

EL APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE BOMBEO DEL SALTO DE IP

Dr. Ing. C. C. y P. C. SANCHO

UN POCO DE HISTORIA

En mayo de 1945 le fue concedida autorización, a la Sociedad Eléctra Jacetana, S. A., para aprovechar un caudal de 300 l./seg. procedentes del barranco de Ip, en término de Canfranc, con destino a la producción de energía eléctrica. Ampliada posteriormente la concesión a 1 500 l./seg., con utilización de 927 m. de desnivel, se comenzaron las obras auxiliares, consistentes en un plano inclinado, para acceder desde Canfranc a las estribaciones del pico de la Moleta, y una pista, a continuación, desarrollada entre los 2 000 y 2 200 m. de altitud, que unía el final de este plano con el Ibón de Ip, origen del aprovechamiento.

Suspendidas las obras, fueron reanudadas, hace unos años, por la Sociedad Eléctricas Reunidas de Zaragoza, Sociedad Anónima. En esta reanudación se procuró aprovechar todo el trabajo realizado, pero con una distinta concepción del aprovechamiento.

Por una parte el volumen y consiguiente coste de las obras mínimas a realizar era desproporcionado para la posible producción utilizando solamente el agua afluente a la pequeña cuenca, a pesar de la altura del Salto, y por otra la Sociedad estaba falta de energía regulada con que atender las puntas de la carga, razones ambas que llevaron a convertir el aprovechamiento en uno de acumulación por bombeo.

Los estudios pertinentes, atendiendo diversos factores de toda índole, fijaron el caudal máximo de generación en 10 m.³/seg.

ESQUEMA GENERAL DE APROVECHAMIENTO

El aprovechamiento consta, en síntesis, de un embalse superior, utilizando el Ibón de Ip, capaz de regular las aportaciones naturales de la pequeña cuenca propia, la del vecino Ibón de Iserías y otras de posible captación, a la vez que de recibir la aportación por bombeo que se produzca.

Un pequeño embalse inferior, sobre el río Aragón, que permite recibir el agua turbinada y almacenarla hasta la hora aconsejable de bombeo.

Comunicación del embalse superior con la Central, consistente en galería de presión y tubería forzada, para alimentar las turbinas del salto.

Comunicación del embalse inferior con la Central, por medio de galería de presión, para alimentar las bombas.

Y la propia Central, con su maquinaria y todos los complejos dispositivos que permitan una segura explotación del conjunto.

Más las obras auxiliares y complementarias que cada uno de estos elementos ha llevado consigo.

EMBALSE SUPERIOR

El Ibón de Ip, es un típico lago de montaña, al pie de la ladera norte de Peña Collarada, con su emisario actual hacia la cota 2090 y su fondo en la 2080. Ubicado en terreno cretácico, su primitivo emisario debió cerrarse por un fuerte cono de derrubios margo-calizos. En época de deshielo el nivel del lago crece hasta la cota 2091,50, bajando después a cota inferior del actual emisario, debido a las filtraciones que, principalmente a través de los derrubios se producen, llegando a niveles hacia 2088 en noviembre y a vaciarse casi totalmente durante el invierno, para comenzar el ciclo en el próximo deshielo.

A partir de este Ibón, recrecido, se proyectó el embalse superior. De acuerdo con los estudios geológicos y geotécnicos realizados por el Ingeniero de Caminos, señor Fernández Bollo, y el Ingeniero de Estudios de E.T.F., Mr. Amaz, la presa no se sitúa en el propio emisario, sino unos 300 m. más arriba, aun a costa de aumentar ligeramente su altura.

La gran profundidad de los derrubios, tanto en el fondo como en el estribo izquierdo, excluían la presa de fábrica y aconsejaban la de materiales sueltos, construida a base de los existentes en los alrededores de su emplazamiento. Elegida una con núcleo de arcilla impermeable, había que construirla con los materiales margoños de los propios derrubios, suponiendo sirvieran para este fin. Para informar sobre ellos fueron reconocidos *in situ* por los Ingenieros de Caminos, Sres. Jiménez Salas y Escario, y posteriormente ensayados en el Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo del C. de E. y E. de O. P. Del informe se dedujo la posibilidad de su empleo, siempre a base de formar un núcleo suficientemente grueso y de eliminar los tamaños mayores de 15 centímetros. La mínima permeabilidad alcanzada corresponde a un coeficiente $K < 3 \times 10^{-4}$ cm./seg.

15

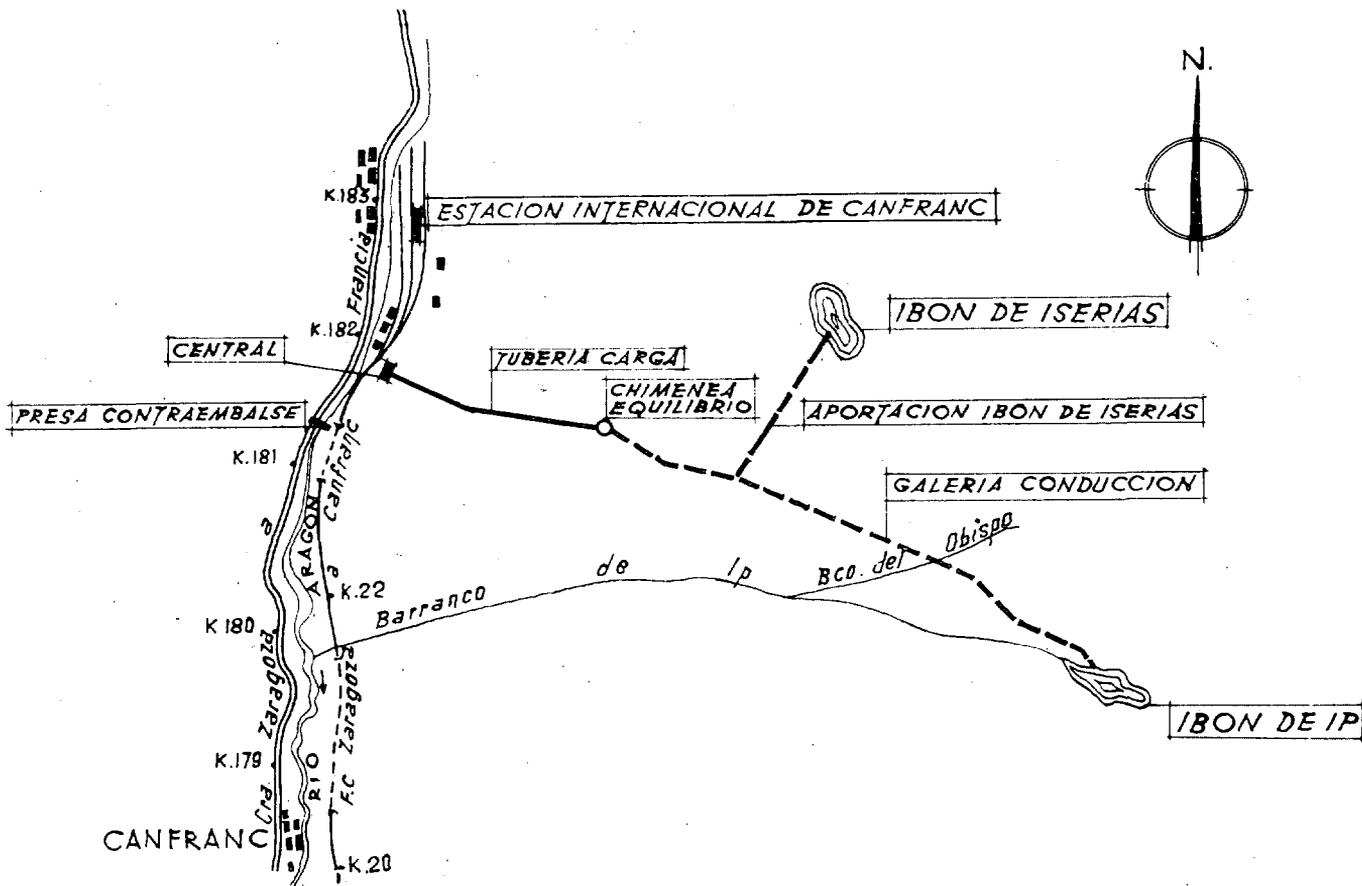


Fig. 1. — Plano general de situación.
(General layout.)

La presa proyectada es una presa de 31 m. de altura total (entre las cotas 2088 y 2119), con taludes de 1 : 2,4 en los espaldones, pero con bermas de dos metros en el de aguas abajo, a las cotas 2099 y 2108. Estos taludes

se encuentran en el eje de la coronación a la cota 2119, pero para darle a aquélla la anchura de 10 m. necesaria, los taludes de escarpe pasan a ser de 1 : 1,42 por encima de la cota 2114.

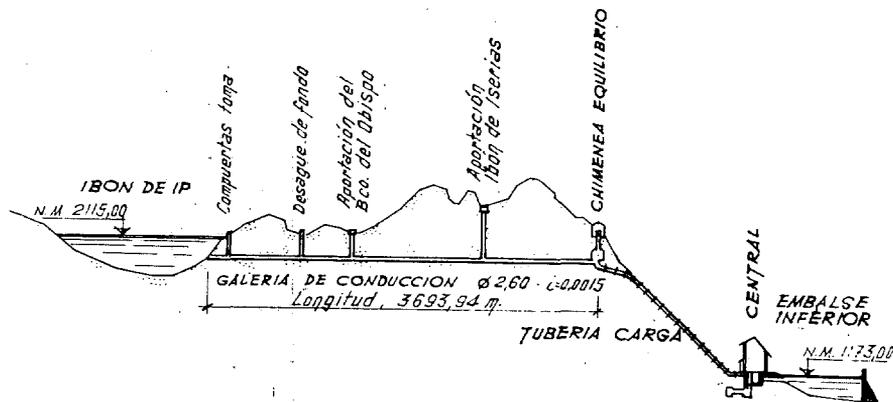


Fig. 2. — Esquema longitudinal del salto.
(Longitudinal section of the scheme.)

La composición del cuerpo de la presa es la siguiente:

- a) Escollera arreglada a mano, en el talud de aguas arriba, que se prolonga por la coronación y, con espesor menor, por el talud de aguas abajo.
- b) Escollera vertida, formando el espaldón de aguas arriba.
- c) Escollera más fragmentada, en función de filtro grueso.
- d) Filtro de aguas arriba, con inclinación de 0,7.
- e) Núcleo impermeable, con espesor mínimo de 4 m. y taludes de 0,7 aguas arriba y vertical aguas abajo.
- f) Filtro de aguas abajo, vertical.
- g) Espaldón de aguas abajo, de derrubios sin clasificar.
- h) Tacón de escollera, al pie del talud de aguas abajo.

El cálculo de la estabilidad fue realizado mediante ordenador y su resultado es el siguiente:

Caso estudiado	Coeficiente de seguridad	
	resultante	exigido
Estabilidad aguas abajo a embalse lleno	1,63	1,40
Estabilidad más efecto sísmico.	1,41	1,30
Estabilidad aguas arriba el desembalse	1,52	1,30
Estabilidad más efecto sísmico.	1,21	1,00
Estabilidad durante la construcción	1,35	1,20
Estabilidad más efecto sísmico.	1,01	1,00

La presa se completa con un drenaje visitable formado por un tubo de acero corrugado de 1,98 m. de diámetro, y otros pequeños de 0,20 y 0,30 m., que recogen las filtraciones y las llevan a unas arquetas vertedero, debidamente protegidas, que permiten su aforo.

Con esta presa, la capacidad de embalse del Ibón, que primitivamente era de 0,4 a 0,5 Hm.³, pasa a ser de 5,3 Hm.³ a cota 2115, suficiente para llenar todas las funciones para las que se proyecta.

PANTALLA DE IMPERMEABILIZACIÓN

El problema del embalse no se resuelve sólo con la presa, sino que se precisa cerrar la gran superficie ocupada por los derrubios, como puede apreciarse en el croquis de la figura, en el que se señala también el estado actual de pantalla y presa, que han permitido el funcionamiento del Salto durante este invierno.

La pantalla, además de las inyecciones normales en la roca para impermeabilización de grietas de estratificación y de diaclasas, está constituida, fundamentalmente, por una inyección de los derrubios realizada a través de cuatro filas de taladros (separados 2,60 m. entre ellas y con 3 m. de separación entre taladros) inyección que comprende dos fases: una primera de arcilla (del orden del 75 por 100 de la mezcla) bentonita y cemento y una segunda de bentonita-cemento solamente. Los resultados, en la parte de pantalla terminada, son hasta ahora (con la pequeña carga existente) satisfactorios.

ALIVIADEROS Y DESAGÜES

El aliviadero está formado por un pozo vertical con embudo de sección Wagner en coronación, a la cota 2115, enlazado con un túnel y posterior canal, aireando los acuerdos para evitar obstrucciones y cavitaciones. Su capacidad es de 78 m.³/seg.

La toma para salto, coincidente con el desagüe de fondo, se dispone con umbral a la cota 2084 en el lago y se cierra por compuerta rodante, con umbral a cota 2085,70, unas decenas de metros hacia el interior. Aguas abajo de este cierre el desagüe de fondo se separa de la conducción del salto y se cierra con una compuerta deslizante, capaz de desaguar, a embalse lleno, 21 metros cúbicos por segundo.

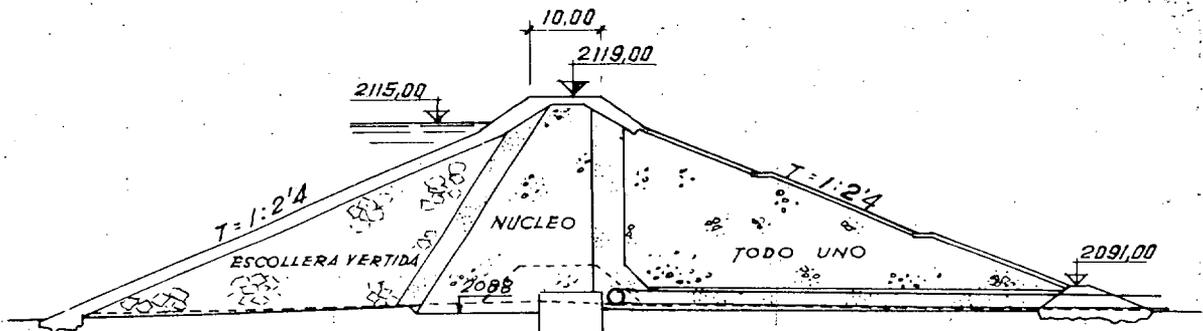


Fig. 3. — Presa Ibón de Ip. Sección tipo.
(Ibón de Ip Dam. Main section.)

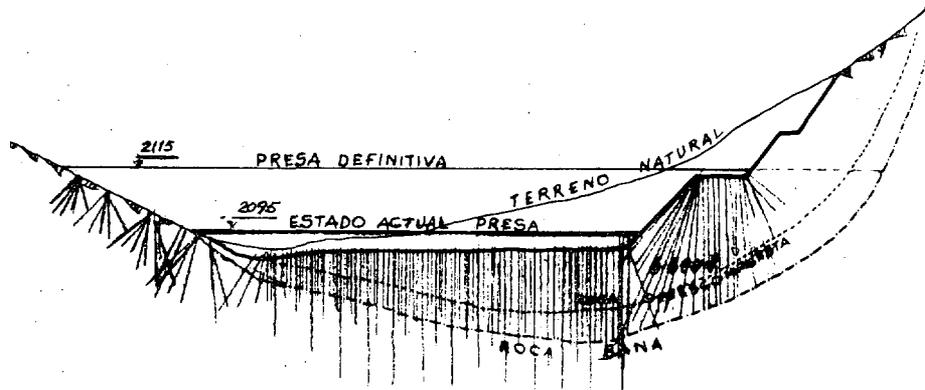


Fig. 4. — Presa Ibón de Ip. Pantalla de impermeabilización.
(Ibón de Ip Dam. Grout screen.)

El embalse tendrá otro desagüe profundo, formado por un conducto circular de 0.80 m. de diámetro, que vierte el canal de desagüe del aliviadero.

TUNEL DE PRESION

El túnel de presión, conducción del Salto, se desarrolla, desde el embalse superior hasta la chimenea de equilibrio, origen de la tubería forzada, en una longitud de 3 600 m. Su sección es circular, de 2,60 m. de diámetro libre, y revestida de hormigón con espesor medio de 0,35 m.

La perforación se llevó a cabo, además de por sus extremos, por cinco ventanas de ataque intermedias, cerradas luego por unas puertas estancas especiales, que pueden servir de acceso para revisar el interior.

Excavada la galería se realizó un estudio sismoelástico para determinar, en cada tramo, la zona descomprimida, rigidez de la roca y colaboración previsible de ésta al revestimiento y, de acuerdo con él, se determinaron las zonas de revestimiento sin armar (más de

la mitad de su longitud) y las armadas, parte de ellas con uno y parte con dos mallazos de acero electrosoldado. El hormigonado se realizó de modo continuo mediante hormigón bombeado desde un tren de hormigonado que se deslizaba a lo largo del túnel, dejándose cada 15 m. unas hendiduras en toda su circunferencia que se trataron debidamente. Por último se inyectó el contacto roca revestimiento y, en una segunda fase, la roca descomprimida también.

En su comienzo, y después de la derivación del desagüe de fondo, la galería se cierra por doble compuerta deslizante y, a lo largo de su recorrido, se disponen pozos de captación de aportaciones de cuencas vecinas. Las más importantes la del barranco del Obispo, que se incorpora junto a la ventana 3, y la del Ibón de Iserias, situado a cota 2158, que se perfora y se conduce a las proximidades de la ventana 5 mediante una galería de 1 200 m. de longitud.

CHIMENEAS DE EQUILIBRIO

Al final de la galería de presión se dispone una chimenea de equilibrio que lamina las sobrepresiones y depresiones originadas por el cierre brusco o la apertura rápida de la aducción a las turbinas.

El proyecto de la misma, tipo diferencial con dos cámaras de compensación, se sometió a un estudio de funcionamiento, mediante ordenador electrónico, en las hipótesis siguientes:

- a) Cierre de todo el caudal circulante y embalse a su nivel máximo.
- b) Cierre con caudal 2/3 del total con igual nivel en el embalse.
- c) Apertura del caudal máximo y mínimo nivel en el embalse.
- d) Apertura con 2/3 del caudal y mínimo nivel de embalse.

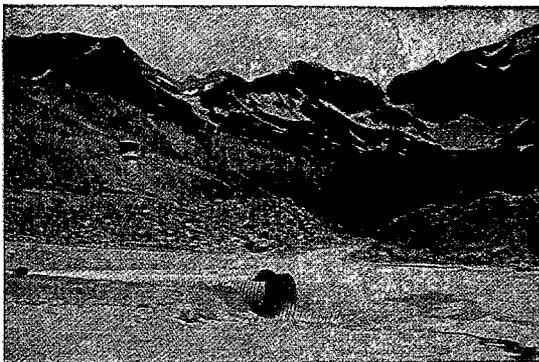


Fig. 5. — Presa Ibón de Ip. Vista general.
(Ibón de Ip Dam. General view.)

La chimenea funcionó bien en los casos de cierre, pero no en los de apertura, modificada convenientemente y repetido el estudio de funcionamiento, que resultó correcto, se adopta la disposición definitiva.

Consta de una cámara inferior, en la que termina la galería de presión, circular, de 10 m. de diámetro y 6,50 m. de altura, más una bóveda de 2,80 m.; cámara que tiene una galería de expansión lateral de 45 m. de longitud y sección variable.

Un pozo elevador, de igual sección que la galería de conducción, y 24,50 m. de altura, que une esta cámara inferior con la superior, en la que penetra 9 m.

Y la cámara superior, de igual sección que la inferior, pero de 11 m. de altura, cuya solera se comunica con el pozo elevador por medio de cuatro troneras. Esta cámara se cubre con una bóveda esférica rebajada.

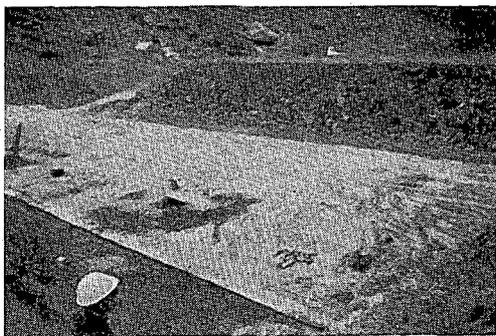


Fig. 6. — Presa de Ibón de Ip. Núcleo impermeable.
(Ibón de Ip Dam. Impervious core.)

TUBERIA FORZADA

Por bajo de la chimenea de equilibrio se emboquilla la tubería del salto. El abocinamiento está protegido por una rejilla, y unos metros más abajo se dispone una caverna en la que se aloja la válvula de mariposa, guarda de la tubería, y una ventosa para aducción de aire.

La tubería se desarrolla en un primer tramo de 200 metros en túnel y después por el mismo plano inclinado que sirve de acceso a la zona alta del aprovechamiento.

El desarrollo real de la tubería es de 1 830 m. salvando una altura de 897,36 m. (2 071,51 — 1 174,15) y debiendo soportar una carga estática máxima de 941 m.

En razón de su diámetro interior es telescópica, con diámetro de 1,70 m. en los 764 m. primeros, de 1,60 m. en los 590 m. siguientes y de 1,50 en el resto, hasta el codo de empalme con el colector. Y en cuanto al tipo, se divide en dos partes perfectamente diferenciadas: una soldada, que cubre los primeros 451 m. de altura y otra zunchada en caliente, que cubre los 480 m. de altura inferior.

La primera, salvo los 200 m. en túnel que están construidos en chapa de acero 56/30 con espesor máximo de

8 mm. es de chapa de acero 56/40 y llega a un espesor máximo de 26 mm. La segunda tiene la camisa del mismo material llegando hasta 35 mm. de espesor y los anillos de zuncho son de acero 100/85.

La tubería, dispuesta sobre apoyos, está anclada en todos los cambios de dirección y de pendiente. En la mayoría de estos anclajes, dados los esfuerzos que había que absorber, se ha hecho trabajar solidariamente a la roca con el hormigón, mediante anclajes de 70 mm. de diámetro. Igualmente se ancló a la roca de la ladera, que se inyectó después, el codo final de empalme con el colector.

Para su vaciado tiene un desagüe cerrado con doble válvula, de lenteja y equilibrada, que vierte al túnel de bombeo. A lo largo de su desarrollo lleva cuatro termómetros que permiten leer en la Central la temperatura del agua, y así evitar accidentes por heladas, y dos dispositivos de aforo, uno para generación y otro para bombeo, con lectura también en la Central.

La conducción forzada había de probarse con un 30 por 100 de sobrepresión. Esta condición supone 1 223 metros de agua para tener este margen en el punto más bajo lo que, debido a la gran altura que la tubería salva, supone ya un 60 por 100 de sobrepresión en la zona inferior de la parte soldada y, el preverla para soportarla, la encarecía innecesariamente. Esto se evitó recurriendo a un sistema de doble prueba de la tubería. Una de la conducción completa, con el 30 por 100 de sobrepresión correspondiente a la máxima carga en la zona soldada y, a continuación, mediante un fondo intermedio incorporado a la tubería (que luego hubo que eliminar troceándolo para sacarlo por una de las bocas de hombre) otra prueba sólo de la zona zunchada, con el 30 por 100 de sobrepresión sobre la carga estática máxima a la entrada de la Central. Finalmente se hizo una prueba de vacío condenando la ventosa y abriendo la válvula de desagüe llegándose a medir 0,6 atmósferas de depresión.

EMBALSE INFERIOR

La explotación del aprovechamiento exige disponer de un pequeño embalse inferior para almacenar los caudales procedentes de la generación hasta un posterior bombeo. Este embalse se forma en el cauce del río Aragón cerrado mediante una presa.

Para definirla se estudió, tanto geológicamente como geofísicamente y mediante sondeo, la zona relativamente próxima a la Central. Todos los posibles emplazamientos presentaron inconvenientes de consideración.

La zona se encuentra en el contacto de las calizas devónicas y carboníferas con calizas y margas cretácicas, todas ellas muy fragmentadas, afectadas por accidentes tectónicos y afectados también, irregularmente, por fenómenos cársticos. Dentro de este panorama poco optimista y dada la necesidad del embalse, se eligió el emplazamiento menos desfavorable (cota 1148,50 en el cauce) en

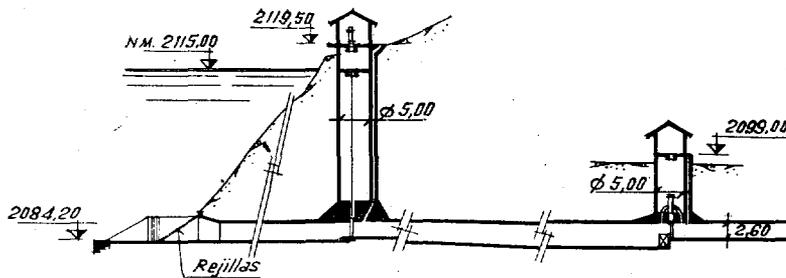


Fig. 7. — Presa Ibón de Ip. Toma y desagües de fondo.
(Ibón de Ip Dam. Intake and bottom outlets.)

el que se precisaba una presa de 27 m. para obtener los 0,5 Hm.³ de embalse que aseguran los 0,4 Hm.³ útiles fijados como convenientes para la explotación del salto, entre las cotas 1162 y 1173.

Desechada la solución de presa bóveda, por las reservas que inspiraba la tectónica del estribo derecho, se tantearon dos tipos de presa eligiéndose finalmente el de contrafuertes. Con una relación 3/1 en el alto/ancho de los contrafuertes, fijado por consideraciones, tanto de economía como de estética, resultan éstos en cabeza de diamante con 9 m. de anchura y una mínima de 3 m. en la espiga del contrafuerte, que tiene un ligero talud de 0,0125.

La sección tipo presenta talud de 0,40 aguas arriba, entre la cota 1148,50 de cimientos y las 1166,70, pasando después a vertical hasta coronación. Y de 0,55 aguas abajo que, en los contrafuertes vertedero, se adapta a la lámina vertiente por su parte superior.

La zona de contacto entre contrafuertes contiguos es de 2,60 m. en la parte inclinada y de 2,40 en la vertical. Forma las juntas de dilatación de la presa, debidamente tratadas, con doble cierre de masilla y de cinta de P.V. Para disminuir la subpresión se disponen en la cabeza de contrafuerte unos drenajes, habiéndose controlado mediante manómetros, colocados en la cota de cimientos, que estas subpresiones resultan hasta ahora más favorables que las supuestas en proyecto.

Las tensiones máximas previstas en la presa son de 4,47 Kg./cm.² aguas arriba y a embalse vacío y de 10,01 kilogramos por centímetro cuadrado al pie del paramento de aguas abajo a embalse lleno y con la máxima sobrepresión de la lámina vertiente. En cuanto a tracciones aparecen aguas arriba y a la cota 1163 de 0,017 Kg./cm.² en la dirección del paramento, pero no aparecen en la componente vertical. La presa es de hormigón de 250 kg. de cemento, vibrado, de resistencia característica no inferior a 175 Kg./cm.².

ALIVIADERO Y DESAGÜES

En el estudio hidrológico se fijó la capacidad de aliviadero en 250 m.³/seg. Parte de este caudal vierte sobre los siete contrafuertes centrales constituidos en aliviade-

ros de labio fijo, hasta una lámina de 1,25 m. y se deslizan por el escarpe de aguas abajo terminado en trampolín. El correcto funcionamiento de estos vertederos (capaces, en conjunto, de evacuar 144 m.³/seg.) exigió un detallado ensayo en el Laboratorio de Hidráulica del Centro de E. y E. de O. P., en el que se definió, no solamente el perfil del vertedero en el sentido de la sección tipo, sino la curvatura variable de la solera del escarpe entre la coronación y el punto en que esta curvatura llega a desaparecer. En la práctica no ha funcionado este aliviadero con láminas superiores a 0,30 m. habiéndose comportado en ésta de modo plenamente satisfactorio.

El resto de los caudales posibles de avenidas se evacuan por dos desagües semiprofundos de 2,50 × 2,00 m. de sección, con umbrales situados a las cotas 1153 y 1163, cerrados aguas abajo por sendas compuertas de sector, de accionamiento oleodinámico, que puede ser automático o a voluntad desde un mando centralizado en coronación. Aguas arriba puede cerrarse por una ataguía metálica para la revisión o reparación de las compuertas.

Los desagües se completan con el de fondo, a cota 1148,50, cerrado por dobles compuertas deslizantes de 2,00 × 1,50 m. igualmente accionables desde coronación.

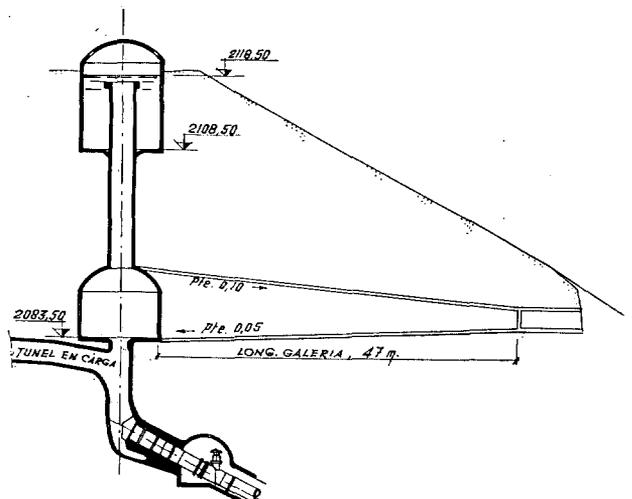


Fig. 8. — Presa Ibón de Ip. Chimenea de equilibrio.
(Ibón de Ip Dam. Surge chamber.)



Fig. 9. — Presa de Ibón de Ip. Tubería forzada.
(Ibón de Ip Dam. Penstock.)

IMPERMEABILIZACION DEL EMBALSE

El mayor problema del embalse es, sin duda, su permeabilidad. El problema se ha resuelto satisfactoriamente bajo la presa mediante una pantalla de inyecciones, de profundidad variable y mínima de 50 m., cuya eficacia se controla, aparte de las medidas de subpresión en algún bloque, por una serie de piezómetros situados aguas abajo de la presa y por una serie de medidas resistivas realizadas en una red de electrodos inalterables colocados a este fin.

Igualmente parece resuelta la impermeabilidad del estribo izquierdo, tratado desde una corta galería, de 20 m. de profundidad.

En cuanto al estribo derecho se ha tratado también utilizando el túnel de la variante de carretera de Zaragoza a

Francia y una galería de 100 m. de profundidad. Suficientemente impermeabilizada la zona del túnel y hasta 60 m. de la galería, así como creemos, los doce metros finales de la misma. Quedan los 28 m. restantes, en los que se han localizado unas circulaciones cársticas que drenan la ladera y comunican a su vez con el embalse ocasionando que las pérdidas de éste no sean aceptables por encima de los 15 m. de carga (8 m. por bajo de la máxima prevista). Los conductos se han localizado por encima de la cota 1130 y al no responder a los intentos de inyección, se han iniciado los trabajos para su cierre por otros procedimientos.

CONDUCCION PARA EL BOMBEO

La conducción del agua desde el embalse a la Central se hace mediante galería que comienza en la ladera izquierda, próxima al estribo de la presa, con umbral a la cota 1158, en una amplia embocadura, provista de reja y compuerta.

La galería en sí, tras el acuerdo con la embocadura, es circular de 3 m. de diámetro y 625 m. de longitud, desarrollada en tres alineaciones, disposición obligada para evitar la zona próxima al embalse, totalmente partida por una falla y posteriores derrumbamientos. Aun así hubo que inyectar previamente uno de los tramos para poder realizar su excavación con garantía de seguridad. Va revestida de hormigón con 0,35 m. de espesor medio; sin armar, salvo en algunos pequeños tramos con roca muy fracturada, y se ha inyectado posteriormente el contacto roca-hormigón y la primera capa rocosa.

Al final se dispone un pozo a modo de chimenea de equilibrio con aliviadero a cota 1173 (máximo embalses) cuyas aguas recoge una galería para reintegrarlas al embalse aguas arriba de la Central. Tras la chimenea de equilibrio va el colector, de 4,40 x 4,40 de sección en el que se inyectan las tres galerías de toma de cada grupo, circulares de 2,20 m. de diámetro.

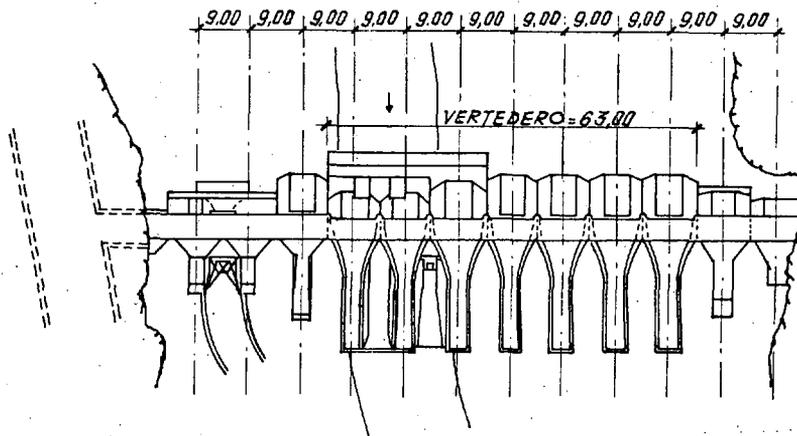


Fig. 10. — Embalse inferior. Planta de la presa.
(Lower reservoir. Dam plant.)

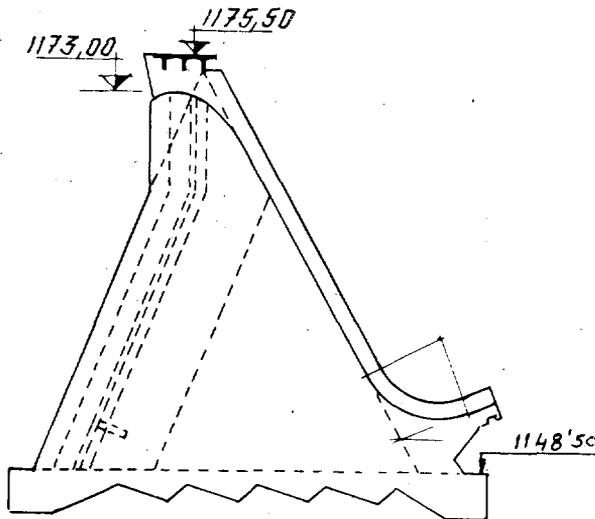


Fig. 11. — Embalse inferior. Sección por aliviadero.
(Lower reservoir. Spillway section.)

CENTRAL

La Central se sitúa en la margen izquierda del río Aragón, próxima al poblado de Canfranc-Estación y a la

presa de derivación del salto de Villanúa, de Unión Eléctrica de Jaca.

El primer paso para definirla fue la elección del tipo de maquinaria a instalar teniendo en cuenta las características del aprovechamiento.

Dada la altura del salto hubo que desechar la solución de turbinas reversibles, cuyo techo estaba por entonces en los 600 m., e ir a la instalación de grupos ternarios, formados por alternador-motor, turbina y bomba. También venía prácticamente determinado el tipo Pelton de las turbinas, pero al llegar a las bombas se estudiaron dos posibles soluciones:

Bombas tomando directamente el agua del embalse e impulsándola a la elevación.

Bombas principales alimentadas por bombas nodrizas (que son las que toman del embalse) para obtener una cierta presión en la aspiración.

La primera solución eliminaba maquinaria, simplificaba la instalación y disminuía pérdidas, pero para su buen funcionamiento hidráulico, exigía asegurar una presión en la aspiración que suponía la construcción de unos pozos de 26 m. bajo el piso de Central, para alojarlos, y llegar a unos 38 m. de longitud en el eje de cada grupo, con los consiguientes inconvenientes para su buen funcionamiento mecánico, sobre todo con velocidades de cierta consideración.



Fig. 12. — Embalse inferior. Vista general de la presa.
(Lower reservoir. General view of the dam.)

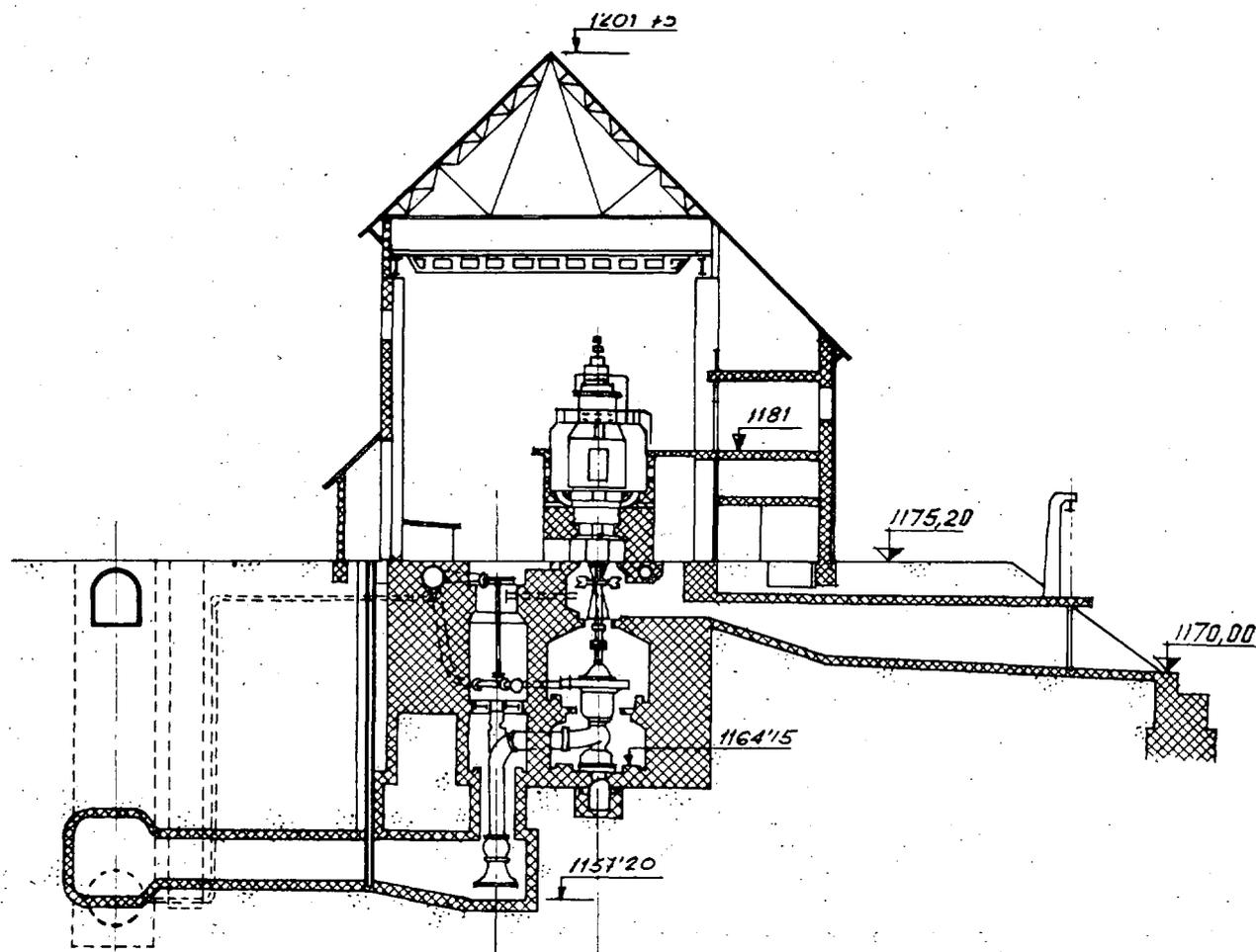


Fig. 13. — Central. Sección principal.
(Power-station. Main section.)

La segunda, aun disminuyendo algo el rendimiento de la instalación, reducía a 18 m. la máxima profundidad de excavación y a 23 m. la longitud del eje de los grupos, siendo la que se adoptó definitivamente para la Central.

De acuerdo con ella, el piso de la nave principal se dispone a la cota 1175,20 y a la 1174,15, eje del colector, se instalan las tres turbinas Pelton de eje vertical. Con cuatro inyectores. Para un caudal de 3,37 m.³/seg. cada una, con salto neto de 935,35 m. girando a 1 000 r.p.m. Potencia nominal de cada una 38 200 C. V.

Con caudales pequeños al rendimiento es mayor alimentando la rueda por dos inyectores solamente, y es así como funciona, entrando automáticamente los otros dos cuando el caudal pasa de la mitad del máximo, de modo que cada inyector no sobrepase el máximo calculado para que la energía de impacto no sea excesiva.

Bajo la turbina, entre los pisos situados a cotas 1167,90 y 1164,15, se dispone la bomba centrífuga, construida con cuatro escalonamientos en serie y calculada para absorber 29 400 kW. elevando 2 950 litros/seg. con

una presión manométrica máxima de 1 200 m. La elevación se realiza desde la cota 1168,50 por el mismo colector y tubería utilizados en la generación.

La bomba se acopla rígidamente a la turbina y alternador, mediante un manguito dentado de acoplamiento, cuando la Central haya de funcionar en bombeo y se desacopla en generación realizándose oleodinámicamente estas maniobras.

Esta bomba principal se alimenta, cota 1165,60, mediante la bomba nodriza de 2 950 litros/seg. de caudal y 712 kW de potencia absorbida, con altura manométrica de 23,4 m. Las bombas nodrizas se alojan en un pozo vecino al de los grupos principales comunicado con el colector general de bombeo y su accionamiento a 630 r.p.m. se realiza mediante unas turbinetas Pelton, de un solo inyector, coaxiales con ellas y que se alimentan directamente desde el colector general de las turbinas.

Sobre turbinas y bombas va acoplado el alternador-motor alojado y soportado en unos cilindros de hormigón armado que se levantan 6 m. sobre el piso de la nave

principal. Generan a 10 500 V. y la potencia es de 34 350 kVA por máquina funcionando como motor de 32 500 kW.

El rendimiento teórico de la instalación, en las condiciones óptimas, es de 0,89 en generación y de 0,80 en bombeo, lo que suponen uno global de 0,71.

Los grupos llevan unos meses funcionando, si bien no en las mejores condiciones, ya que el salto es aún menor del normal y la carga muy variable, aparte de pesar bastante en el rendimiento los arranques y desacoplamientos normales, por otra parte, en este tipo de Central.

En estas condiciones los rendimientos vienen siendo del orden de 0,86 en generación y entre 0,78 y 0,79 en bombeo, lo que supone uno global entre 0,67 y 0,68. Teniendo en cuenta la aportación natural de la cuenca este rendimiento de la instalación se convierte ya en 0,70 y, en el caso óptimo, en 0,73 que si tenemos en cuenta la energía producida por esta misma aportación en el siguiente salto de Villanúa llega a 0,74. Rendimientos apreciables si tenemos en cuenta que internacionalmente (por ejemplo: Simposio del C. de E. E. de la Comisión Económica para Europa. Madrid, octubre 1969) se estima que el valor de la energía producida en un aprovechamiento de esta índole es de 2 a 2,5 veces el de la producida en un aprovechamiento de funcionamiento permanente.

Al final de la conducción forzada, y en su unión con la Central, se ha dispuesto una válvula general y además cada turbina lleva su propia válvula esférica. También existen válvulas a la salida de cada bomba de elevación.

La instalación se completa con un sistema de mando y de protección, de baterías de reserva de corriente continua, etc.

El parque de transformación lleva por cada grupo un transformador de 10,5 KV y la energía producida se lleva

a Jaca por una línea de doble circuito que transporta también la energía necesaria para el bombeo.

El edificio de la Central tiene una planta de 52 x 26 metros; está construido en hormigón y piedra, con cubierta de aluminio. En la sala de alternadores lleva un puente-grúa para 70 toneladas de carga.

OBRAS AUXILIARES

Para acceder a la parte superior de la conducción forzada, y a la presa de Ip, se construyó un plano inclinado que salva un desnivel de 910 m., con un recorrido de 1 750 m. Su trazado forma 2 ángulos en planta y tiene una pendiente máxima de 0,8319. La capacidad de carga es de 4 500 Kg., con una velocidad de 1,7 m./seg.

En las inmediaciones del Ibón de Ip fue necesario construir una residencia capaz para 250 personas, que se ejecutó adaptada al clima de altura en que se encuentra. Para la realización del embalse inferior fue necesario construir un muro de protección para el ferrocarril de Zaragoza a Oloron (Francia) y una variante de la carretera de Zaragoza a Francia por Canfranc.

Los servicios auxiliares de la Central requieren un caudal de 150 litros/seg. con una presión de 3 ó 4 Kg./cm.². Se ha construido un depósito alimentador de este servicio, que puede llenarse bien con agua del río Aragón, mediante una pequeña estación elevadora, bien con agua de la conducción forzada del vecino salto de Canalroya.

Actualmente se tiene en estudio la captación de varias cuencas próximas, cuyas aguas podrían llevarse al embalse de Ip realizando una elevación de hasta 220 metros.