

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 Orbegoza 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.³ 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 1100 m. daba origen a un aprovechamiento de más de 5000 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, 40000 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 limítrofe.

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

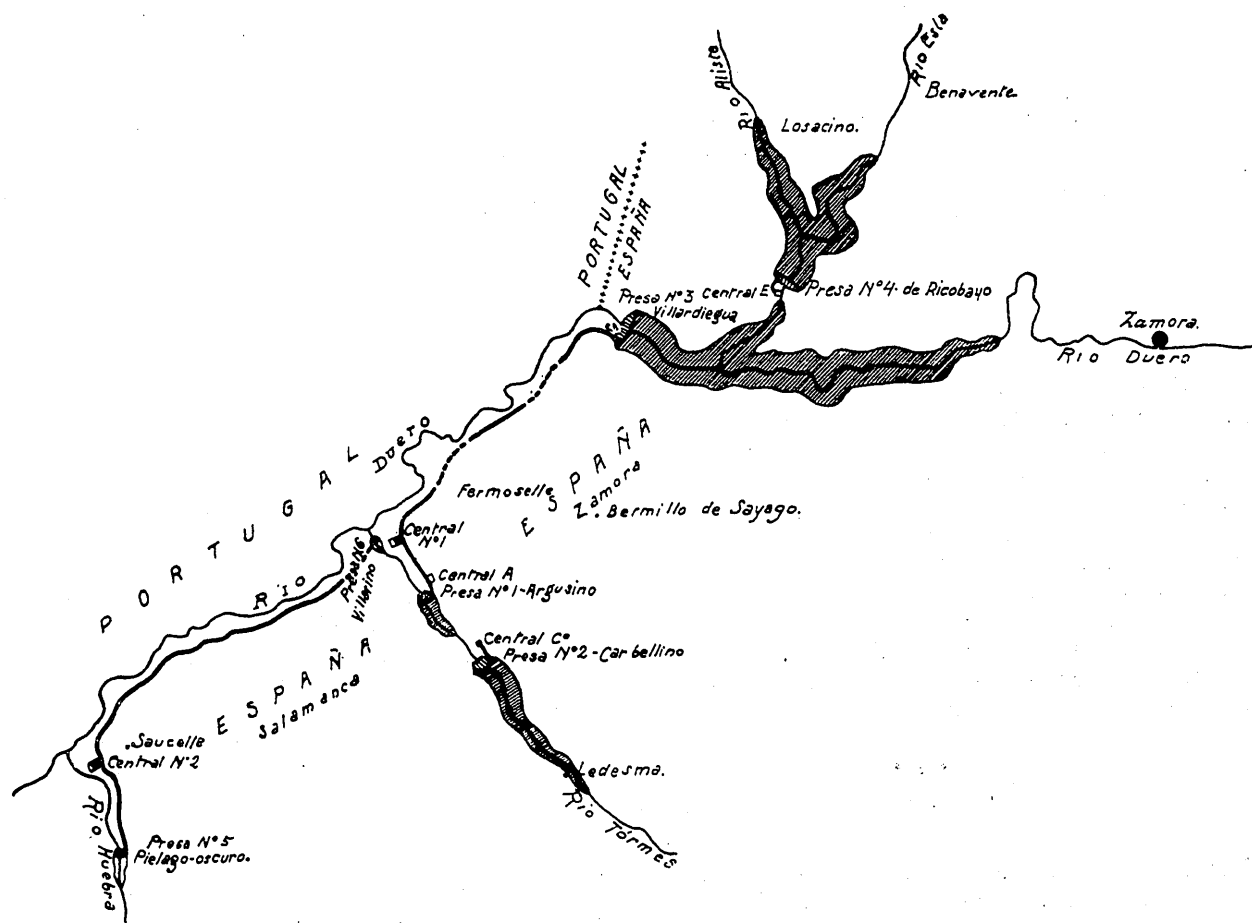


Fig. 1.ª — Solución española de aprovechamiento del Duero Internacional.

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 Orbeago y sus proyectos, cuya tramitación hubo de salvar toda la gama de incidentes y dificultades que en la picaresca concesional entonces se conocían.

Estimaba Orbeago, con toda razón, que la con-

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 Orbeago, 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 Orbeago, 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 Guadalhorcé, 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 Orbegozo 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 desdoblar el proyectado Salto de Villardiegua 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.³ 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 Espaya 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 m³/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 logaran 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.^a.

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-

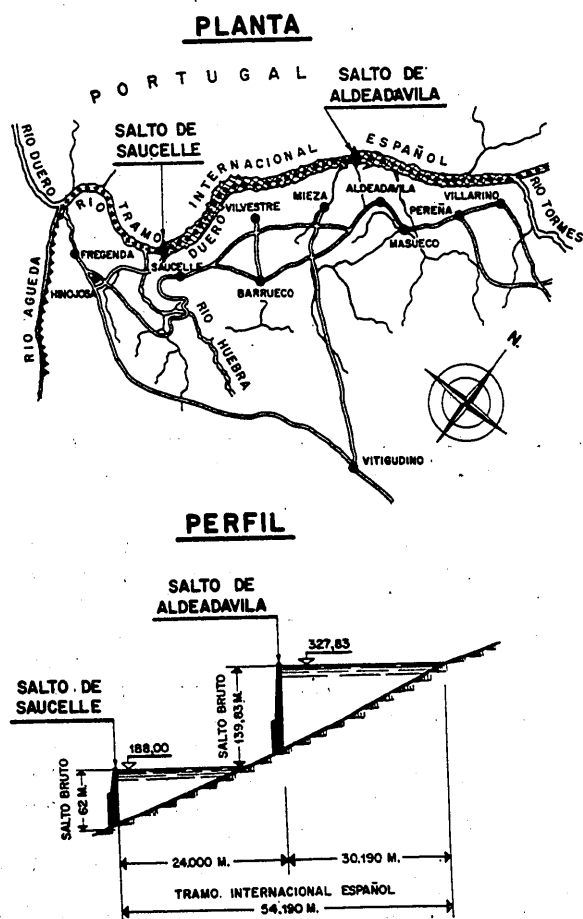


Fig. 2.^a — Esquema aprobado para aprovechamiento del tramo internacional del Duero reservado a España.

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.³/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.³/seg. a nivel máximo normal de embalse y de 2 800 m.³/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.² 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.² 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.² de sección; la carretera de acceso a la coronación de

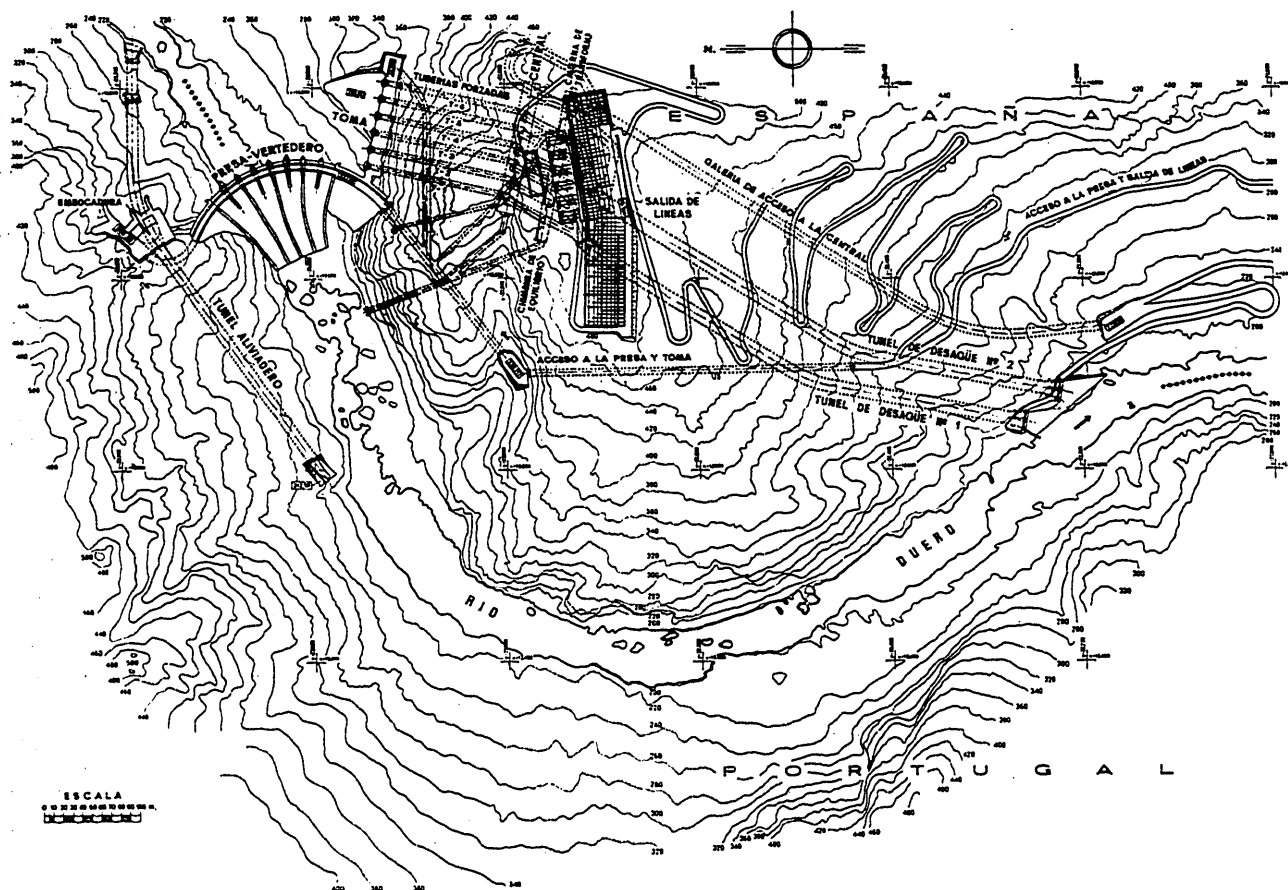


Fig. 3.ª — Pianta general.

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 aliviadero 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 Feli-gresía de Bruço en Portugal.

El tramo del río, cubierto por las instalaciones

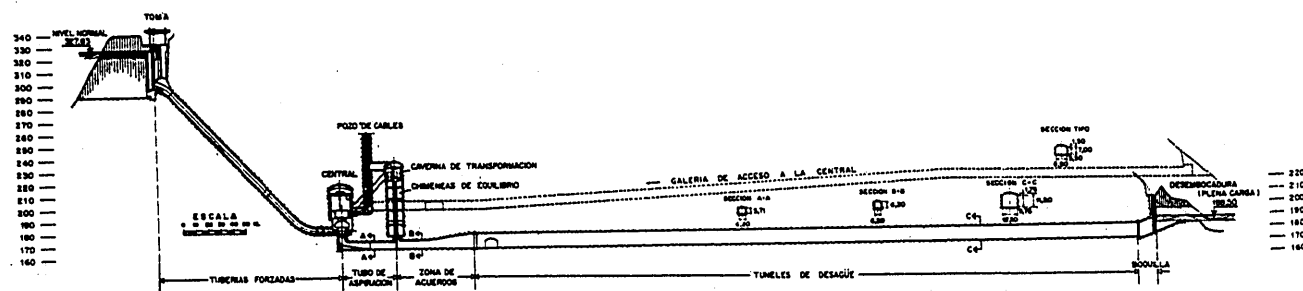


Fig. 4.ª — Perfil longitudinal del salto.

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.

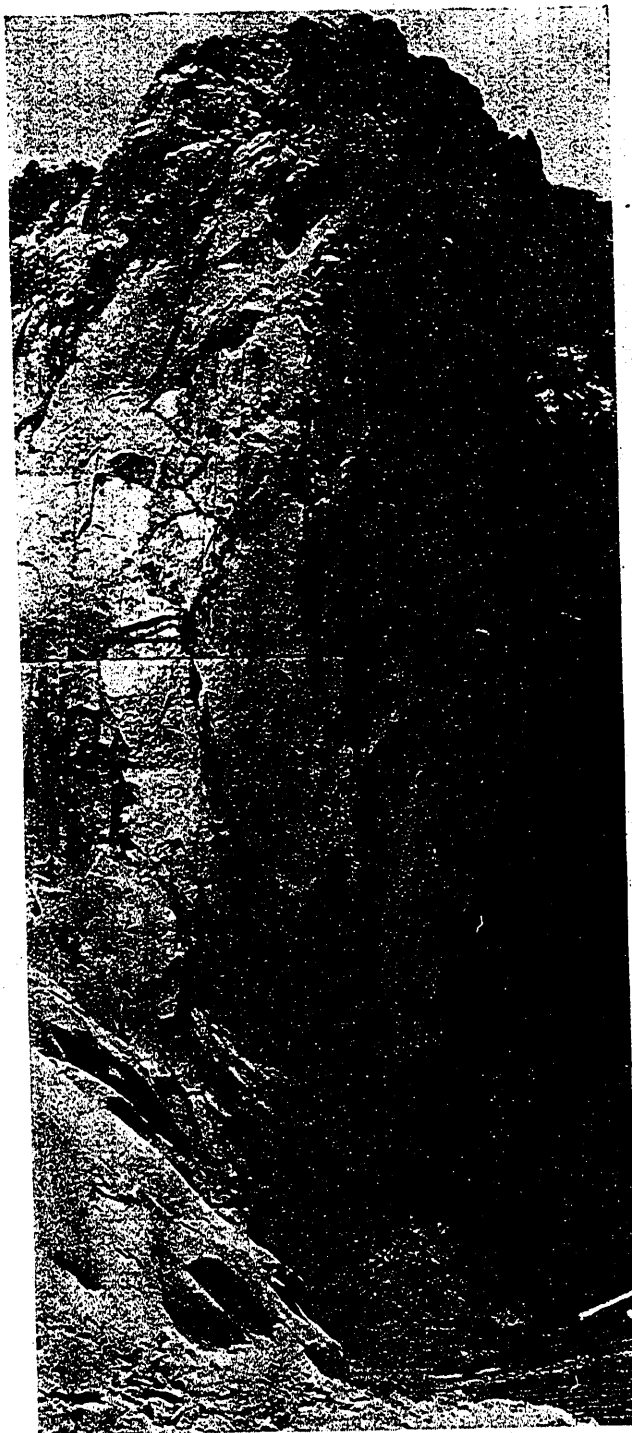


Fig. 5.ª — Vista del accidente denominado "Basto".

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

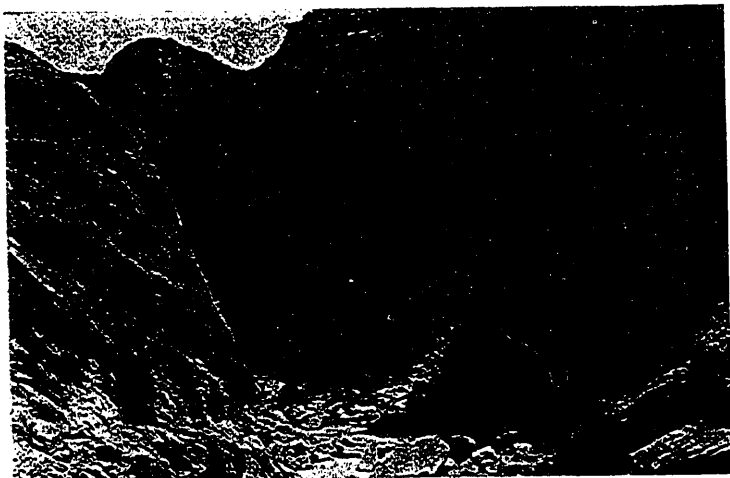


Fig. 6.ª — Vista de la cerrada.

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.ª), 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.³/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

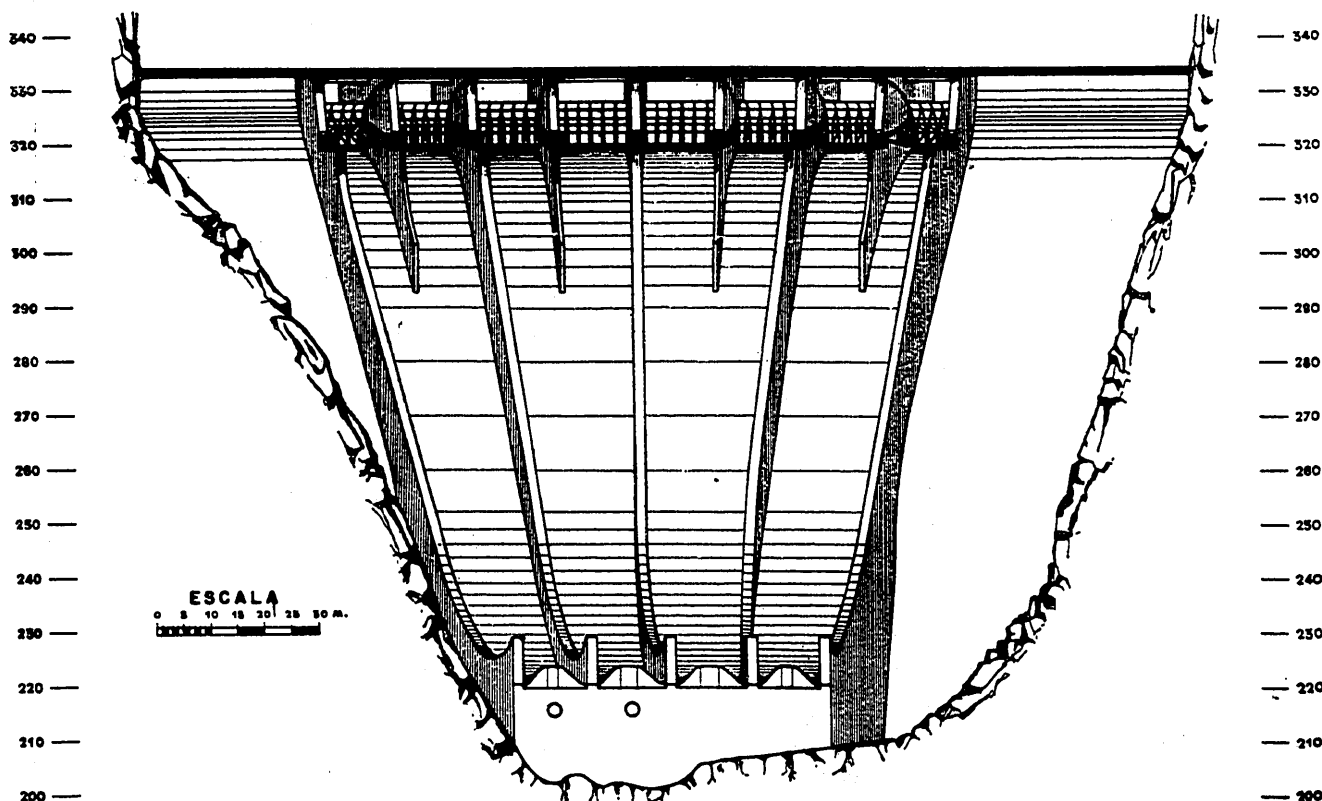


Fig. 7.ª — Vista de la presa desde Yuso.

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

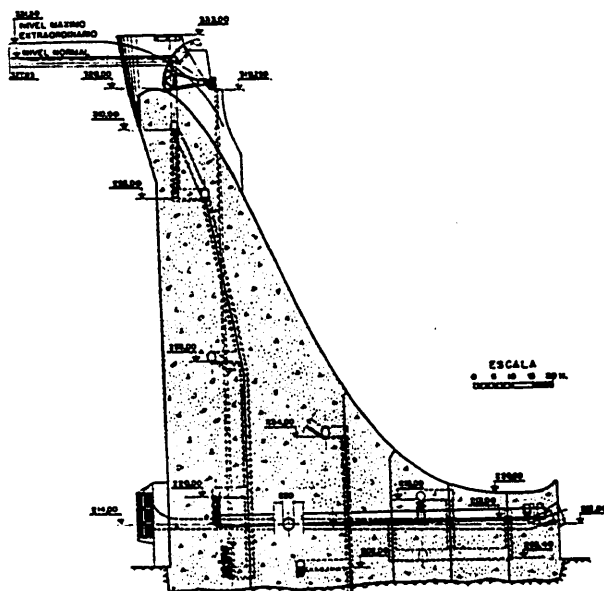


Fig. 8.ª — Perfil de la presa.

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. ³ /s.
Capacidad de vertido utilizando el resguardo	11 000,00 »
Volumen de hormigón sin obra de lanzamiento	734 904,00 m. ³
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.

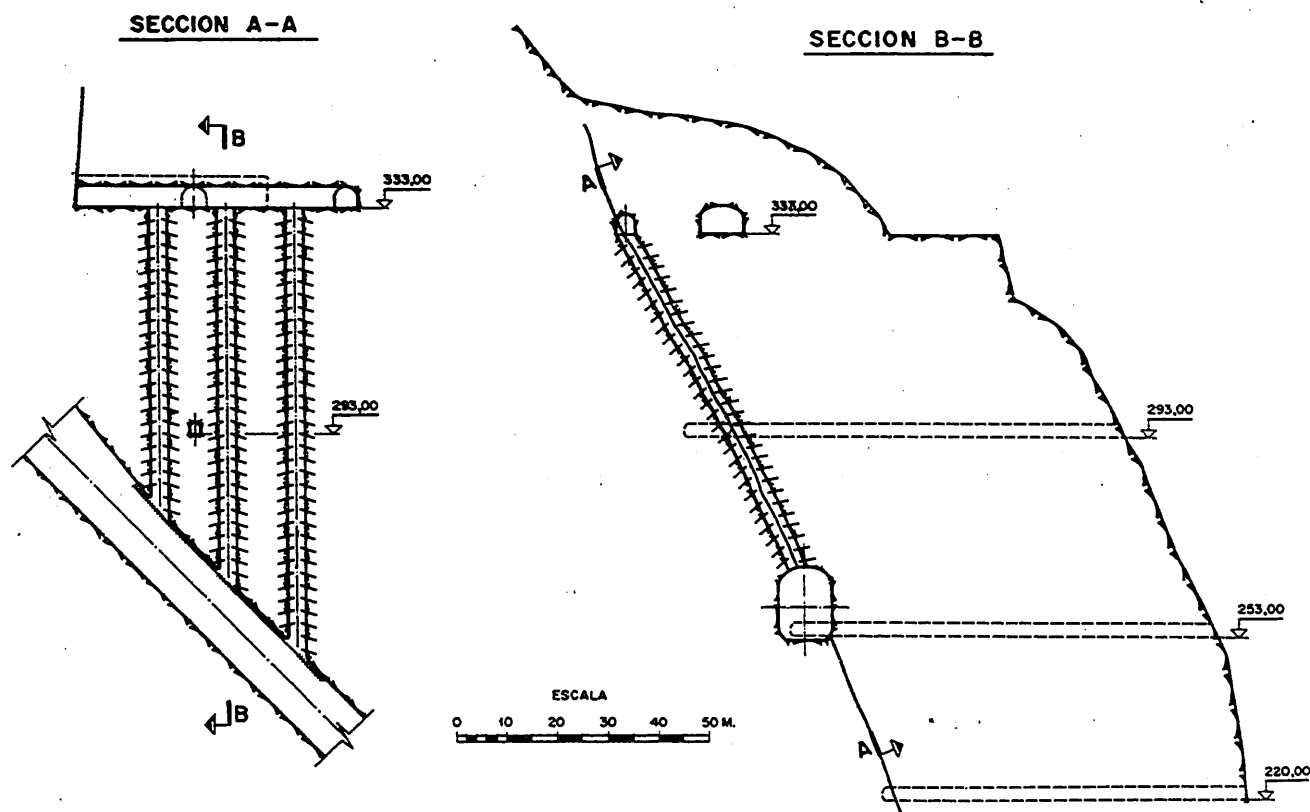


Fig. 9.ª — Tratamiento de la diaclasa paralela al río, en la margen derecha.

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.², 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.² sobre probeta cúbica de 30 cm. de lado.

Se ha seguido el método de hornigonado aplicado en la presa de Mauvoisin, de extendido del hormigón con "bull-dozers" 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 hornigonado.

Esta operación y el régimen de crecidas del Dueiro a finales del 1960 y comienzos de 1961, han retrasado el hornigonado 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.² 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.³/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.^a. La capacidad del desagüe de fondo es de 300 m.³/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.^a; 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).