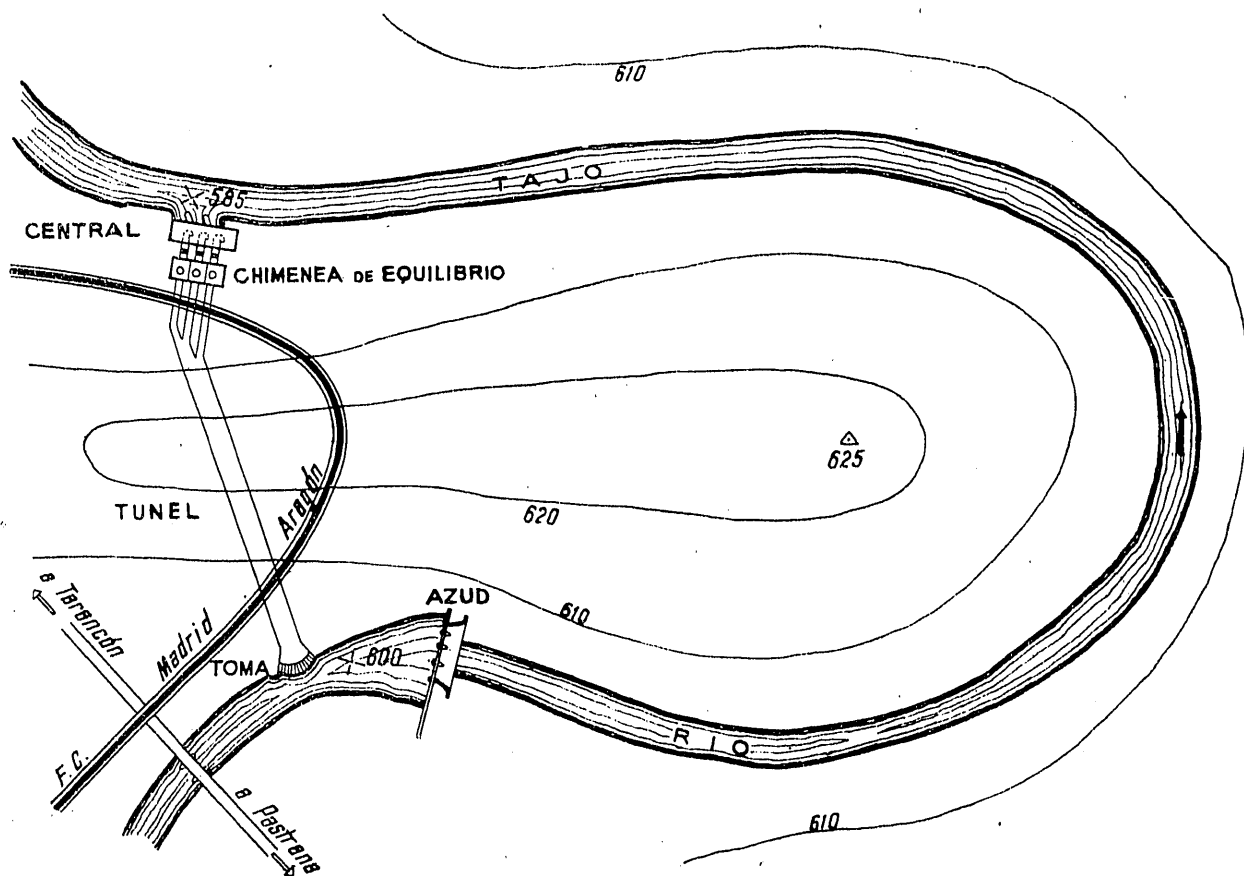


Fig. 1.ª — Planta general, esquemática, del Salto de Zorita de los Canes.

La disposición general de este aprovechamiento se indica en la figura 1.ª.

La presa de derivación tiene una longitud de 65 m. y está ocupada íntegramente por el vertedero, constituido por tres compuertas tipo vagón, de 15 m. de luz y 5,50 m. de calado, y una compuerta, del mismo tipo que las anteriores, pero de 5 m. de luz y 8 m. de calado, que puede utilizarse para bajar el nivel del agua en el embalse por debajo del umbral de impermeabilización de las compuertas principales.

Las compuertas están separadas por pilas de 3 m. de anchura, de hormigón en masa, y se apoyan sobre la obra de fábrica que constituye el vertedero, al cual se le ha dado el perfil parabólico correspondiente a la

la obra es de 21,50 m. hasta el lecho del río, y de 25,50 m. hasta la cimentación. En los estribos, la presa se ha coronado con 2 m. de resguardo sobre el nivel normal del embalse (cota 600), disponiéndose a esta altura un paso de servicio, ya que la existencia del puente de la carretera de Pastrana a Tarancón, situado a unos 400 m. agua arriba de la presa, hace innecesario el paso de vehículos sobre el azud.

Las compuertas están previstas para desaguar una crecida ordinaria de 1 600 m.<sup>3</sup>/seg., y extraordinaria, de 2 100 m.<sup>3</sup>/seg., admitiéndose en este caso 1 m. de sobreelevación del agua sobre su nivel normal. Su accionamiento está previsto mediante motores eléctricos, si bien en caso de necesidad pueden ser también mani-

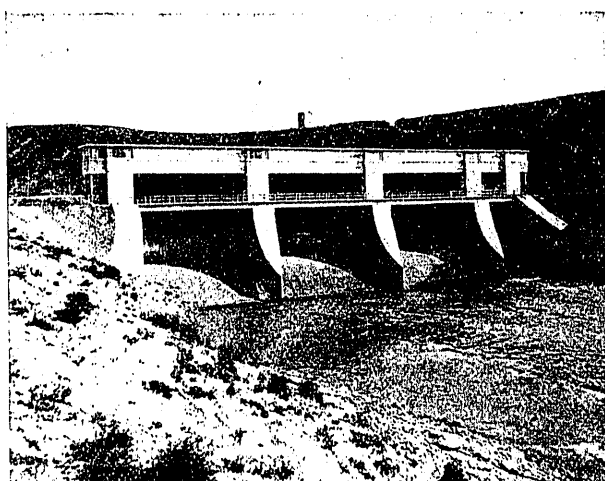


Fig. 2.ª — Vista del azud, con las compuertas y puentes de servicio.

obrados a mano. Los mecanismos de maniobra van alojados en un puente de servicio cubierto, cuya disposición general puede apreciarse en las figs. 2.ª y 3.ª. Dentro de este puente de servicio se alojan las instalaciones de transformación, que reciben la energía en alta tensión por línea directa desde la Central y alimentan en baja tensión los motores. También se aloja un grupo electrógeno de reserva para accionar las compuertas mecánicamente en caso de avería en la línea.

La compuerta de fondo tiene en su parte superior un alza automática de 1 m. de calado, que evacua los caudales hasta 10 m.<sup>3</sup>/seg. sin necesidad de maniobra, sirviendo al propio tiempo para el paso de cuerpos flotantes. Esta disposición asegura la estabi-



Fig. 3.ª — Interior del puente de servicio, durante el montaje de los mecanismos.

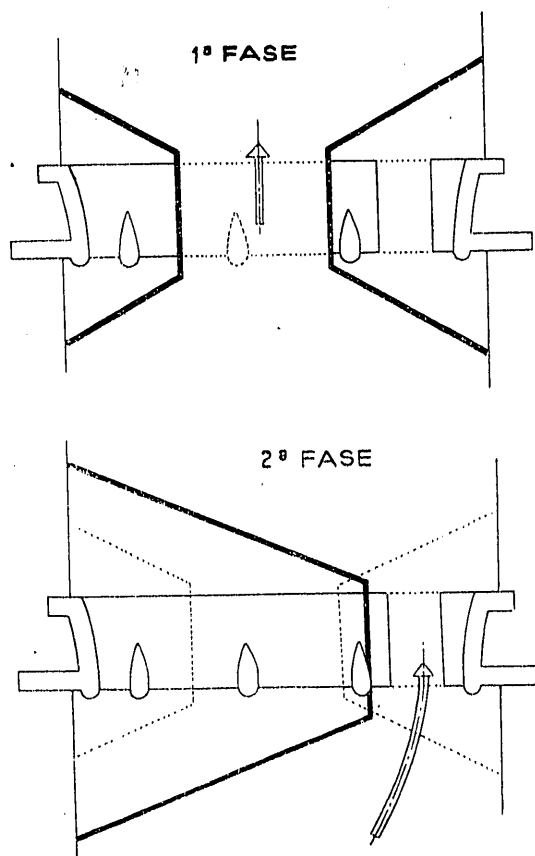


Fig. 4.ª — Esquema de la disposición de ataguías para la construcción del azud.

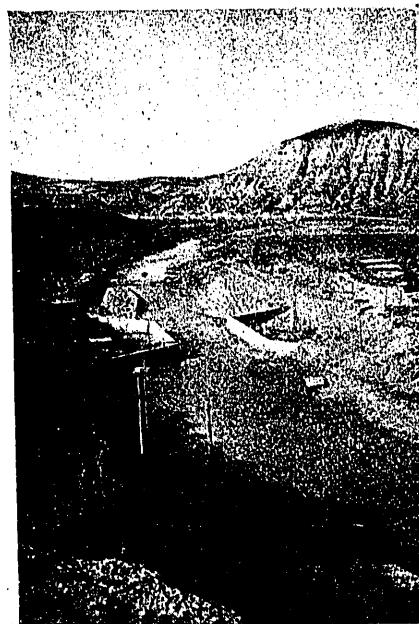


Fig. 5.ª — Vista, desde agua arriba, de las ataguías de estribos.

lidad del nivel de embalse con las oscilaciones normales de carga de la Central, y al propio tiempo indica el momento en que conviene iniciar la maniobra de compuertas.

de la Escuela de Caminos, de los cuales se dedujo la conveniencia de variar, con gran economía, el cuenco normal para la formación del resalto hidráulico primeramente proyectado.

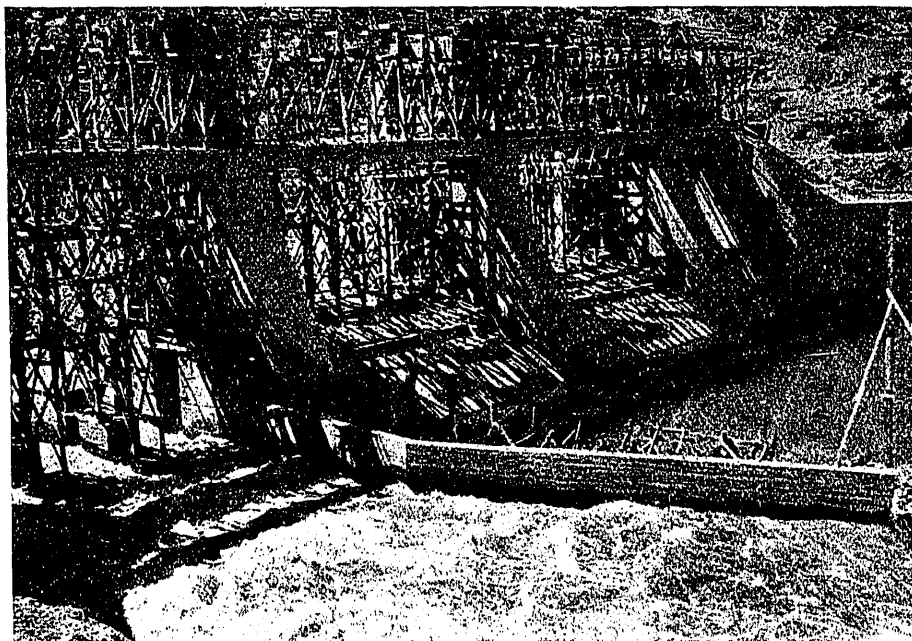


Fig. 6.ª — Vista de las obras del azud, con el río desviado por los portillos provisionales.

Es interesante la disposición adoptada para el cuenco amortiguador de la energía cinética de la lámina vertiente, que fué proyectado teniendo en cuenta los resultados de una larga serie de ensayos sobre modelo reducido, efectuados en el Laboratorio de Hidráulica

La cimentación de la presa no ha ofrecido dificultades especiales, ya que en esta zona aparecen estratos de areniscas y margas resistentes a poca profundidad, sobre los cuales se fundó la obra con absoluta garantía.

La excavación se realizó sin desviar el río de su

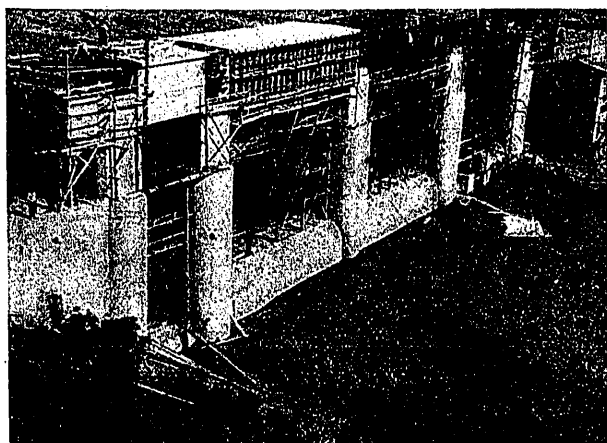


Fig. 7.ª — Vista, desde agua arriba, de las obras del azud antes de cerrar los portillos.

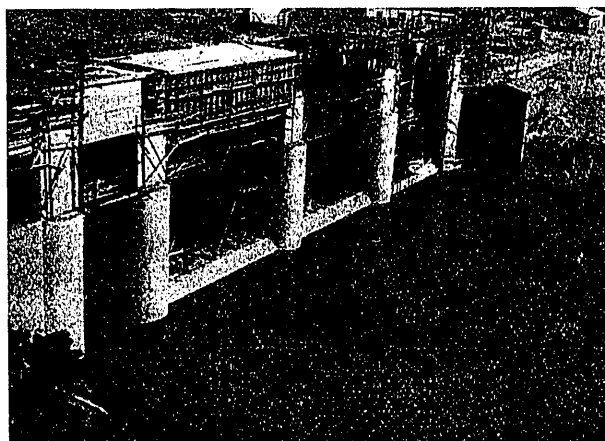


Fig. 8.ª — El río desviado por la compuerta de fondo, después del cierre de los portillos.

cauce, utilizando en los estribos ataguías de mampostería, ejecutadas durante el estiaje, y en el resto, ataguías de tierra. Este procedimiento, del que dan clara idea las figuras 4.<sup>a</sup> y 5.<sup>a</sup>, resultó económico y rápido,

estribo izquierdo, se construyó un dique de tierra que fué suficiente para desviar el río sobre la obra ya ejecutada.

Esta maniobra fué realizada en pleno estiaje, si

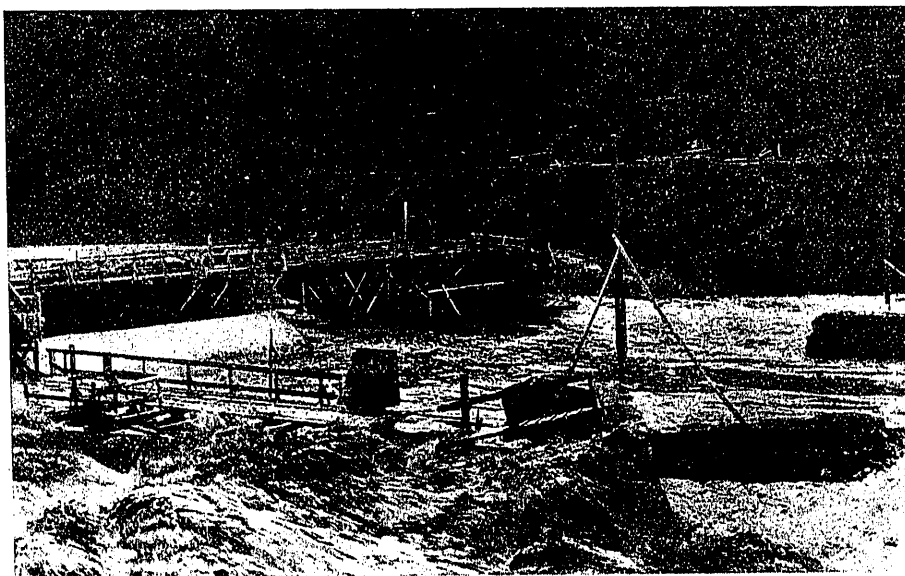


Fig. 9.ª — Paso de una crecida durante la construcción del azud.

en tal forma, que se pudo sacar la obra por encima del nivel de agua en menos de un año.

Se hormigonó en primer lugar la zona del estribo derecho, correspondiente al primer vano de compuertas, de 15 m. de luz, dejando en ella unos portillos provisionales por los cuales habría de pasar el río en la segunda fase de la construcción. Llegado este momento, se demolió la ataguía de esta zona, y utilizando gran parte de los productos de excavación del

bien no dejó de presentar dificultades, ya que las restricciones en el suministro de energía eléctrica obligaban a la Central de Bolarqué a trabajar en régimen de represas, con lo cual, aun cuando el caudal medio del río sobrepasaba escasamente los 10 m.<sup>3</sup>/seg., era necesario contar con caudales al menos tres veces mayores durante varias horas del día.

Al amparo de este dique provisional se ejecutaron instalaciones de drenaje suficientes para dar fin a la



Fig. 10. — Inundación en el recinto de la Central y túneles secundarios, en la crecida de mayo de 1946.

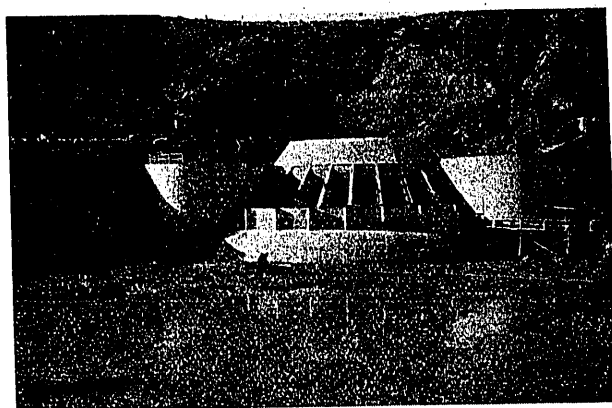


Fig. 11. — Toma de agua con las ataguías colocadas.



Fig. 12. — Encofrados de los tabiques de la toma

excavación del resto de la obra. Buena parte de la rapidez conseguida fué debida al uso de una pala mecánica que, trabajando en el lecho mismo del río, permitió imprimir gran celeridad a esta parte de obra siempre delicada.

Terminada dentro del mismo estiaje la parte fundamental de la presa, se continuó el hormigonado de pilas y paso de servicio durante el invierno, procediéndose a finales del siguiente estiaje al cierre de los portillos provisionales. Desde entonces la presa quedó vertiendo sobre toda su coronación cuando los caudales excedían de  $40 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , y exclusivamente por el vano de fondo cuando no se daba esta circunstancia.

Las figuras 6.<sup>a</sup>, 7.<sup>a</sup> y 8.<sup>a</sup>, representan distintas fases de la construcción de la presa, ilustrando cuanto acabamos de decir.

Los áridos empleados en la fabricación del hormigón se obtuvieron en una gravera próxima, y debidamente corregidos se transportaron al pie de una



Fig. 13. — Enlaces entre el túnel principal y las tuberías de presión.

hormigonera de 1 000 litros de masada, con la cual se realizó todo el hormigonado de la presa.

La distancia entre la gravera y la instalación de hormigonado no excedía de 300 m., circunstancia que simplificó notablemente los trabajos, permitiendo obtener un ritmo de hormigonado próximo a los  $250 \text{ m}^3$  por día, con tan modesta instalación.

Las características topográficas del emplazamiento de la presa impedían colocar por gravedad todo el hor-



Fig. 14. — Cámara de equilibrio, con los tabiques separadores y uno de los pozos de comunicación con las tuberías.

migón, y por esta razón fué menester instalar un elevador eléctrico, con descarga automática, que permitiera situar el hormigón a la cota necesaria para hormigonar desde los puentes de servicio.

Así se consiguió dar fin a la parte de hormigón en masa, que cubica  $20\,000 \text{ m}^3$ , en un plazo de nueve meses, a pesar de haber sufrido durante el curso de esta parte de la obra el retraso correspondiente a varias crecidas importantes sucedidas durante el invierno (fig. 9.<sup>a</sup>).

Para la construcción del paso de servicio y el puente cubierto de mecanismos, se utilizaron armaduras rígidas, procedimiento que estimamos como el

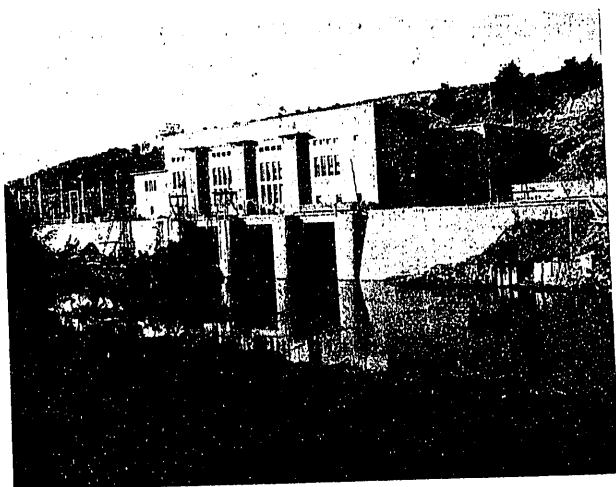


Fig. 15. — Vista exterior de la Central. En segundo término, la sala de válvulas y la cámara de equilibrio.

más rápido y seguro, dada la importancia de las luces a cubrir y las dificultades que presentaba la construcción de un andamio resistente de gran altura apoyado sobre el perfil del vertedero. Alguno de estos tramos

La conducción forzada tiene 800 m. de longitud, estando constituida por un túnel de sección circular de 5,50 m. de diámetro, dimensionado para transportar el caudal máximo aprovechado de 80 m.<sup>3</sup>/seg., con velocidad de 3,15 m./seg.

La perforación del túnel se efectuó sin grandes dificultades y con un mínimo de entibación, por atravesar en todo su recorrido margas arcillosas impermeables y de gran consistencia.

El espesor medio del revestimiento es de 0,50 m. de hormigón en masa, con enlucido de gunita de 3 cm. de espesor.

La galería de avance se llevó por la mitad superior de la sección, realizándose a continuación el ensanche y revestimiento de esta parte. Al amparo de la bóveda así construida se realizó la destroza y hormigonado de la contrabóveda, por anillos de 4 m. de longitud, utilizando para ello las mismas cerchas de madera empleadas en la construcción de la bóveda.

La pendiente del túnel es del 1 por 100, de modo que la carga de agua en el eje varía entre 5,75 m. al comienzo del túnel, y 13,75 m., al final.

La buena calidad del terreno atravesado permitió

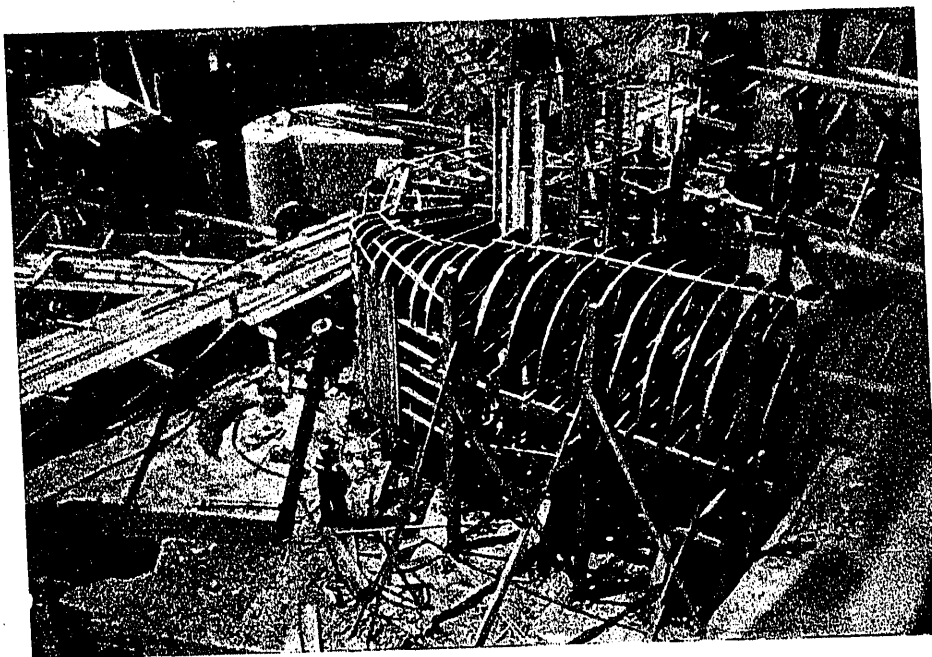


Fig. 16. — Montaje del encofrado de una cámara espiral.

se desencofró a los diez días de haber sido colocadas las armaduras rígidas, que con longitud de 16 m. fueron transportadas desde Madrid a la obra en una sola pieza.

prescindir de armaduras metálicas en la primera parte del túnel. En la segunda parte, y en las zonas de menor consistencia, se utilizaron armaduras de acero en redondos de 18 mm. de diámetro, que se aplicaron con-

tra la cara de intradós del revestimiento, quedando luego embebidas en la capa de gunita, cuyo espesor se aumentó en estas zonas hasta 7 cm.

Por quedar la rasante del túnel casi al nivel de aguas normales, fué necesario atacarle en pozo por sus dos extremos. Los productos de la excavación se extrajeron mediante equipos eléctricos, y las obras de la toma se realizaron en el último estiaje, en previsión de que cualquier crecida pudiese inundar todo el túnel.

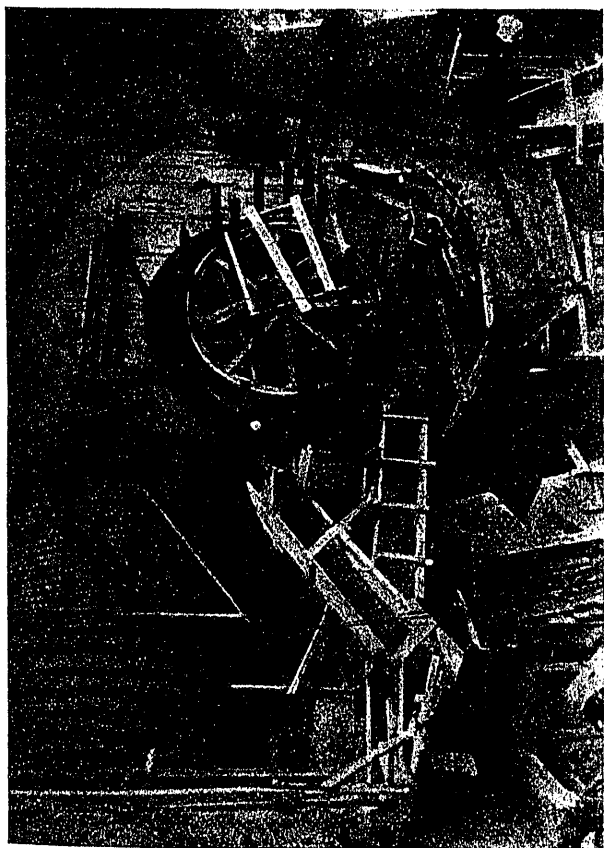


Fig. 17. — Colocación de armaduras y hormigonado de una cámara espiral.

No obstante estas precauciones, y durante la crecida de 7 de mayo del 46, que rebasó la ataguía de la Central, penetró el agua por los túneles secundarios, como puede apreciarse en la figura 10, sin que esta inundación causara graves perjuicios por estar entonces prácticamente terminado el revestimiento, y porque el agua sólo penetró por el extremo de aguas abajo, no llegando a circular por el túnel.

La disposición particular de la toma de agua, que puede apreciarse en la figura 11, se adoptó con objeto de elevar todo lo posible el umbral, a fin de

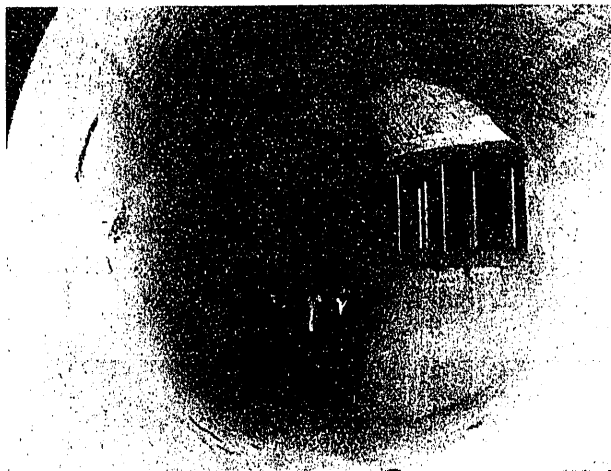


Fig. 18. — Interior de una cámara espiral con la turbina montada.

evitar su ulterior aterramiento, y de hacerlo fácilmente accesible con sólo rebajar el nivel del embalse. Esto obligó a ensanchar la toma, dándole forma de sector circular para poder colocar holgadamente la rejilla, compuesta de ocho paneles de forma trapecial, con inclinación de 45°.

El dintel de la toma queda situado a un metro por debajo del nivel normal del agua, de forma que cabe aprovechar un pequeño juego de embalse para regulación, sin que sea de temer la entrada del aire en el túnel.

Aunque se ha prescindido de colocar una compuerta a la entrada de éste, puede visitarse levantando previamente la compuerta de fondo; se consigue así, en aguas normales, rebajar el nivel del embalse

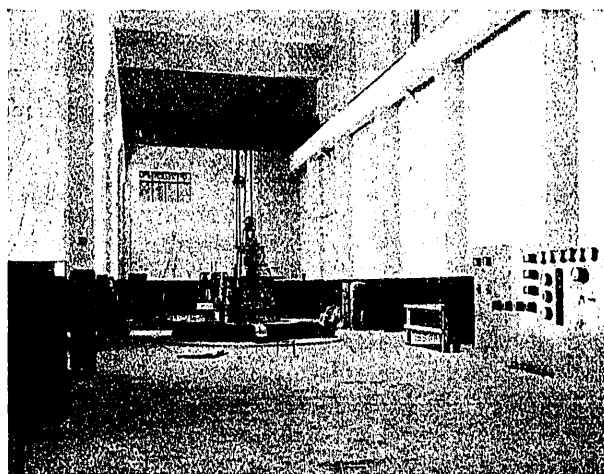


Fig. 19. — Interior de la Central al poner en marcha el primer grupo. A la derecha de la fotografía aparece el cuadro de mando provisional.

por debajo del umbral de la toma, y en avenidas normales (hasta 500 m.<sup>3</sup>/seg.) es necesario colocar delante de las rejillas unas ataguías, para lo cual se han dispuesto las oportunas ranuras en las obras de fábrica, quedando entonces el túnel accesible y en seco. Dada la pequeña capacidad del embalse, que no excede de 2 600 000 m.<sup>3</sup>, ésta es la solución más económica y sencilla. Durante la construcción, como se aprecia en la figura 12, se mantuvieron colocadas las ataguías hasta el último momento.

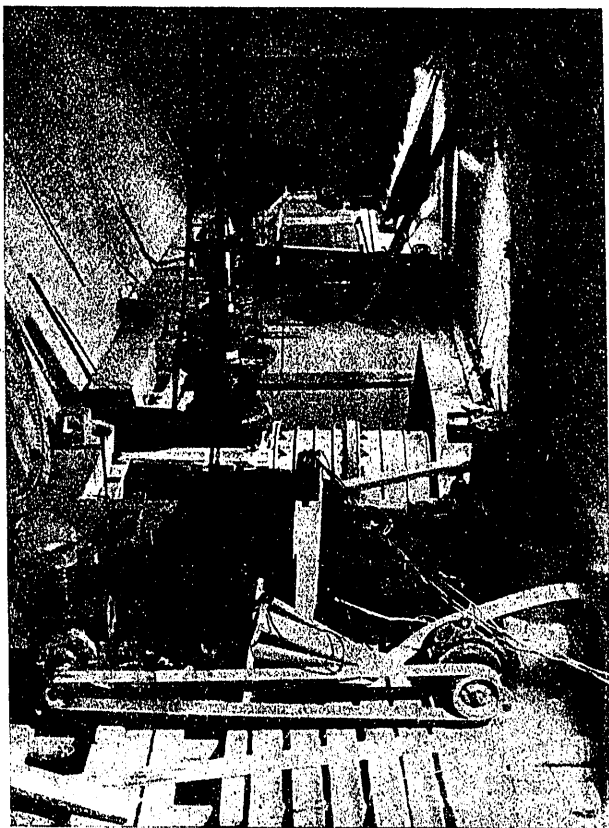


Fig. 20. — Montaje de una de las válvulas mariposa de 3,80 m. de diámetro.

Al extremo de la conducción forzada el túnel se divide en tres brazos, de sección circular de 3,80 m. de diámetro (fig. 13).

Las alineaciones del túnel principal y de los secundarios se cortan según un pequeño ángulo, disposición que facilita un enlace suave entre ellos.

La chimenea de equilibrio queda situada al lado mismo de la Central y por encima de estos tres túneles (fig. 14).

La disposición adoptada debe su originalidad al hecho de que los constructores de las turbinas fijaron

en 30 m. la distancia máxima admisible entre el eje de las máquinas y la comunicación de la conducción forzada con la cámara de equilibrio. Esto creaba un problema de difícil solución, pues impedía efectuar esta comunicación con el túnel principal. Tampoco era fácil construir tres cámaras separadas, por las dimensiones excesivas que resultaban del cálculo. En la disposición adoptada, a la que se llegó después de varios tanteos, la cámara es única, pero tiene tres orificios de comunicación con cada una de las tuberías. En estos orificios se han colocado unos estrangulamientos, con revestimiento metálico, para aumentar la velocidad de paso del agua hasta 9 m./seg., con lo cual se crean importantes pérdidas de carga que contribuyen mucho a frenar el movimiento del agua, estabilizando y amortiguando rápidamente las oscilaciones en masa.

A fin de impedir el establecimiento de circulaciones parásitas en los túneles secundarios cuando funciona uno sólo de los grupos, la parte inferior de la cámara está dividida en tres por medio de tabiques, coronados 50 cm. por encima del nivel estático.

En la parte superior, la cámara es única, y cuando se produce el cierre brusco estando en servicio una sola turbina, el agua vierte por encima de los tabiques, funcionando la cámara como semidiferencial.

El movimiento del agua en los distintos casos de apertura o cierre de uno o varios grupos, es un tanto complicado, y aun cuando, en líneas generales, pudo abordarse por el cálculo numérico, se estudió con mayor detalle, en modelo reducido, en el Laboratorio de la Escuela de Caminos, utilizando el método de semejanza propuesto por Stucky, que permite reproducir a escala los períodos, caudales, pérdidas de carga y alturas de las oscilaciones.

La Central (figura 15) se ha construido enteramente de hormigón, incluso las cámaras espirales, cuyo encofrado e interior puede apreciarse en las figuras 16, 17 y 18, obtenidas durante la construcción.

La estructura de la Central está constituida por pórticos de hormigón armado con dos articulaciones, sobre los cuales se apoyan las vigas de rodadura del puente-grúa. Estas vigas, de 5 m. de luz y sección de 90 X 40, fueron hormigonadas y curadas en taller, y posteriormente izadas a su emplazamiento definitivo.

Los dinteles superiores de los pórticos se hormigonaron colgando el encofrado de sus armaduras rígidas, dejando en ellos unas horquillas roscadas que a su vez, permitieron colgar las cerchas de madera necesarias para hormigonar las losas armadas que,

apoyadas entre pórtico y pórtico, constituyen la cubierta.

Los muros de cierre laterales se construyeron también en hormigón ligeramente armado, quedando los paramentos exteriores como resultaron al desencofrar, por haber creído innecesario enlucirlos o pintarlos.

Este procedimiento de construcción permitió ejecutar la superestructura sin levantar andamiaje alguno en el piso de alternadores, obteniéndose la importante ventaja de no interrumpir ni dificultar así el montaje de las máquinas, que pudo realizarse con toda normalidad.

La Central, prevista, como el resto de la obra, para la instalación de tres grupos, ha quedado provisionalmente equipada con dos grupos verticales, con turbinas Kaplan y alternadores de 4 500 KVA.

Las figuras 15 y 19 corresponden a las vistas exterior e interior de la Central, después de terminar las obras fundamentales.

En un cuerpo de edificio situado entre la Central y la cámara de carga, se alojan los cierres de las turbinas de presión, constituídos por una válvula mariposa de 3,80 m. de diámetro, colocada delante de cada turbina (figura 20).

Estas válvulas son las mayores en su tipo, construídas hasta ahora por la industria nacional.

La subestación elevadora, construída inmediatamente próxima a la Central, ofrece, como única particularidad interesante, la de haberse sustituido los pórticos metálicos usuales en este tipo de instalaciones por pórticos articulados de hormigón armado, ejecutándose el resto de los soportes necesarios para el aparellaje con este mismo material.

Los cables de potencia y de mando se han situa-

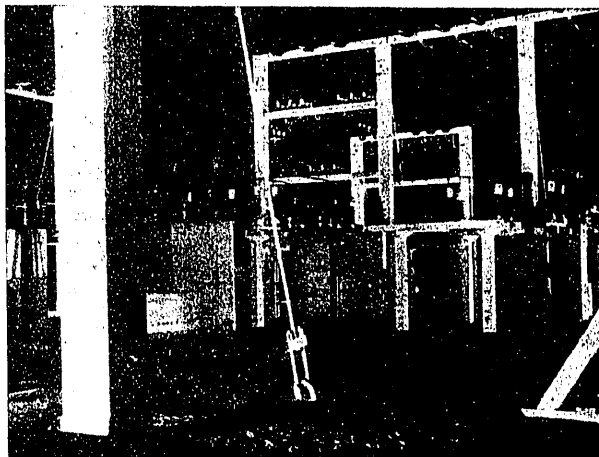


Fig. 21. — Vista nocturna de la Subestación.

do en todo su recorrido en galerías visitables para facilitar su vigilancia durante la explotación.

La figura 21 se ha obtenido al ser puesta en servicio provisionalmente la subestación, cuya tensión de salida es de 50 KV., siendo la tensión de generación de 6 KV.

Dieron comienzo las obras de este aprovechamiento en agosto de 1944, y comenzó a rodar el primer grupo, en pruebas, el día 18 de noviembre de 1947; desde entonces la energía de este salto contribuye a aliviar la situación deficitaria en que hace tiempo se encuentra el mercado eléctrico de la zona centro de España.

Se espera que la producción de este salto, en año medio, sea de unos 35 millones de Kw.-h., que aumentarán hasta unos 40 millones de Kw.-h. una vez terminados y puestos en explotación los pantanos reguladores de Entrepeñas y Buendía.