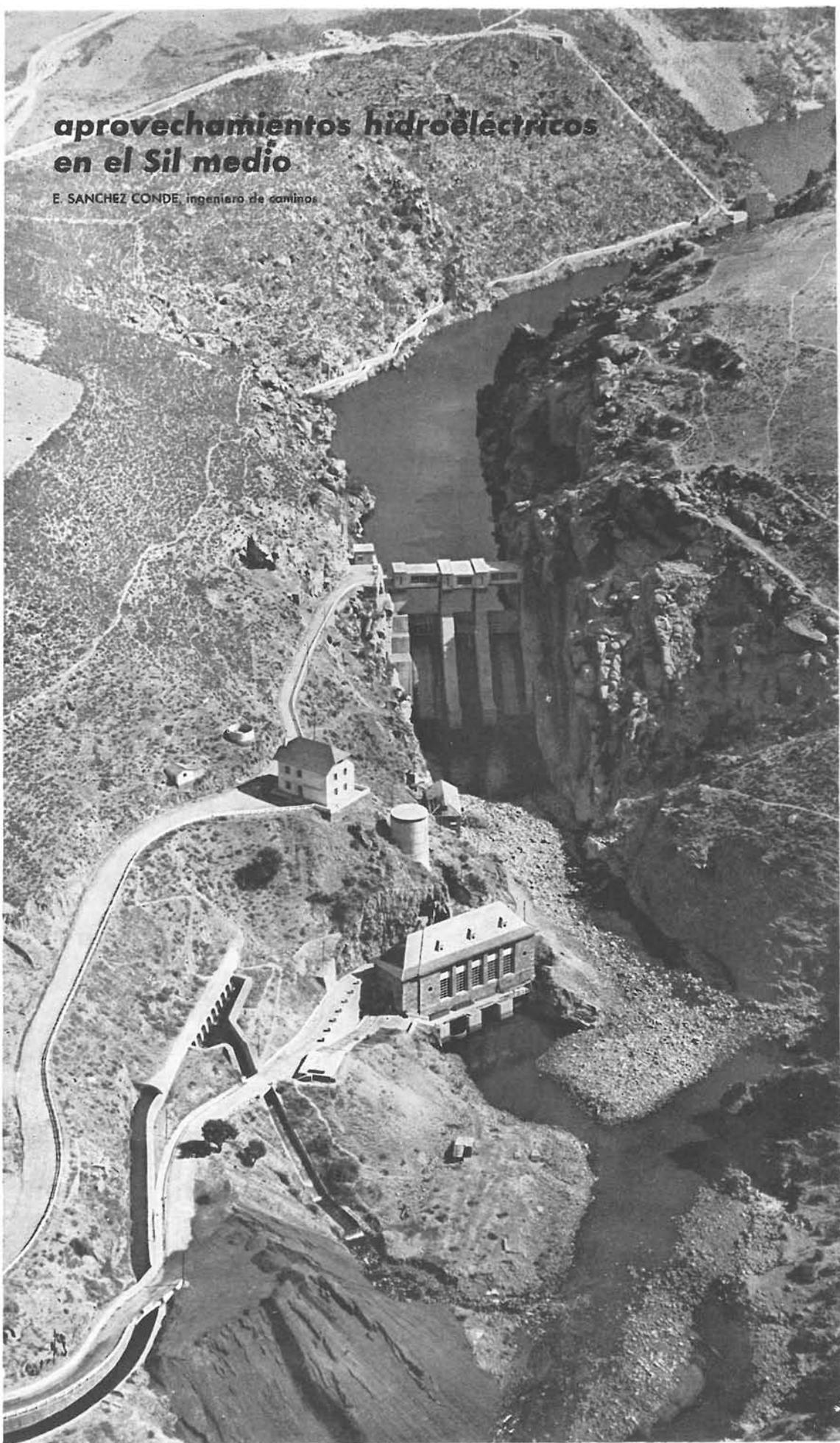


aprovechamientos hidroeléctricos en el Sil medio

E. SANCHEZ CONDE, ingeniero de caminos

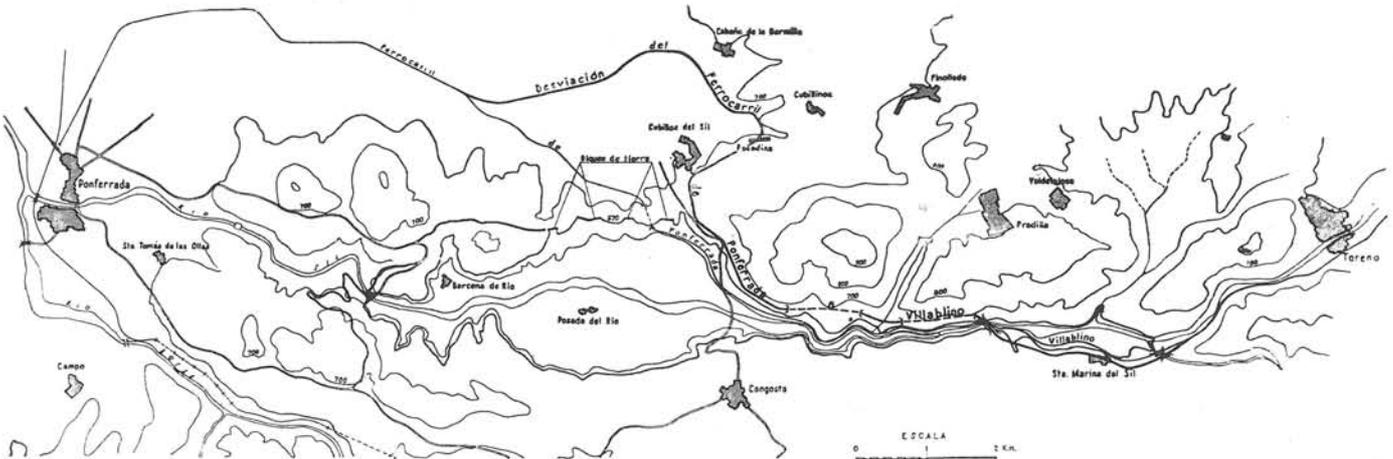
531 - 26



SINOPSIS

Estudio descriptivo de los aprovechamientos hidráulicos del curso medio del río Sil, en su doble aspecto: generación de energía eléctrica e irrigación, pero con particular dedicación a las obras en construcción del pantano de Bárcena.

situación



El aprovechamiento hidroeléctrico del Sil medio tiene como origen y fundamento la utilización de los saltos creados por las presas de Bárcena y Fuente del Azufre, cuya concesión le fué dada a la Empresa Nacional de Electricidad simultáneamente con la de una toma de agua para la refrigeración de su Central Térmica de Compostilla, cerca de la ciudad de Ponferrada.

La presa de Bárcena, a unos diez kilómetros aguas arriba de esta ciudad, constituye, con sus 340 Hm³ de capacidad total, un embalse de gran importancia para el aprovechamiento del río, y forma, con el azud de derivación de Fuente del Azufre, las tomas de los canales de riego del valle del Bierzo, amplia expansión del Sil entre las ciudades de Ponferrada y Villafranca.

Fueron ambas proyectadas por los Servicios Hidráulicos del Norte de España después de largos estudios que se remontan al año 1900, en el que don Manuel Díez Sanjurjo redactó un proyecto para riego del valle. Citamos como caso excepcional un nombre, entre los que han contribuido a dar realidad al aprovechamiento del Sil medio, por ser el precursor de tan importante obra y como debido homenaje a su labor.

Constaba este proyecto de un canal llamado del Bierzo y del pantano de Ponferrada, y fué modificado en diferentes épocas, pasando por diversas alternativas, desde tener tres presas de embalse y derivación en las cerradas de Santa Marina, Bárcena y Fuente del Azufre, hasta un sólo azud de derivación en este último emplazamiento. El año 1947, afirmadas las ideas primitivas, se redacta finalmente el proyecto del Pantano de Bárcena, estando muy adelantada la construcción de la presa de derivación de Fuente del Azufre, terminando de esta forma tan larga discusión.

Al proyectar la Empresa Nacional de Electricidad la construcción de una Central Térmica, surgió inmediatamente el problema de la refrigeración, ya que el caudal de 8 m³/s. que necesitaba no es fácil de obtener en los ríos españoles, especialmente durante el verano.

En el año 1944, fijada la ubicación más conveniente para la central en las cercanías de la ciudad de Ponferrada, como consecuencia de proyectarse para quemar carbones pobres, a bocamina, se pidió y obtuvo la concesión de la toma de agua de refrigeración en el pequeño embalse de 0,5 Hm³ de capacidad que produce en el Sil el azud de Fuente del Azufre, que se emplearía además, en los períodos de aguas bajas del río, como depósito para dejar enfriar los caudales ya utilizados en la central, hasta que estuviera terminado el embalse de Bárcena. Una vez construido éste, el régimen del río que-

daría prácticamente invertido y se podría disponer de abundantes caudales de verano.

Como consecuencia de esta solicitud y de los saltos de pie de presa de Bárcena y Fuente del Azufre, la citada Empresa tiene concedidos en el río los desniveles entre las cotas 620 y 536, correspondientes al primero, y entre ésta y la 512, correspondiente al segundo, habiendo solicitado posteriormente y obtenido el aprovechamiento hidráulico de todo el río hasta la desembocadura del Cabrera a la cota 359 que ha dividido en dos saltos, el de Cornatel y el de Quereño. Simultáneamente para hacer el aprovechamiento integral de la zona, tiene solicitado el curso del Cabrera y muy adelantados los estudios de los ríos Boeza, Cúa y Burbia, afluentes del Sil.

El regadío del Bierzo

El valle del Bierzo, probable fondo de un lago terciario, forma uno de los principales ensanchamientos del Sil, que discurre por él en dirección E-O al ser desviado dos veces por sus afluentes, la primera por el Boeza, que se le une por la margen izquierda, desviándole de su dirección N-S a la entrada del valle, y la segunda por el Cúa y Burbia, que le hacen tomar de nuevo su primitiva dirección, al unírsele por la margen derecha a la salida del valle, obligándole a romper el dique de estratos calizos que constituiría probablemente el cierre del lago.

La zona regable está limitada por el Sil, en sus direcciones N-S y E-O, y por el río Burbia y queda dividida en dos partes, netamente diferenciadas, por el arroyo Barredo. La zona norte, que ha de constituir el alto regadío del Bierzo, es accidentada, con cuatro valles bien marcados, separados por estribaciones de algún relieve. Se puede regar muy fácilmente en una extensión de 4.000 Ha. por medio de un canal con toma en el Pantano de Bárcena, utilizando una aportación anual de 44 millones de metros cúbicos. La sur es casi llana. Se encuentra formada por tres terrazas fluviales superpuestas y es más extensa, alcanzando unas 6.000 Ha. Se riega por un canal, con la toma en el embalse de la Fuente del Azufre, a cuyo trazado permite, mediante bombeo de parte de sus aguas, aumentar notablemente, si se desea, la superficie regada. Para el riego de las hectáreas calculadas se utilizarán anualmente 73 millones de metros cúbicos.

Ambas zonas se caracterizan por tener una fertilidad limitada como consecuencia de la abundancia de cantos rodados, característica que predomina más en la baja. Consecuencia de ella es un exceso de permeabilidad, que-

permite recuperar, aguas abajo, gran parte de los caudales empleados en el riego, y un porcentaje de utilización que ha sido estimado en el 64 % de prados, el 32 % para cultivo de alternativa y un 4 % de huerta.

Presa de Fuente del Azufre

Fué proyectada en una estrecha garganta de unos treinta metros de ancho, formada por el río en una masa de granito. Al escoger para su emplazamiento la parte más angosta de la garganta, la presa ha quedado muy próxima al contacto de esta roca con la cuarcita que forma las laderas de aguas abajo, de tal modo que, estando la central que aprovecha el desnivel creado, a unos cien metros de ella, tanto la casi totalidad de su galería de presión como la propia central están construidas sobre esta roca.

No forma un verdadero embalse, ya que solamente se trataba de construir un azud para poder realizar la toma de agua del Canal Bajo del Bierzo, pero su remanso puede alimentar, además, con su medio millón de metros cúbicos de capacidad, a una pequeña central hidráulica y servir de contraembalse para regular los caudales desaguados por la central de Bárcena.

La presa ha sido proyectada para evacuar avenidas máximas de 1.200 m³/s, y, dada su pequeña longitud de coronación, se utiliza íntegramente como vertedero por medio de tres vanos cerrados por compuertas de superficie. Es una presa de gravedad, de planta recta y perfil Creager, salvo en el tramo central, donde se ha dispuesto una compuerta de fondo. Sobre este vano, el aliviadero de superficie evacua el agua por medio de un voladizo de hormigón armado. La protección de pie de presa se ha hecho por medio de un rastrillo curvo, terminado en bordillo triangular.

En la margen derecha y muy próxima a la presa, como queda dicho, se ha construido una central, que en la actualidad tiene instaladas dos turbinas Kaplan de eje vertical y con espacio suficiente para el montaje de una tercera máquina.

Las características por turbina son las siguientes:

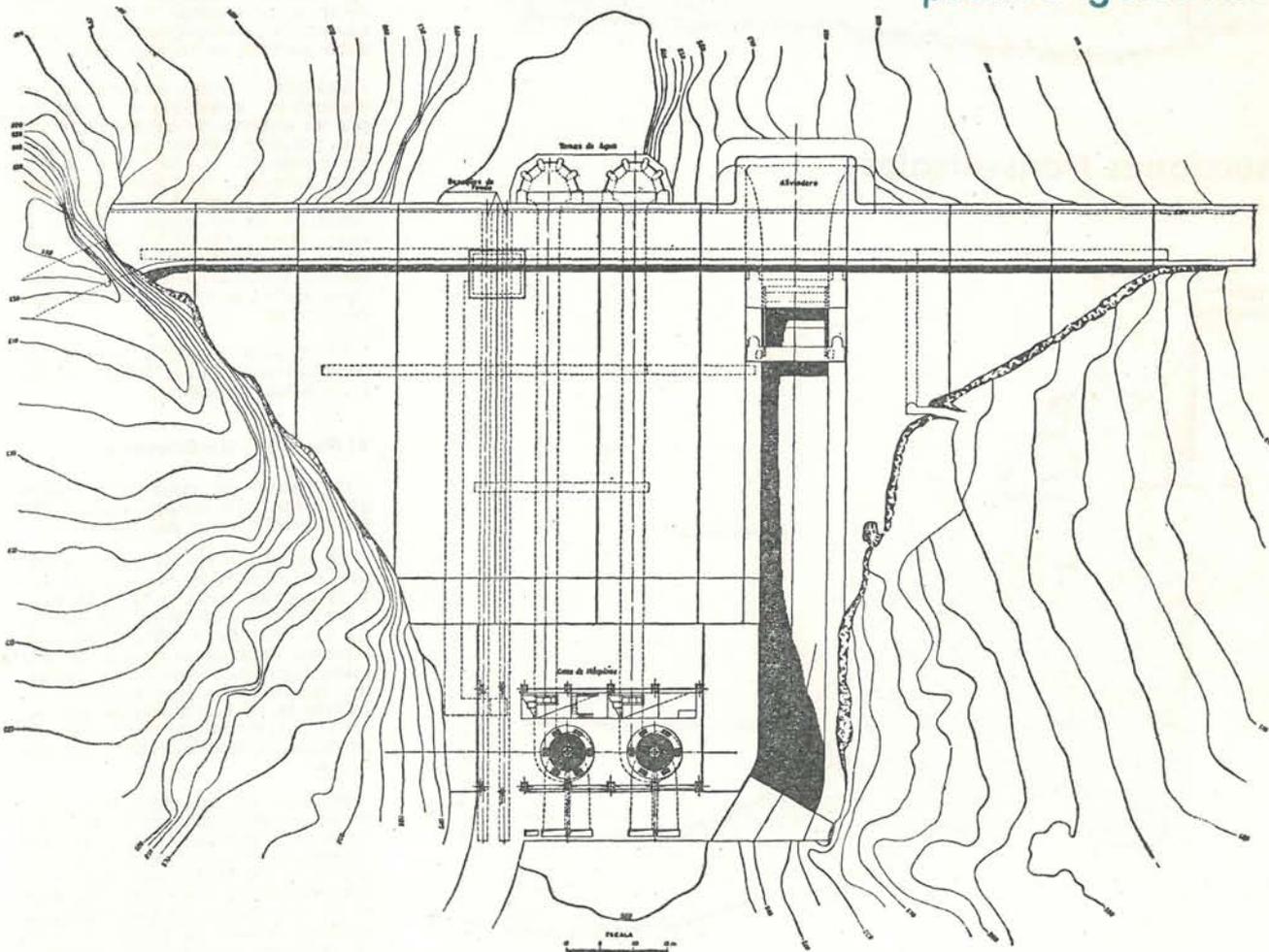
Caudal aprovechado: 12 m³/s.

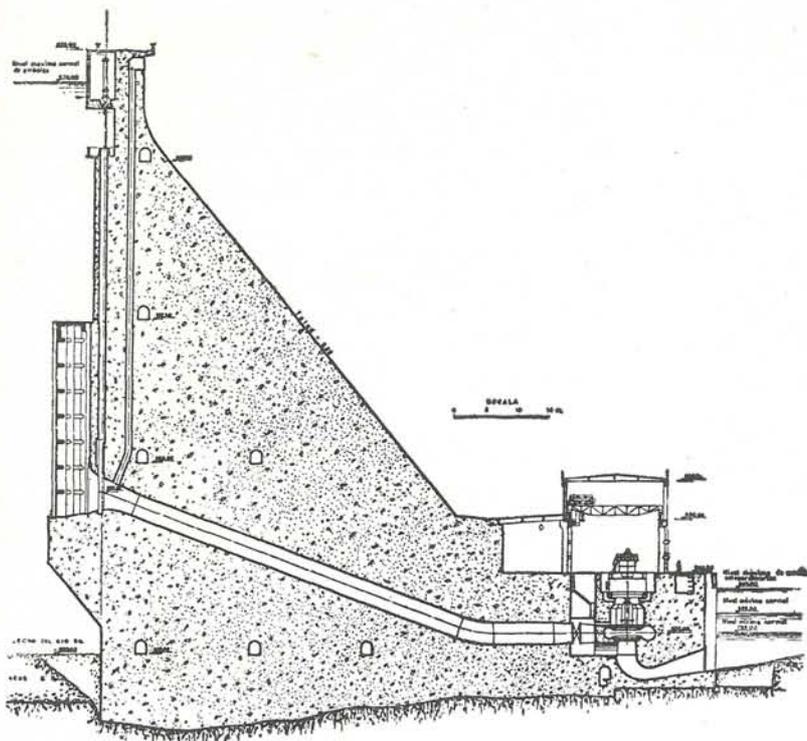
Altura máxima del salto: 24,50 m.

Potencia: 3.125 kVA.

Tensión de generación: 11 kV.

planta general





Su producción está destinada a cubrir las necesidades de los servicios auxiliares de la Central Térmica y su mando se realiza mecánicamente desde ésta.

Se han apuntado más arriba algunas de las misiones encomendadas a este embalse. Por su importancia, las describiremos con algún detalle:

a) Proporciona el agua necesaria para el riego del Bajo Bierzo, cumpliendo la primitiva finalidad, motivo de su construcción.

b) Forma el desnivel y suministra el agua necesaria para el funcionamiento de la Central de pie de presa.

c) Sirve de toma para el agua de refrigeración de la Central Térmica de Compostilla.

d) En los períodos de aguas bajas del río, se utiliza como estanque de enfriamiento del agua de refrigeración procedente de esta Central.

e) Finalmente, constituye el contraembalse necesario para poder dotar a la Central hidráulica de Bárcena de un equipo capaz de producir energía de puntas diarias.

Las cuatro primeras funciones se encuentran atendidas en conjunto por un sistema de canales y tomas que permite utilizar el agua, una vez empleada en la refrigeración, para alimentar el Canal Bajo del Bierzo o la Central de Fuente del Azufre, y en los períodos de aguas bajas retornarla al embalse desde donde se envía nuevamente a la central térmica, una vez enfriada, elevándola por medio de una casa de bombas.

El sistema puede comprenderse perfectamente con la lectura de las fotografías incluidas.

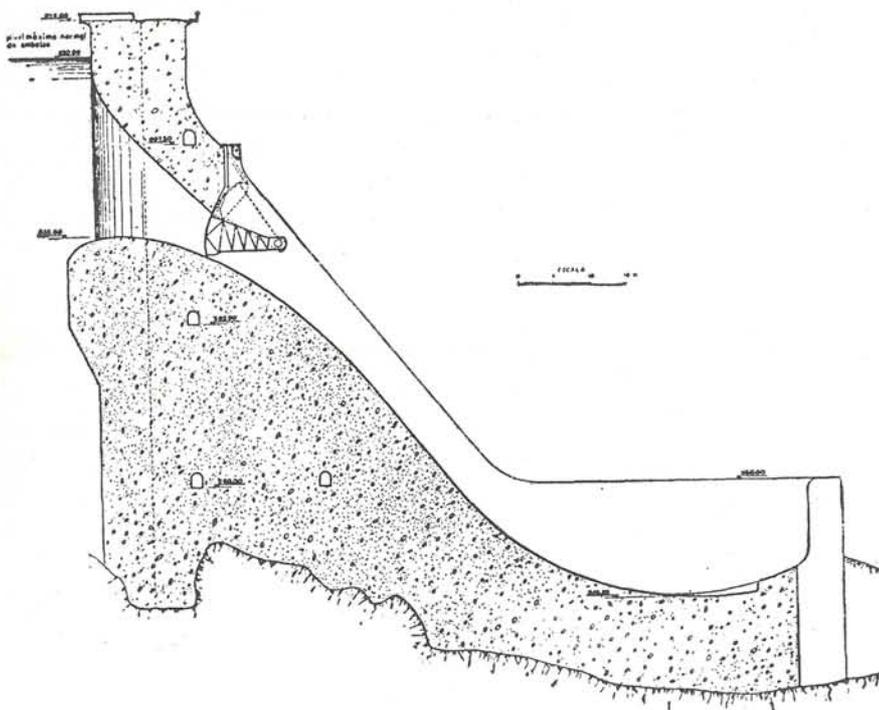
El Pantano de Bárcena

Constituye la clave del regadío del Bierzo y de los aprovechamientos hidroeléctricos del Sil medio.

El Sil es un río irregular, donde se han registrado caudales de estiaje de 1,2 m³/s. y avenidas de 1.040 m³/s., siendo el caudal normal de unos 26 m³/s. El Pantano de Bárcena tiene como misión laminar estas avenidas y regular los caudales aguas abajo del embalse. Su influencia es tan marcada que invierte prácticamente el régimen del río hasta la desembocadura del Cabrera.

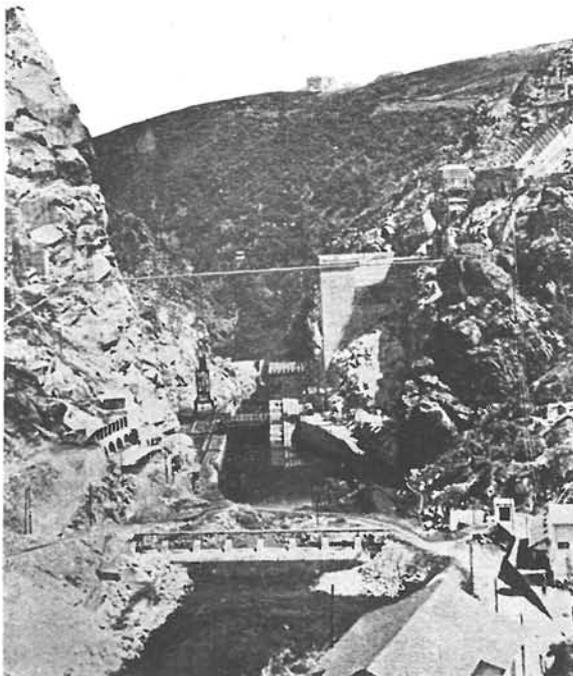
Pensado en principio para proporcionar directamente 44 millones de metros cúbicos para el regadío del alto Bierzo y 73 para el bajo, a través de la Fuente del Azufre, su importancia ha crecido enormemente al considerar los beneficios que representa bajo el punto de vista de producción de energía eléctrica.

secciones transversales





eparando la
se de ci-
entos.

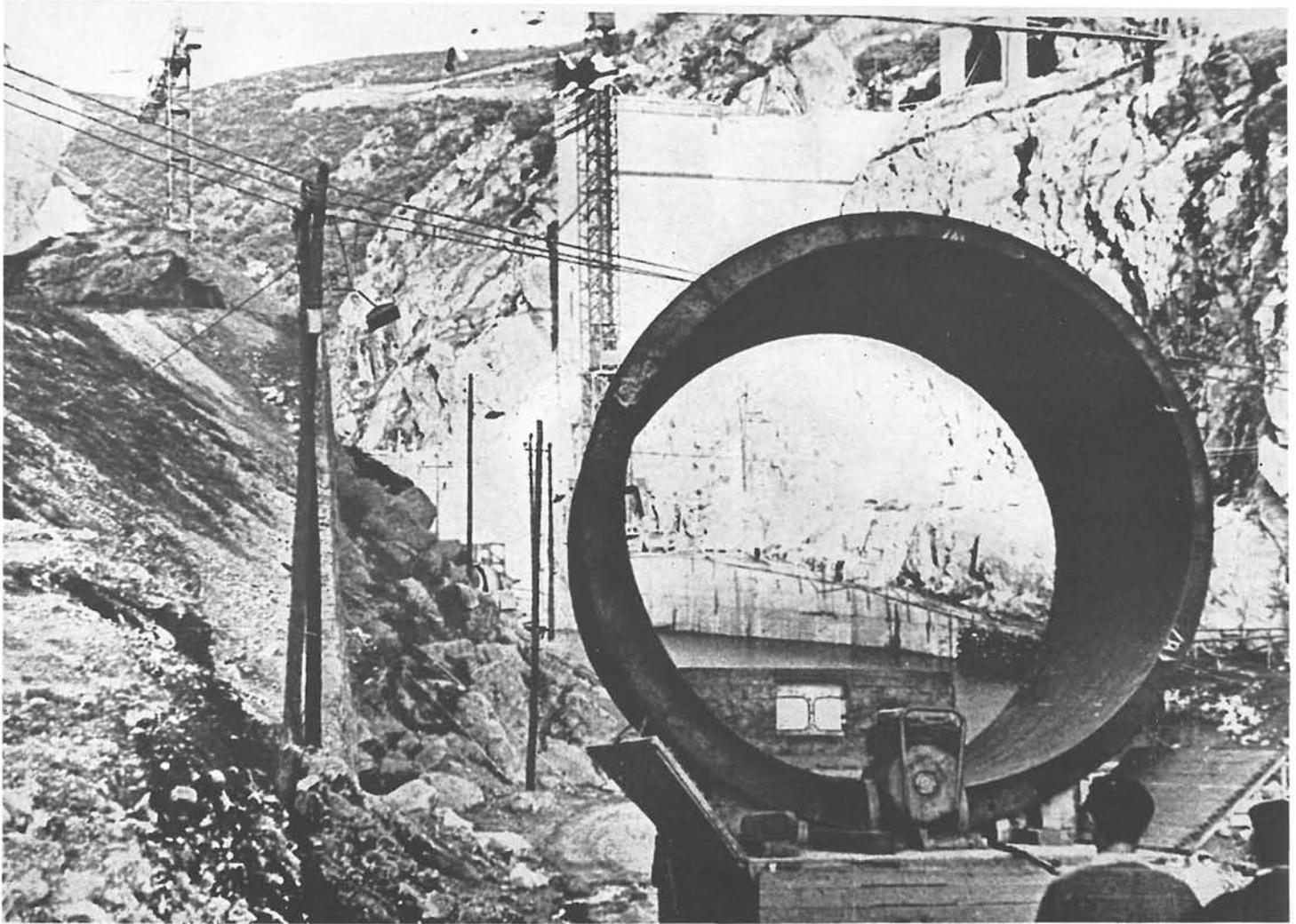


a presa em
eza a salih
cimientos.

Puede producir, por el desnivel hidráulico que crea, 140 millones de kWh anuales; tiene importancia decisiva para la producción y clase de la energía eléctrica de los aprovechamientos del río aguas abajo, y constituye la clave no solamente de la refrigeración de la actual central térmica de Compostilla, sino de la futura de Compostilla II, de 500.000 kWh de potencia instalada, que ha de construirse en las cercanías del pueblo de Cubillos de Sil, en la ladera derecha del embalse, y cuya realización sería imposible sin él.

No tratándose en este artículo de reseñar los beneficios que causa, por la revalorización de los terrenos que pone en regadío, nos limitaremos a consignar que se estimaban en más de 600 millones de pesetas en la fecha en que se redactó el proyecto, hace tres años, y que los ingresos, tanto directos como indirectos, representaban para el Estado más de 34 millones anuales. Más interesante, si cabe, son los beneficios que ocasiona en los aprovechamientos hidráulicos de aguas abajo, para evaluar los cuales seguiremos al autor del proyecto, aunque actualizando ligeramente los datos por conocerse mejor en el momento actual estos aprovechamientos.

El autor supone dividido el Sil en varios tramos, que asimilaremos a los siguientes:



- I. Salto de Bárcena: Desnivel medio, 72 m.
- II. Salto de Cornatel: Desnivel medio, 130 m.
- III. Salto de Quereño: Desnivel medio, 36 m.
- IV. Tramo hasta el Miño: Desnivel aprovechable medio, 215 m.
- V. Tramo hasta el mar: Desnivel aprovechable medio, 100 m.

Se obtiene en total un salto aprovechable medio de 553 m, que, teniendo en cuenta la capacidad útil del embalse de 280 Hm³, equivale a una producción de 340 millones de kWh en verano, aparte del aumento que pueda originarse en otras épocas del año por laminación de avenidas. Esta producción, por sí sola, justifica la construcción de la obra, ya que es de tener en cuenta que en el momento actual equivale a la utilización de un capital superior a mil millones de pesetas, en tanto que la ejecución total de la obra, incluso expropiaciones, canales y red de acequias, se ha valorado en una cantidad inferior a cuatrocientos millones.

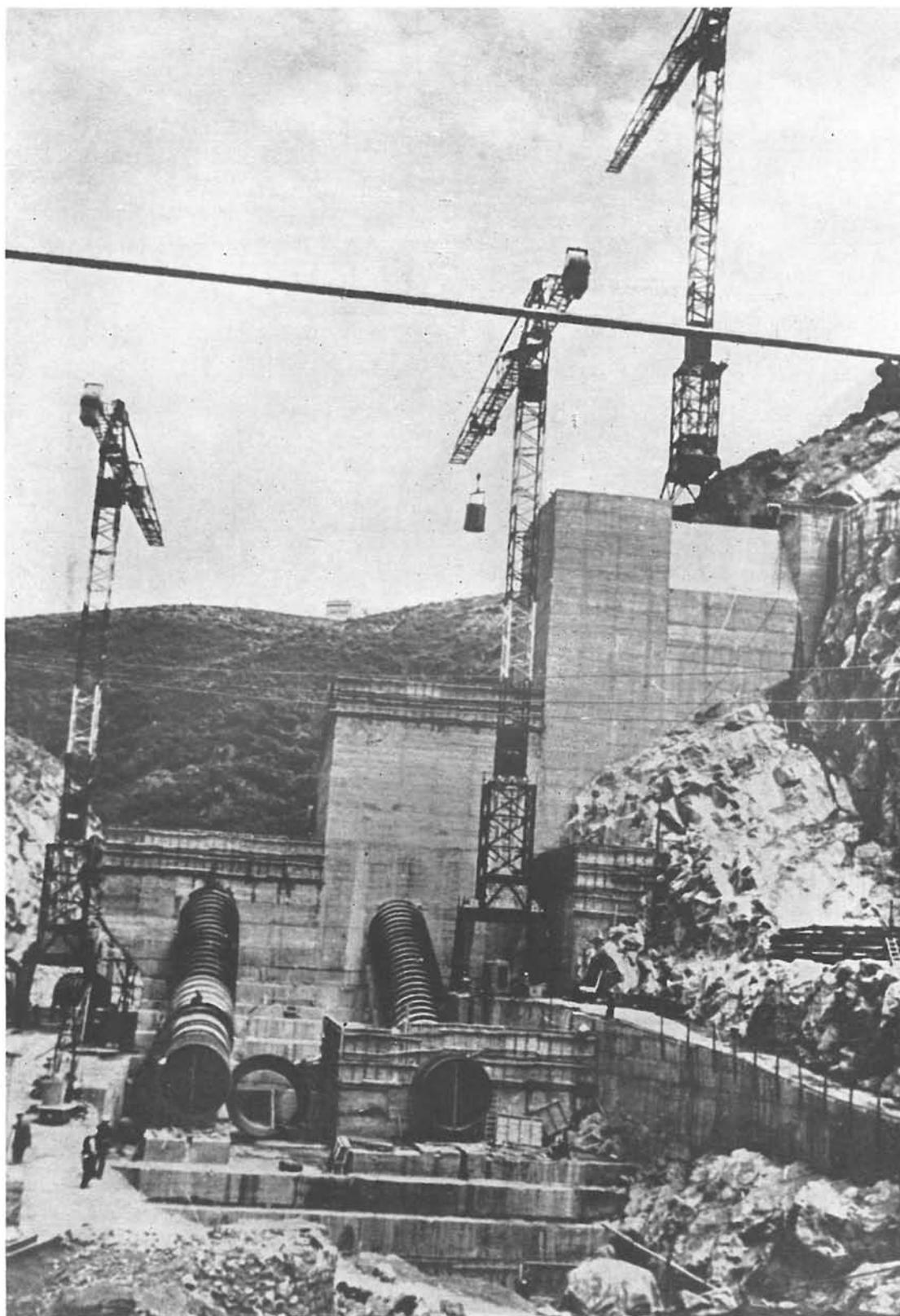
El embalse se consigue por medio de una presa de gravedad, de planta recta, cuya construcción se encuentra muy adelantada. Está situada en una cerrada de granito a unos tres kilómetros aguas arriba de la presa

de Fuente del Azufre, cuyo embalse llega hasta la misma obra.

No teniendo el vaso limitación geológica en altura, ya que únicamente es necesario cerrar unas pequeñas vauadas en la margen derecha, cerca del pueblo de Cubillos, para alcanzar la cota de agua embalsada que se desee, se tuvieron en cuenta otros factores. Fué el de más peso obtener una regulación lo más completa posible del río, teniendo en cuenta sus aportaciones anuales y la posibilidad de construir un embalse llamado de San Miguel de las Dueñas, sobre el río Boeza, afluente del Sil, que debería estar unido al de Bárcena por un túnel de transvase. El anteproyecto de este embalse estaba aprobado por la superioridad a la cota 620, y su construcción permitiría realizar un biembalse capaz para 700 Hm³, que regularía por completo las aportaciones de ambos ríos y mejoraría notablemente los aprovechamientos de aguas abajo.

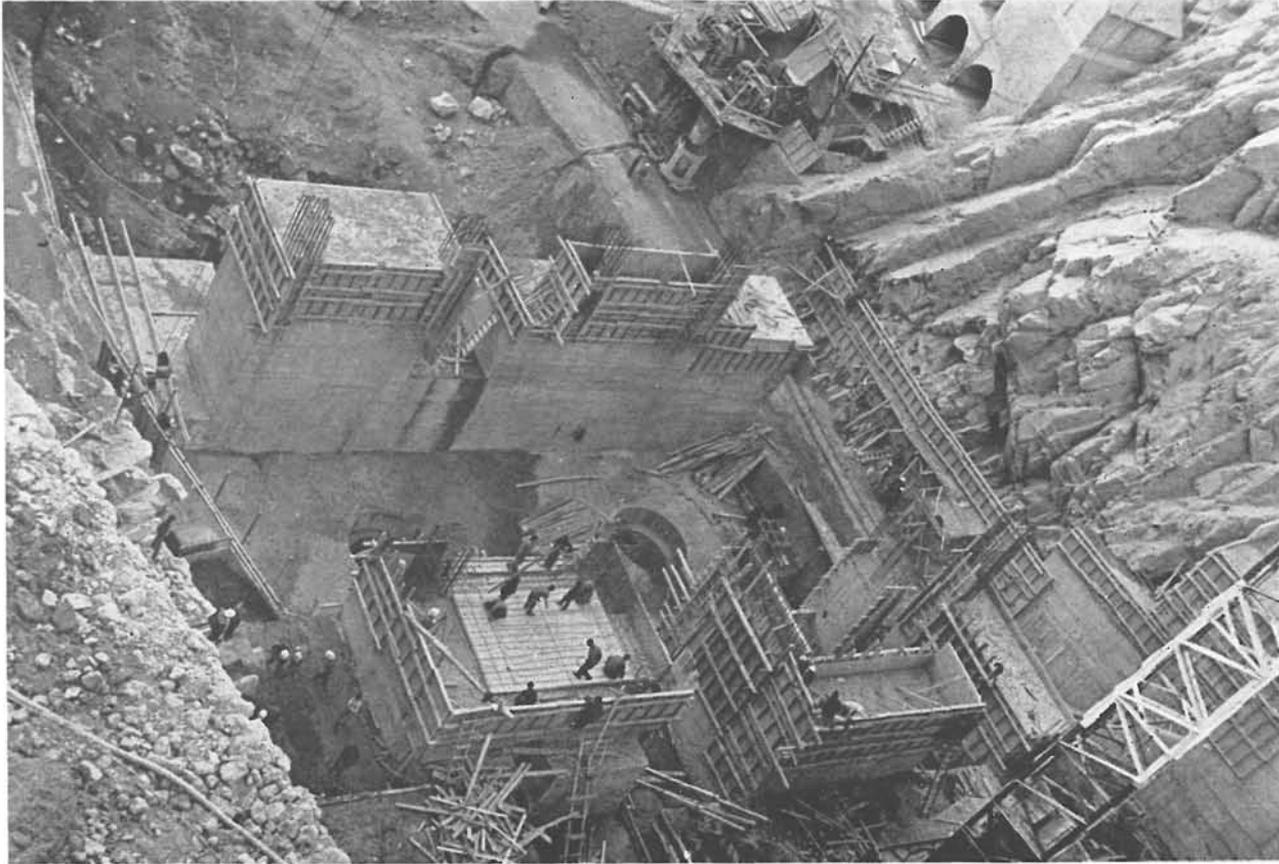
Se adoptó, por consiguiente, la misma cota para el Pantano de Bárcena, aumentando en doce metros la altura de la presa, sobre lo calculado en el anteproyecto, en el que ya había sido prevista una posible variación.

Lo acertado de esta medida puede calibrarse mejor en el momento actual, ya que existiendo pocas probabilidades de que se realice el Pantano de San Miguel, debido a la creciente importancia minera y agrícola del valle del Boeza, de haber escogido una cota inferior, la regulación del Sil hubiera sido precaria.



Colocación de virolas de la tubería forzada

Terminando el montaje de las tuberías.



La cota mínima del embalse ha sido fijada a la 580, teniendo en cuenta especialmente la superficie de la zona regable que podía obtenerse, partiendo el canal de toma de esa altura, estudiando la importancia del embalse muerto y determinando que no fuera demasiado grande la variación del salto que debían utilizar las máquinas de la central hidráulica instaladas a pie de presa.

Se ha formado, de esta manera, un embalse de 340 Hm³ de capacidad total y 280 de capacidad útil, que se extiende hasta 12 km aguas arriba de la presa. Para conseguirlo ha sido necesario cerrar unas pequeñas vaguadas de la margen derecha por medio de cuatro diques de tierra, de unos 1.450 m de longitud total en coronación y cerca de diez metros de altura máxima. Con él se anegan los pueblos de Bárcena y Posada del Río, y el ferrocarril de la Sociedad Minero-Siderúrgica de Ponferrada que une esta ciudad con Villablino en el alto Sil, en el que es necesario realizar una variante de unos quince kilómetros de longitud, quedando también afectado un tramo abandonado de la carretera Madrid-La Coruña.

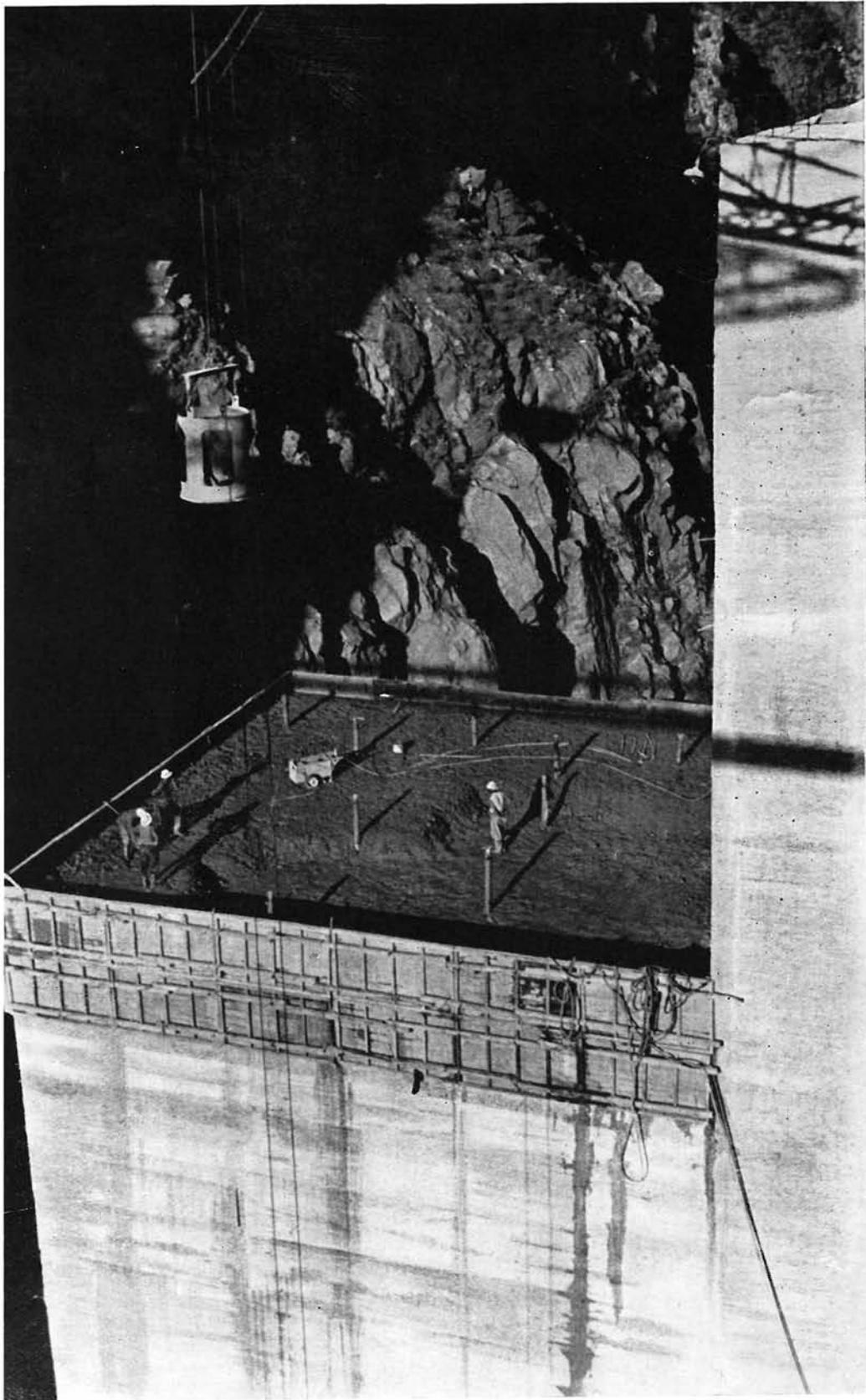
Presa

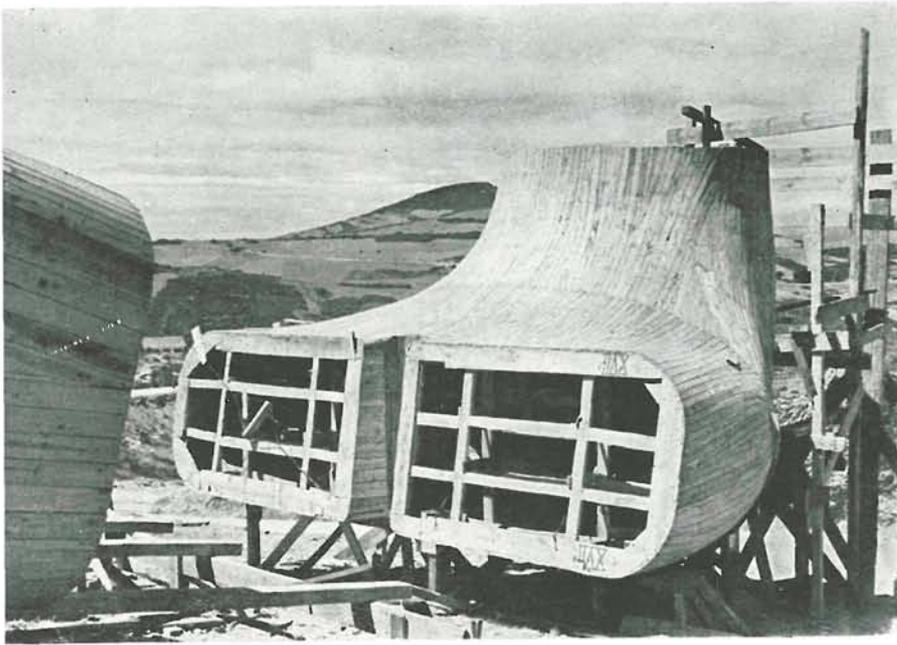
Se ha adoptado, como queda dicho, el tipo de presa gravedad de planta recta. La sección es triangular, con el paramento vertical aguas arriba y un talud de 0,8 aguas abajo, teniendo el vértice del triángulo a la cota 620 y una altura máxima de 109 m.

Los principales elementos que la constituyen, como el aliviadero de superficie, el de fondo, las tomas de agua y la central de pie de presa, han sido estudiados cuidadosamente en modelo reducido. Los ensayos más interesantes corresponden, probablemente al comportamiento hidráulico del aliviadero de superficie proyectado en salto de Sky, y a los desagües de fondo y de las turbinas de la casa de máquinas. El primero ha sido proyectado para evacuar hasta 1.050 m³/s., aunque la avenida máxima probable, para un período de mil años, ha sido calculada en 1.600 m³/s., por tener en cuenta la laminación que en esta avenida debe producir el propio embalse.

Con la solución adoptada se ha tratado conseguir un lanzamiento centrado en el cauce y de la máxima dispersión para todos los caudales que no puedan ser evacuados por el desagüe de fondo, resolviendo especialmente los problemas de la situación del aliviadero, en relación a su construcción más económica y su perfil y terminación más adecuados para conseguir la máxima anulación posible de energía. Se han estudiado, además, las posibles erosiones del cauce durante la evacuación de las avenidas y la manera de evitarlas, así como la posible formación de barras, debidas a las erosiones, que pudieran ocasionar una disminución en el salto neto de las turbinas.

Con relación a la casa de máquinas, se ha estudiado su posición más conveniente respecto al cauce, a fin de que sus orillas no tengan efecto en la salida del agua por las tuberías de aspiración.





Encofrado de los tubos de aspiración.

Por último, se ha determinado la necesidad del desagüe de fondo que ha de utilizarse para proporcionar los caudales de servidumbre que no pudieran ser dados por la central por tener averiadas sus máquinas. Aparte de ello, su ejecución queda justificada para poder aprovechar incluso la reserva muerta del embalse, si ello fuera necesario, en algún año excepcionalmente seco.

Como elemento totalmente independiente de la presa, se ha proyectado la toma de agua del canal alto del Bierzo. Se proyectó primeramente a la cota 590, pero en la actualidad se realiza a la 580, lo que permite una utilización mayor del volumen embalsado, al poder bajar el nivel diez metros más, dejando de regar solamente 300 Ha, que, en último caso, podrían ser utilizadas con un sencillo bombeo.

La toma se ejecuta en túnel por medio de dos tuberías cerradas por válvulas de compuerta y regulada por válvulas de aguja.

El agua de servidumbre para el riego del Bajo Bierzo, con toma de la Fuente del Azufre, se evacuará normalmente por las turbinas de la casa de máquinas y, en su defecto, por los desagües de superficie o de fondo.

La Central

Se ha proyectado en el paramento de aguas abajo de la presa, con estructura independiente de ella y centrada en el cauce del río, a fin, como queda dicho, de evitar alteraciones en el desagüe de sus turbinas por las laderas del río.

Al quedar destinados los meses de invierno al llenado del embalse, funciona suministrando, casi exclusivamente, energía de verano y, dentro de ésta, por contar con un contraembalse en Fuente del Azufre, proporciona energía para cubrir puntas diarias.

Teniendo en cuenta su funcionamiento, es fácil deducir que ha sido equipada para caudales fuertes, y que el número anual de horas de utilización debe ser escaso. Posee dos turbinas Francis, de eje vertical, que aprovechan cada una caudales variables de 50,5 m³/s hasta 35,6 al variar la altura del salto desde 84 a 44 m.

Sus características extremas son las siguientes:

Salto neto: 84 m - 44 m.

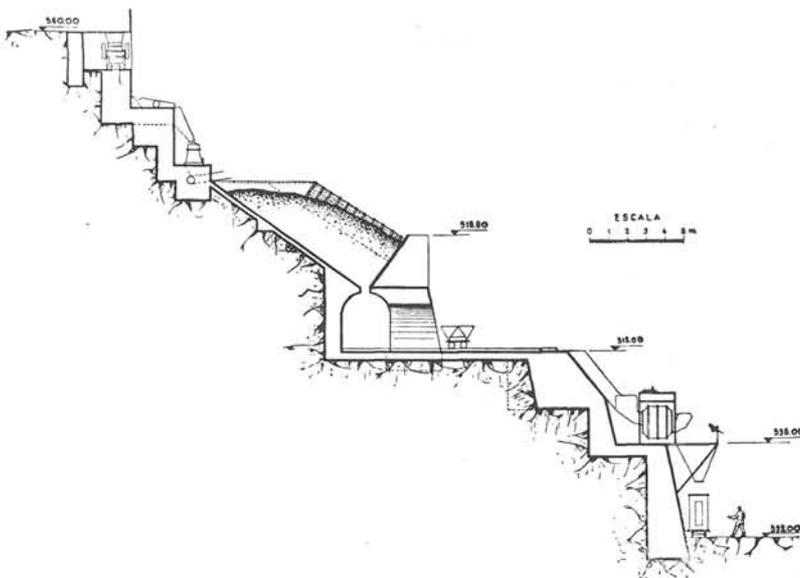
Potencia: 48.900 CV - 18.700 CV.

Rendimiento: 86,8 - 89,5.

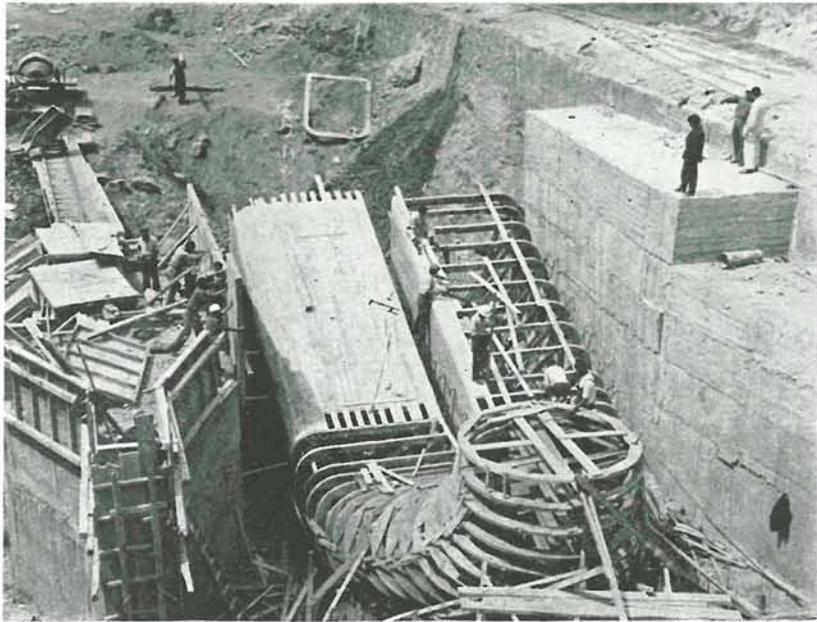
Potencia de alternadores: 36.000 kVA.

Tensión generadora: 11 kV.

No creemos necesario incluir en este artículo las curvas de producción de energía correspondientes a esta central, ya que al hallarse su explotación íntimamente ligada con la de los saltos que, aguas abajo, tiene en construcción la Empresa Nacional de Electricidad, forman un conjunto que no debe ser separado. Más adelante consignaremos las producciones de estos saltos y las razones de su funcionamiento.



instalación de hormigonado n.º 1



Preparación de encofrados para la aspiración

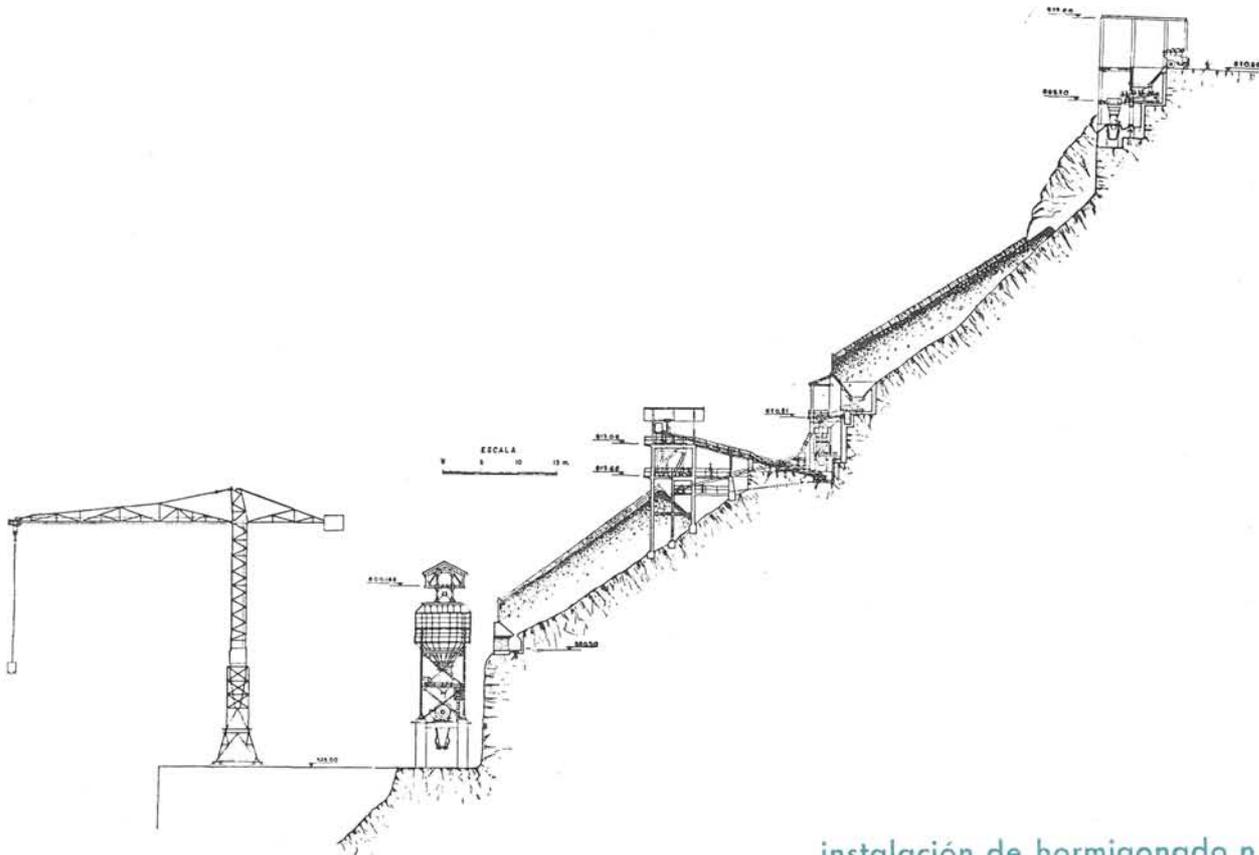
La Obra

Reseñados los pueblos y vías de comunicación afectados por el embalse, vamos a indicar, someramente, las obras auxiliares que ha sido preciso realizar para su construcción y la organización de la obra.

Caminos de servicio. — Se han construido varios caminos para el acceso de los materiales y maquinaria a la obra. Son: el camino ejecutado por la margen derecha del río, de 5 km de longitud, que enlaza la Central Térmica de Compostilla con la presa, y se prolonga en un ramal, de 2,5 km, hasta los dique de tierra que cierran el vaso en esta margen; el camino de la margen izquierda, que con una longitud de 3,7 km forma el acceso a la presa desde la carretera general de Madrid-La Coruña, y el ramal de acceso a la central de 1 km de longitud.

Poblado. — En la margen izquierda, muy próximo al emplazamiento de la presa, se ha realizado un poblado completo cuya situación puede verse en el plano general.

Desviación del río. — Se ha conseguido realizando en la margen izquierda una galería de unos 300 m de longitud, capaz para evacuar



instalación de hormigonado n.º 2

100 m³/s, y terminando de cerrar el recinto por una ataguía y contra-ataguía vertederos, con sección tipo gravedad, la primera con planta curva y la segunda con planta recta.

Excavación.—En el cauce del río, lo mismo que en el túnel de desviación, se han utilizado barrenas especiales, con punta de widia, para su excavación, y los materiales han sido cargados por palas excavadoras sobre camiones volquete, formando con ellos escombreras que, posteriormente, han sido utilizadas en el hormigonado de la parte baja de la presa y en el de la casa de máquinas.

Hormigonado.—Se ha seguido el procedimiento, avalado por la práctica, de disponer dos estaciones de hormigonado. La estación número uno, situada en una cota baja, la 540 en este caso, sirve para hormigonar los cimientos y las tongadas inferiores de la presa, utilizando, a ser posible, los productos procedentes de la excavación. Esta estación es, prácticamente, imprescindible si el hormigonado de la presa se hace por medio de blondines, ya que evita los largos desplazamientos verticales de los baldes, que serían necesarios al realizar las cimentaciones si sólo se dispusiera de la instalación de hormigonado final, situada normalmente muy próxima a la cota de coronación de la presa. Aunque el hormigonado se efectúe por otros medios, como en el caso de Bárcena, en que se hace por grúas torre, el transporte de los baldes hasta éstas se facilita enormemente en las partes bajas de la presa, resultando luego utilísima para ejecutar diversas partes de la obra, como la estructura de la central de hormigón armado y la de otros elementos, como las tomas de agua y los desagües cuyo hormigón tiene una dosificación completamente distinta del hormigón que forma la presa, que estará entonces suministrada por la segunda estación. De esta forma se evitan equivocaciones peligrosas en la colocación de los hormigones.

La instalación de hormigonado número dos ha sido levantada en la margen izquierda del río. Está alimentada por una estación de machaqueo, capaz de producir áridos para fabricar 50 m³ de hormigón por hora, que se almacenan en silos de 3.000 m³ de capacidad. La central de hormigonado es de dosificación automática, con dos hormigoneras de 2.500 litros, aptas para una producción máxima horaria de 80 m³.

La puesta en obra del hormigón se realiza con baldes de descarga automática, transportados por tres grúas torre desplazables sobre carriles, que los pueden elevar hasta una altura de 42 m y desplazarlos sobre un brazo horizontal de 30 m de alcance máximo.

Para terminar, citaremos que el cemento se transporta a granel, sobre camiones Pegaso de 8 t de capacidad, de caja hermética basculante. Por medio de aerodeslizadores se transporta a dos silos metálicos de 1.000 t de capacidad cada uno, y desde éstos, hasta la torre de fabricación de hormigones, por medios neumáticos.



Ensayos, con modelo reducido, del pie del aliviadero y cuenco.

Paramento de aguas arriba mostrando las tomas de agua.