

EL APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LOS RIOS CAMBA Y CONSO

Ing. C. C. P. A. DEL CAMPO **VOCAL**

EL SISTEMA HIDROELECTRICO DE SALTOS DEL SIL

La cuenca del río Sil ofrece excelentes condiciones naturales para su aprovechamiento hidroeléctrico, debido a las características hidrológicas y geográficas de la región.

Las precipitaciones son abundantes en la mayor parte de la cuenca, alcanzándose, en algunas zonas de cabecera, una media anual de 2.674 mm, siendo la precipitación media recogida en toda la cuenca de 1.288 mm por año. La cuenca es impermeable y con fuertes pendientes, por lo que son altas las escorrentías, registrán-

3

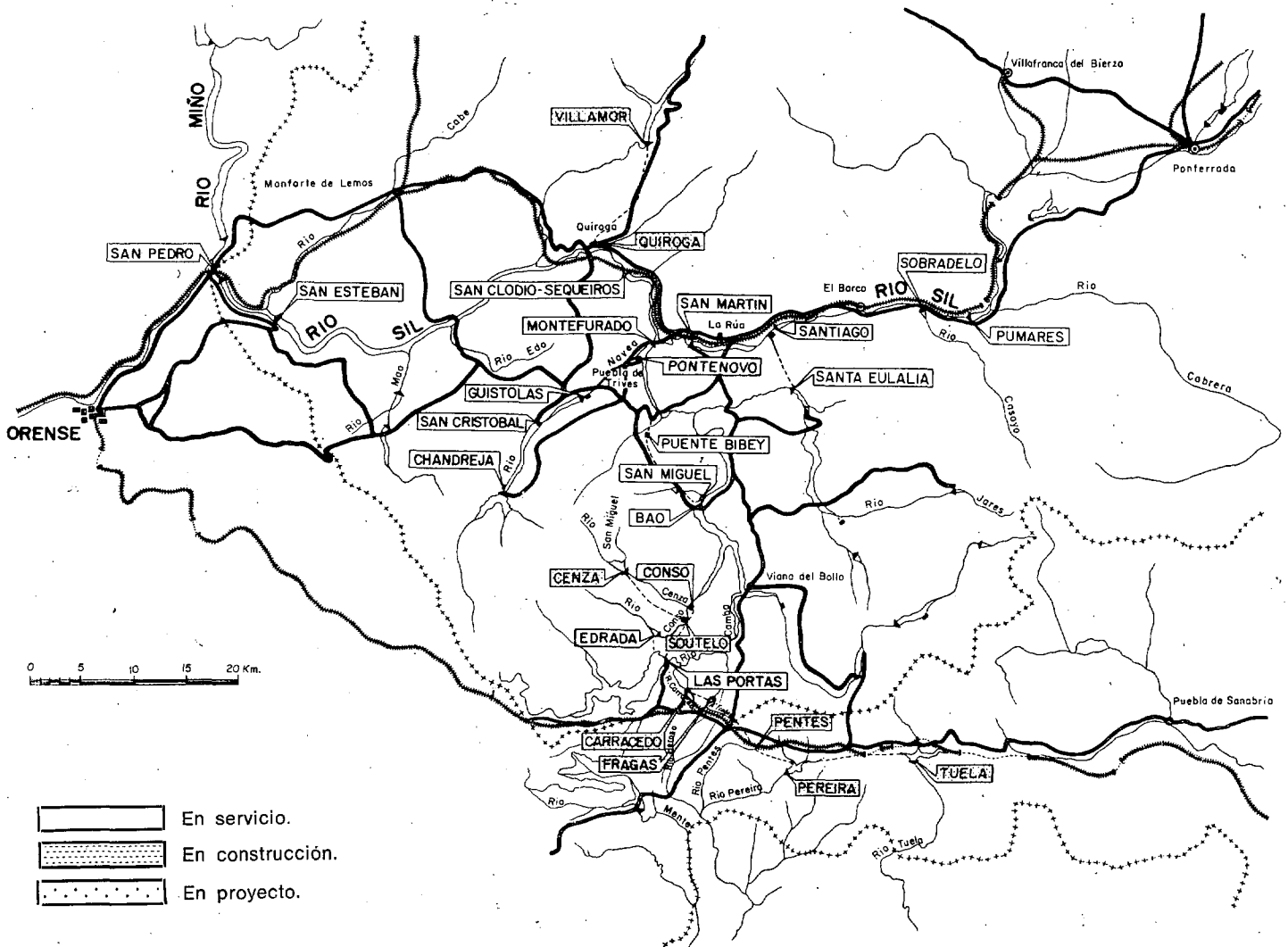


Fig. 1. — Planta general del sistema hidroeléctrico de Saltos del Sil, S. A.

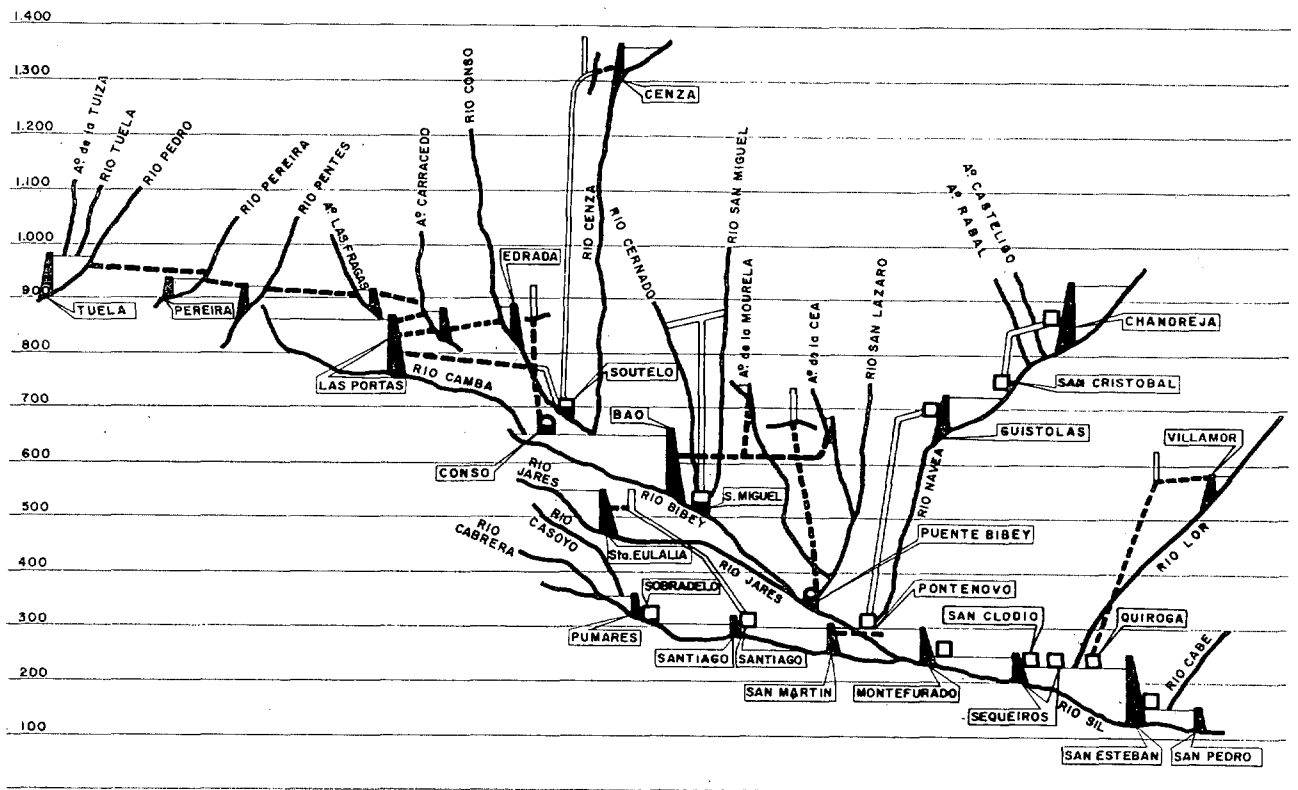


Fig. 2. — Perfil esquemático del sistema hidroeléctrico de Saltos del Sil, S. A.

dose en el bajo Sil un caudal medio de 184 m³/seg. para una cuenca de 7.889 Km², lo que representa un caudal específico de 23,4 l/seg. y kilómetro cuadrado. Aunque abundantes, los caudales son irregulares, debido a la climatología de la región, afectada, fundamentalmente, por los temporales de componente Sudoeste, por la escasa retención de las capas freáticas de la cuenca y por la moderada acumulación de nieve en las montañas de mediana altura que rodean la cuenca. Como consecuencia de la irregularidad en la distribución de las aportaciones, el aprovechamiento de los recursos hidroeléctricos de la cuenca del río Sil exige la construcción de importantes embalses de regulación, destinados a garantizar la producción de energía durante períodos secos.

Los movimientos tectónicos que afectaron al noroeste de la Península Ibérica dejaron una extensa altiplanicie, en la que el propio río Sil, en su tramo inferior, y algunos de sus afluentes, han labrado profundos cañones, quedando los cursos medios de los afluentes en la altiplanicie. Tal morfología es favorable a la utilización hidroeléctrica de los recursos de la cuenca, mediante presas que remansan las aguas del río principal, permitiendo la utilización del salto creado por ellas y embalses construidos en sus afluentes, de los que parten conducciones

destinadas a utilizar en cada salto el desnivel entre la altiplanicie y los cursos bajos de los ríos. La presencia de vías de comunicación, poblaciones y vegas a lo largo de la mayor parte del propio río Sil, han impedido la construcción de embalses con capacidad suficiente para regular sus caudales, lo que debe compensarse por la construcción de embalses en la afluentes, suficientes para regular la energía producida por el sistema, aunque no lo sean para la regulación integral de caudales en el curso bajo del río Sil.

El sistema hidroeléctrico de Saltos del Sil, desarrollado hasta ahora, pertenece a tres concesiones, una de las cuales corresponde al aprovechamiento del propio río Sil, con seis saltos; otra a la del río Navea, afluente del Bibey, totalmente en explotación, con cuatro centrales, y, finalmente, el aprovechamiento hidroeléctrico del afluente principal del Sil, río Bibey, del que están en servicio dos saltos, y en construcción, el aprovechamiento hidroeléctrico de los ríos Camba y Conso, objeto de este artículo.

En el cuadro I se indican las principales características de los aprovechamientos en explotación, construcción y en proyecto, que forman el sistema hidroeléctrico de Saltos del Sil, representándose su situación en la

CUADRO 1. — Cuadro de características de centrales.

3

Aprovechamiento	Río	Superficie de cuenca km ²	Energía embalsada GWh.	Altura de presa m.	Salto neto m.	Caudales a plena carga m ³ /seg.	Números de grupos	Potencia instalada kW.	Energía anual media 10 ⁶ kWh.
<i>En explotación:</i>									
Chandreja	Navea	149,3	104,982	85,0	66,5	8,0	2	4.000	17,0
San Cristóbal	Navea	177,1	—	—	126,2	10,0	2	10.560	57,2
Guístolas	Navea	222,9	5,240	32,0	17,0	12,0	1	1.400	6,9
Ponte Novo	Navea	222,9	—	—	380,8	12,0	4	38.400	192,0
San Miguel	San Miguel	27,6	—	9,5	236,6	0,3	2	600	2,7
Puente Bibey	Bibey	809,5	267,144	107,0	356,6	88,0	4	328.800	609,1
Jares inferior	Jares	302,0	5,940	74,0	216,5	28,0	2	51.200	104,0
Santiago	Sil	4.321,0	0,377	20,5	12,0	160,0	2	14.400	52,8
Montefurado	Sil-Bibey	6.058,7	4,872	42,0	34,5	135,0	3	38.400	202,8
Sequeiros	Sil	6.221,0	1,958	22,2	18,6	112,5	3	18.000	138,7
San Clodio	Sil	6.221,0	—	—	17,6	125,0	1	17.600	—
San Esteban	Sil	7.203,2	45,587	115,0	103,0	300,0	4	265.480	920,3
San Pedro	Sil	7.971,4	0,096	31,7	18,4	225,0	2	32.000	156,8
Sobradelo	Sil-Casoyo	4.131,6	0,337	20,0	30,0	160,0	2	38.400	144,0
Suma			436,533					859.240	2.604,3
<i>En construcción:</i>									
Conso	Camba-Conso	214,4	895,000	141,0	210,0	120,0	3	228.000	168,8
<i>En proyecto:</i>									
Soutelo	Cenza	32,73	105,186	44,0	606,5 400,0	20,0 15,0	1 1	161.800	77,1
TOTAL			1.436,719					1.249.040	2.850,2

COLEGIO INGENIEROS DE CAMINOS

BIBLIOTECA

CUADRO 2. — Cuadro de características de presas.

Presa	Río	Tipo	Altura máxima de cimientos m.	Longitud de coronación m.	Volumen de presa 10 ³ m.	Capacidad de embalse Hm ³	Cota de máximo embalse m. s. n. m.	Superficie de la cuenca km ²	Caudal máximo de aliviaderos m ³ /seg.
Chandreja	Navea	Contrafuertes	85,0	236,0	154,4	60,6	910,0	149,3	500
Guístolas	Navea	Gravedad	32,0	155,0	30,5	4,7	700,0	222,9	650
Pumares	Sil	Gravedad	20,0	210,0	36,0	3,9	359,0	4.009,0	3.650
Casoyo	Casoyo	Arco gravedad	21,0	55,5	6,1	0,3	359,0	140,0	540
Santiago	Sil	Gravedad	20,5	147,0	27,0	1,7	301,0	4.321,0	3.500
San Martín	Sil	Gravedad	24,5	125,0	24,5	9,6	290,0	4.474,4	4.000
Montefurado	Bibey	Gravedad	42,0	155,0	68,0	10,5	290,0	1.584,3	1.800
Sequeiros	Sil	Gravedad	22,2	176,0	34,0	10,6	255,1	6.221,0	4.000
San Esteban	Sil	Arco gravedad	115,0	295,0	474,3	213,2	229,0	7.203,2	4.500
San Pedro	Sil	Gravedad	31,7	104,0	50,6	5,7	130,0	7.971,4	4.800
San Miguel	S. Miguel	Gravedad	9,5	27,0	1,1	—	815,0	27,6	143
Bao	Bibey	Gravedad	107,0	257,0	465,0	238,0	652,0	809,5	1.420
Cea	Cea	Gravedad	14,5	60,0	3,5	—	652,0	5,0	53
Mourela	Mourela	Gravedad	14,8	55,0	7,0	—	652,0	7,7	68
Sta. Eulalia	Jares	Arco	74,0	134,0	80,0	10,1	525,0	302,0	810
Las Portas (1)	Camba	Arco	141,0	477,0	641,3	535,7	882,0	168,3	200
Edrada (1)	Conso	Arco	23,8	108,7	9,5	0,2	888,0	46,1	286
Cenza (2)	Cenza	Escollera	44,0	600,5	644,6	43,4	1.345,0	32,7	160

(1) En construcción. (2) En proyecto.

figura 1, y el perfil esquemático del aprovechamiento hidroeléctrico, en la figura 2.

Las características principales de las presas que forman parte de este sistema hidroeléctrico se resumen en el cuadro II.

La producción media anual de energía en las instalaciones del sistema Sil, actualmente en explotación, se calcula en 2.604 GWh. Sin embargo, la irregularidad de la hidrología de la cuenca hace que la energía garantizada en año seco (período de retorno de veinte años) quede reducida a 1.624 GWh. Es conveniente elevar la producción garantizada, siempre que sea posible construir económicamente embalses con suficiente capacidad energética para reducir los déficits de energía producible en períodos secos.

Lo potencia instalada actualmente en el sistema Sil es de 859 MW, lo que exige una utilización de tres mil horas para la producción de energía en año medio y de mil novecientas horas para la producción en año seco. Esta utilización de la potencia era adecuada para la época en la que se desarrollaron las instalaciones principales del sistema, pero resultará elevada hacia el futuro, cuando las centrales hidroeléctricas dotadas de regulación deban hacerse cargo de las puntas de la demanda y actuar como reserva frente a incrementos de demanda o fallos de producción no programados, mientras las centrales térmicas se dedican a producir, con la mejor utilización posible, las enormes masas de energía demandadas.

APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LOS RIOS CAMBA Y CONSO

En la cuenca del río Bibey, además de los aprovechamientos de los ríos Navea y Jares, afluentes del Bibey en su curso inferior, está en explotación el aprovechamiento de Puente Bibey, del que forma parte el embalse de Bao, alimentado, además de por la cuenca alta del propio río Bibey, por sus afluentes los ríos Camba y Conso, aún sin explotar hidroeléctricamente.

El esquema de aprovechamiento de los ríos Camba y Conso fue previsto desde su concesión con un embalse construido en el río Camba, al que se transvasarían las aportaciones de la cuenca alta del río Conso, y del que partiría una galería a presión de cerca de 6 Km de longitud, destinada a alimentar la central hidroeléctrica situada en la margen derecha del embalse de Bao, en el valle del Conso, frente a la población de Villarino de Conso (fig. 3).

El río Conso tiene un afluente, denominado Cenza, de cuenca no muy extensa, pero situada a gran altitud, lo que permite su utilización hidroeléctrica en un salto de gran altura, coordinado con el aprovechamiento de Camba-Conso.

Si el aprovechamiento de Camba-Conso se estudiase aisladamente, su importancia hubiera sido moderada. Con una presa de 90 m de altura podrían haberse formado un embalse de 150 Hm³ y en la central se hubieran instalado máquinas con una potencia de 44 MW y una

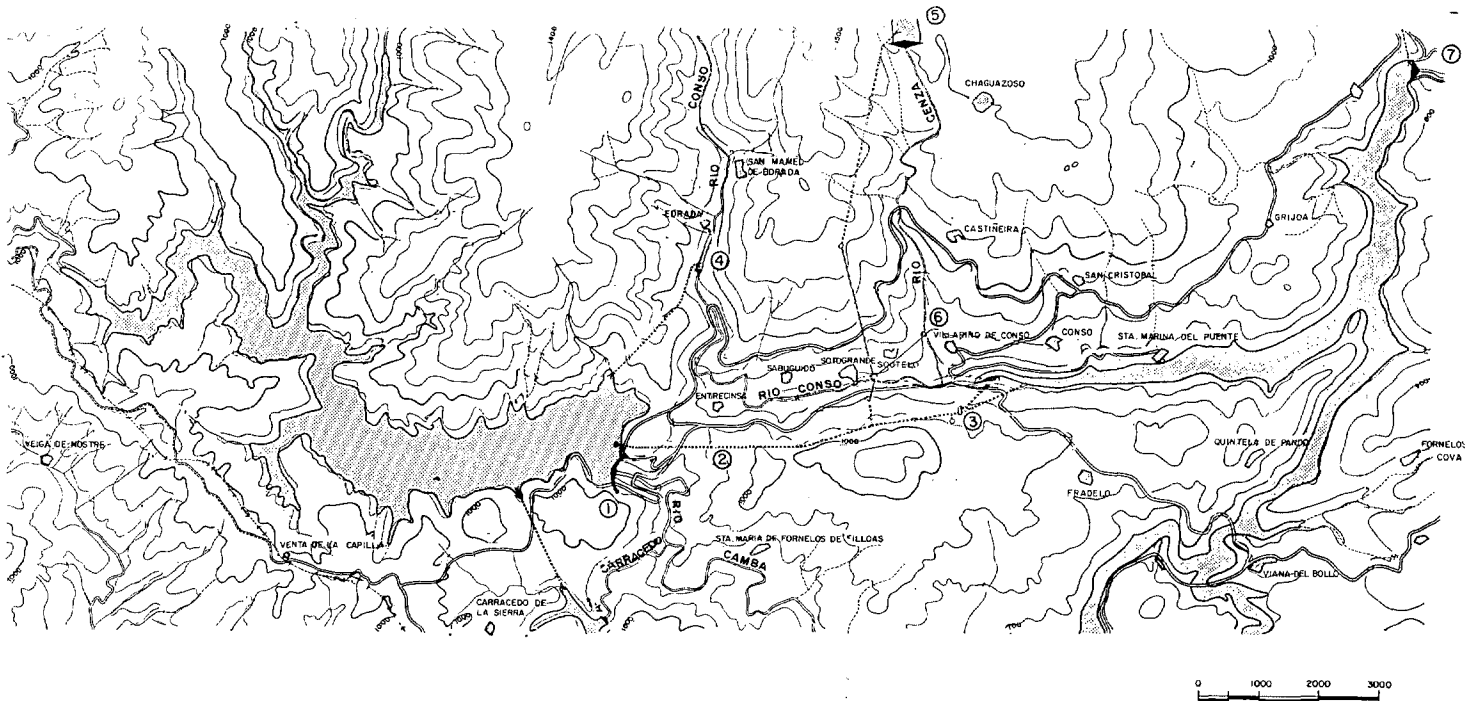


Fig. 3. — Planta general del aprovechamiento de Camba-Conso: 1, presa de Las Portas; 2, galería de presión; 3, central de Conso; 4, azud de Edrada; 5, presa del Cenza; 6, central de Soutelo; 7, presa de Bao.

capacidad de producción en un año medio de 116 GWh.

Sin embargo, el embalse que, mediante la construcción de la presa de Las Portas, se puede formar en el río Camba reúne unas condiciones extraordinarias en lo que respecta a coste por kWh retenido y a flexibilidad de explotación, por lo que se consideró conveniente, conservando el esquema del aprovechamiento de los ríos Camba y Conso, dimensionar la capacidad de su embalse, conducciones y potencia instalada, no como un aprovechamiento aislado, sino como el complemento de un sistema hidroeléctrico y previendo también la conjugación de su explotación con un amplio sistema de producción de energía eléctrica, destinado a abastecer con garantía a un mercado. La condición nueva que se introduce consiste en proyectar el aprovechamiento de manera que incremente la energía y potencia garantizadas en la mayor proporción que sea económicamente justificada, lo que hace conveniente prever nuevas aportaciones al embalse de Las Portas por transvase de aportaciones de otras cuencas y por elevación de caudales por bombeo.

A estos efectos, está prevista la incorporación, mediante transvase al embalse de Las Portas, de caudales derivados de los ríos Tuela, Pereira y Pentas, que vierten hacia la cuenca del Duero, dentro de Portugal.

La cuenca del río Camba, afluente al embalse de Las Portas, incrementada con la del río Conso, cuyas aportaciones han de transvasarse, tiene una extensión de 214 Km², que proporcionan una aportación anual media de 332 Hm³, muy elevada en proporción a la superficie de la cuenca, ya que representa un caudal específico de 49 l/seg. y kilómetro cuadrado. Una vez completados los demás transvases previstos, la aportación media anual al embalse de Las Portas se elevaría 524 Hm³.

DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DEL EMBALSE DE LAS PORTAS

La energía, garantizada por un sistema de producción de energía eléctrica, puede elevarse adicionando instalaciones con producción ilimitada de energía (centrales térmicas), o bien cubriendo las deficiencias que pudieran producirse en ciertas épocas con la aportación de la energía acumulada en embalses.

Quando los períodos deficitarios de energía sean cortos y entre ellos sea posible recuperar las reservas embalsadas, la solución de nuevos embalses utilizados en las centrales ya existentes será, probablemente, más económica que la adición de nuevas instalaciones de producción de energía, que habrían de permanecer en reserva todo el tiempo, excepto en las épocas en las que la demanda de energía no quedase cubierta con la producción de las instalaciones ya existentes. En cambio, sería más económico incrementar la capacidad de producción de energía que construir embalses destinados a cubrir con sus recursos las deficiencias de producción durante períodos de desembalse demasiado prolongados.

Los embalses hidroeléctricos, en el futuro, no deben dedicarse, exclusivamente, a regularizar las aportaciones hidroeléctricas, sino como almacenes de energía destinados a subsanar las deficiencias en el suministro de energía que pueden producirse por cualquier causa, como pudieran ser no sólo los períodos hidrológicos de sequía, sino también las desviaciones ocasionadas por incrementos u oscilaciones fuertes de la demanda, por averías o revisiones en grandes grupos térmicos, por retrasos o entradas escalonadas de nuevas centrales, etc. Por otra parte, como cualquier almacén, los embalses tienen un papel muy interesante en la optimización económica de la explotación, al permitir acumular energía (incluso mediante bombeo) en épocas en que su producción es barata o excedentaria, para utilizarla en otras épocas en las que sus costes marginales de producción son elevados o en que se puede colocar en condiciones ventajosas en el mercado.

En el sistema hidroeléctrico de Saltos del Sil las reservas acumulables en los embalses son suficientes para regular la producción de energía en años secos, pero sería conveniente incrementarlas para atender a las otras funciones antes indicadas e incrementar la producción garantizada dando amplitud interanual al desembalse.

La duración del semiperíodo de desembalse T_d es un factor fundamental sobre la economía de los embalses, al obtenerse el incremento de la producción anual garantizada ΔP dividiendo la capacidad adicional de embalse ΔE por el tiempo T_d que transcurre desde que se inicia el desembalse hasta cuando comienzan a recuperarse definitivamente las reservas:

$$\Delta P = \frac{\Delta E}{T_d}$$

En los fenómenos hidrológicos el semiperíodo de desembalse para una determinada probabilidad de suministro, crece con el volumen de recursos utilizados y salta de manera casi brusca de los cuatro a seis meses, necesarios para la regulación estacional, a unos dieciocho o veinte meses, que afectan a la regulación correspondiente a un año seco y a unos treinta meses cuando se quiere garantizar el suministro durante un período seco interanual.

Se calculó la capacidad de embalse necesaria para regular las aportaciones o energía distribuidas proporcionalmente a las aportaciones del río Sil en los períodos secos registrados en los últimos sesenta años. En la figura 4 se representa la capacidad de embalse referida a la aportación media; necesaria para regular un porcentaje de dicha aportación. A efectos del dimensionado del embalse, tiene mayor interés la curva representada en la figura 5, que da la capacidad marginal de embalse necesaria para asegurar un metro cúbico o kilovatio más regulado en función de la proporción de energía o aportaciones reguladas, referidas a las medias anuales. Con la regulación estacional no podría garantizarse más del 56 por 100 de la aportación o energía

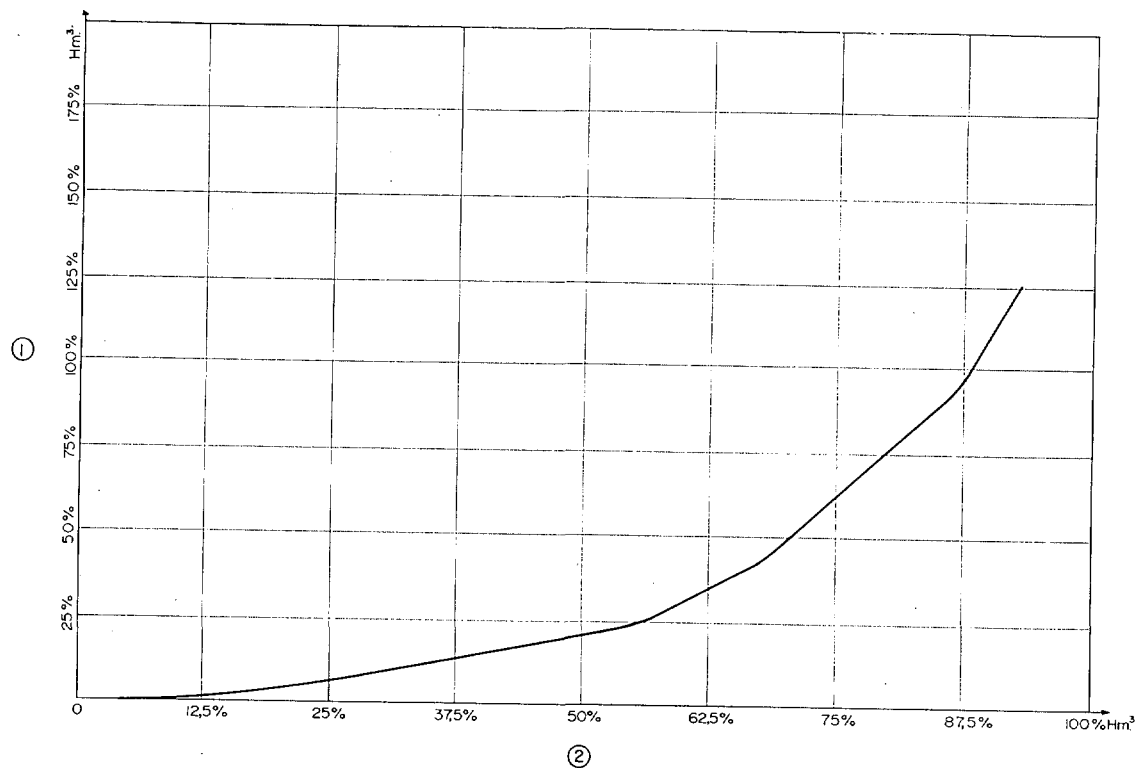


Fig. 4. — Capacidad total de embalse en función de la energía regulada anualmente: 1, capacidad total de embalse (tanto por ciento de la aportación media); 2, energía regulada anualmente (tanto por ciento de la aportación media).

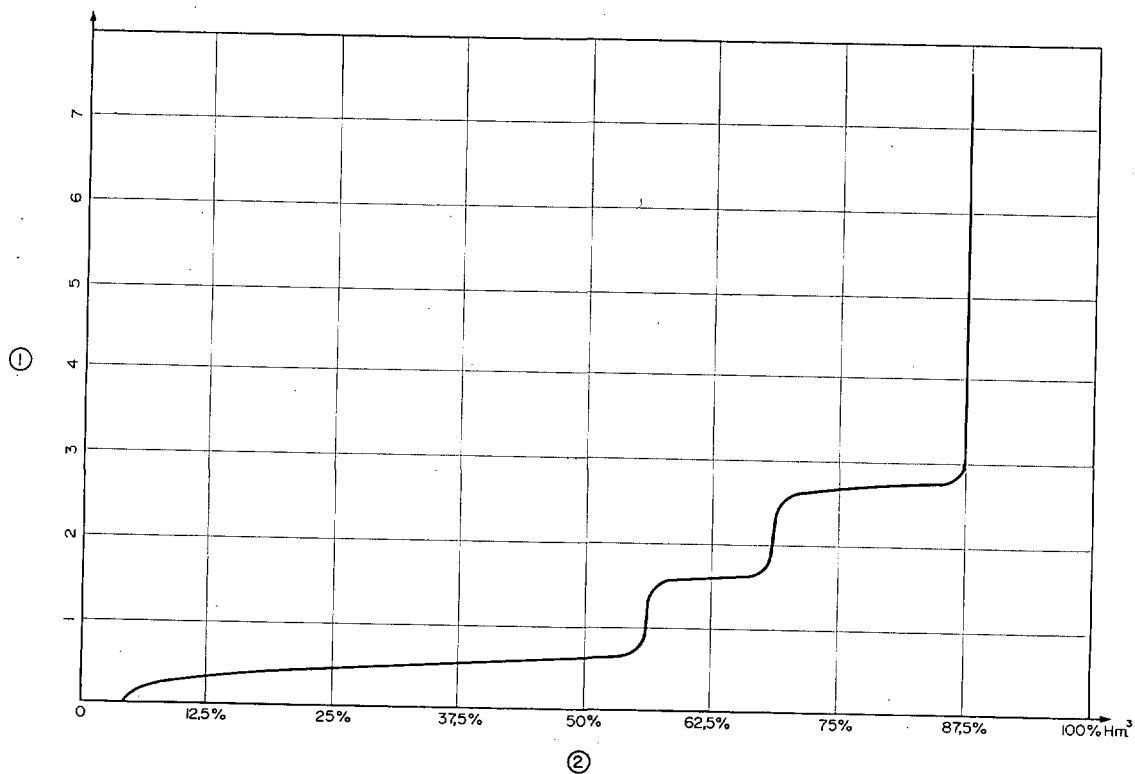


Fig. 5. — Capacidad marginal de embalse en función de la energía regulada anualmente: 1, capacidad marginal de embalse por kWh por año; 2, energía regulada anualmente (tanto por ciento de la aportación media).

media anual producible. Para elevar la regulación por encima de dicho porcentaje, se precisaría 1,64 m³ o kWh de embalse por cada metro cúbico o kilovatio hora adicional garantizado.

Con los costes marginales del embalse de Las Portas por kilovatio hora retenido, económicamente quedaban equilibradas la regulación y la alternativa de incrementar el equipo térmico para un período de desembalse de 1,64 años, que coincide con la regulación interanual que cubre un año y el estiaje de otro. A pesar de este equilibrio entre ambas alternativas, se decidió dimensionar el embalse de Las Portas, para incrementar la energía garantizada en año seco, considerando otros beneficios generales derivados de la regulación de caudales y la posibilidad, en el futuro, de utilizar el embalse con ciclos más cortos para atender a deficiencias en la producción de energía, debido a causas extrahidrológicas.

Se hizo una primera estimación de la capacidad de embalse conveniente, a partir de los producibles anuales de energía en el sistema, suponiendo que se reparten aleatoriamente, sin autocorrelación entre años sucesivos, y que se reparten siguiendo la distribución de Gauss. La ecuación de balance de energía en un año deficitario será:

$$\frac{P_g}{P_m} = 1 - \frac{D_{95}}{P_m} + \frac{E}{P_m}$$

Siendo:

P_g = la producción que se piensa garantizar con una probabilidad del 95 por 100.

P_m = la productibilidad media anual.

D_{95} = el déficit de producción de energía cuya probabilidad de no sobrepasarse es el 95 por 100.

E = el embalse necesario para hacer frente a la deficiencia de producción de un año.

La producción garantizada P_g debe limitarse a la que exigiría un mayor embalse en caso de producirse un bienio seco con la misma probabilidad, lo que, en caso de aceptarse la distribución normal para las desviaciones de la energía anual producible, daría:

$$\frac{2P_g}{P_m} \leq 2 - \sqrt{2} \frac{D_{95}}{P_m} + \frac{E}{P_m}$$

De donde se deduce:

$$P_g \leq \left(1 - 0,41 \frac{D_{95}}{P_m}\right) P_m$$

y como máxima utilización:

$$E = 0,59 D_{95}$$

De acuerdo con este procedimiento, sería necesaria una capacidad adicional de embalse de unos 900 GWh para completar la regulación del sistema Sil.

Como existe mayor probabilidad en la sucesión de varios años secos de la que correspondería a una distribución completamente aleatoria, y, por otra parte, los fenómenos hidrológicos no siguen estrictamente la distribución de Gauss, con los datos hidrológicos disponibles en un plazo de sesenta años se ha simulado la producción de energía del sistema con diversas capacidades en el embalse de Las Portas.

Se ha fijado el máximo nivel de embalse de Las Portas en la cota 882 y el mínimo en la cota 810, obteniéndose un volumen total de embalse de 535 Hm³, de los que 473 Hm³ son útiles, proporcionando una reserva energética de 856 GWh.

Con el aprovechamiento de los ríos Camba y Conso la producción de energía en todo el sistema se eleva en 280 GWh (incluidos los incrementos de producción en las centrales ya existentes) y la energía garantizada en año seco en 561 GWh, alcanzando la producción media total 2.825 GWh, de los que la producción de 2.185 GWh (~ 75 por 100) quedaría garantizada en una probabilidad del 95 por 100.

La capacidad del embalse de Las Portas es muy elevada en comparación con las aportaciones directas que recibe, existiendo sólo una probabilidad del 17 por 100 de llenarse en un año y de un 80 por 100 de llenarse en dos años. Con las aportaciones de las captaciones que se prevé realizar en el futuro, las probabilidades de llenado en un año se incrementarían hasta el 53 por 100. La posibilidad de elevar al embalse volúmenes de agua mediante bombeo, puede acortar notablemente el semiperíodo de llenado del embalse, como se ha comprobado en la explotación del embalse de Almendra, sobre el río Tormes.

CAUDAL A UTILIZAR

La limitación de los recursos hidroeléctricos utilizables en el país hace aconsejable que las centrales hidroeléctricas dotadas de embalse sean destinadas a atender la demanda de energía en horas punta, mientras las centrales térmicas de alto rendimiento y, especialmente, las centrales nucleares, se dedican a la producción masiva de energía en base. Por ello, las centrales hidroeléctricas con conducciones no demasiado largas y con la capacidad de embalse suficiente para la modulación de los caudales, deben ser equipadas con potencia suficiente para poder suministrar en horas punta la totalidad de la energía garantizada.

El aprovechamiento hidroeléctrico de los ríos Camba y Conso debe ser equipado con gran potencia, pues no sólo conviene que su energía se produzca en horas punta, sino, además, la producción de energía debe concentrarse en los años y temporadas en que exista deficiencia de energía de otras procedencias, y debe actuar como instalación de reserva con flexibilidad suficiente para adaptarse a dichas situaciones.

Se ha considerado conveniente dimensionar las conducciones y equipar la central para utilizar un caudal

hasta de 120 m³/seg., con lo que la utilización media anual de la central con las aportaciones naturales sería de setecientos cincuenta y tres horas durante la primera fase de la explotación y mil ciento cincuenta horas una vez completadas las obras de transvase de las aportaciones de los ríos Tuela, Pereira y Pentas. Esta utilización se elevaría considerablemente al considerar los volúmenes de agua que mediante bombeo podrán aportarse al embalse de Las Portas.

embalses (Bao y Las Portas) de gran capacidad, lo que permite la regulación estacional de volúmenes de agua elevados mediante bombeo en las épocas en que se disponga de excedentes de energía a costes moderados.

Con la instalación de bombeo puede garantizarse la disponibilidad de la potencia instalada en la central de Conso, aun cuando los recursos remanentes en el embalse de Las Portas fueran escasos, y podrá acortarse el plazo de recuperación de las reservas acumuladas en el embalse, al poderse añadir a las aportaciones naturales al embalse de Las Portas las que podrían bombearse desde el de Bao, que recibe las aportaciones de toda la cuenca media del Bibey, y al que, a su vez, puede bombearse con un grupo de la central de Puente Bibey caudales procedentes del río Sil.

Por estas ventajas, se decidió instalar en la central de Conso tres grupos reversibles.

Para que el bombeo pueda realizarse aun cuando descienda el nivel del embalse de Bao, ha sido necesario construir un túnel de descarga a presión, que se prolonga hasta la cola del embalse de Bao en su mínimo nivel de explotación normal.

La instalación de grupos reversibles que necesitan estar calados a cierta profundidad bajo el mínimo nivel de la salida, ha venido a confirmar la conveniencia de

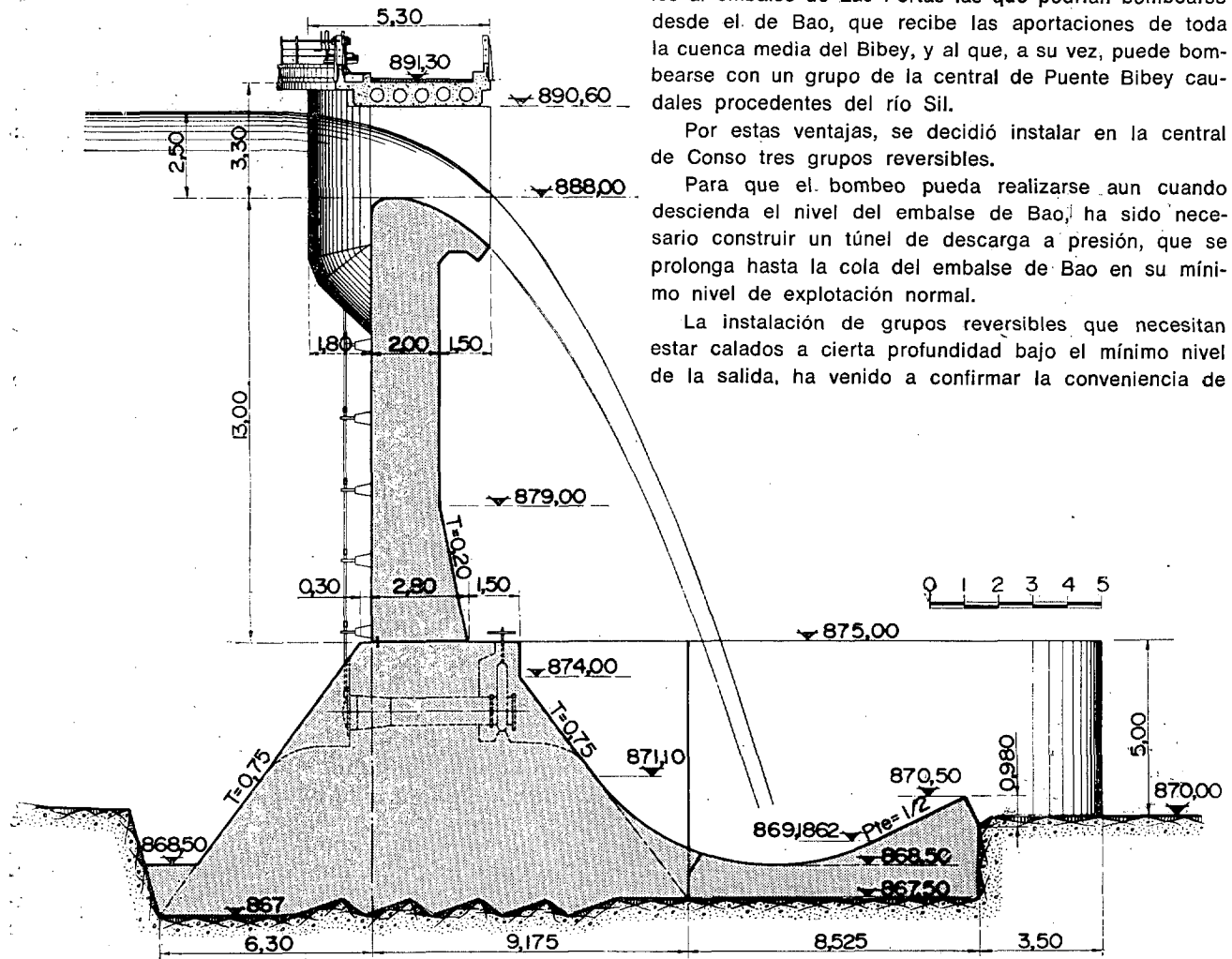


Fig. 6. — Sección tipo de la presa de Edrada.

BOMBEO

Con carácter general, somos partidarios de disponer grupos reversibles turbina-bomba en las instalaciones hidroeléctricas que utilicen suficiente altura de salto entre dos embalses.

En el aprovechamiento hidroeléctrico de los ríos Camba y Conso las condiciones son extraordinariamente favorables para el bombeo, por encontrarse entre dos

disponer la central de Conso subterránea, aunque también otras condiciones hacían aconsejable esta solución.

PRESA DE LAS PORTAS

En otros artículos de esta Revista se detallan los factores que han influido en el proyecto de la presa de Las Portas y las facetas más interesantes de su construcción. Por ello, nos limitaremos a indicar sus caractéris-

ticas más importantes y los factores que han determinado la selección de su emplazamiento y la disposición general de la presa.

La presa de Las Portas tendrá una altura de 141 metros y estará formada por una bóveda de doble curvatura apoyada en estribos de gravedad, con un desarrollo total de coronación de 477 m y un volumen de hormigón de 641.000 m³. La construcción de la presa de Las Portas se encuentra actualmente muy avanzada.

La presa de Las Portas se ubica en un cañón en forma de V, prácticamente simétrico, en el que el río Camba corta casi normalmente a una serie de paquetes de pizarras y cuarcitas con esquistosidad próxima a la vertical. Las condiciones geológicas, con carácter general, son favorables a la implantación de una presa en arco, aunque el macizo rocoso está afectado por varios accidentes tectónicos localizados.

Se consideró la alternativa de construir una presa de escollera con núcleo de tierra, no presentando inconvenientes para esta solución el aliviadero, por ser moderados los caudales de avenida a evacuar. Sin embargo, la distancia a que se encontraban las tierras y la necesidad de su selección, hacían esta alternativa más cara, que la solución adoptada de presa en arco, especialmente considerando las dificultades que la climatología de la región opondría a la colocación y compactación del núcleo impermeable.

El plazo de tiempo disponible para la confección del proyecto y preparación de la construcción de la presa, ha permitido conocer perfectamente la estructura del terreno de cimentación mediante reconocimientos superficiales, sondeos, galerías y ensayos de las características mecánicas del terreno, completándose el conocimiento del terreno al realizarse el túnel de desviación y gran parte de las excavaciones antes de adjudicar la construcción de la presa.

La localización de los diversos accidentes que afectan al macizo de cimentación delimitaron perfectamente la zona de apoyo de la presa, marcando no solamente su ubicación, sino también, en gran parte, sus formas. Las secciones horizontales de la bóveda están formadas por arcos de tres centros con espesor creciente hacia arranques. Para utilizar eficazmente el peso propio de la presa y para alcanzar las líneas de arranques de los arcos impuestos por la tectónica del terreno, las secciones radiales de la bóveda presentan notable curvatura con desplome hacia agua arriba en la zona inferior de las ménsulas centrales.

El caudal máximo de avenida previsible en el río Camba, en el emplazamiento de la presa de Las Portas, se estima en 600 m³/seg. Como la superficie del embalse es grande y la duración de las avenidas moderada, se consideró que se obtendría gran seguridad en la explotación, sin notable encarecimiento, al permitir una sobre elevación del nivel del embalse hasta de 2 m, para evacuar los caudales en grandes avenidas, contándose con un efecto amortiguador por la retención de volúmenes de agua en el embalse suplementario, con lo que

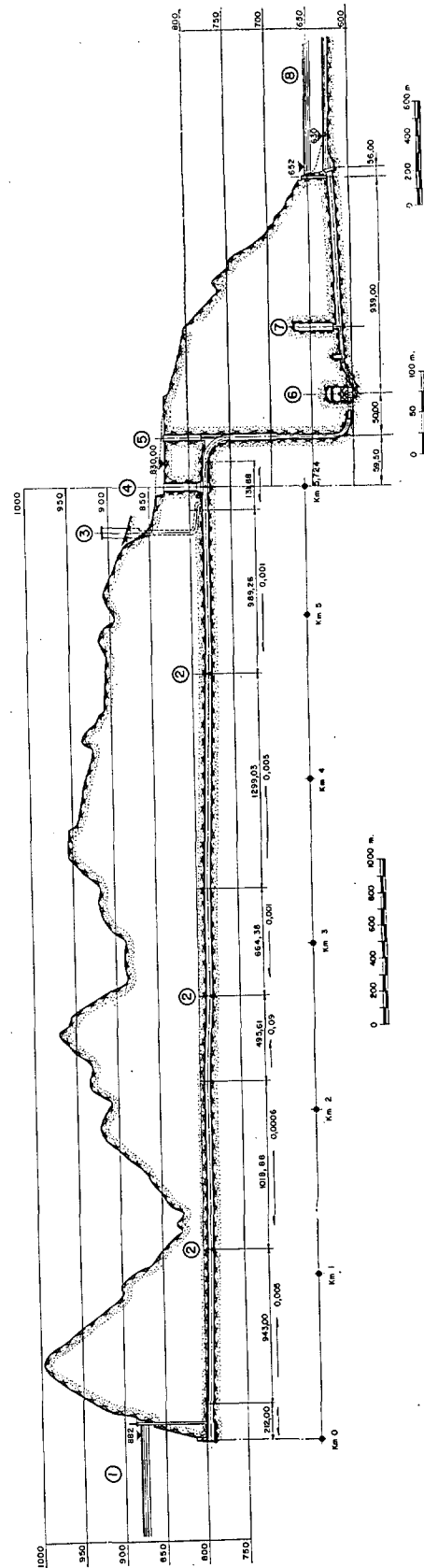


Fig. 7. — Perfil longitudinal de las conducciones hidráulicas: 1, embalse de Las Portas; 2, galerías de ataque; 3, chimenea de equilibrio superior; 4, válvula de mariposa; 5, pozo de montaje; 6, central; 7, chimenea de equilibrio inferior; 8, embalse de Bao.

el caudal a evacuar se reduciría a 200 m³/seg. El aliviadero de superficie se sitúa en la margen izquierda de la cerrada y está formado por un vertedero de 12 m de desarrollo, seguido de un canal de descarga, que atraviesa el estribo izquierdo de la presa y que termina en un trampolín de lanzamiento y restituirá al cauce del río Camba los caudales evacuados. En la parte central de la bóveda se dispone un aliviadero de emergencia formado por tres vanos de 10 m de longitud cada uno, con el umbral situado 1 m por encima del nivel máximo normal del embalse.

CAPTACION DEL RIO CONSO

Se proyecta remansar los caudales del río Conso mediante la presa de Edrada y transvasarlos al embalse de Las Portas por un túnel de 2.180 m de longitud, capaz de conducir un caudal de 9 m³/seg.

La presa de Edrada tendrá una altura de 24 m (fig. 6) y estará formada por una bóveda cilíndrica delgada de 50 m de radio, apoyada en un zócalo de hormigón, por medio de placas de neopreno, que permitirán los movimientos radiales de la bóveda, limitando la magnitud de momentos flectores en los elementos verticales.

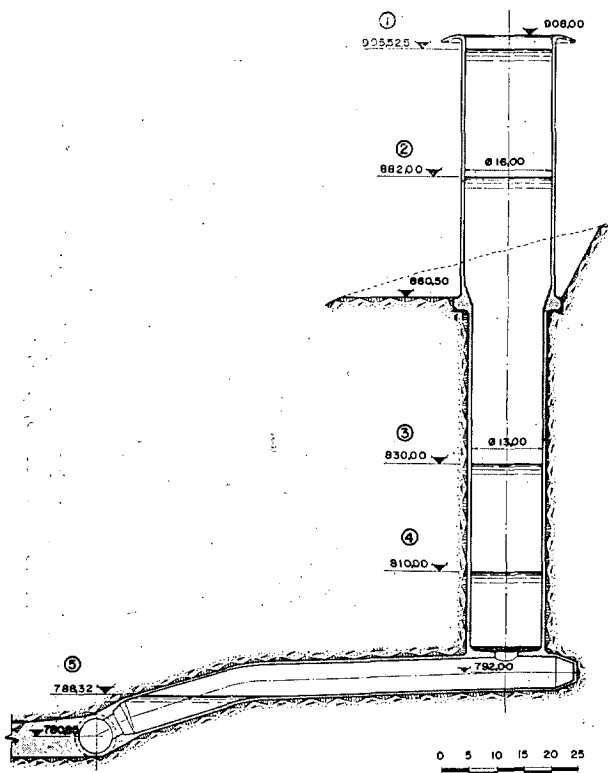


Fig. 8. — Perfil de la chimenea de equilibrio: 1, nivel máximo en oscilación; 2, máximo nivel normal de explotación; 3, nivel mínimo normal de explotación; 4, nivel mínimo extraordinario de explotación; 5, nivel mínimo en oscilación.

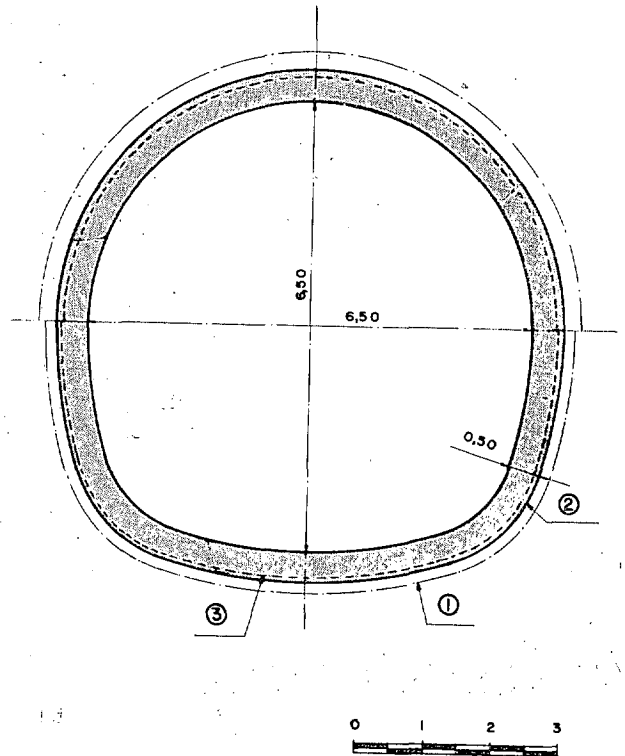


Fig. 9. — Sección tipo del túnel de descarga: 1, perfil de abono; 2, perfil radio teórico; 3, perfil de gálibo.

CONDUCCIONES

En la figura 7 se representa el perfil esquemático de las conducciones del aprovechamiento hidroeléctrico de los ríos Camba y Conso.

Mis compañeros, señores García Rosselló y Feijoo, relatan las incidencias ocurridas en la ejecución de las excavaciones de estas conducciones.

Del embalse de Las Portas, en su margen izquierda, parte la galería de presión, de 5.727 m de longitud, destinada a conducir un caudal de 120 m³/seg. La sección revestida es circular, con 6 m de diámetro interior. Atraviesa la galería, en su primera parte, pizarras, y en el resto de su recorrido, granito, encontrándose en muchas zonas roca de calidad mediocre, que ha obligado a emplear sostenimientos con cerchas metálicas en gran parte de la longitud. La deformabilidad de la roca en algunas zonas y el recubrimiento escaso hasta la superficie del terreno en otros, ha obligado a armar el revestimiento en algunos tramos. La construcción de la galería de presión, además de por sus extremos, se ha atacado por tres galerías intermedias, una de las cuales se conectará con la futura central de Soutelo, uno de cuyos grupos será reversible y podrá bombear caudales de agua desde el embalse de Las Portas al del Cenza.

Al final de la galería de presión se construye una chimenea de equilibrio formada por un pozo de 13 m de diámetro, prolongada por un depósito cilíndrico de hormigón pretensado de 16 m de diámetro y enlazado

con la chimenea por una galería inclinada que sirve como cámara inferior de la chimenea de equilibrio (fig. 8).

La tubería de presión, formada por un blindaje metálico de 5,25 y 4,50 m de diámetro, estará alojada en un pozo vertical. Mediante una pieza de trifurcación, la tubería se dividirá en tres tubos de 2,60 m de diámetro, que han de alimentar las tres turbinas alojadas en la central subterránea de Conso.

Para bombear hacia el embalse de Las Portas caudales captados del embalse de Bao, aun cuando descienda el nivel de éste, es necesario construir un túnel de descarga a presión con una longitud de 950 m, y la sección transversal que se representa en la figura 9.

Con objeto de evitar exageradas oscilaciones de presión en los tubos de aspiración de las turbinas, en el origen del túnel de descarga se dispone una chimenea de equilibrio formada por un pozo vertical situado sobre la unión de los tres tubos de aspiración para formar el túnel de descarga, completado con una galería inclinada que ha servido de acceso para la construcción de la central subterránea (figura 10).

CENTRAL SUBTERRANEA DE CONSO

Al decidirse la instalación de grupos reversibles turbinas-bombas, cuyos rodets han de quedar situados a considerable profundidad bajo el nivel mínimo de explotación del embalse de Bao, la disposición de central subterránea era obligada.

La calidad de la roca, en gran parte del macizo granítico en el que habrá de ubicarse la central, es mediocre, por lo que se consideró conveniente, antes de situarla definitivamente, perforar galerías de reconocimiento, mediante las cuales se encontró una masa de granito compacto, aunque limitada por accidentes tectónicos que encuadraban la posición de la central, quedando los accesos y conducciones afectados por algunos de dichos accidentes.

Los señores García Rosselló y Feijoo describen el proceso constructivo de la central y las precauciones para asegurar la estabilidad de la roca durante la excavación de la caverna.

Con objeto de reducir el ancho de la central, se ha dispuesto la entrada a las turbinas formando 58° respecto



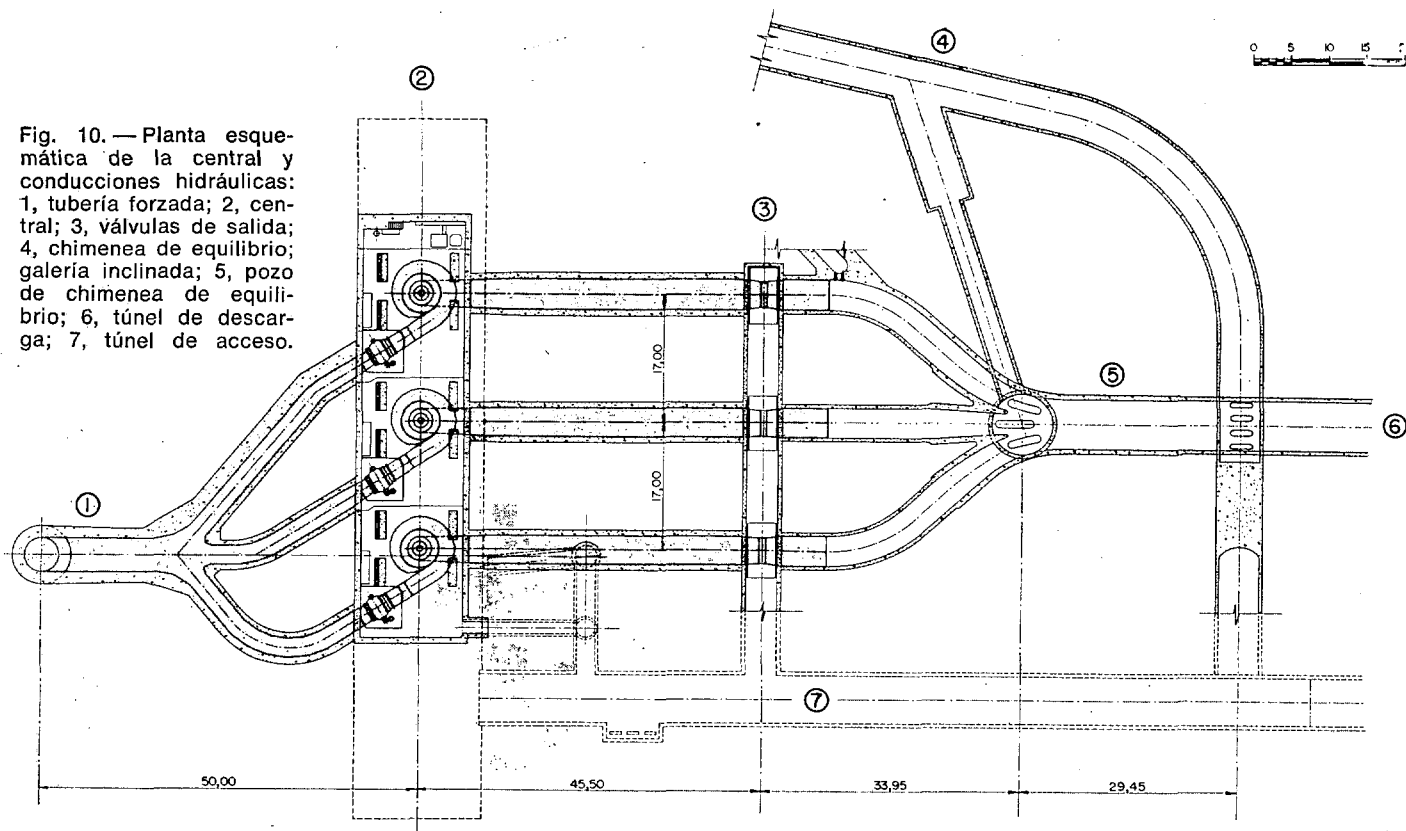
Vista de la caverna de la central al final de las excavaciones.

al eje de la central, con lo que las válvulas esféricas quedan situadas entre los grupos.

El ancho de la excavación de la central es de 17,50 m, su máxima altura de 37,50 m, y la longitud de la central subterránea es de 93,40 m.

En la actualidad está completamente terminada la excavación de la central subterránea, procediéndose al hormigonado de los grupos, como puede apreciarse en la fotografía.

Fig. 10.—Planta esquemática de la central y conducciones hidráulicas: 1, tubería forzada; 2, central; 3, válvulas de salida; 4, chimenea de equilibrio; 5, galería inclinada; 6, pozo de chimenea de equilibrio; 7, túnel de descarga; 8, túnel de acceso.



MAQUINARIA

En la central de Conso se instalarán tres grupos verticales reversibles, formados por turbinas-bombas tipo Francis y alternadores trifásicos.

Las características principales de las máquinas hidráulicas serán:

Funcionamiento como turbina:

Salto neto máximo	230 m
Salto neto mínimo	162 m
Caudal nominal	45,1 m ³ /seg.
Potencia nominal	75.400 kW
Velocidad de giro	375 r.p.m.

Funcionamiento como bomba:

Altura máxima de impulsión	239 m
Caudal correspondiente	20,13 m ³ /seg.
Potencia para la impulsión más elevada	56.100 kW
Altura mínima de impulsión	193 m. (3 máquinas)
.....	185 m. (1 máquina).
Caudal correspondiente	35,3 m ³ /seg.
Potencia para la menor altura de impulsión	70.450 kW
Velocidad de giro	375 r.p.m.

Las características principales de los alternadores serán:

Potencia aparente	95.000 kVA
Tensión de generación	15 kV
Momento de inercia	2.160 Tm/m ²

La potencia instalada en la central de Conso será de 228 MW y se estima su producción media anual con las aportaciones naturales en 168 GWh, que se elevará a 260 GWh, una vez que se transvasen los caudales derivados de los ríos Tuela, Pereira y Pentas. En estas producciones no se cuenta la energía producible con los volúmenes de agua que podrían elevarse al embalse de Las Portas mediante bombeo.

PARQUE DE ALTA TENSION

En la margen derecha del embalse de Bao, en las proximidades del túnel de acceso a la central de Conso, se ha formado una explanada en la que se ha construido el edificio de mandos de la central, así como el parque de alta tensión a 250 kV.

De la central subterránea, la energía producida por los grupos se transporta por barras a 15 kV, instaladas en el túnel de acceso, hasta los tres transformadores (15/250 kV), situados en el parque de alta tensión.

Del parque de alta tensión de Conso partirán dos líneas a 250 kV que enlazarán con la de Puente Bibey a Tordesillas, actualmente en explotación.