

# EL SALTO DE ALDEADAVILA

Por PEDRO MARTINEZ ARTOLA

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

*Nos complacemos en presentar a nuestros lectores la descripción de este importantísimo aprovechamiento hidroeléctrico, desarrollado en el presente trabajo, en el que el autor, por su cargo de Subdirector y Jefe del Departamento de Ingeniería Civil de Iberduero, S. A., trata con el máximo conocimiento y autoridad los distintos aspectos del interesante tema. Por la extensión del mismo lo dividimos en dos artículos, correspondiendo a este primero los antecedentes y una sucinta y clara información sobre la solución general del aprovechamiento español del tramo internacional del Duero, para iniciar a continuación la descripción de los distintos elementos del proyecto, empezando por la presa y quedando para el próximo artículo el túnel aliviadero y todo lo concerniente a la instalación hidroeléctrica.*

La sistematización del aprovechamiento hidroeléctrico en España de los tramos inferiores del río Duero y de sus afluentes Esla, Tormes y Huebra fué producto de la clara visión y de los desvelos del prestigioso Ingeniero de Caminos D. José Orbeago Gorostegui, mi llorado maestro, a cuyo recuerdo me complazco en dedicar este artículo, en expresión del agradecimiento que debo al interés, afecto y paciencia con que guió los primeros pasos de mi vida profesional, y en homenaje al mérito de la grandiosidad de su idea de la que el Salto de Aldeadávila constituye la pieza más espectacular de su realización.

## Antecedentes.

Las actuales facilidades de transporte — automóvil, "jeep" y hasta helicópteros — que permiten establecer las bases de estudio de los ríos en ciudades en que puede disponerse de alojamientos confortables, el mejorado nivel de vida de nuestros pueblos y aldeas que nos ha librado de la mochila con alimentos, indispensables en los estudios de campo de hace años, la mejor calidad y ligereza de los equipos topográficos actuales y las facilidades de obtención previa de una excelente cartografía, hacen que los modernos ingenieros desconozcan las penalidades y trabajos a que hubieron de someterse los pioneros que realizaron los primeros estudios del aprovechamiento de nuestros ríos.

En más de una ocasión he quedado sorprendido al comprobar que aquellas nivelaciones de los estudios del Duero Internacional, que los actuales hábitos de comodidad hacían suponer poco menos que inventadas, eran lo suficientemente precisas y detalladas para haber exigido un minucioso "pateo" del

terreno, tanto más de admirar en los escarpados arribes fronterizos de Zamora y Salamanca.

De verdaderamente heroica puede calificarse la labor de un Cantero o de un Grasset y sus colaboradores, que en los primeros años del siglo estudiaron el Duero Internacional y proyectaron los primeros aprovechamientos hidroeléctricos de su desnivel.

Claro está que aquellos proyectos, anteriores a 1910, se limitaban a utilizar los tramos del río en que las laderas permitían la construcción de saltos de canal con capacidad limitada a unos 20 ó 25 m.<sup>3</sup> por segundo.

D. Federico Cantero Villamil había construido y puesto en servicio en 1905 la central de San Román en el Duero, en el que el corte de un meandro del río aguas abajo de Zamora, mediante un túnel de 1 100 m. daba origen a un aprovechamiento de más de 5 000 C.V., potencia extraordinaria para la época. Permítaseme el inciso de señalar que la conexión de este salto con Valladolid, único mercado apto para absorber su potencia en aquel tiempo, llevó a Cantero a proyectar y construir la línea eléctrica de transporte trifásico a 50 periodos de más alta tensión de Europa por entonces, 40 000 voltios.

D. Eugenio Grasset Echeverría había recorrido un sinfín de ríos españoles proyectando, construyendo y equipando una porción de aprovechamientos en distintas regiones de España, y con su concepción bohemia de la Ingeniería — hoy desgraciadamente puedo calificarla así sin que pueda tomármelo a mal —, y enterado de las andanzas de Cantero por Zamora, se decidió a recorrer la parte más abrupta del cañón del Duero en Salamanca, donde estudió y proyectó un aprovechamiento de canal similar al que su compañero había estudiado en la frontera zamorana, y otro en competencia con Cantero en el mismo tramo límite.

Aunque entre Portugal y España se iniciaron conversaciones en 1910 para permitir la ejecución de estos aprovechamientos internacionales, las notas de acuerdo que se canjearon entre los dos Gobiernos en 1912 establecieron cláusulas que hacían "de facto" imposible su realización.

Los elementos financieros que apoyaban a Grasset pusieron entonces el asunto en manos de Orbe-

cesión de los aprovechamientos del sistema debía de ser única y a favor de quien construyese la regulación, y este criterio fué compartido por todos los organismos que en la tramitación intervenían. Pero quedaba por salvar un escollo al parecer insuperable.

El acuerdo de 1912 prescribía que los aprovechamientos de los tramos de los ríos fronterizos entre

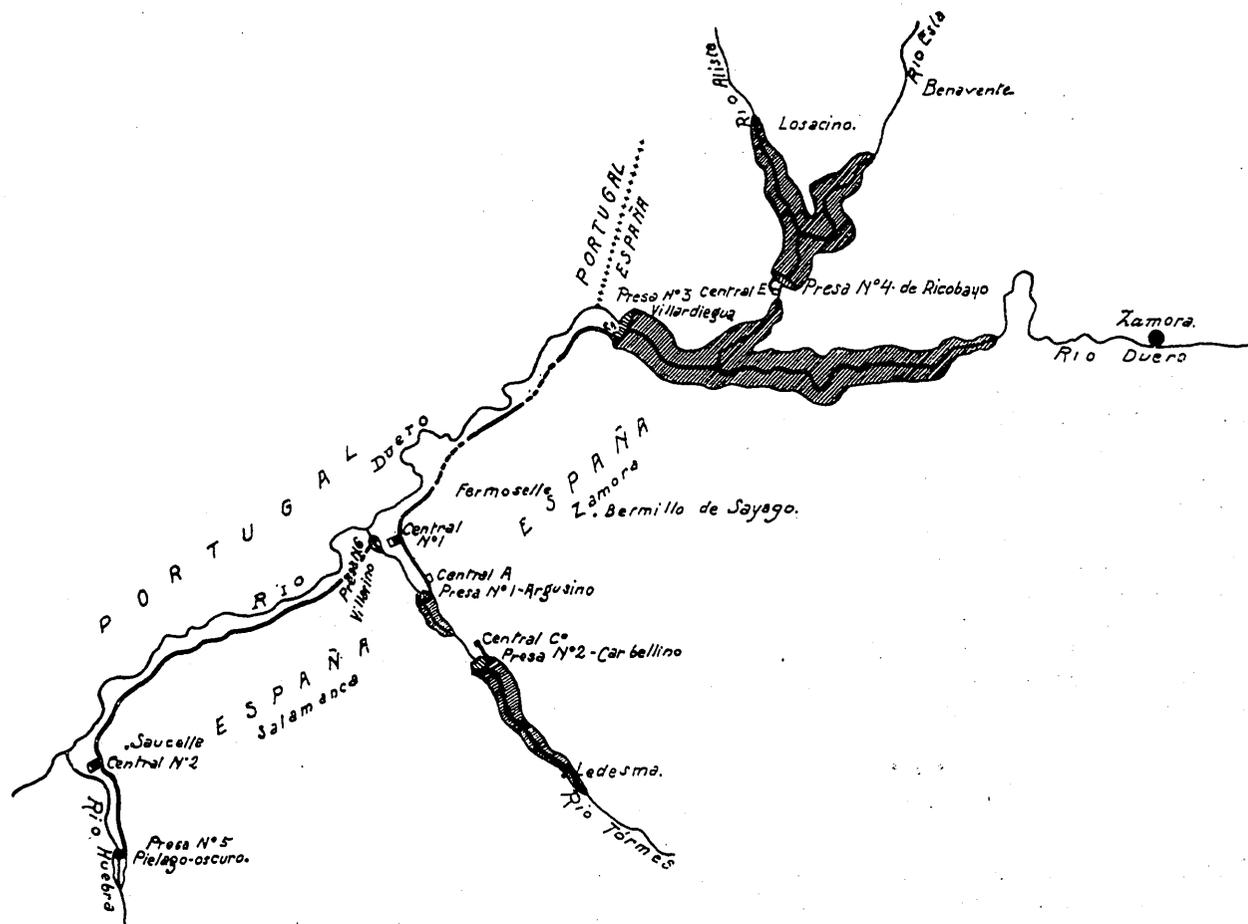


Fig. 1.ª — Solución española de aprovechamiento del Duero Internacional.

gozo, quien después de logrado un acuerdo con Cantero, que había estudiado y obtenido concesiones en el Duero Español aguas abajo de San Román, concibió la entonces singular y revolucionaria idea de englobar en un sistema los proyectos de los dos competidores, dotando al conjunto de importantes embalses reguladores en cabeza en los ríos Esla (Ricobayo) y Duero (Villardiegua).

No son de contar aquí las peripecias a que dieron lugar las ideas de Orbeagozo y sus proyectos, cuya tramitación hubo de salvar toda la gama de incidentes y dificultades que en la picaresca concesional entonces se conocían.

Estimaba Orbeagozo, con toda razón, que la con-

cesión de los aprovechamientos del sistema debía de ser única y a favor de quien construyese la regulación, y este criterio fué compartido por todos los organismos que en la tramitación intervenían. Pero quedaba por salvar un escollo al parecer insuperable.

El acuerdo de 1912 prescribía que los aprovechamientos de los tramos de los ríos fronterizos entre España y Portugal habían de tramitarse separadamente en los dos países (cláusula 2.ª), y que la concesión otorgada por una de las dos naciones no obligaba a la otra (cláusula 6.ª).

Al amparo de estas cláusulas se desarrolló en Portugal una campaña, incluso política, contra los proyectos de Orbeagozo, a la que no eran ajenos intereses de otras naciones, que cerró las puertas al buen deseo de las autoridades competentes de España.

No se desanimó por ello Orbeagozo, y haciendo gala de su ingenio, apoyado por su incansable tenacidad, ideó un sistema de aprovechamiento que, cubriendo la casi totalidad del desnivel del tramo in-

ternacional del Duero, se desarrollaba todo él en territorio español sin tocar el curso fronterizo ni precisar de las laderas portuguesas del mismo.

Esta solución, que desde el principio fué denominada "solución española", comprendía, además, el aprovechamiento con embalses del río Tormes, en un desnivel de más de 400 m. y el del río Huebra con 181 m. de salto.

La solución española, que se presenta en planta en la figura 1.ª, inició su tramitación en el año 1921, y después de una peregrinación burocrática, en la que no faltaron inexplicables pérdidas de documentación, fué conocida y estimada por el insigne Ingeniero de Caminos Sr. Conde de Guadalhorce, quien como Ministro de Fomento la aprobó, en principio, otorgándose su concesión por Real Decreto-Ley de 26 de agosto de 1926.

Respetuoso siempre el Gobierno Español con los intereses de Portugal y deseoso de llegar a un acuerdo que hiciera factible, en beneficio de los dos países, el aprovechamiento hidroeléctrico del tramo internacional del Duero y con él el desarrollo de los proyectos de Orbeagoz en España, que tanto habían de beneficiar a la Economía Nacional, el R. D.-Ley citado suspendía por dos años la concesión del desnivel del tramo fronterizo a fin de dar tiempo a discutir y lograr el oportuno acuerdo con Portugal, a cuyo acuerdo habrían de subordinarse los proyectos definitivos de utilización en el tramo en cuestión.

Inmediatamente se iniciaron las gestiones diplomáticas para la creación de una Comisión Mixta encargada de elaborar el proyecto de Convenio, en cuya Comisión la representación española estaba constituida por el ex Ministro de Estado y Catedrático de la Universidad de Madrid Excmo. Sr. don José de Yanguas y Messía y los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos Excmo. Sr. D. Antonio Fernández Navarrete y Hurtado de Mendoza, Marqués de Legarda, ex Presidente del Consejo de Obras Públicas; D. Luis Morales y López-Higuera y D. Carlos Santa María y García, Ingenieros Jefes del Cuerpo.

Es grato para mí consignar la satisfacción con que el actual Ministro de la Embajada de España en Lisboa recuerda la actuación de su padre don Luis Morales en el logro del acuerdo.

Las negociaciones de la Comisión Mixta fueron rápidas, aunque difíciles, y se plasmaron en el Convenio Hispano-Portugués de 12 de agosto de 1927 por el que, salvándose las dificultades que ofrecía el de 1912, se repartían entre los dos países los derechos de aprovechamiento hidroeléctrico, adjudicándose a España el desnivel comprendido entre las desembocaduras del Tormes y del Huebra, y a Portugal el comprendido entre el origen del tramo y la desembocadura del Tormes, más el restante entre la desembocadura del Huebra y la entrada del Duero en Portugal. Prácticamente, los desniveles se repartie-

ron por partes iguales, quedando beneficiado el reservado a España por la regulación proyectada en el Tormes.

Según manifestación publicada por el Sr. Yanguas Messía, el beneficio que en el reparto recibió España trató de compensar la obligación que el Convenio le imponía de construir previamente el embalse regulador del río Esla.

La firma del Convenio con Portugal cerró la etapa concesional de los que desde entonces se llamaron "los Saltos del Duero", y permitió la inmediata financiación de la empresa concesionaria que acometió en 1929 la construcción del embalse y salto de Ricobayo, puesto en explotación en 1934.

La paralización industrial que sufrió España desde precisamente 1934 hasta el final de la guerra de Liberación en 1939 y las dificultades internacionales que para el País se siguieron, retrasaron hasta 1943 la prosecución de las obras en las concesiones otorgadas.

Las dificultades aludidas se tradujeron, en el campo del progreso de la técnica hidroeléctrica, en un aislamiento que obligó a desdoblarse el proyectado Salto de Villardiega ante la falta de datos en España para el estudio de presas vertedero de 80 m. de altura con concentraciones de caudal en su pie de más de 150 m.<sup>3</sup> por segundo por metro lineal; este desdoblamiento dió origen a los Saltos de Villalcampo y de Castro, el primero puesto en servicio en 1949 y el segundo en 1952.

El continuado incremento del consumo eléctrico en España exigía poner en explotación nuevos aprovechamientos hidroeléctricos de los desniveles de nuestros ríos y, entre ellos, ofrecía excepcional interés el tramo internacional del río Duero reservado a España por el Convenio Hispano-Portugués de 1927.

### **Solución general del aprovechamiento español del tramo internacional del Duero.**

Entre los proyectos estudiados y tramitados en España con anterioridad al otorgamiento de la concesión de 1926 existía uno, llamado del Salto de Lagoaça, que con ligeras modificaciones, por invadir el tramo reservado a Portugal y por tener una de las centrales en territorio portugués, podía adaptarse a lo dispuesto sobre partición en el Convenio citado.

Este proyecto, inspirado en la técnica de la segunda decena del siglo, consistía en una presa de derivación de unos 80 m. de altura emplazada aguas arriba del cañón granítico de Aldeadávila, con un salto de pie de presa en Portugal para utilización de sobrantes y un canal en España, que, siguiendo la margen del río llegaba hasta Saucelle y alimentaba una central con un desnivel de unos 160 m. La potencia prevista en la instalación era de 135.000 C.V.

en la central de sobrantes y de 309 000 C.V. en la de Saucelle, con una producción anual media de 1 333 GWh.

Aquel proyecto que en el R. D.-Ley concesional se denominaba "Lizundia", por el nombre del petionario, según la R. O. de 4 de abril de 1929, de adaptación de la concesión al Convenio, debía considerarse como proyecto base de concesión, con las modificaciones que la técnica aconsejase en favor del mejor aprovechamiento del tramo.

Ya en mis primeras visitas del año 1927 al tramo internacional del Duero, se me ofrecieron patentes las excepcionales condiciones que el macizo granítico de Saucelle ofrecía para implantar, muy cerca del final del tramo reservado a España, una presa de unos 60 m. de altura sobre el cauce, cabeza del aprovechamiento correspondiente.

En aquellas visitas, el aspecto dantesco de la garganta de Aldeadávila invitaba a considerarla como futuro emplazamiento de presa.

Puedo decir que, desde entonces, establecí la conclusión de que el aprovechamiento español del tramo internacional del Duero se debía realizar en

dos saltos, el de Saucelle, en la parte inferior del tramo y el de Aldeadávila en la superior.

Las soluciones que a estos saltos podían darse estaban entonces muy distantes de las que el enorme progreso de la técnica hidráulica ha consentido hoy adoptar; el problema del vertido sobre presas de cierta altura estaba apenas planteado, las grandes galerías de conducción en presión constituían una aventura, y la fórmula de centrales subterráneas con sus canales de desagüe en túnel a nivel más bajo que el del río ni siquiera se había entrevisto.

Se sabía que los aliviaderos de las presas en el Duero Internacional debían disponerse para evacuar caudales superiores a los 10 000 m.<sup>3</sup>/seg., y esta sola idea acrecentaba la dificultad de la solución, dado que apenas había nacido la aplicación a estos problemas de la experimentación sobre modelo a escala reducida.

Si el retraso de diez años en acometer el aprovechamiento del tramo internacional del Duero fué mal mirado por algunos funcionarios de la Administración, tuvo la enorme ventaja de permitir que se beneficiara del progreso extraordinario de la técnica hidroeléctrica en el segundo cuarto del siglo y de que se lograsen soluciones de máxima utilidad y economía sin que a este retraso puedan achacarse graves perjuicios en el abastecimiento eléctrico nacional.

Por otra parte, el Decreto-Ley de concesión permitía el escalonamiento, con determinadas prescripciones, de la construcción de los distintos aprovechamientos concedidos y, sin premura por esta circunstancia, el concesionario de los Saltos del Duero viene adelantando el comienzo de las obras de un aprovechamiento a la puesta en servicio del precedente, al objeto de acrecer las disponibilidades de la producción respecto de las necesidades del consumo.

Apenas iniciada la construcción del Salto de Castro en 1948, se intensificaron los estudios del aprovechamiento del tramo internacional del Duero, cuya partición en los saltos de Saucelle y Aldeadávila había sido ya presupuesta, y en corto plazo fué sometido a la consideración de la Superioridad un esquema de aprovechamiento de la zona reservada a España en el tramo internacional del Duero, que se representa en planta y perfil en la figura 2.<sup>a</sup>.

Las condiciones topográficas de las laderas de Saucelle imposibilitaban en la práctica la solución de salto único para aprovechamiento del desnivel total, que hubiera exigido la construcción de una presa de unos 220 m. de altura con volumen de varios millones de metros cúbicos de fábrica en un terreno en que la estribación en la margen izquierda, con un vallejo paralelo al río a 100 m. de altura, me recordaba con demasiada insistencia la catástrofe del aliviadero del salto de Ricobayo.

De otro lado, la solución de salto único desbor-

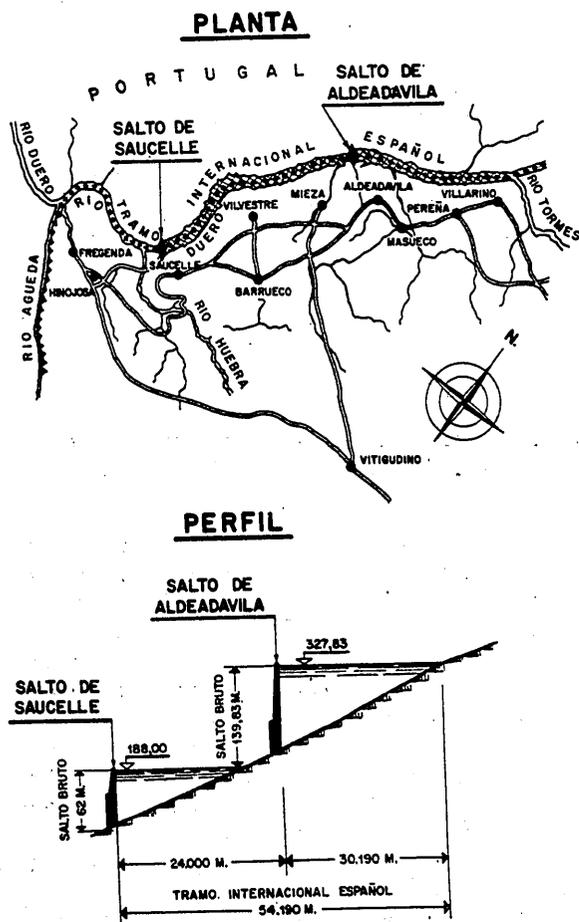


Fig. 2.<sup>a</sup> — Esquema aprobado para aprovechamiento del tramo internacional del Duero reservado a España.

daba las posibilidades financieras y constructivas compatibles con las disponibilidades económicas nacionales y con el plazo exigido por el mercado eléctrico de puesta en servicio en España de nuevos aprovechamientos hidroeléctricos.

La solución escalonada del "Esquema", mejor adaptada a las condiciones topográficas y geológicas, de mayor simplicidad técnica y más en consonancia con la economía nacional, fué aprobada por O. M. de 9 de enero de 1953.

El "Esquema" en cuestión comprende el Salto de Saucelle, que utiliza un desnivel de 62 m. con central equipada con 240 000 kW. en cuatro grupos, y el de Aldeadávila que aprovecha los restantes 139,835 m. del tramo con potencia instalada de 720 000 kW. en seis unidades. La producción del conjunto en año de hidraulicidad media es de 3 490 GWh.

La simple comparación de las cifras precedentes con las análogas del proyecto "Lizundia" encarece la previsión de su posible mejora recogida en lo dispuesto en la R. O. de 4 de abril de 1929.

### Elementos del proyecto del Salto de Aldeadávila.

El criterio que ha presidido la concepción y elaboración del proyecto del Salto de Aldeadávila responde, dentro de las características especiales de su emplazamiento, a las directrices básicas siguientes:

- a) Capacidad de evacuación de una avenida máxima de caudal no inferior a 12 500 m.<sup>3</sup>/seg.
- b) Utilización del desnivel total disponible en el Duero por encima del salto de Saucelle.
- c) Funcionamiento del salto en puntas con la máxima elasticidad posible para seguir la curva de demanda del mercado eléctrico en las modalidades de explotación previsibles para el futuro.
- d) Potencia instalada suficiente para completar las necesidades de punta del sistema constituido por los saltos de Ricobayo, Castro, Villalcampo, Saucelle y Aldeadávila, teniendo en cuenta la regulación proyectada en el río Tormes.
- e) Cumplimiento de las condiciones impuestas por el Convenio Hispano-Portugués de 1927 y de las normas complementarias al mismo aprobadas por la Comisión Internacional encargada de su regulación.

De las directrices señaladas se derivan las características fundamentales de los distintos elementos que comprende el Proyecto que se resumen a continuación:

1.º La presa vertedero en bóveda gruesa de 133,50 metros de altura, provista de ocho compuertas de segmento en coronación que cierran vanos de 14 m. de luz y 7,835 m. de altura hasta el nivel máximo normal de embalse, siendo el resguardo de la presa

sobre dicho nivel máximo normal de 5,165 m. La presa dispone de dos desagües de fondo de 2,50 m. de diámetro dotados de compuertas oruga de guarda a la entrada y de válvulas de chorro hueco a la salida.

2.º El túnel aliviadero equipado con compuertas automáticas situado en la ladera portuguesa, con capacidad de desagüe de 1 450 m.<sup>3</sup>/seg. a nivel máximo normal de embalse y de 2 800 m.<sup>3</sup>/seg. utilizando el resguardo de la presa.

3.º La obra de toma de aguas en la ladera española y junto al estribo de presa que comprende seis embocaduras independientes, una para cada unidad hidroeléctrica, equipadas con sus correspondientes compuertas y rejillas y dispuestas a la profundidad compatible con la posible utilización de los 48 millones de metros cúbicos de la capacidad superior del embalse.

4.º Seis pozos inclinados de 5 m. de diámetro neto, blindados con chapa de acero que enlazan cada embocadura con su correspondiente turbina.

5.º La caverna de la central destinada a alojar los seis grupos generadores de eje vertical con potencia en cada uno de 120 000 kW.

6.º Dos galerías de desagüe en presión, independientes y gemelas, de 136,70 m.<sup>2</sup> de sección cada una, destinadas a restituir el caudal aprovechado al río y a utilizar los 22 m. de desnivel existentes entre el emplazamiento de la presa y el punto de restitución.

7.º Las chimeneas de equilibrio, sobre el origen de las galerías de desagüe, constituidas por cuatro pozos verticales de 250 m.<sup>2</sup> de sección que, enlazados de dos en dos, actúa cada par sobre el conjunto de los tubos de aspiración de tres turbinas y una galería de desagüe.

8.º Una caverna paralela a la de la central, situada sobre las chimeneas de equilibrio, destinada a alojar los 19 transformadores monofásicos (uno de reserva) de 50 000 KVA. de potencia unitaria y relación de transformación 230/13,8 kV.

9.º El parque de salida de líneas al exterior y sobre la caverna de central, dispuesto para recibir las seis posiciones de alimentación a 230 kV. correspondientes a los transformadores y para establecer ocho posiciones de líneas a la misma tensión.

10. El edificio destinado a cuadro de maniobra, junto al parque de salida de líneas, comunicado con la caverna de transformadores mediante el pozo de cables que se prolonga hasta el nivel de la caverna de central. El pozo en cuestión, vertical, de 5 m. de diámetro y 317,75 m. de altura, va dotado de escalera y ascensor con descansillo especial a la altura de la coronación de la presa.

Son elementos complementarios de la instalación en territorio español, la carretera en galería de acceso a la central, con 650 m. de longitud y 60 m.<sup>2</sup> de sección; la carretera de acceso a la coronación de

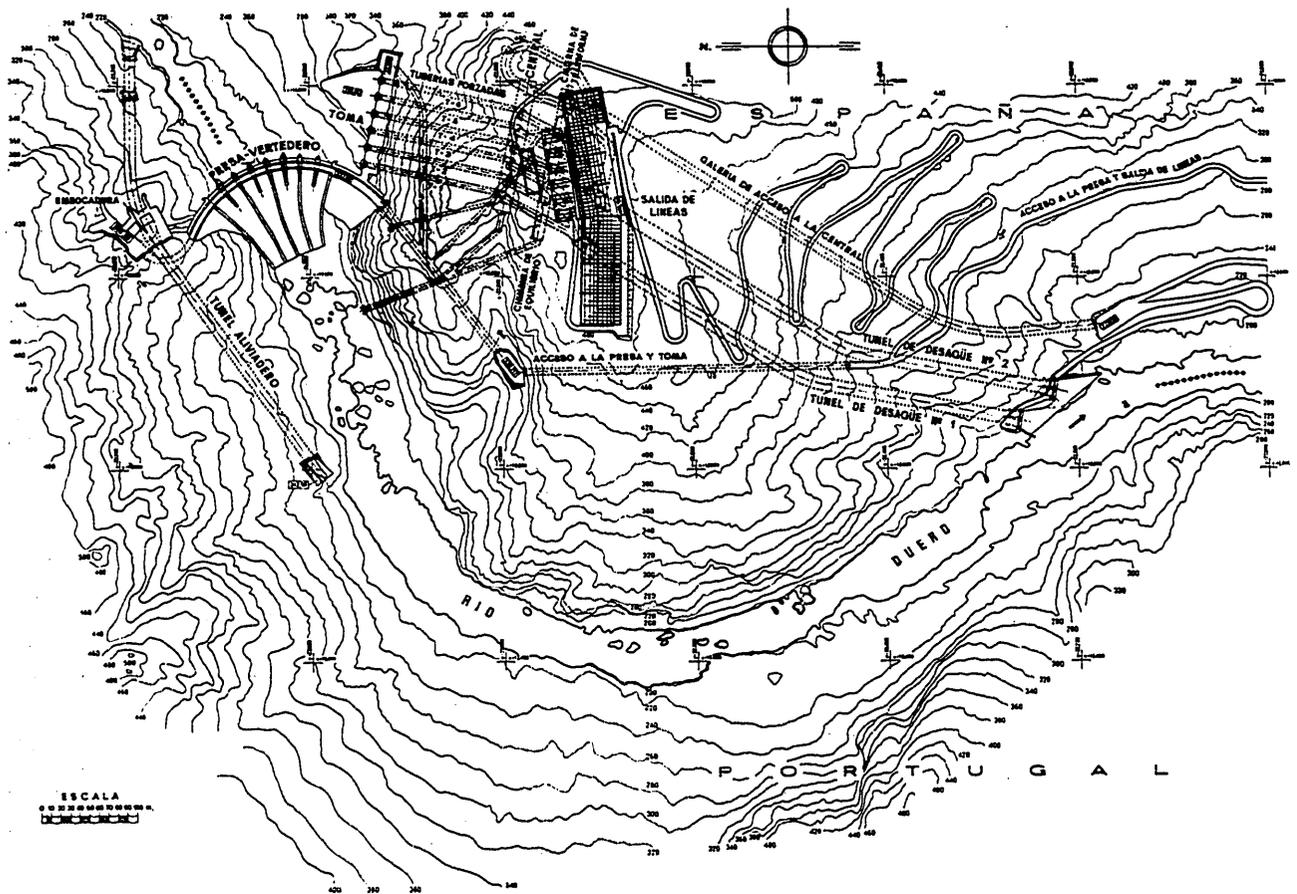


Fig. 3.ª — Pianta general.

presa y toma de aguas con dos tramos en túnel de 337 m. y 388 m.; la pista de acceso al parque de salida de líneas que constituye un ramal de la anterior y la galería de enlace entre la carretera a coronación de presa y el pozo de cables.

En territorio portugués la coronación de la presa se enlaza con la de la embocadura del túnel aliaviadero mediante un tramo de carretera que comprende un trozo de galería de 75 m. de longitud.

Completa las instalaciones del Salto de Aldeadávila el poblado para residencia del personal de ex-

plotación, que queda situado sobre la cola del remanso de saucelle a 1,5 Km. de la galería de acceso a la central.

El tramo final del cañón granítico del Duero, que desaparece en la cola del remanso del Salto de Saucelle, constituye el emplazamiento ocupado por las instalaciones del Salto de Aldeadávila, que queda enclavado en término de Aldeadávila de la Ribera (provincia de Salamanca), limítrofe con la Feligresía de Bruço en Portugal.

El tramo del río, cubierto por las instalaciones

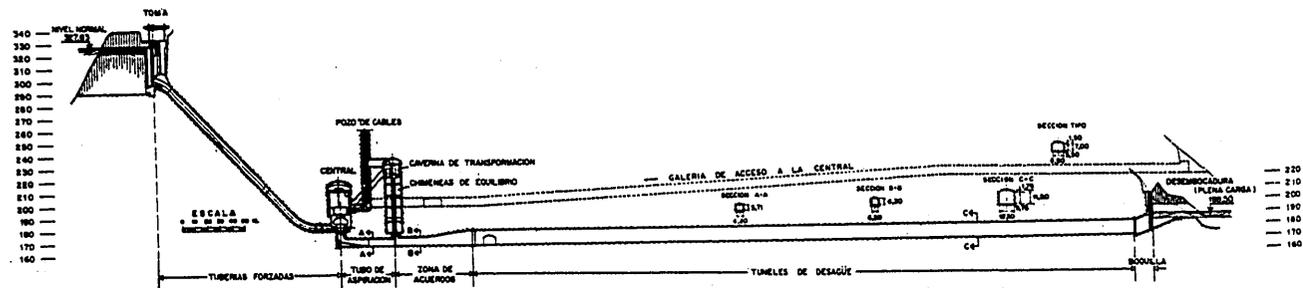


Fig. 4.ª — Perfil longitudinal del salto.

del salto forma una curva convexa hacia Portugal, cuya cuerda es sensiblemente seguida por la traza de la conducción del salto.

Del mismo modo que en el Salto de Saucelle, el de Aldeadávila se desarrolla al final de uno de los pocos macizos graníticos que cortan la formación gneísica predominante en el valle del Duero, aguas abajo de Zamora.

La importancia de las instalaciones que comprende el salto exigía un concienzudo estudio geológico previo del emplazamiento elegido que, forzosamente, había de completarse y confirmarse exhaustivamente dada la profusión de obras subterráneas objeto del proyecto.

A una intensa campaña de sondeos y pruebas de impermeabilidad e inyección del sitio de la presa, que comprobaron el favorable supuesto geológico inicial, siguió la perforación de una galería alrededor de la zona que había de ocupar la central al objeto de precisar su posición definitiva, y esta galería reveló la excepcional calidad del batolito granítico que habían de atravesar las obras de conducción del salto.

La misma calidad excepcional del granito, hasta el nivel de coronación de la presa, se encontró en la margen portuguesa con ocasión de la perforación de la galería de desviación de aguas y la preparación de los caminos de acceso a las obras, no sin que en una y otra márgenes apareciesen accidentes locales de exfoliación superficial del granito, y diaclasas que merecieran una consideración y tratamiento especial.

La exfoliación de roca sana en el fondo del cauce hasta más de 15 m. de profundidad, acusada ya en los sondeos preliminares, ha sido puesta de manifiesto en la excavación del cimiento de la presa, y ha requerido un tratamiento de lavado e inyección de gran intensidad en operaciones muy meticulosas que se han traducido en varios meses de retraso en el hormigonado de la presa.

La falla que atraviesa la cimentación del estribo izquierdo de la presa, y que cruzando el río se adentra en Portugal, fué estudiada especialmente al objeto de comprobar su posible inocuidad frente a la distribución y dirección de los esfuerzos que la presa había de transmitir al estribo en cuestión.

Un cruce de dos diaclasas importantes en el estribo derecho, la una casi vertical y normal al río, inmediatamente aguas arriba de la presa, y la otra paralela y buzando hacia él, fué motivo de especial atención. La perforación de galerías en continuación de las de vigilancia de la presa, la del pozo piloto para excavación del pozo inclinado del túnel aliviadero y un ramal en la galería de comunicación de coronación de la presa con la embocadura de dicho túnel, permitieron examinar dichas diaclasas y su cierre en el interior del macizo, así como disponer y proyectar un tratamiento de absoluta garantía.



Fig. 3.ª — Vista del accidente denominado "Basto".

La finalidad de detenerme en estos aspectos geológicos de detalle, que podrían ser objeto de un artículo especial redactado por pluma más autorizada que la mía, es llamar la atención de los compañeros que se ocupan del proyecto y ejecución de obras hidráulicas en granito, para que prescindan de la

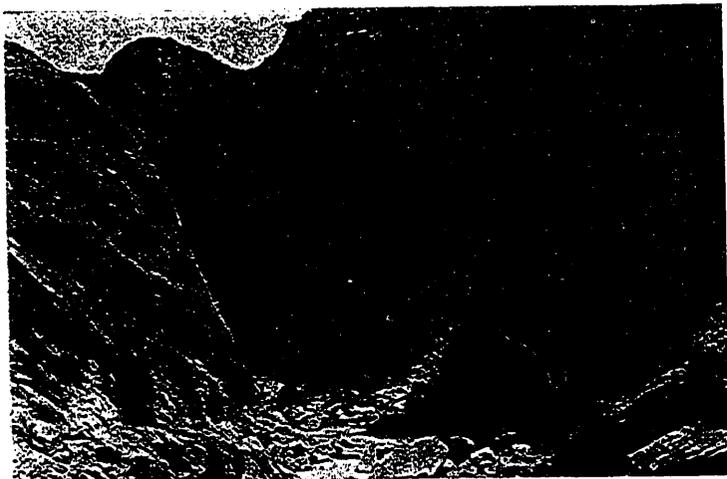


Fig. 6.<sup>a</sup> — Vista de la cerrada.

fama de bondad que corrientemente se asigna a esta roca, cuyos accidentes locales pueden dar lugar a serios contratiempos si no se examinan a fondo y con espíritu de gran desconfianza.

Por otra parte, si visto el emplazamiento desde la orilla española cabía pensar que la limitación de altura del salto de Aldeadávila exigida por el Convenio Hispano-Portugués de 1927 constituía un entorpecimiento para el aprovechamiento más econó-

mico del desnivel del tramo internacional del Due-ro. se puede afirmar, después de investigada y reconocida la margen portuguesa, que la coronación de la presa de Aldeadávila, al nivel que se ha situado, agota, metro más metro menos, las características geológicas favorables de la cerrada.

La exfoliación de la margen izquierda de la cerrada, probablemente mezcla de fenómenos de origen térmico y de los debidos a la descompresión de la roca al formarse el valle, ha dado lugar, junto a la estribación de la presa (fig. 5.<sup>a</sup>), a una pieza semejante a un as de bastos que, en caso de ser socavada en su pie podría desprenderse con reducción importante del peso estabilizador de la roca de estribo. A fin de evitar esta eventualidad y como medida de prudencia, se procede a su consolidación y anclaje al resto de la ladera.

Si la forma de la cerrada y la resistencia y calidad de la roca que la constituye invitaba a la adopción de una presa de tipo bóveda delgada, de simple o doble curvatura, de la que era partidario el finado Semenza, influyó más en mis ideas la consideración del problema de evacuación de avenidas de más de 12 500 m.<sup>3</sup>/seg., de los que una buena parte había de ser vertido por la presa.

La solución de presa gravedad quedaba automáticamente eliminada por el gran volumen de fábrica que precisaba y, como, por otra parte, al considerar

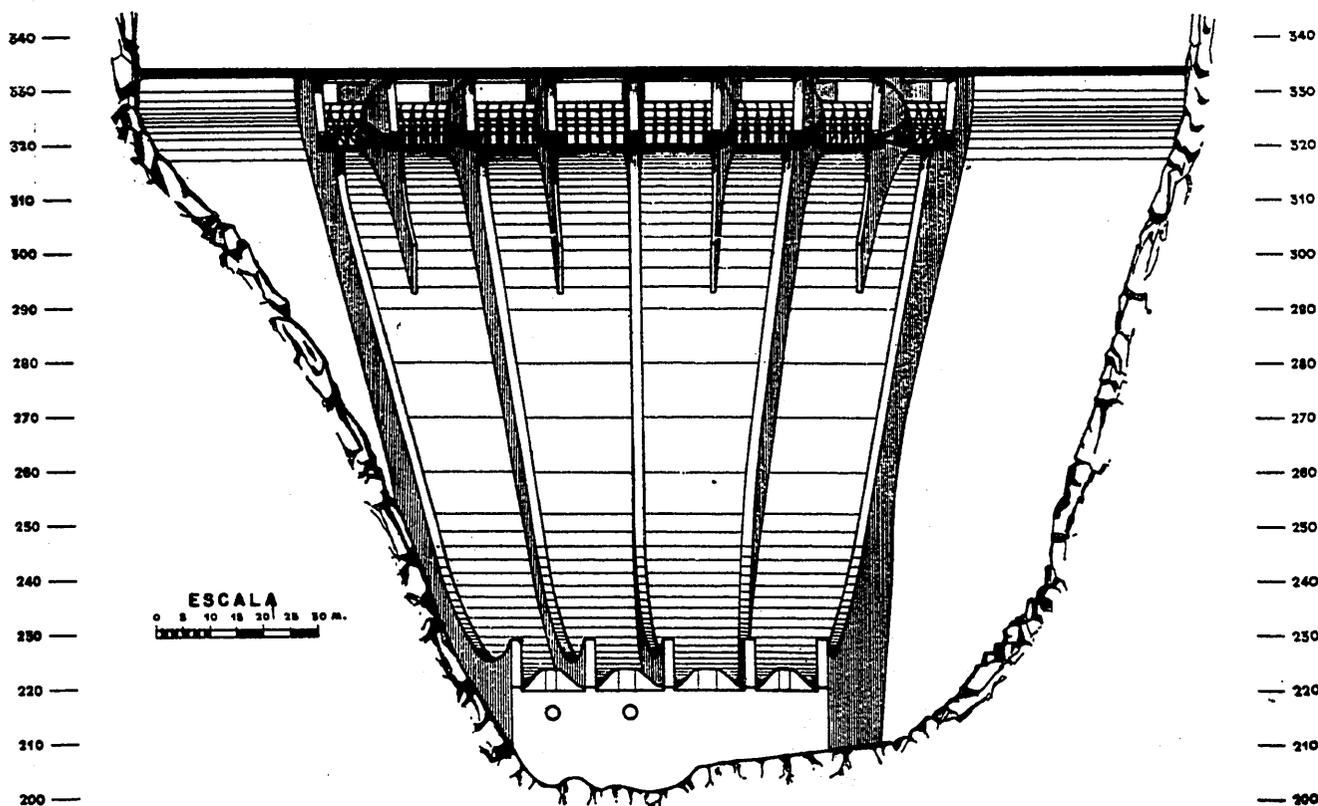


Fig. 7.<sup>a</sup> — Vista de la presa desde Yuso.

la longitud necesaria de vertedero, se hacía preciso que la coronación de la presa tuviera fuerte curvatura, era lógico tener en cuenta esta circunstancia que, en todo caso, conduciría a una presa arco-gravedad con la consiguiente distribución de esfuerzos y posibilidad de forzar al máximo el talud del paramento de yuso.

Sin embargo, se tanteó una solución de presa bóveda delgada, no vertedero, con tres túneles aliviaderos, dos por la margen izquierda y uno por la derecha, de unos 10,00 m. de diámetro cada uno, pero la solución, aparte de no conducir a economía apreciable, complicaba extraordinariamente el dispositivo del aprovechamiento hidroeléctrico al precisar concentrar en la margen española, en un espacio muy reducido, las embocaduras de dos grandes galerías de evacuación de avenidas y los elementos de toma y conducción del aprovechamiento hidroeléctrico.

Aunque el periodo histórico estudiado respecto del régimen del río Duero abarca varios centenares de años y puede garantizarse que el caudal máximo de crecida en su tramo internacional no ha sobrepasado en los últimos quinientos años los 9.000 metros cúbicos/seg., es criterio del proyectista que los dispositivos de evacuación de avenidas de las presas de embalse deben establecerse con margen considerable aprovechando la elasticidad del régimen libre del vertedero en que la capacidad de evacuación crece con la potencia  $3/2$  de la altura de embalse sobre el umbral, frente a la potencia  $1/2$  sobre el eje cuando se trata de un régimen en orificio.

La elasticidad de la capacidad de evacuación se obtiene así con un razonable resguardo en la coronación de la presa, algo superior al usual, que permite, sin daños irreparables, hacer frente a puntas de avenida superiores a las previstas, y sin posibilidad de consecuencias graves por error en la intervención de la mano del hombre en el manejo de compuertas.

En el caso de la presa de Aldeadávila ha sido posible extremar este criterio elevando el resguardo a 5,165 m., dado el escaso valor de los terrenos de la zona que resulta así excepcionalmente inundable.

La misma consideración de evitar, en cualquier caso, daños irreparables, conduce a la necesidad de guiar las grandes láminas vertientes hasta su reintegración al río, al objeto de que la ulterior socavación del cauce se produzca en lugares o zonas de los que no resulten peligros de ataque al pie de la presa o a las márgenes inmediatas.

La última consideración expuesta es incompatible con la solución de presa bóveda delgada, con vertedero en su coronación, a menos que se dispusiera, análogamente a lo realizado en la presa de Picote (Portugal), una estructura yuxtapuesta a la presa capaz de realizar la misión de conducir, guiada hasta el río, la lámina vertiente.

Frente a una complicación de construcción mucho

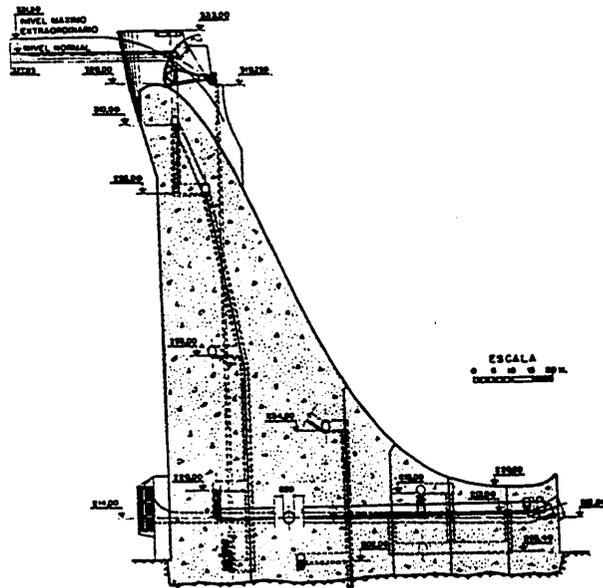


Fig. 8.ª — Perfil de la presa.

mayor, la solución adoptada en Aldeadávila conduce a un ligero aumento del volumen de obra. Esta solución consiste en incorporar a la presa la estructura de acompañamiento del agua en el vertido, adoptando para la presa un perfil de bóveda gruesa en el que el paramento de yuso constituye el apoyo y guía de la lámina vertiente y la coronación del vertedero se perfila aproximándola a la forma de máxima depresión admisible en la lámina, manteniéndola siempre adherida.

Las características principales de la presa de Aldeadávila son las siguientes:

Altura de la presa sobre el fondo de la excavación .....	139,50 m.
Altura del resguardo sobre nivel máximo normal de embalse .....	5,165 »
Radio de la coronación .....	120,00 »
Desarrollo del arco de coronación ....	250,00 »
Apertura angular de coronación .....	120°
Espesor en coronación .....	7,50 m
Espesor máximo de la presa propiamente dicha .....	45,00 »
Capacidad de vertido a nivel máximo normal de embalse .....	7 000,00 m. <sup>3</sup> /s.
Capacidad de vertido utilizando el resguardo .....	11 000,00 »
Volumen de hormigón sin obra de lanzamiento .....	734 904,00 m. <sup>3</sup>
Volumen de hormigón en la obra de lanzamiento .....	119 682,00 »
Volumen de excavación .....	205 650,00 »

El paramento de trasdós, con la coronación modificada, por causa del vertedero, es una superficie cilíndrica vertical de 120 m. con eje ligeramente deformado.

El paramento de intradós está definido por una directriz quebrada de pendiente 45/100 a continuación de la forma especial del umbral del vertedero y después vertical hasta el cimientó; las generatrices son circulares de radio variable.

Dada la escasa exactitud que ofrece el método de cargas de prueba, y después de realizados los tanteos correspondientes al ajuste radial y tangencial, se sometió la estructura a ensayo sobre modelo re-

dispuesto la posibilidad de repetir las inyecciones de sellado en caso necesario.

Proyectada la obra de lanzamiento con junta abierta que la separada de la bóveda, se estudió sobre modelo el efecto de que formara cuerpo con la misma; como era de esperar, este efecto resultó favorable porque al aumentar la rigidez de las ménsulas centrales se descargaban los esfuerzos en las partes altas de la bóveda.

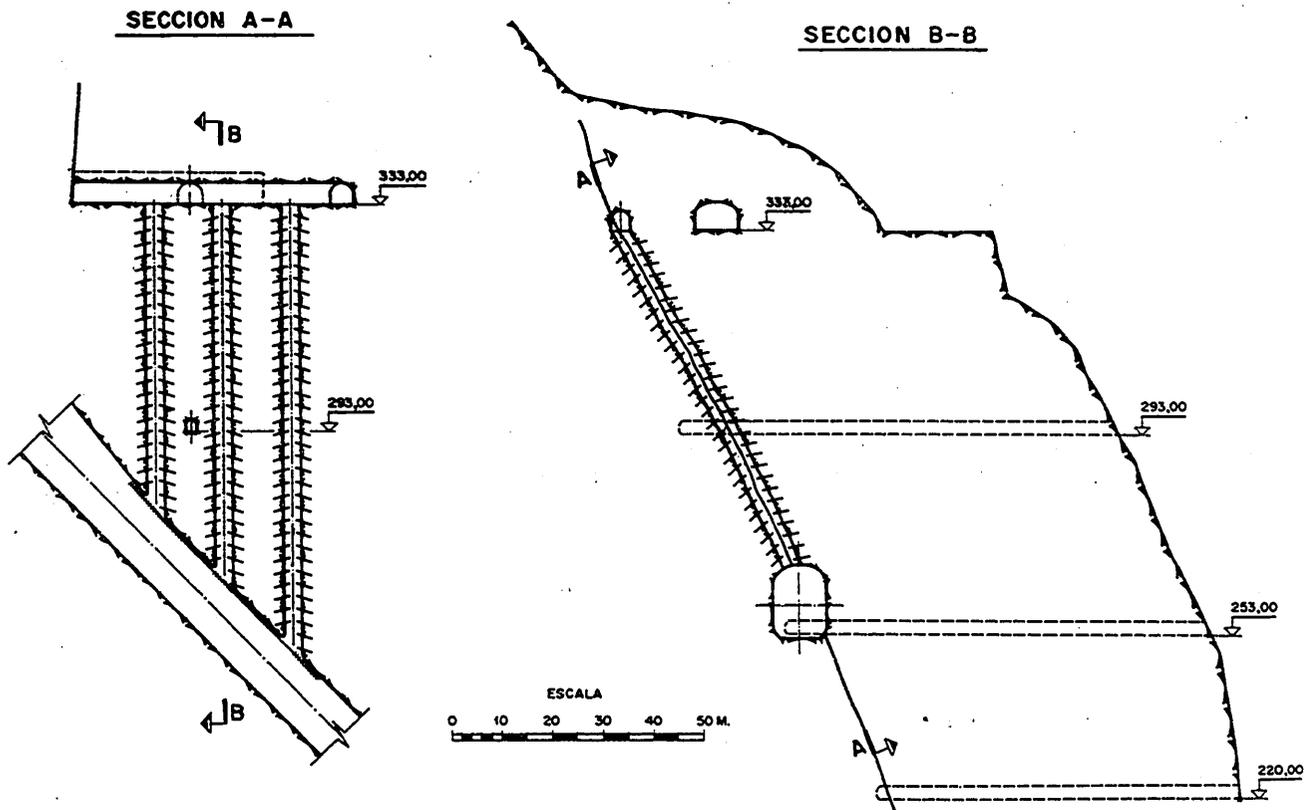


Fig. 9.ª — Tratamiento de la diaclasa paralela al río, en la margen derecha.

ducido en el Laboratorio Central de Madrid y en el Laboratorio Nacional de Engenharia Civil de Lisboa, con resultados sensiblemente concordantes a pesar de la diferencia sustancial de técnica en ambos Laboratorios.

La carga máxima de trabajo resultó ser, para la estructura sometida a la presión hidrostática y computado el peso propio, de 47 Kg./cm.<sup>2</sup>, y al objeto de reducir al mínimo las solicitaciones desfavorables por variación de temperatura en el cuerpo de la presa, se decidió refrigerar artificialmente el hormigón una vez colocado, mediante el paso de agua fría a través de serpentines embebidos en la fábrica, al objeto de proceder al sellado de las juntas una vez estabilizada la temperatura 4° C. por bajo de la media anual de 16° C. Para mayor seguridad se ha

Simultáneamente con los ensayos estructurales, se prosiguieron en el Laboratorio de Hidráulica de Iberduero, S. A., en Muelas del Pan, los de funcionamiento hidráulico del vertedero, al objeto de afinar detalles de la obra de lanzamiento, comprobándose en estos ensayos la necesidad de mantener los tres muros intermedios de guía proyectados, lo que no era de extrañar dada la variación de curvatura del paramento de vertido a lo largo de su altura.

Se había pretendido llegar a reducir las dosificaciones en cemento del hormigón de presa a 190 kilogramos de cemento por metro cúbico pero, un defecto de las instalaciones de cribado que impedía mantener la granulometría de los finos en el punto deseado, no ha consentido reducir la dispersión de los resultados de los ensayos al límite previsto, con

lo que la dosificación mínima ha debido mantenerse en los 200 Kg. de cemento por metro cúbico. En todo caso, los resultados obtenidos a noventa días sobre probetas tomadas por sondeo en el propio hormigón construido, han dado cargas medias de rotura para la dosificación mínima de 304 Kg./cm.<sup>2</sup> sobre probeta cúbica de 30 cm. de lado.

Se ha seguido el método de hormigonado aplicado en la presa de Mauvoisin, de extendido del hormigón con "bull-dozer" en capas de 0.40 m. de espesor y pervibrado mecánicamente con baterías de vibradores montadas sobre tractor, estando prescrito un plazo máximo de tres horas para el vibrado de dos capas sucesivas al objeto de, por así decirlo, coserlas con los vibradores antes del comienzo del fraguado de la inferior.

La excavación del fondo de cimientos acusó la presencia de diaclasas subhorizontales motivadas por la descompresión de la roca al formarse el valle, y ante el temor de que el fenómeno se agudizase al profundizar las excavaciones en el granito sano, se procedió al lavado a presión de las diaclasas y a su inyección después de alcanzada una cierta altura de hormigonado.

Esta operación y el régimen de crecidas del Duero a finales del 1960 y comienzos de 1961, han retrasado el hormigonado de la presa que, virtualmente, ha quedado terminada en octubre pasado.

La zona de vertedero de la presa, ocupa una longitud de 135.562 m. y está subdividida en ocho vanos de 14 m. de luz separados por pilas de 3.366 metros de espesor; el umbral del vertedero se sitúa 7.835 metros por bajo del nivel máximo normal de embalse. La evacuación de láminas vertientes que, con utilización del resguardo, pueden alcanzar hasta 13.00 m. de altura, plantea problemas especiales en vertederos en que se pretende forzar el talud del paramento de vertido; los ensayos hidráulicos realizados permiten garantizar que el valor de las depresiones no alcanzará los 0.4 Kg./cm.<sup>2</sup> por bajo de la presión atmosférica, límite que se ha considerado satisfactorio al objeto de eludir la presencia de fenómenos de cavitación inherentes a las grandes depresiones.

Las compuertas que asientan 0.482 m. por bajo del umbral de vertedero, son de tipo "Taintor" c. 11.00 m. de radio y 8.317 m. de altura, y van coro-

nadas en sus 8.00 m. centrales por un tejadillo que, con 0.465 m. de sobreelevación de la lámina, permiten un vertido de 40 m.<sup>3</sup>/seg., creando una alarma suficiente para advertir al personal de vigilancia de la presa de la necesidad de accionar las compuertas.

El desagüe de fondo de la presa está constituido por dos tuberías de 2.50 m. de diámetro, provistas en origen de compuertas rectangulares de 2.00 m. de ancho por 3.50 m. de altura, accionadas hidráulicamente desde la coronación de la presa; en el extremo inferior los desagües están equipados con válvulas de 2.50 m. de diámetro del tipo de "chorro hueco", que se accionan por mando hidráulico situado en la obra de lanzamiento, según aparece en el perfil de la figura 8.<sup>a</sup>. La capacidad del desagüe de fondo es de 300 m.<sup>3</sup>/seg. para un nivel de embalse correspondiente al plano diametral de las tomas del salto.

Las galerías de visita de la presa quedan situadas en perfil en la posición en que aparecen en la figura 8.<sup>a</sup>; son de sección ovoidea de 2.09 m. de luz y 2.20 m. de altura, con excepción de las dos inferiores de sección rectangular coronada de medio punto; fuertes armaduras de borde impiden la concentración local de esfuerzos provocados por el aligeramiento de la sección y la consiguiente formación de grietas. Las galerías de cotas 292.00, 253.00 y 220.00 se prolongan horizontalmente en la roca del estribo izquierdo hasta alcanzar el pozo vertical que, provisto de ascensor, sirve de acceso a las mismas; en la margen derecha también se prolongan estas galerías al objeto de drenar desde ellas la gran diaclasa de dirección transversal al río y para servir de origen del tratamiento especial seguido en la diaclasa paralela, diaclasas de las que se hizo mención al tratar de las particularidades del emplazamiento. El tratamiento de referencia consiste en tres pozos de 3.50 m. de diámetro, rellenos de hormigón y fuertemente armados que, siguiendo el buzamiento de las diaclasas, constituyen a modo de llaves capaces de absorber el esfuerzo tangencial transmitido por la presa a la diaclasa, supuesta continua y abierta; a la altura de la coronación de presa y perforada una galería horizontal que sigue la diaclasa, se establece una cubrejunta de hormigón destinada a evitar la meteorización del relleno de la diaclasa.

(Continuará).

# 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

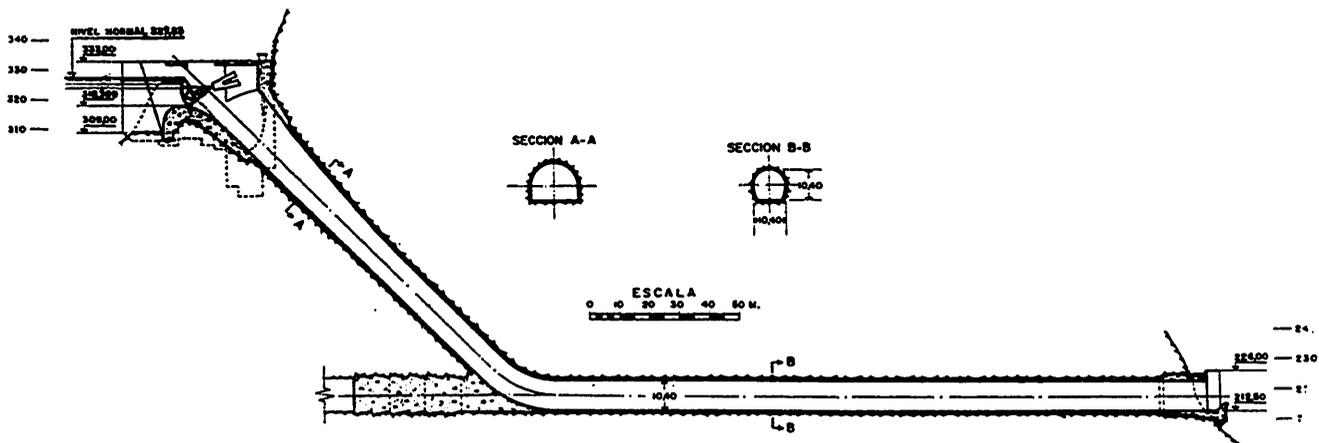


Fig. 10. — Túnel aliviadero. Perfil longitudinal.

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

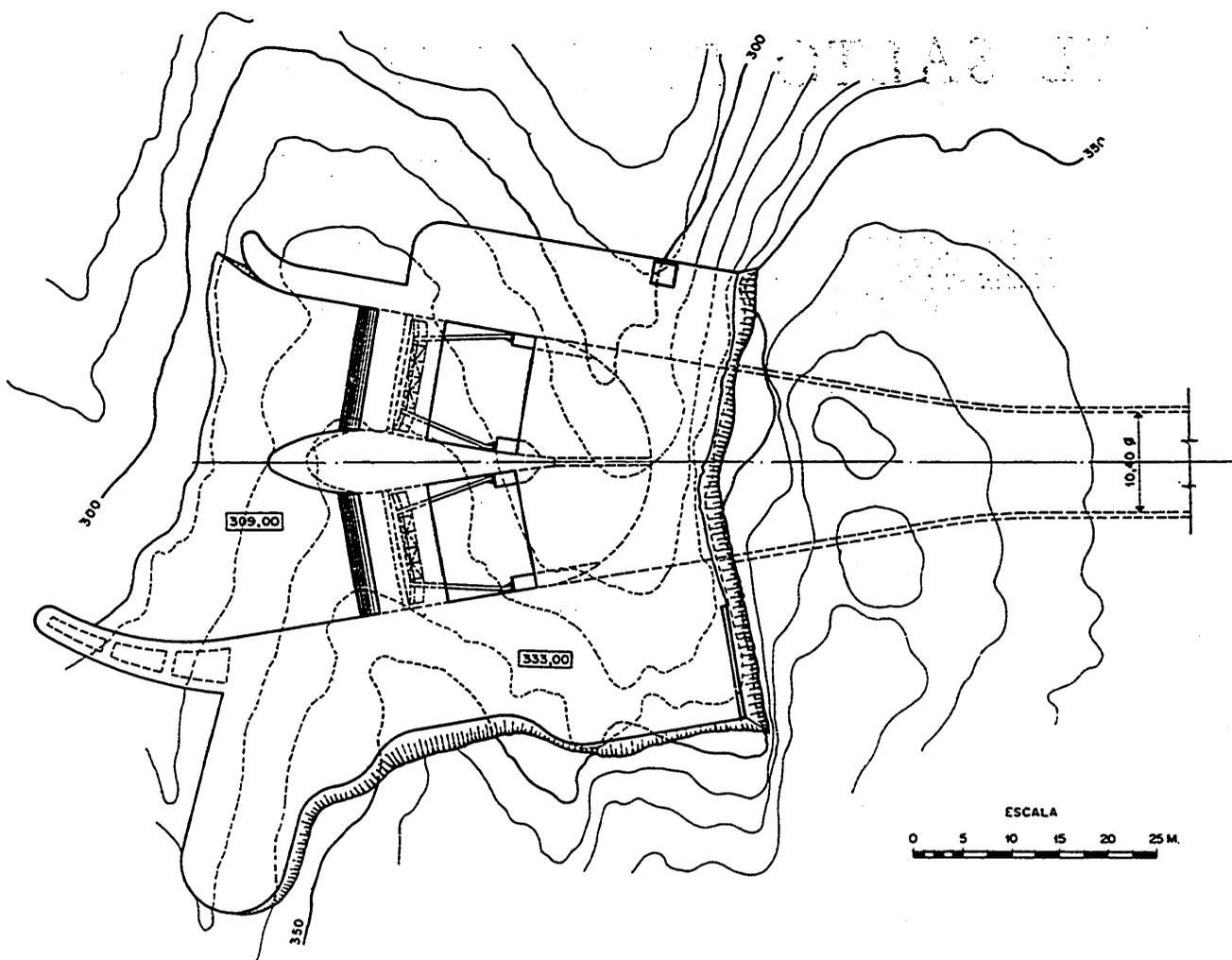


Fig. 11. — Túnel aliviadero. Planta de la embocadura.

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).
<b>TOTAL .....</b>	<b>1 068 MW.</b>	<b>(sin Aldeadávila).</b>

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

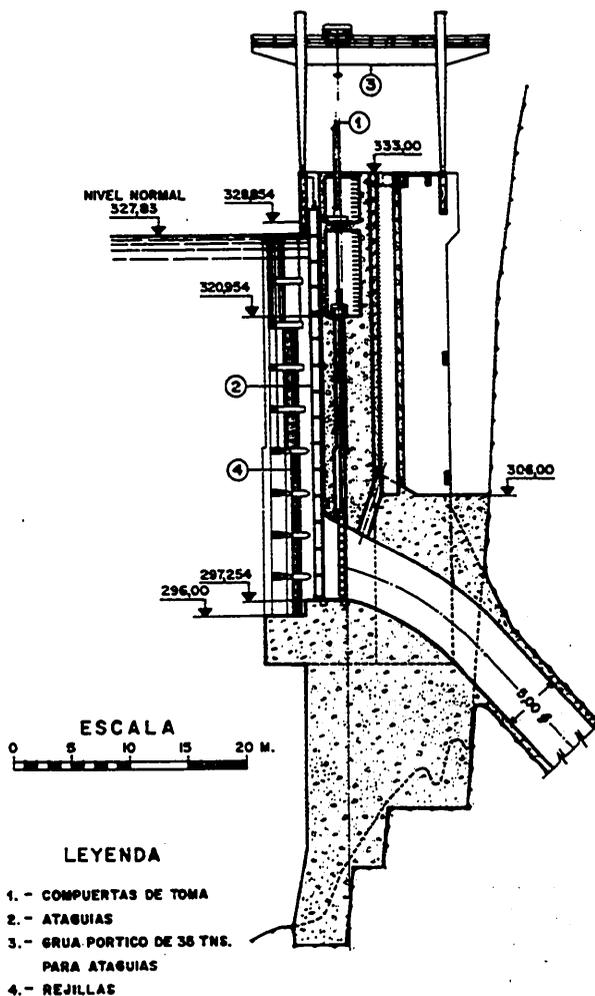


Fig. 12. — Toma de aguas. Sección longitudinal.

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.



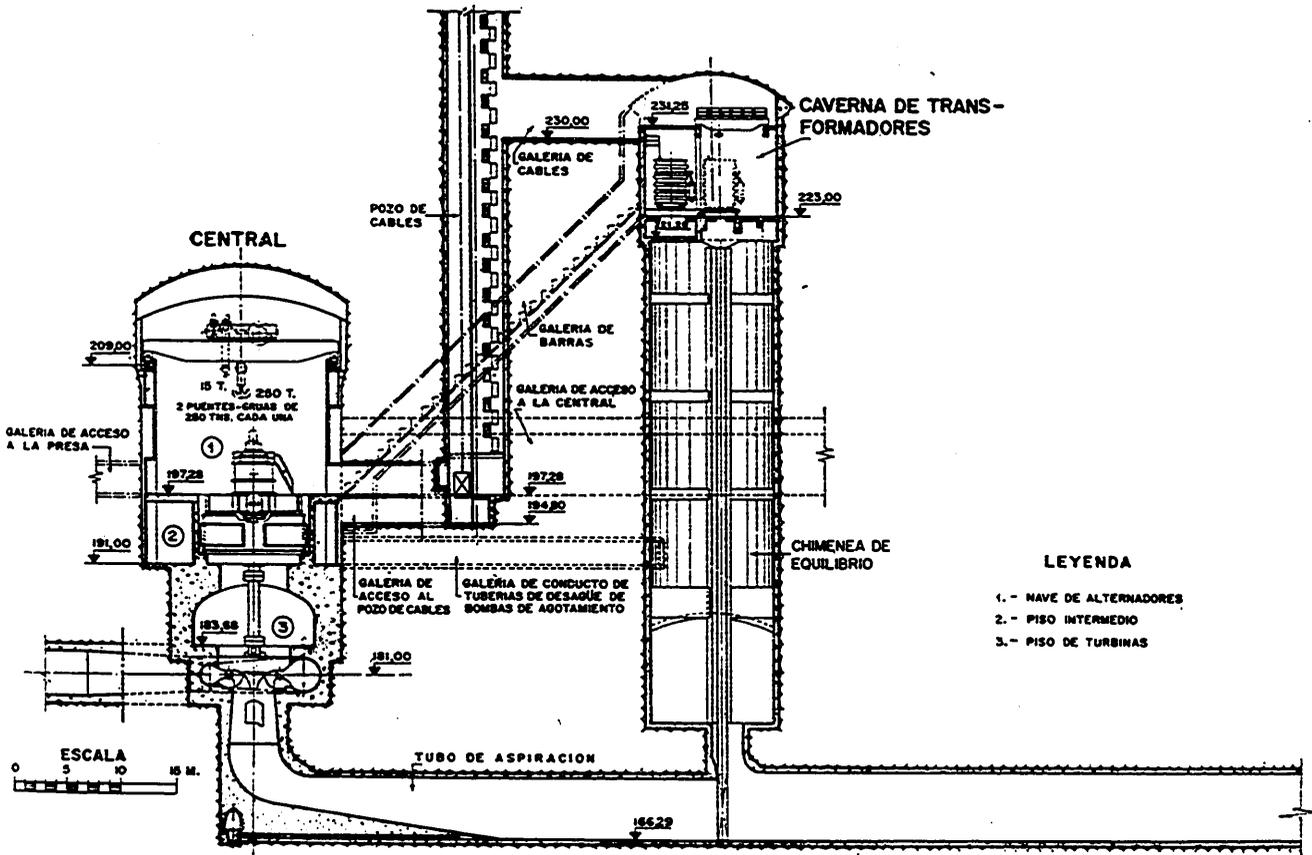


Fig. 14. — Central y caverna de transformadores. Sección transversal.

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,

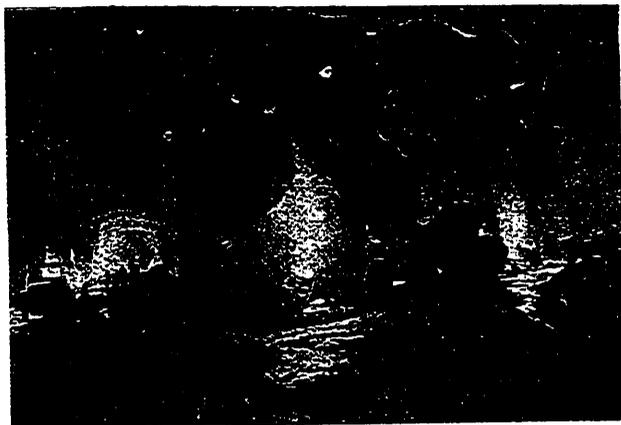


Fig. 15.—Vista del encuentro de tubos de aspiración antes de su hormigonado.

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 ininterrumpidas 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 Becadóniz, 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.