

# EL SALTO DE ALDEADAVILA

Por PEDRO MARTINEZ ARTOLA  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

*Según anunciamos en nuestro número anterior, al iniciarse en él la publicación de este interesante trabajo, presentamos a continuación la conclusión del mismo, que contiene la descripción del túnel aliviadero y de las importantísimas instalaciones que constituye, como se dice en el texto, el mayor aprovechamiento hidroeléctrico de la Europa Occidental.*

(Conclusión.)

## Túnel aliviadero.

Al objeto de evitar las interferencias en la explotación de las zonas de aprovechamiento asignadas a los dos países limítrofes, la Comisión Internacional, creada para regular la aplicación del Convenio Hispano-Portugués de 1927, estableció como norma de

cuando ésto ha sido posible, las galerías de desviación en su tramo inferior. Autorizado por el propio Convenio Hispano-Portugués la ubicación en terrenos del otro Estado de los desagües complementarios, se ha situado en la margen portuguesa el túnel aliviadero del embalse de Aldeadávila, siguiendo la misma traza adoptada para la galería de derivación que se situó en la margen derecha del río, a más de por razones topográficas, por la de no interferir

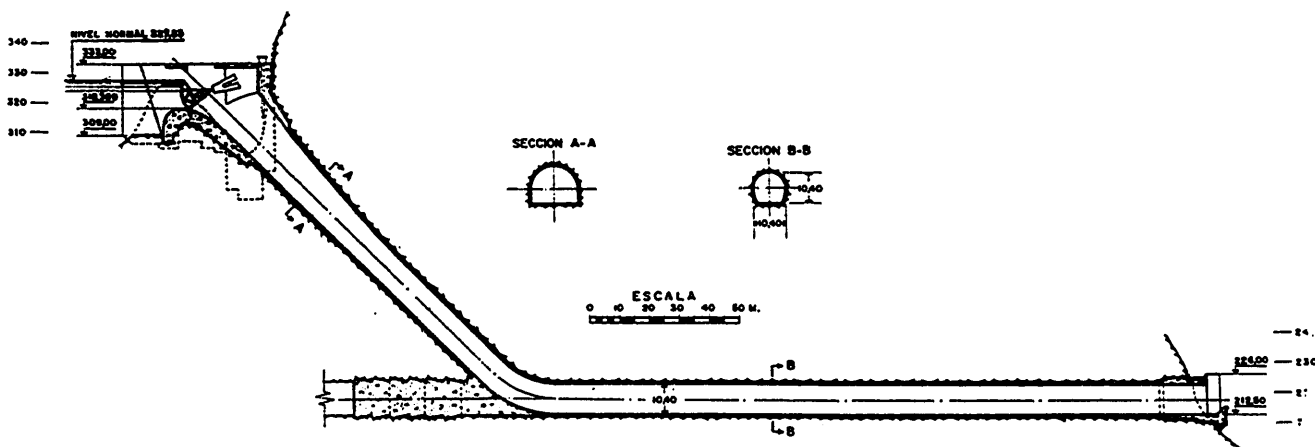


Fig. 10. — Túnel aliviadero. Perfil longitudinal.

carácter obligatorio que “los embalses correspondientes a origen de zona deberán estar provistos de elementos automáticos de desagüe con capacidad no inferior a la de admisión de las turbinas de su central”.

La revisión del vertedero de coronación de la presa hace evidente la conveniencia de que el desagüe automático en cuestión constituya un órgano independiente destinado, además, a completar la capacidad de evacuación de sobrantes sobre la presa.

La experiencia de Iberduero, S. A. en la explotación de sus saltos de Ricobayo, Villalcampo, Castro y Saucelle, ha sido concluyente respecto de la conveniencia de disponer de aliviaderos complementarios del principal, habiéndose utilizado para ello,

con las obras del aprovechamiento hidroeléctrico propiamente dicho.

La capacidad máxima previsible de las seis turbinas de la central del Salto es de  $675 \text{ m}^3/\text{seg.}$  y, de acuerdo con la prescripción de la Comisión Internacional, ésta debe ser la capacidad mínima del aliviadero automático proyectado en túnel; siendo la dimensión de la galería de desviación para la construcción de la presa la correspondiente a una sección revestida de 10,40 m. de diámetro interior; a esta dimensión se debe acoplar el túnel aliviadero automático. Esto da lugar a unas posibilidades de evacuación, manteniendo siempre el régimen libre en la galería, de  $1.450 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , con embalse a su nivel máximo normal y de  $2.800 \text{ m}^3/\text{seg.}$  con embalse

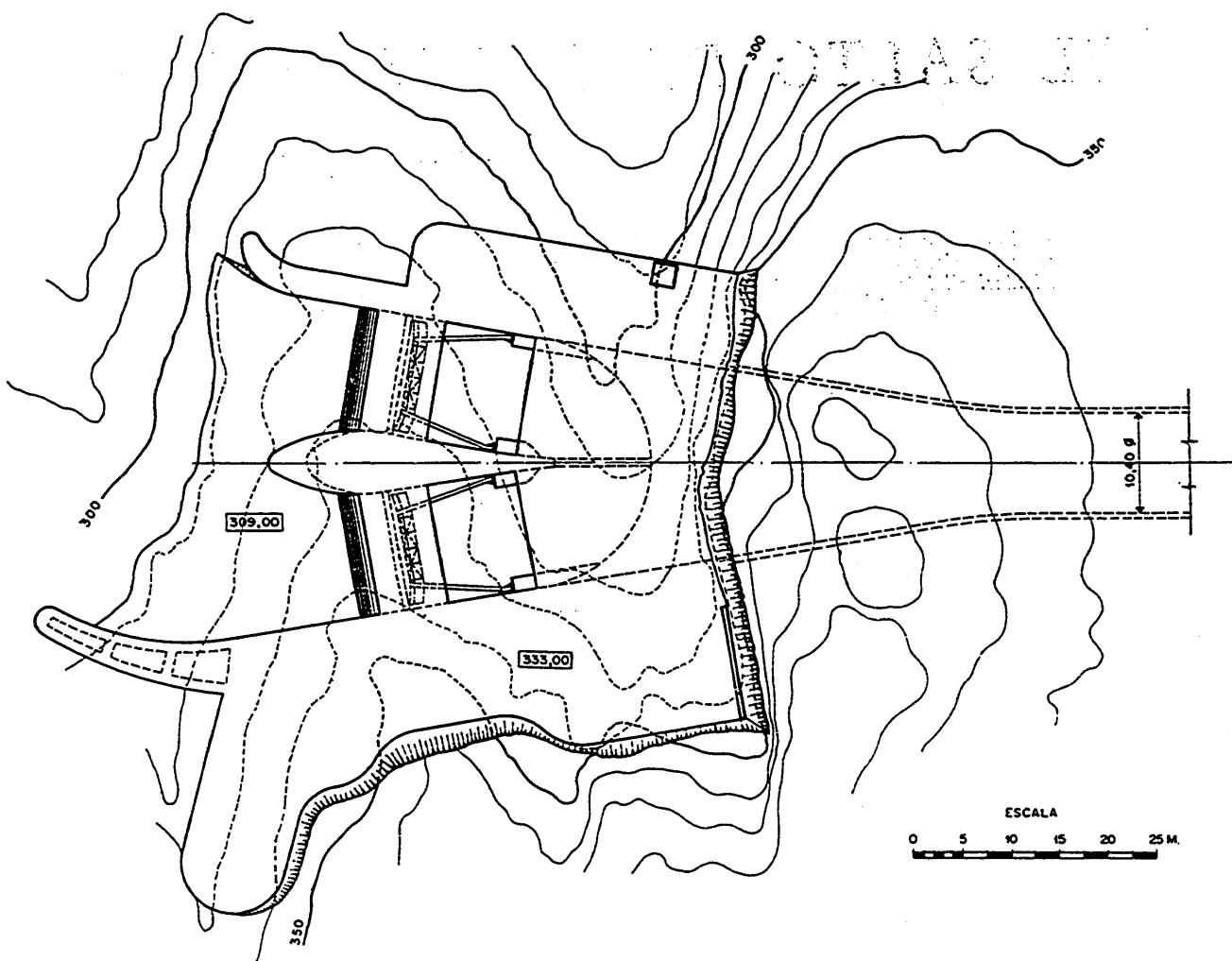


Fig. 11. — Túnel aliviadero. Planta de la embocadura.

recrecido hasta el nivel de coronación de la presa.

La sección normal en herradura del túnel, hidráulicamente equivalente a la circular de 10,40 metros de diámetro, se abocina a suso en el tramo inclinado hasta convertirse en una sección recta constituida por un rectángulo de 22,00 m. de anchura y 6,00 m. de altura coronado por un arco de medio punto. Los paramentos laterales del abocinamiento se prolongan rectilíneamente para formar la obra de embocadura constituida por dos vanos de 12,50 metros de luz con pila intermedia de planta trapezoidal de 4,15 m. de espesor en la línea de encuentro de las compuertas con los paramentos de la pila.

La forma convergente de la embocadura, con dos tramos simétricos con sus ejes normales al plano de cada compuerta, tiene por objeto evitar la formación de olas transversales propias del régimen rápido a continuación del vertedero en canales de paredes convergentes.

Las compuertas, de tipo "Taintor", de 12,50 metros de luz y 9,70 m. de altura, en posición de aba-

tidas, tienen su arista superior al nivel normal máximo del embalse y se accionan automáticamente mediante flotador que actúa los motores de elevación.

La boquilla de salida del túnel de desviación se transforma en un trampolín de lanzamiento destinado a lanzar el chorro vertiente del túnel aliviadero al centro del río en zona de máximo calado.

### La instalación hidroeléctrica.

*Dimensionamiento de la potencia.* — Si en un sentido estricto el Salto de Aldeadávila puede calificarse de salto de agua fluente, ante la insuficiencia de la capacidad reguladora de su propio embalse, no puede olvidarse la existencia de los embalses laterales del Esla en Ricobayo y el proyectado en el Tormes, y que el conjunto de los "Saltos del Duero" tienen por finalidad la regulación de la energía del sistema en el que el Salto de Aldeadávila tendrá un papel fundamental.

La propia característica de la conducción, al ser en carga, alimentada por un embalse cuya capacidad es de relativa importancia, hacen adecuado el Salto de Aldeadávila para la instalación de una central de puntas y, como tal, debe ser fijada la potencia de su instalación.

La actual situación de aprovechamiento hidroeléctrico de los ríos españoles y sus posibilidades de regulación interanual, en relación con la permanencia de las necesidades del mercado eléctrico, interesa conjugar la variabilidad de las disponibilidades hidroeléctricas subsiguientes a la extrema variabilidad climática, con una producción termoeléctrica eventual de compensación de los déficit hidroeléctricos. Esta conjugación, en la que la potencia térmica deberá ir creciendo a medida que se complete el aprovechamiento de las posibilidades hidroeléctricas nacionales, funcionará de modo muy diferente cuando, dentro de pocos años, la base de la producción eléctrica en España sea de origen térmico (convencional o nuclear), en cuyo momento las puntas de carga del mercado deberán ser servidas por centrales hidroeléctricas.

En el estudio de funcionamiento del sistema de los "Saltos del Duero", corresponde al Salto de Aldeadávila una producción, en año de características hidrológicas medias, de 2 440 GWh., producción que puede garantizarse conjugándola con una potencia térmica adecuada que permitirá, además, una mayor utilización del agua fluente del Duero y mejorar, en las horas de valle, el programa de utilización de los embalses de Ricobayo y del Tormes.

En el régimen de explotación estudiado, correspondiente a funcionamiento exclusivamente hidroeléctrico en años de hidraulicidad igual o superior a la del año medio, la energía de posible obtención en el sistema de los "Saltos del Duero" asciende a 7.600 GWh. que requiere, en la curva del mercado de Iberduero, una potencia instantánea máxima de 1 530 MW., de los cuales están asignados a los distintos saltos del sistema:

Ricobayo .....	148 MW.	
Villalcampo .....	96	>
Castro .....	84	>
Saucelle .....	240	>
Tormes .....	500	> (en proyecto).

TOTAL ..... 1 068 MW. (sin Aldeadávila).

Lo que hace que Aldeadávila requiere una potencia estricta de 462 MW.

Es normal la coincidencia de máxima demanda en puntas con situaciones mínimas de embalse, que en las centrales de Ricobayo y del Tormes pueden llegar a representar una pérdida de potencia del sistema de 248 MW.

Por consiguiente, la potencia de la central de Aldeadávila no debe ser inferior a 710 MW.

La profundidad adoptada para las tomas de la central de Aldeadávila consiente un juego de su propio embalse de 48 Hm.<sup>3</sup>, apto para el funcionamiento examinado en régimen semanal de puntas.

La instalación proyectada comprende una potencia total nominal de 720 MW. en seis unidades independientes, por manera de que cada grupo está constituido por sus correspondientes toma, tubería, turbina-generator y transformador, haciéndose el acoplamiento de los grupos a través de las barras del parque de salida de líneas de alta tensión.

Es de notar que la variación de salto disponible, como consecuencia de la utilización en régimen de puntas del embalse alimentador de la central, provocará una reducción de la potencia utilizable en la mañana del sábado del orden de 50 MW.

*Tomas de agua.* — Utilizando el cantil de la margen española, y complementándolo en profundidad del lado de la ladera mediante una excavación de unos 60.000 m.<sup>3</sup> al objeto de obtener la rasante de cota 290, se disponen, a continuación del estribo de

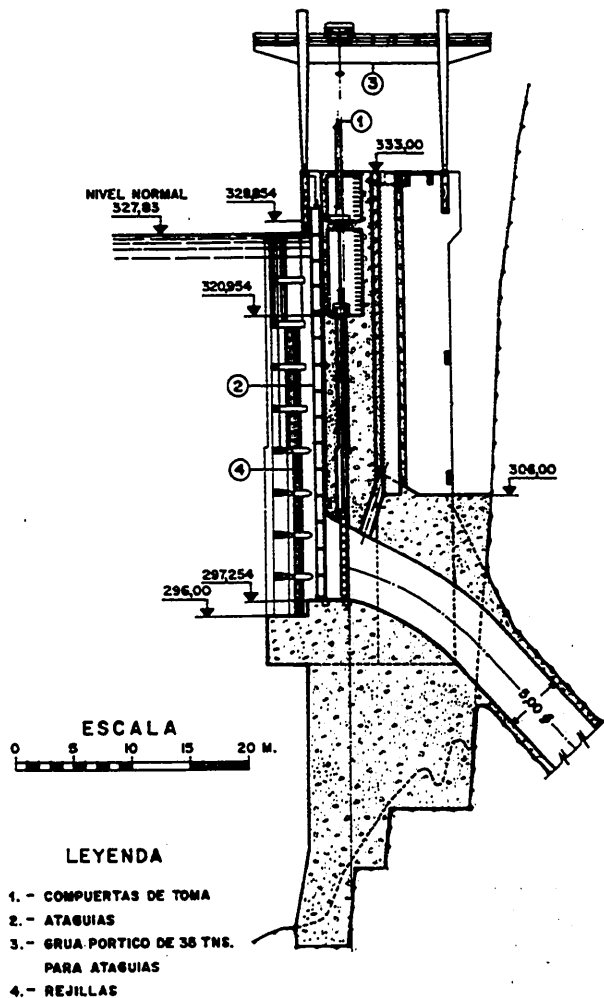


Fig. 12. — Toma de aguas. Sección longitudinal.

la presa. las seis tomas de agua que se sitúan en el mismo plano vertical. El plano de la toma es paralelo al eje longitudinal de la central en la que los grupos se ubican de manera tal, que la traza horizontal de las tuberías es rectilínea y perpendicular al plano de la toma.

La distancia entre ejes de toma y, por consiguiente, de tuberías, es de 17,50 m., igual a la distancia entre ejes de los grupos generadores. Esta distancia es la adecuada para la perforación de los pozos de tubería, de manera que entre ellos queda suficiente espesor de roca resistente no afectada por las labores de perforación.

Cada toma está constituida por un macizo de hormigón en masa que, cimentado y unido al cantil, alcanza la cota de 306,00, y a partir de dicha cota se proyectó una torre en estructura exenta de hormigón armado hasta alcanzar la cota de coronación de presa (333,00). Posteriormente, y en su realización, se han enlazado las torres de toma con el cantil al objeto de evitar desprendimientos de roca por efecto de su meteorización.

Al nivel de la coronación las torres de tomas terminan en una plataforma de hormigón armado, sobre la que circula una grúa pórtico destinada al montaje y desmontaje de las compuertas y al movimiento de las ataguías.

Las embocaduras de las tuberías quedan moldeadas, en los macizos de hormigón en masa, y constituyen la transición entre la sección circular de la tubería de 5,00 m. de diámetro y la rectangular de 3,90 m. de ancho y 6,20 m. de alto, que sirve de marco vertical de cierre de la compuerta. La reducción de anchura se dispone de acuerdo con la contracción de la vena líquida en un derrame por orificio rectangular. La prolongación de la embocadura hasta el plano exterior de la toma, da lugar al hueco rectangular de 5,10 m. de anchura y 8,10 m. de altura, en el que se apoya la ataguía en caso de revisión de la compuerta.

El elemento principal de cierre está constituido por compuertas de tipo oruga de accionamiento rápido, a presión de aceite, situándose los servomotores en cámaras con el piso un metro por encima del nivel máximo normal del embalse: por debajo de las cámaras de servomotores se disponen las de revisión de compuertas que están provistas de elementos que las hacen estancas.

La torre se completa, frente a cada toma, con una estructura de hormigón armado y planta semihexagonal, recuadrada en rectángulos de 2,65 m. de anchura y 3,48 m. de altura, destinados a alojar los paquetes de rejilla constituidos por paneles de estructura metálica con pletinas verticales de 50 mm. de canto y 15 mm. de espesor, con separación de pletinas de 110 mm.

Los paneles de rejilla pueden correr a lo largo de las ranuras practicadas en las columnas de la

estructura de hormigón armado y ser izados y descendidos mediante el pórtico grúa de la plataforma superior.

La estructura de alojamiento de rejillas se remata a la cota de máximo nivel normal de embalse en una plataforma ciega y, asimismo, se dejan ciegos los paramentos verticales de la torre de rejilla en sus últimos 8,00 m. que corresponden a la variación normal del embalse.

Al ser las compuertas de toma, los únicos órganos de cierre de los grupos hidroeléctricos y de las tuberías, se les exigen condiciones de seguridad adecuadas a esta circunstancia, habiéndose adoptado como tiempo de cierre a plena carga el de sesenta segundos. La maniobra de apertura se prevé en dos etapas: la primera, con elevación de la compuerta de 5 cm. en seis segundos, para proceder al llenado de la tubería; y la segunda, en doce minutos y dieciocho segundos, hasta la total apertura.

Cada servomotor de compuerta está accionado por dos bombas de aceite, una de reserva, accionadas por motores independientes de 4 Kw. a 440 V. Las maniobras pueden ordenarse desde el cuadro de la central y está previsto el cierre automático en determinadas circunstancias de protección del grupo hidroeléctrico.

*Tuberías.*—Las seis tuberías están constituidas por pozos blindados perforados en el macizo granítico de la margen; su longitud en planta, entre plano de compuertas y origen de cámara espiral, es en todas ellas de 142,20 m.; el desnivel salvado, medido en su eje, es de 119 m. desde la toma al plano diametral de las turbinas. Los tramos rectos inclinados, en una sola alineación, tienen una pendiente de 47° y el enlace entre estos tramos con los horizontales de ataque a las turbinas se realiza mediante arco circular de 25 m. de radio.

El diámetro interior de las tuberías es de 5,00 metros que, en el codo inferior, se reduce gradualmente a 4,00 m., quedando con este diámetro hasta 10,20 m. del origen de la cámara espiral, en cuya zona se dispone el acoplamiento con el diámetro real de entrada de la cámara espiral con dimensiones que permiten establecer las correcciones que el replanteo y montaje requieren.

Los pozos se excavan con sección circular de 6,00 metros de diámetro, dentro de los que se monta la tubería en tramos de 10,00 m. de longitud para ser soldados *in situ* una vez asegurada su posición correcta. El blindaje, de espesor variable entre 13 y 24 milímetros, se ha proyectado teniendo en cuenta la transmisión de cargas a la roca que absorberá, cuando menos, la mitad del esfuerzo actuante sobre la tubería en sentido de dentro afuera. Al objeto de asegurar el relleno entre el blindaje y la excavación, se construye por el sistema "prepack" de árido colocado *in situ* y posteriormente inyectado con mortero fino de cemento con un aditivo patentado; el

empleo del "précompact" se ha mostrado muy adecuado por la escasa retracción observada y el perfecto relleno obtenido.

Con el fin de aumentar la resistencia del blindaje a la acción de la posible presión exterior, se le ha dotado de refuerzos formados por pletinas de  $200 \times 15$  mm., repartidas cada 1,25 m. Al objeto de extremar las precauciones contra el posible trabajo del blindaje a compresión, y para evitar que los pozos blindados constituyan un camino de las filtraciones del embalse al hastial de la central, se dispone de un drenaje al tercio inferior de la tubería, utilizando para ello la galería que sirvió de reconocimiento para ubicación de la central.

*Central generadora subterránea.* — Tanto las condiciones topográficas de la ladera, como la considerable elevación del río en crecidas, han aconsejado la adopción de la solución subterránea para alojamiento de la maquinaria hidroeléctrica. Por otra parte, la confianza adquirida en los reconocimientos realizados respecto de la calidad y continuidad del macizo granítico decidió la solución adoptada.

Una central a la intemperie o subterránea en las proximidades del río, al final del tramo aprovechado, resultaba antieconómica, tanto por el mayor volumen de obra a realizar, como porque exigiría ampliar el número de órganos de cierre; aunque la solución hubiera consistido en dos galerías de presión terminadas en sus correspondientes chimeneas de equilibrio, de las que partiesen las tuberías, no hubiera sido prudente contar con la colaboración de la roca de recubrimiento, tanto por su escaso espesor, como por la intensa fracturación superficial del terreno. La solución de central a la intemperie hubiera quedado expuesta al peligro de importantes desprendimientos de la ladera.

En consecuencia, se abandonó toda solución de alejar la central del embalse y, por el contrario, se decidió acercarla lo más posible a la toma, de acuerdo con los resultados de la exploración realizada mediante sondeos de gran longitud con anterioridad a la preparación del proyecto.

La investigación geológica en superficie señalaba la presencia, en la plataforma situada a 300 metros sobre el cauce, de una faja de granito descompuesto o "jabre" en dirección paralela a la cuerda de la curva del río. Aunque los sondeos no acusaron la presencia del "jabre", se consideró conveniente circundar el espacio que había de ocupar la central mediante una galería de reconocimiento, situada a nivel de la calota de central. Al no ser encontrado el "jabre", sino confirmada la calidad del granito acusada por los sondeos, se intentó alcanzar desde el fondo de la galería de reconocimiento, mediante sondeos horizontales, la formación descompuesta sin que fuera encontrada después de una longitud razonable de sondeo.

Las seguridades obtenidas con la galería de re-

conocimiento permitieron fijar la posición de la caverna de central en la zona de mejor calidad del batolito granítico de Aldeadávila, y el costo del reconocimiento quedó aminorado al servir la galería como de ataque de la excavación de los pozos blindados.

Aun contando con previsiones tan favorables se proyectó la organización de la central con las luces mínimas compatibles con las dimensiones de los grupos hidroeléctricos, tomándose, entre otras disposiciones especiales, la de concentrar los elementos de refrigeración de los generadores en los espacios entre máquinas, cuyas distancias venían prefijadas por la separación entre tuberías, ganándose así 1,50 metros de reducción en la luz necesaria en la sala de máquinas. Merced a éste y otros arbitrios que no perturbaban la seguridad del servicio ni la eficacia de la instalación, se ha conseguido limitar la luz de la caverna a 19,00 metros sobre vigas carriles de puente-grúa, a 18,00 m. en el piso de alternadores y a 15,50 m. en la planta de turbinas.

La altura de la excavación de la caverna, entre clave de la calota y plano de asiento de las cámaras espirales, es de 39,85 m., de los que 9,20 m. se destinan a circulación de los puentes-grúas y techo falso de la central, 11,65 m. a la sala principal de máquinas, 6,35 m. ocupados por los estator de los generadores, 7,32 m. a sala de turbinas y bóveda de sustentación de los grupos y 5,33 m. para montaje y revestimiento de cámaras espirales; si a estas alturas se agregan las ocupadas por los tubos de aspiración y la galería de drenaje y recogida de filtraciones, resulta que en las zonas de máxima profundidad la altura de excavación en la caverna sobrepasa los 52,00 m.

La estructura constituida por las vigas carriles de la central y sus pilares de sustentación es exenta de los hastiales de la caverna, al objeto de prevenir deformaciones en los paramentos de roca excavada que pudieran afectar al mantenimiento del paralelismo de las vigas carriles.

La luz de la sala de máquinas entre pilares es de 15,60 m., de los que 3,30 m. se destinan al pasillo de aguas arriba, en el que se alojan los cuadros de mando eléctrico de los grupos y 1,00 m. aguas abajo; estos pasillos quedan en rigor ampliados entre sucesivos pilares en 1,20 m. al no preverse revestimiento de los hastiales de la excavación sino simplemente una pintura silicatada para eliminación de polvo; en previsión de proyecciones de roca de los hastiales por efecto de descompresión y como precaución, las superficies de roca de los hastiales van sujetas a la masa sana del batolito mediante anclajes tipo "perfo" de 4,00 m. de profundidad, situados cada 5,00 m. Este mismo sistema de sujeción se ha adoptado en la bóveda de calota, suplementado con un gunitado armado que sustituye a la bóveda de fábrica primeramente proyectada.



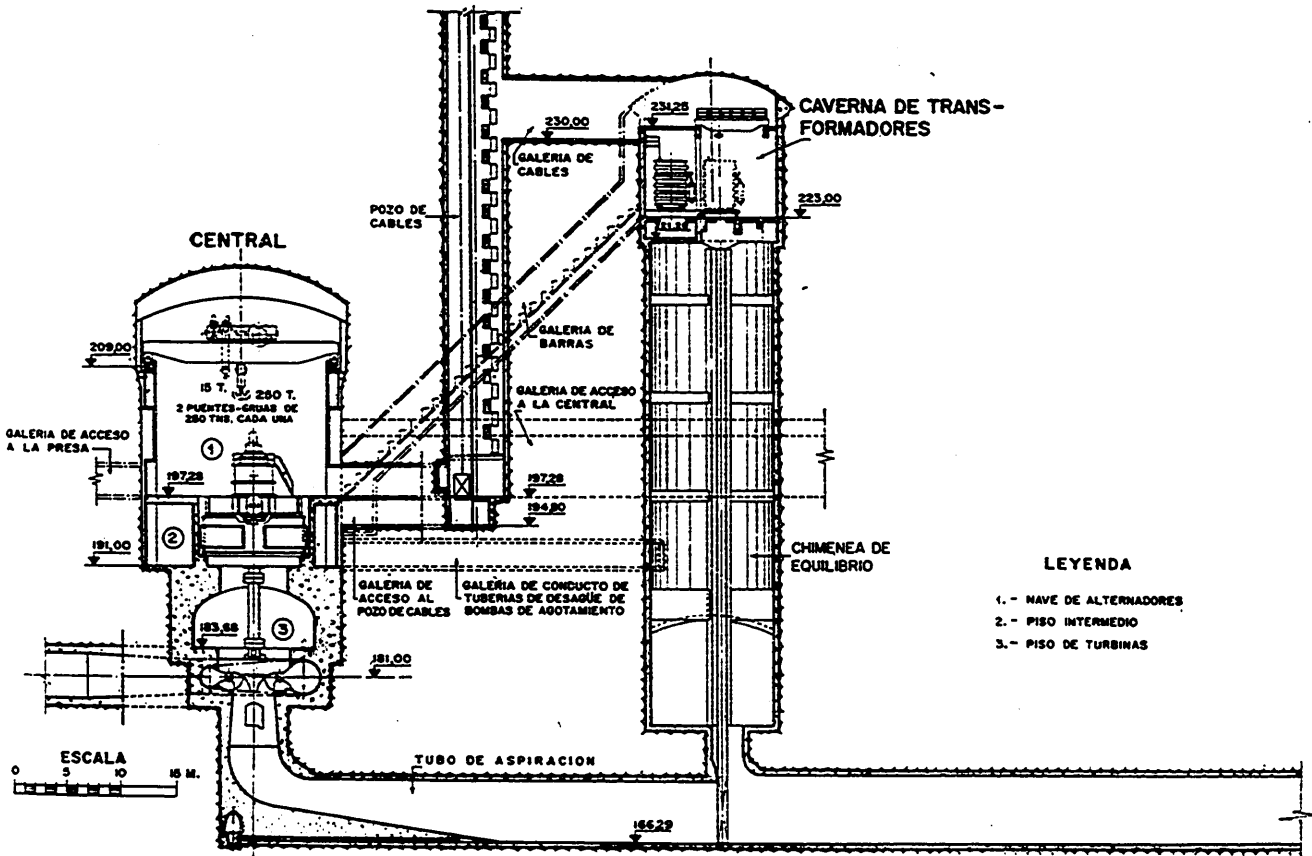


Fig. 14. — Central y caverna de transformadores. Sección transversal.

a efectos de chimenea de equilibrio, funciona como si de dos medias centrales se tratase.

Estudiada teóricamente la oscilación en masa de la chimenea, en las situaciones de explotación más desfavorables de cierres y aperturas instantáneas sucesivas y niveles máximos y mínimos en el río, se dedujo que cada media central requería una sección de chimenea de 500 m.<sup>2</sup> y al objeto de no construir pozos de tan grandes dimensiones en las proximidades de la caverna de la central, se repartió cada chimenea en los pozos comunicados entre sí, constituidos cada uno por un rectángulo de 14 m. de longitud paralela al eje de central y 11,00 m. de anchura, suplementados lateralmente por dos medios arcos de círculo de 11,00 m. de diámetro; la distancia mínima entre pozos resulta así de 9,00 m. y la forma semicircular de los remates de los pozos reduce considerablemente el trabajo de la roca entre dos chimeneas de equilibrio.

Adoptado el sistema de chimeneas de equilibrio con estrangulamiento inferior, se dispuso éste de manera de servir de paso a las ataguías de cierre de los tubos de aspiración, y el Laboratorio, anexo a la Escuela de Ingenieros Industriales, José Torrontegui, de Bilbao, se encargó de determinar, mediante

experimentación sobre modelo a escala reducida, la pérdida de carga del estrangulamiento previsto y las condiciones de desarrollo del fenómeno completo de la oscilación en masa. Fruto de estas experiencias es la solución construída que limita la chimenea en su parte inferior a la cota 177, al objeto de impedir la entrada de aire en la galería en caso de máxima oscilación negativa. Los resultados de los ensayos son desfavorables respecto de la realidad, porque la sustitución del revestimiento de los pozos por un gunitado armado ha incrementado su sección y la rugosidad de las paredes, y porque se ha dispuesto en cada chimenea una cámara de expansión inferior de 80 m.<sup>2</sup> de sección.

Las chimeneas independientes hasta la cota 216 quedan unidas en sus 6 m. superiores, con lo que se crea una cámara de expansión superior, comunicada con el exterior a través de una galería de gran sección que tuvo función auxiliar de construcción para la perforación de la calota de central y para la de la caverna de transformadores.

En coronación de las chimeneas de equilibrio corre una galería de 159,25 m. de longitud y 13,00 por 13,00 m. de sección, cuyo dintel se protege con

un gunitado armado, destinada a alojamiento de los transformadores principales de la instalación.

Un piso de hormigón armado, con las necesarias aberturas para aireación de las chimeneas de equilibrio, separa éstas de la sala de transformación en la que corre un pasillo de 5,50 m. de anchura destinado al movimiento de transformadores y de pórtico-grúa de accionamiento de las ataguías de tubos de aspiración.

A suso del pasillo se encuentran las 19 celdas destinadas a los transformadores principales, separadas por tabiques de hormigón armado y dotadas en su piso de pozos rellenos de grava para recogida y apagado del aceite que pudiera derramarse.

Sobre el techo de las celdas corre el pasillo destinado a distribución de los cables de fuerza a los distintos transformadores, pasillo que comunica por el pozo de enlace con el parque de salida de líneas.

En los dos fondos de la caverna se dispone espacio para establecer en ellos sendos depósitos de 800 m.<sup>3</sup> de capacidad cada uno, destinados a clarificar el agua de refrigeración de los cojinetes de las máquinas giratorias.

En el extremo de la caverna, del lado de tierra, se dispone una zona de montaje y accede el pozo de llegada de los transformadores, pozo que comunica directamente con un refugio lateral de la galería de acceso a la central.

El extremo contrario al pozo de acceso se comunica por galería con el exterior y cumple la doble misión de aducción de aire a las chimeneas de equilibrio y de expulsión de aire viciado de las cavernas.

Una de las finalidades de situar la caverna de transformación sobre las chimeneas de equilibrio, consiste en que su piso queda así por encima del máximo nivel de crecidas del río, con lo que, en caso de emergencia, se mantiene la alimentación de energía a la central y puede servir, además, de refugio del personal de la sala de máquinas con la que está comunicada por las tres galerías de barras y por el pozo de cables.

*Galerías de desagüe.*— El tramo del río Duero, aguas abajo de la presa, tiene una fuerte pendiente, y el aprovechamiento de este desnivel, así como la conveniencia de alejar suficientemente el punto de reintegración al río de la zona de impacto de las aguas vertidas por la presa, se logra mediante dos galerías de desagüe de 510 m. de longitud media.

La oscilación del nivel del río entre estiaje y máxima avenida, alcanza hasta 32 m. en el perfil de reintegración, lo que se traduce en el obligado funcionamiento en carga de los túneles de desagüe en época de crecidas.

La necesidad de evitar alternancias en el régimen, libre o en presión de funcionamiento de las galerías de desagüe, trae como consecuencia el llevarlas a mayor profundidad para asegurar la perma-

nencia del régimen de presión, y la precisión de dotar al origen de las galerías de adecuadas chimeneas de equilibrio.

La velocidad máxima del agua, adoptada en las galerías, es de 2,22 m./seg., con lo que la sección total de desagüe necesaria resulta ser de 273,40 m.<sup>2</sup> para los 615 m.<sup>3</sup>/seg. de caudal nominal de funcionamiento.

Aunque las condiciones geológicas del terreno hubieran permitido considerar la construcción de una galería única de la sección indicada, se ha estimado conveniente la subdivisión en dos galerías gemelas,

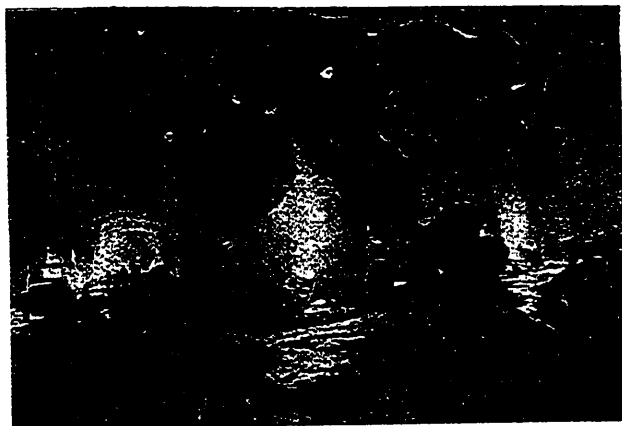


Fig. 15.—Vista del encuentro de tubos de aspiración antes de su hormigonado.

con posibilidad de revisión del desagüe, con paralización de solamente la mitad de la potencia instalada en la central.

La sección de cada galería de 136,70 m.<sup>2</sup> es de forma rectangular, ligeramente abovedada en su dintel, de 12,50 m. de anchura y 11,50 m. de altura.

Las galerías de desagüe, aunque proyectadas sin revestimiento alguno para aumentar en ellas las pérdidas por rozamiento, que favorecen la reducción de la oscilación en masa en las chimeneas de equilibrio, se han revestido groseramente con hormigón en la solera de la galería y con gunita armada en las zonas fracturadas de hastiales y calota.

El enlace de cada galería de desagüe, con los tres tubos de aspiración que a ella afluyen, se realiza con ramales de forma hidrodinámica como la que se aprecia en la fotografía de la figura tomada antes de su revestimiento.

Las desembocaduras de cada túnel forman un tramo en canal en contrapendiente, provisto de una ataguía de cierre para caso de revisión, accionada por grúa desde una plataforma, de cota 205, que queda libre de aguas hasta caudales en el río de 7.200 m.<sup>3</sup>/seg.

*Parque de salida de líneas y edificio de cuadro.*—

Proyectado primeramente el parque de salida de líneas junto a la entrada de la galería de acceso de la central, y el cuadro, dentro de la caverna principal en un testero de la sala de máquinas, la posibilidad de desprendimientos de la cornisa rocosa, que domina la zona a unos 350 m. de altura, aconsejó estudiar el cambio de emplazamiento del parque.

Existe sobre la caverna de la central, y a unos 300 m. sobre el río, una a modo de meseta, como un escalón de la penillanura general, que domina el cañón del Duero; esta meseta, conocida localmente por el Llano de la Bodega, aunque lejos de ser una plataforma horizontal, proporciona, con 30 m. de desnivel, la superficie necesaria para el parque de salida de líneas fuera del alcance de los posibles desprendimientos.

La adopción del Llano de la Bodega, como emplazamiento del parque, presentaba el inconveniente de la necesidad de construir una carretera de servicio, en prolongación de la de acceso a presa, de 2 413 m. de longitud, con 100,09 m. de desnivel, desarrollada en una ladera granítica de fuerte pendiente con curvas de cerca de 180° y radios muy reducidos; por otra parte, se hacía imprescindible construir, entre la central y el parque, un pozo de considerable altura, para llevar los cables de fuerza desde los transformadores a sus respectivas posiciones del parque.

Estudiado económicamente el problema, resultó que la reducción de la longitud de cables compensaba el costo de los accesos al parque, con la ventaja de anularse el peligro de desprendimientos y de disponer un espacio a la intemperie para el edificio del cuadro de maniobras que, a través del pozo, quedaba comunicado, con distancia mínima, con la sala de máquinas. El establecimiento del cuadro de maniobras de una central tan importante como la de Aldeadávila, por encima del nivel de máximas avenidas, y al exterior, constituye un factor psicológico en favor de la serenidad del personal directivo de la explotación de la central, que no se encuentra obligado a actuar permanentemente bajo el nivel del río.

Se ha previsto el parque de salida de líneas con doble barra a 220 kV., 6 posiciones de transformador, 8 de salida de líneas y 1 de enlace de barras, con lo que se ocupa una superficie de 10 850 m.<sup>2</sup>, en dos rasantes, con 10 m. de desnivel, destinándose la más alta a las botellas finales de los cables de transformadores y a los interruptores automáticos correspondientes.

El edificio de cuadro, con vista sobre el parque y situado sobre el pozo de comunicación con la central, consta de dos plantas: la inferior, destinada a distribución de cables de control, servicio de batería, grupo Diesel de reserva, almacén, etc., y la superior, que aloja el cuadro de mandos, llegada del ascensor del pozo de comunicación con la central, "hall", sala de conferencias, despachos y servicios. Al exterior

y a la llegada del acceso de carretera, se dispone un pequeño parque con mirador sobre la presa.

### La maquinaria hidroeléctrica.

La central está equipada por seis grupos generadores, constituidos por turbinas Francis de eje vertical de 170.000 C. V. de potencia nominal en salto de 139 m., a la velocidad de 187,5 r. p. m., asegurada por regulador electromecánico, accionado por un generador montado en el propio eje del grupo, siendo los rodets de acero inoxidable y revestidos de este mismo material los elementos sujetos a mayor desgaste.

Los generadores, directamente acoplados a las turbinas sobre el mismo eje, van provistos de refrigeración de aire en circuito cerrado, y tanto la excitatriz principal como la excitatriz piloto van montadas en la parte superior del eje de la máquina y sobresalen del piso de la nave principal de la central.

Cada dos generadores alimentan, a través de un enclavamiento que impide la puesta en paralelo a la tensión de generación de 13,8 kV., un transformador trifásico de servicio de 2 000 KVA., y relación de transformación 13,8 kV/440 V., destinado a alimentar la red en que están insertados los motores de las bombas de agotamiento, de las grúas de central y toma, las compuertas de toma, de presa y de túnel aliviadero, el accionamiento de los desagües de fondo, los motores de los ascensores, el acondicionamiento de aire, etc.

El alumbrado de la central se alimenta a través de una red a 220 V. mediante un transformador de relación 440/220 V.

Todos los transformadores situados en la caverna de central tienen el aislamiento de gas inerte y los interruptores automáticos correspondientes a los distintos servicios son de aire comprimido, con el fin de eliminar la posibilidad de incendio por proyección de aceite ardiendo dentro de la central.

Los elementos de protección y control de turbinas y alternadores tienen sus mandos e indicadores de posición repetidos en la central y en el cuadro, en el que se disponen, además, los paneles indicadores de la posición de las compuertas de presa, aliviadero y desagüe de fondo, así como las lecturas de nivel de embalse y la del río, frente al desagüe.

Como elementos auxiliares de montaje y conservación dispone la central de dos puentes-grúas de 250 toneladas de capacidad, provistas de gancho auxiliar de 15 toneladas. El movimiento, y traslado de los rotores de alternador, de 480 toneladas de peso, se consigue trabajando acoplados los dos puentes-grúas mediante una travesía especial.

La nave de turbinas dispone asimismo de pequeñas grúas móviles auxiliares destinadas a desmontar

los ejes intermedios de acoplamiento de turbina y generador y a extraer los rodetes de las turbinas que, mediante un carretón sobre vías, pueden trasladarse al pozo de comunicación con la sala de máquinas y ser izados por las grúas principales.

Constituye una particularidad de las turbinas de la central de Aldeadávila el dispositivo de inyección de aire de cada tubo de aspiración en previsión de las anomalías que pudieran llegarse a producir como consecuencia de funcionamiento distinto del calculado de las chimeneas de equilibrio en caso de maniobras repetidas de apertura y cierre del distribuidor.

Los transformadores principales, de relación de transformación 13,8/230 kV., son monofásicos, refrigerados por agua, y están montados en triángulo-estrella. Son 19 en número, disponiéndose de uno en reserva.

De cada transformador parten los cables de fuerza de 225,9 mm.<sup>2</sup>, de sección de cobre, en aislamiento de aceite y cubierta de plomo, que terminan en su correspondiente terminal, provisto de conservador de aceite, situado en el parque de salida de líneas.

Cada posición del parque de salida de líneas, va protegida por un interruptor automático de aire comprimido de 7.500.000 KVA. de capacidad de ruptura, provisto de seccionadores de "by-pass", al objeto de utilizar como reserva del de cada posición el interruptor de enlace de barras.

Completan la instalación, dentro siempre de la mayor simplicidad de su esquema, los aparatos de protección y medida adecuados a la trascendencia del servicio exigido al Salto de Aldeadávila.

### **Producción asignada al Salto de Aldeadávila.**

La capacidad de producción del Salto de Aldeadávila, se ha estimado en base de series inintermitidas de aforos de cuarenta y cuatro años de duración en el río Esla, treinta y nueve años en el Dueño y treinta y cinco años en el Tormes, teniendo en cuenta la capacidad actual de regulación del embalse de Ricobayo, en el río Esla, y la proyectada por Iberduero en el río Tormes.

En base de las series consideradas, la capacidad de producción regular del Salto de Aldeadávila, en año de 90 por 100 de probabilidad, alcanza, antes de la construcción del embalse proyectado en el Tormes, a 1 450 GWh. y a 1 800 GWh., una vez en servicio dicho embalse. En año de 50 por 100 de probabilidad la capacidad de producción del Salto de Aldeadávila es de 2 440 GWh.

Las cifras precedentes, unidas a la potencia de

la instalación, indican que el Salto de Aldeadávila es, en la actualidad, el mayor aprovechamiento hidroeléctrico de la Europa occidental.

Realización tan trascendente para la economía eléctrica nacional, que entrará en breve en funcionamiento, ha sido posible merced a la anticipada visión de mi inolvidable maestro el Ingeniero de Caminos don José Orbeago y Gorostegui (q. e. p. d.), cuyas ideas constituyeron escuela en quienes tuvimos la fortuna de trabajar con él.

El espíritu de decisión del Consejo de Administración y Dirección de Iberduero, S. A., que no han regateado los medios que estimé necesarios para el mejor estudio del proyecto, es motivo de mi más profundo agradecimiento, así como la adhesión y fidelidad del personal de Iberduero, S. A., que han prestado su laboriosidad y competencia al mismo, especialmente el Ingeniero Agrónomo don Angel Galindez Celayeta y el Ingeniero I. C. A. I., don Pedro Lucas Palazuelo, que tiene a su cargo el Laboratorio de Hidráulica de Muelas del Pan (Zamora).

Son de destacar también la colaboración del Departamento de Electricidad de Iberduero, S. A., regido por el Ingeniero de Caminos don Juan Ugalde Aguirrebengoa y del personal a sus órdenes, a cuya experiencia se debe la simplicidad del esquema adoptado y la selección de la maquinaria hidroeléctrica instalada.

Entre los colaboradores ajenos a la Sociedad concesionaria, merecen especial mención la asesoría del Ingeniero suizo Dr. Arnold Kaech y la de los especialistas geólogos don Clemente Sáenz García, Profesor de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid; Profesor Leopold, del Instituto Politécnico de Zurich, y Dr. Weyermann, de la firma Cimentaciones Especiales.

Las obras, que se realizan por el sistema de Administración pura, son dirigidas por el Ingeniero de Caminos don Francisco González, auxiliado por los también Ingenieros de Caminos don Luis Olaguibel Llovera, don Diego Aguirrezabala Ibarbia, don Román Guerrero Martín y don José Forá Becdóniz, y los Ingenieros I. C. A. I., don Juan Serrano y don Isidoro Rodríguez. Los montajes de la maquinaria hidroeléctrica están al cargo del Ingeniero I. C. A. I., don Manuel de la Puerta Clemente, de la oficina central de Iberduero, S. A., y del personal destacado en Aldeadávila a las órdenes del Ingeniero I. C. A. I., don Angel Alvarez y del Ingeniero Industrial don Francisco Olarreaga.

Todos ellos, con el personal subalterno a su servicio, son acreedores al mérito que supone la realización del proyecto del Salto de Aldeadávila.