

Las presas de Baserca y Llauset componentes del salto de bombeo de Moralets

Por Prof. Dr. Ing. ALFONSO ALVAREZ
Prof. Dr. Ing. EUGENIO HERRERO
Ing. JUAN MANUEL BUIL

1. INTRODUCCION

Actualmente en España el mayor porcentaje de energía eléctrica de origen térmico (sumando las producidas con carbón, petróleo y uranio resulta aproximadamente 1,5 veces la hidráulica) induce a construir saltos de bombeo para adaptar la producción a un consumo que tiene valores muy distintos a lo largo de las veinticuatro horas del día.

La zona montañosa del Pirineo, con fuertes desniveles, constituye un lugar apropiado para tales saltos. Por eso ENHER eligió la cabecera del río Noguera Ribagorzana, entre las provincias de Lérida y Huesca, para crear el salto de bombeo de Moralets, actualmente en construcción y que se espera terminar en 1983.

Este salto tiene una potencia de 205 MW y una altura de 800 metros en números redondos.

El agua del Ribagorzana, almacenada en el embalse de Baserca, se bombea al embalse de

Llauset que aprovecha el valle labrado por un antiguo glaciar, del cual queda actualmente un pequeño lago.

La central es subterránea y las tuberías forzadas quedarán alojadas en una galería inclinada a 45° aproximadamente. Completan el circuito hidráulico una galería de presión a cota alta de casi cuatro kilómetros de longitud, entre Llauset y el comienzo de la tubería forzada, y otra galería de presión a cota baja, entre Baserca y la central.

Está previsto que el Salto de Moralets realice una regulación semanal. Estando lleno el embalse superior los lunes por la mañana, a lo largo de la semana los caudales turbinados en las horas punta serán mayores que los bombeados en horas de bajo consumo; así se llegará a la noche del viernes con una reserva pequeña en el embalse superior. Después, durante el sábado y el domingo se mantendrá un bombeo prolongado y se volverá a llenar Llauset.

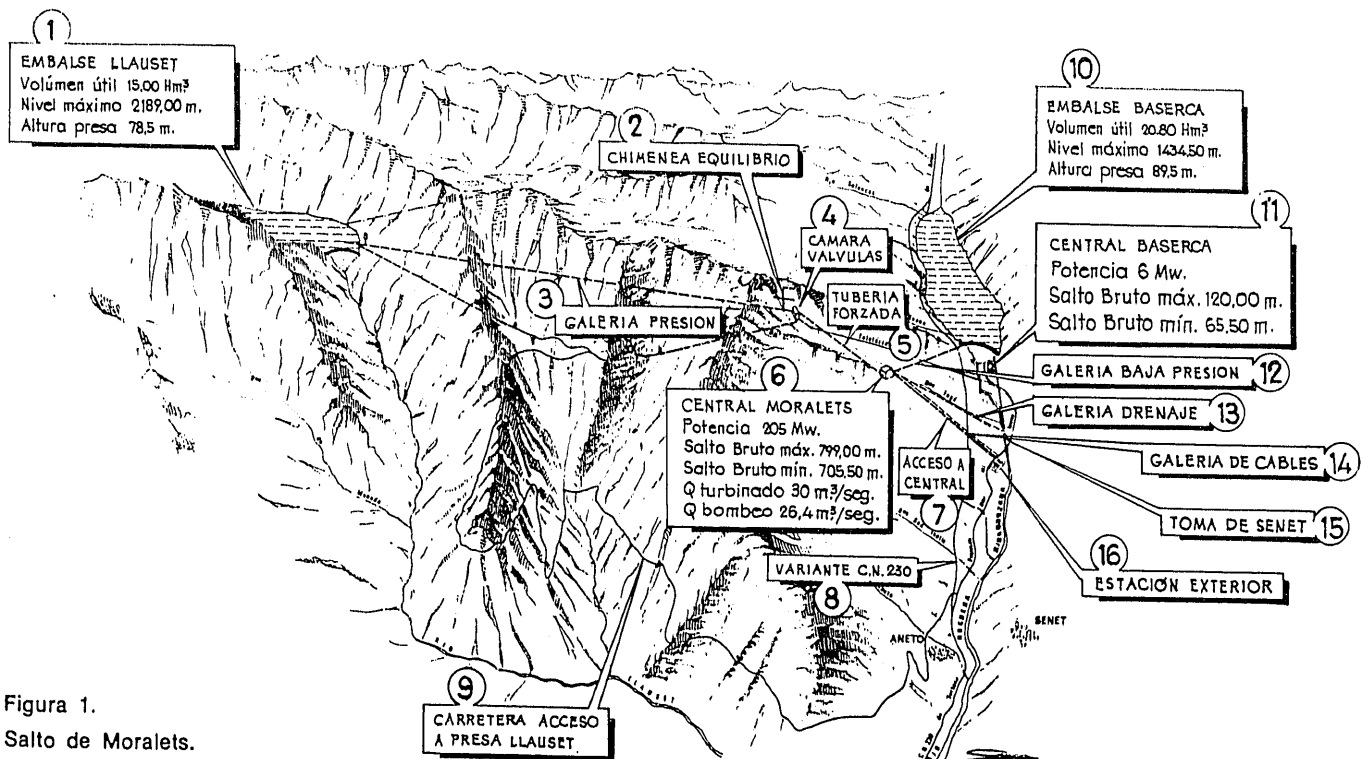


Figura 1.
Salto de Moralets.

PRESAS DE BASERCA Y LLAUSET COMPONENTES DEL SALTO DE MORALET

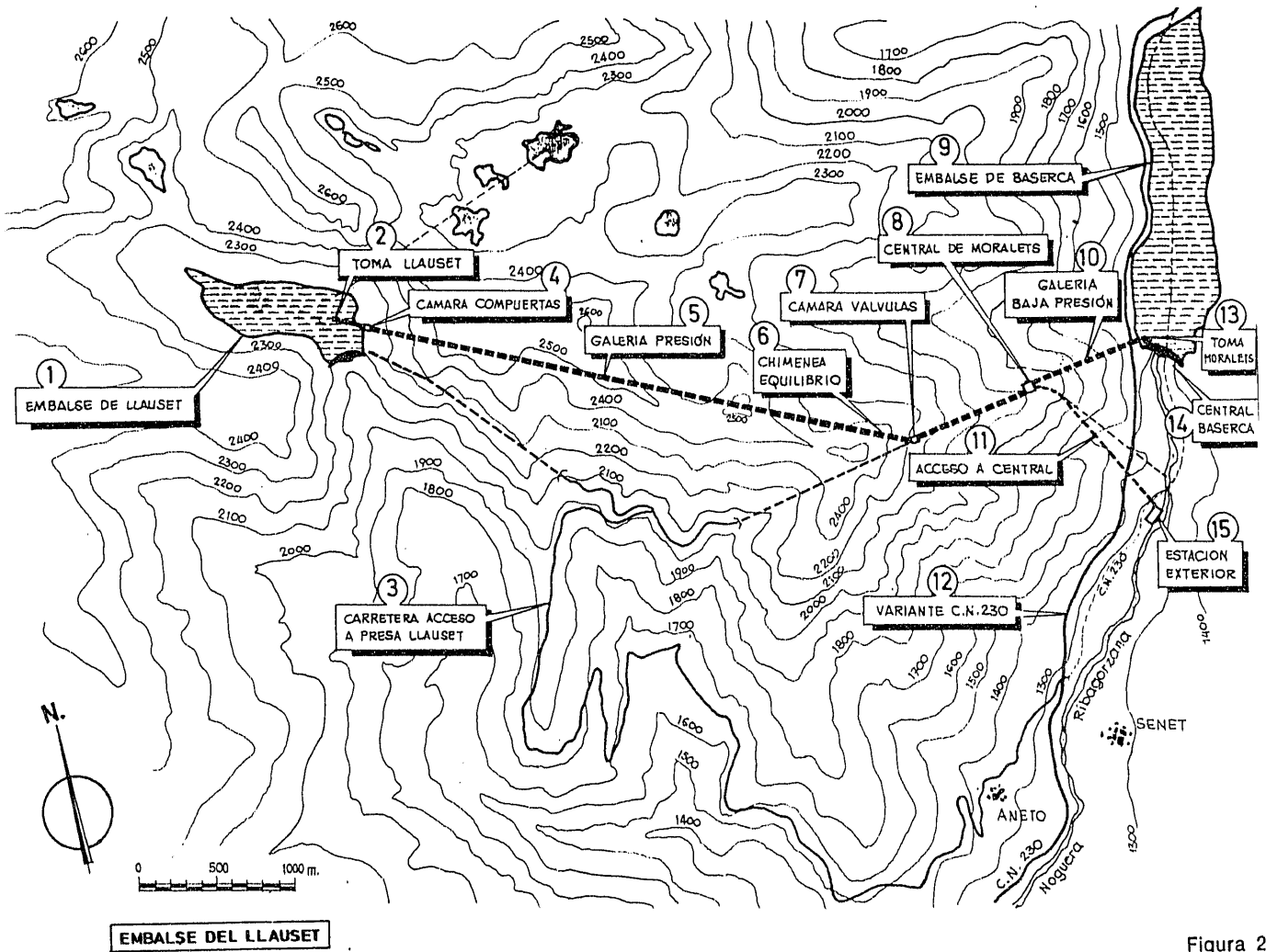


Figura 2.

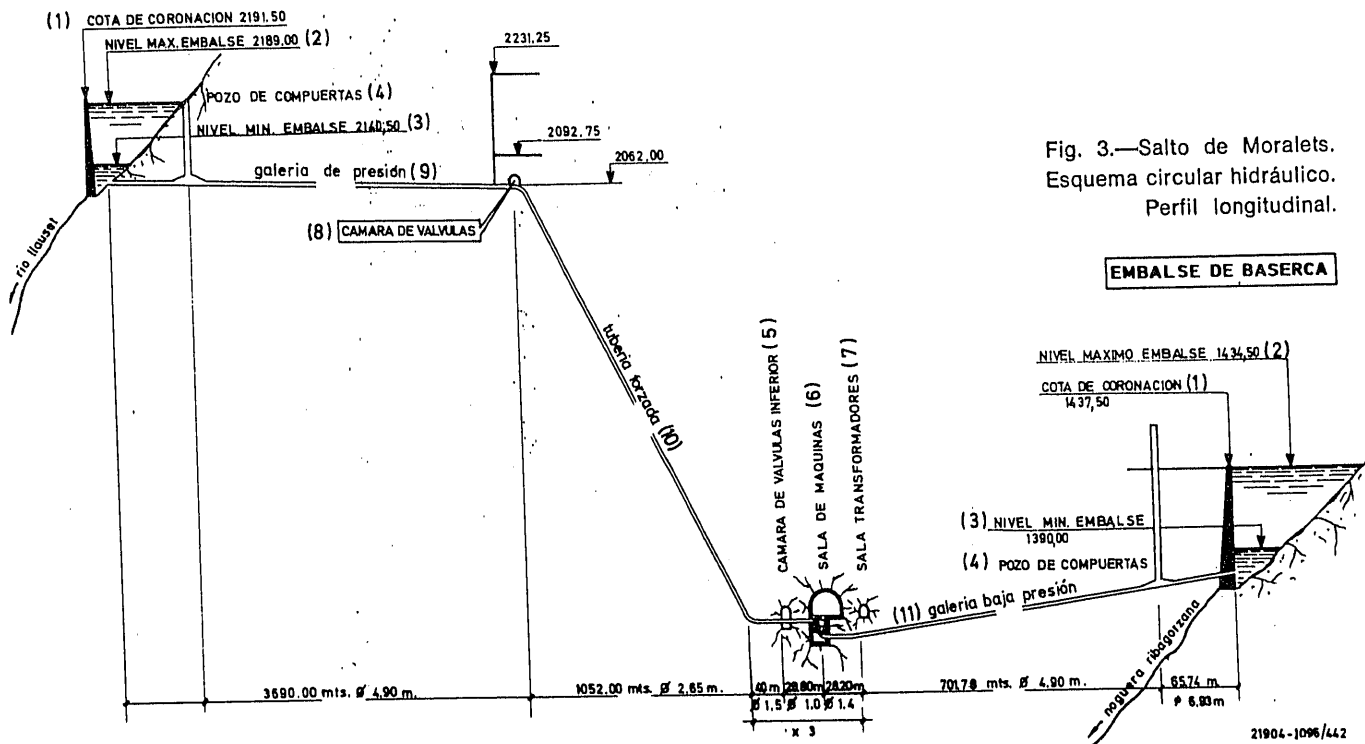


Fig. 3.—Salto de Moralets. Esquema circular hidráulico. Perfil longitudinal.

PRESAS DE BASERCA Y LLAUSET COMPONENTES DEL SALTO DE MORALETS

La producción anual media, turbinando el agua previamente bombeada, será de 301,5 GWh a la cual hay que añadir 61,4 GWh correspondientes a turbinar la aportación propia de la cuenca de Llauset.

Aparte de la central de bombeo-turbinado existirá una central de pie de presa en Baserca para restituir el agua al río, cuya producción anual será de 25,6 GWh.

Finalmente, hay que considerar que las presas permitirán regular completamente el río Ribagorzana y ello se traducirá en aumento de producción, en los saltos situados agua abajo, de 44,6 gigavatios-hora anuales.

2. PRESA DE LLAUSET

2.1. Ubicación y geología de la cerrada.

Constituye el embalse superior del sistema y aprovecha la existencia del lago de Llauset en el río del mismo nombre sobreelevando 58 metros el nivel medio del lago.

La cerrada donde se ubica, ha sido el cierre natural del lago de origen glaciar, en el cual la erosión producida por el agua al rebosar, ha hecho descender gradualmente el nivel.

La cuenca de aportación es de 7,5 Km², corres-



Fig. 4.—Lago de Llauset.

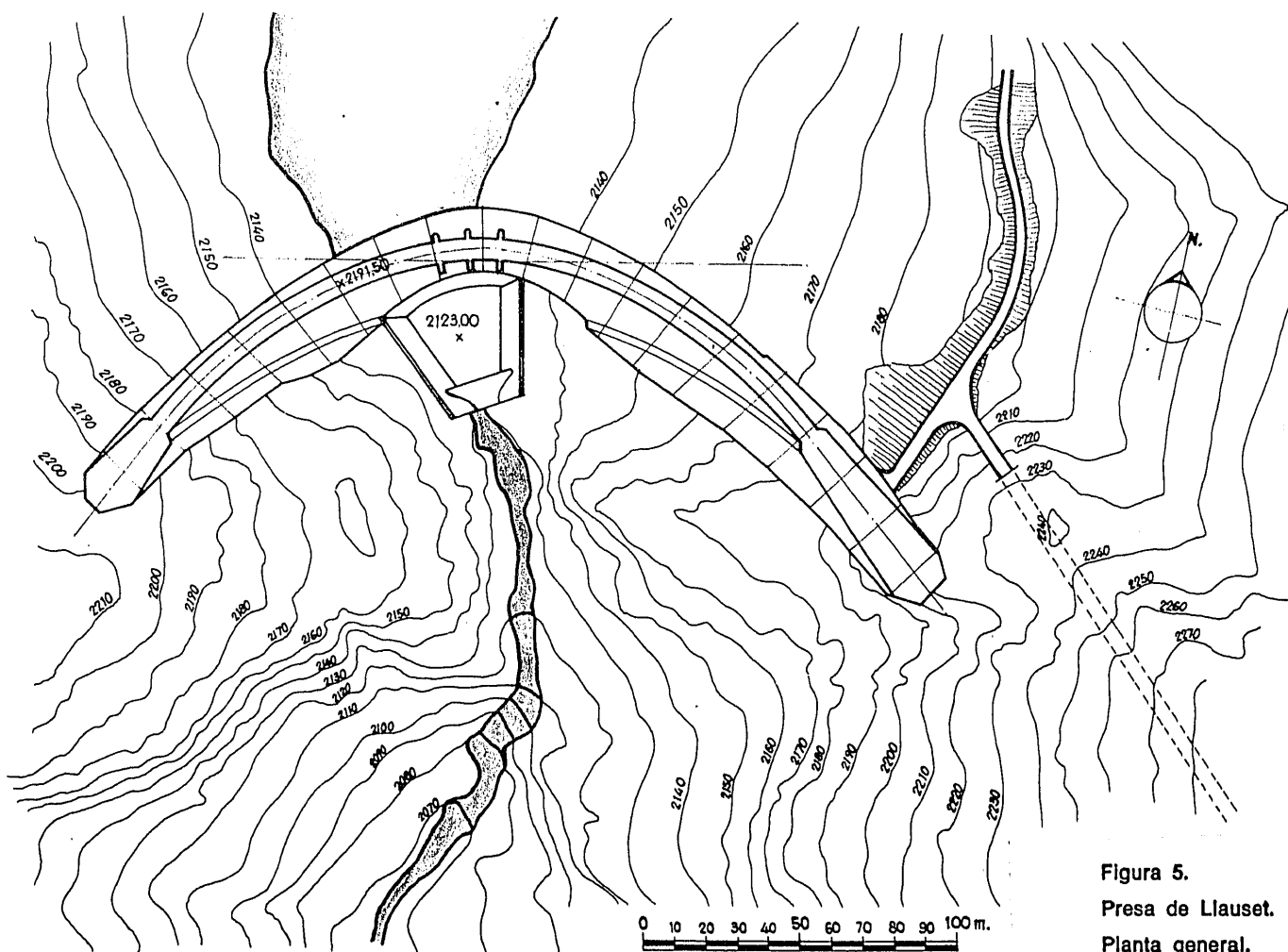
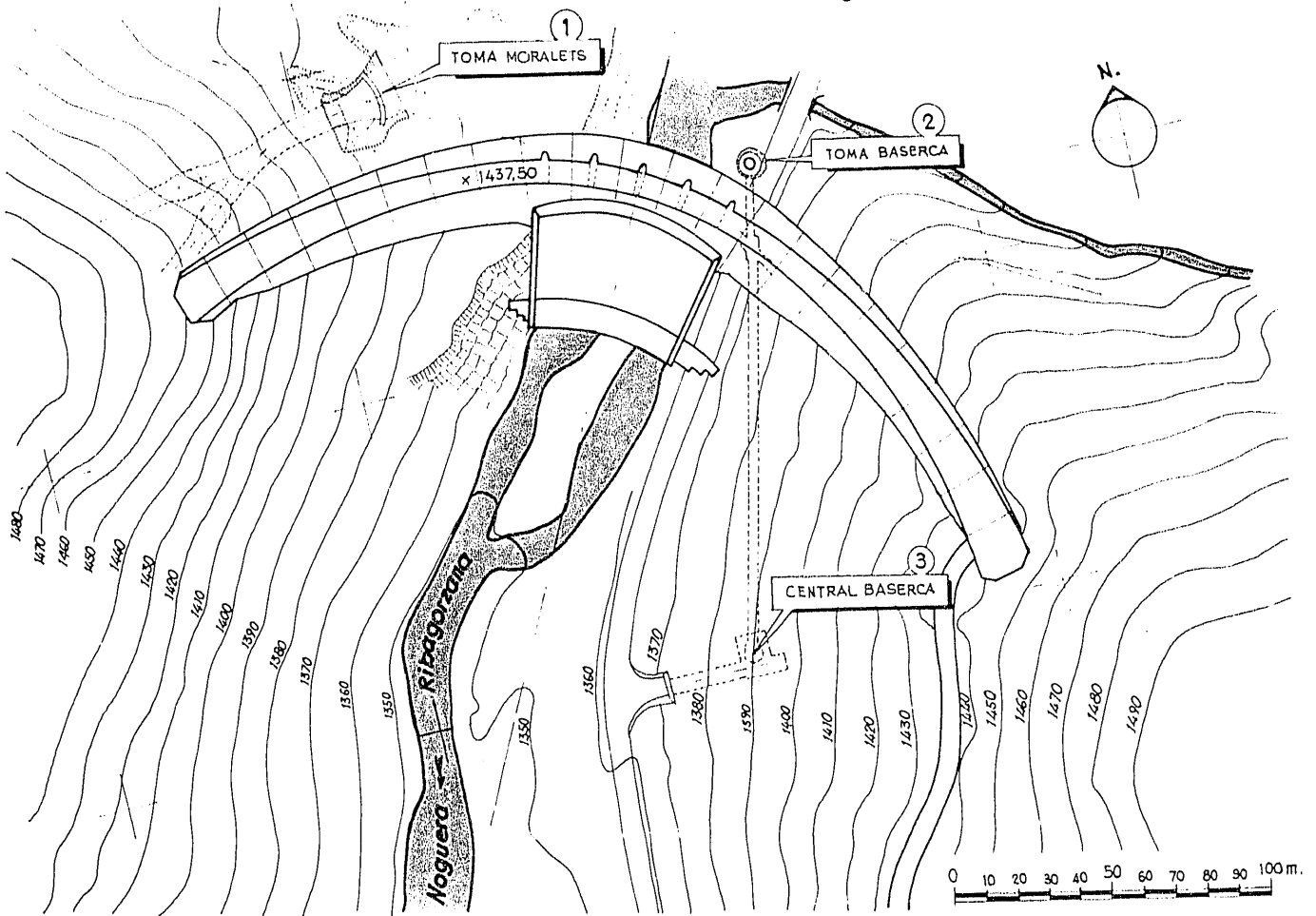


Figura 5.
Presa de Llauset.
Planta general.

Fig. 6.—Presa de Baserca. Planta general.



pendientes 5 Km² a la cuenca directa, y 2,5 Km² a la cuenca del lago Botornás, que desagua al Llauset a través de un cierre constituido por grandes bloques graníticos, depositados por el glaciar, entre cuyos huecos pasa el agua.

La cerrada está formada por calizas y calcoesquistos del Devónico, con estratificación normal al cauce. La totalidad de la cerrada, a excepción de las zonas altas, se encuentra cubierta por una capa de acarrees, material morrénico, y derrubios de ladera con un espesor importante en algunos puntos.

Para conocer las características del terreno se han efectuado dos campañas de sondeos con extracción de testigos y pruebas de permeabilidad, y un estudio geosísmico en toda la implantación de la bóveda. Están en vías de realización ensayos geomecánicos de compresión y de corte.

2.2. Estudio de soluciones.

Se consideraron tres posibles soluciones de presa: una de materiales sueltos con núcleo impermeable, otra de arco gravedad y una tercera bóveda.

La solución arco gravedad fue la primeramente estudiada, pareciendo encajada correctamente; pero al determinar valores superiores a los inicialmente supuestos, se comprobó requeriría un importante incremento del volumen de hormigón y fue rechazada por resultar más ventajosas las otras dos soluciones.

La solución de materiales sueltos, se presentaba en principio muy atractiva pensando en la utilización de los materiales depositados en el vaso y los de las proximidades. Sin embargo, también fue rechazada después de un exhaustivo estudio de los mismos. El principal problema, lo constituía la falta de materiales impermeables para el núcleo (se desechó la pantalla asfáltica o rígida por lo riguroso del clima y por tratarse de una zona sísmica) centrándose los estudios en unos limos existentes a la cota 1.700 en el camino de acceso; sin embargo, aunque las características del material permitían emplearlo, se dudaba sobre la homogeneidad del mismo. En cuanto a los materiales para los espaldones, se pensó utilizar los depositados en el vaso, pero tenían un ángulo de rozamiento bajo, por ser de origen esquistoso, y obligarían a unos taludes tendidos reduciendo en

un importante porcentaje la capacidad del embalse. Otra posibilidad consistía en emplear escollera de cantera, lo cual encarecería el coste.

Otra razón que hizo abandonar la solución de materiales sueltos fue el hecho de que en esta zona se producen importantes tormentas y aguaceros casi todos los días del verano (única época para poder efectuar los trabajos por razón del clima), lo cual impediría la compactación del núcleo impermeable, a no ser que se empleasen protecciones sofisticadas que encarecerían notablemente el costo.

La solución bóveda, tiene el inconveniente de que los rigores del clima y las condiciones sísmicas obligan a espesores mayores de los que serían necesarios en otro caso normal; a pesar de ello encaja perfectamente en la topografía del terreno y su coste es inferior al de las otras soluciones.

2.3. Características de la presa.

La estructura es de tipo bóveda de doble curvatura con vertedero en lámina libre por coronación y cuenco amortiguador al pie.

La coronación de la presa se sitúa a la cota 2.191,50 previéndose como cota inferior de cimentación la 2.113, resultando, por tanto, una altura máxima de 78,50 metros. El nivel del aliviadero de superficie se sitúa a la cota 2.189, siendo la cota 2.140 el mínimo de explotación. El volumen es de 15 Hm³.

La geometría de la presa queda determinada por la ménsula central, generando horizontalmente cada paramento por medio de arcos de tres centros, uno correspondiente a la zona central y dos simétricos correspondientes a las zonas laterales.

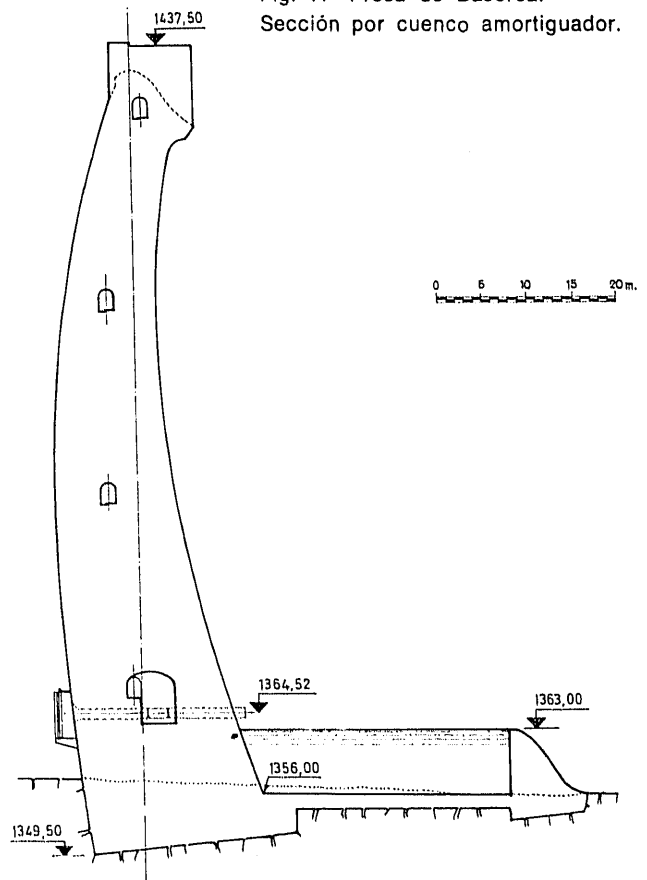
La ménsula central, se determina mediante un arco de circunferencia de 115,70 metros para el paramento de aguas arriba, conformándose el de aguas abajo con una ley de espesores que varía desde siete metros en coronación a 17 metros en cimientos.

Las secciones horizontales de la bóveda, son en la zona central, arcos con espesor constante. Las aberturas de los ángulos varían de treinta y dos grados sexagesimales en coronación, a cuarenta grados en la zona inferior. En las zonas laterales tiene centros diferentes para ambos paramentos.

El contacto de la bóveda con la roca, se realiza mediante un zócalo de espesor variable, determinado mediante superficies regladas.

La presa está dividida por 19 juntas de contracción verticales, que se inyectarán por unos con-

Fig. 7.—Presa de Baserca.
Sección por cuenco amortiguador.



ductos situados en las mismas, cuyo acceso se efectúa desde unas galerías transversales a las de la presa. La inyección se efectuará en la primavera posterior al hormigonado.

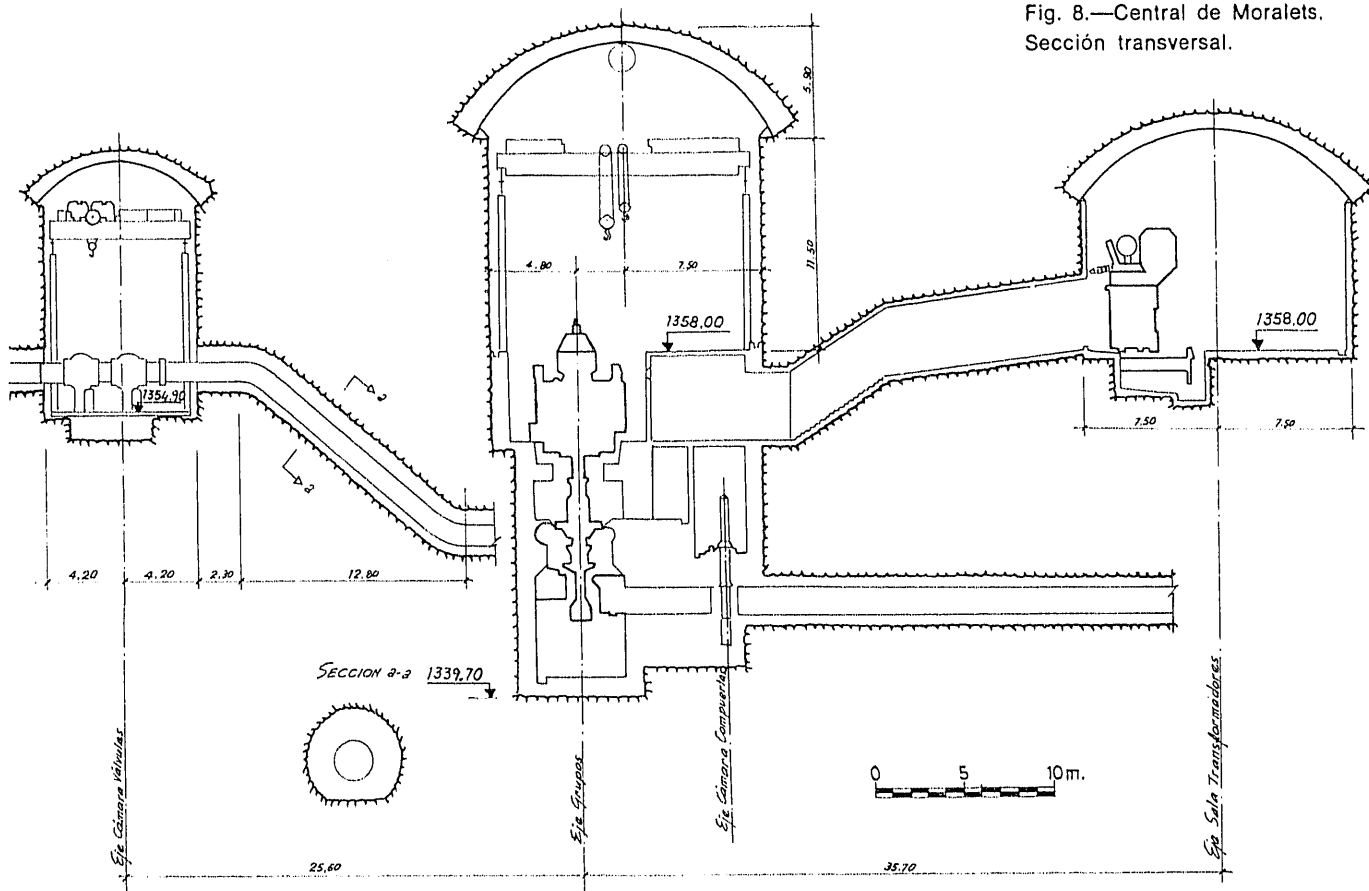
Se dispondrán tres galerías de control e inspección a lo largo de toda la presa, prolongándose aproximadamente 70 metros en las laderas. Se situarán a las cotas 2.180, 2.154,50 y 2.132,50.

El aliviadero se dispone en coronación de presa. Está constituido por dos vanos iguales de 7,50 metros de anchura, el borde superior del perfil Creager, situado a la cota 2.189, coincide con el nivel de máximo embalse normal, la 2.189. A la salida del perfil, se dispone un pequeño trampolín que alejará la lámina vertiente del pie de la presa, centrándola en el cuenco amortiguador existente al pie de la misma.

La avenida máxima afluente al embalse para un período de retorno de quinientos años, es de 187,8 m³/seg. Sin embargo, debido a la laminación, la avenida máxima que verterá al aliviadero será de 38 m³/seg. solamente.

El desagüe de fondo está constituido por dos conductos metálicos de un metro de diámetro situados a la cota 2.131,80, cerrado cada uno de ellos, con dos válvulas de compuerta dispuestas

Fig. 8.—Central de Moralets.
Sección transversal.



en serie, y situadas en una cámara en el cuerpo de la presa. El caudal desaguado con el embalse a cota máxima es de 33,5 m³/seg. La desembocadura se efectúa ligeramente superior al cuenco amortiguador, que actuará de dissipador de energía.

Los cálculos de la estructura, se han efectuado por el método de elementos finitos. Las sollicitaciones consideradas, han sido las combinaciones entre carga hidrostática, peso propio y aumento o disminución térmicos. El comportamiento de la presa a los efectos sísmicos, se está comprobando con ensayos dinámicos en modelo reducido, realizados en el ISMES.

La impermeabilidad de la cerrada se completará con una pantalla de inyecciones efectuadas desde la prolongación de las galerías de la presa. Aguas abajo de la pantalla, y desde las mismas galerías, se situará la red de drenaje.

Para el control del comportamiento de la estructura se dispondrán péndulos invertidos en bloques alternos. Igualmente, y para eventuales comprobaciones, se instalará una red geodésica. En la salida de las galerías se dispondrán vertederos para aforar las eventuales filtraciones.

En diversos puntos de la presa se situarán extensométricas y termómetros óhmicos.

Tanto el aliviadero como los desagües de fondo se están ensayando en el laboratorio hidráulico que ENHER posee en Ribarroja.

3. PRESA DE BASERCA

3.1. Ubicación y estudios preliminares.

Constituye el embalse inferior del aprovechamiento. Se sitúa en el río Noguera Ribagorzana aguas abajo de la confluencia de los barrancos de Rueno y Fereny.

La altura máxima sobre cimientos es de 89,5 metros, situándose la coronación a la cota 1.437,50.

La capacidad útil es de 20,8 Hm³, siendo la 1.434,50 la cota de máximo embalse, y 1.390 la mínima de explotación.

La cerrada está constituida por calizas y calcoesquitos del Devónico. La roca aflora prácticamente en toda la cerrada encontrándose muy poco decomprimida según se desprende de los resultados de los reconocimientos geosísmicos.

Se han efectuado dos campañas de sondeos con extracción de testigo y pruebas de permeabilidad con resultados excelentes, estando en ejecución los ensayos geomecánicos.

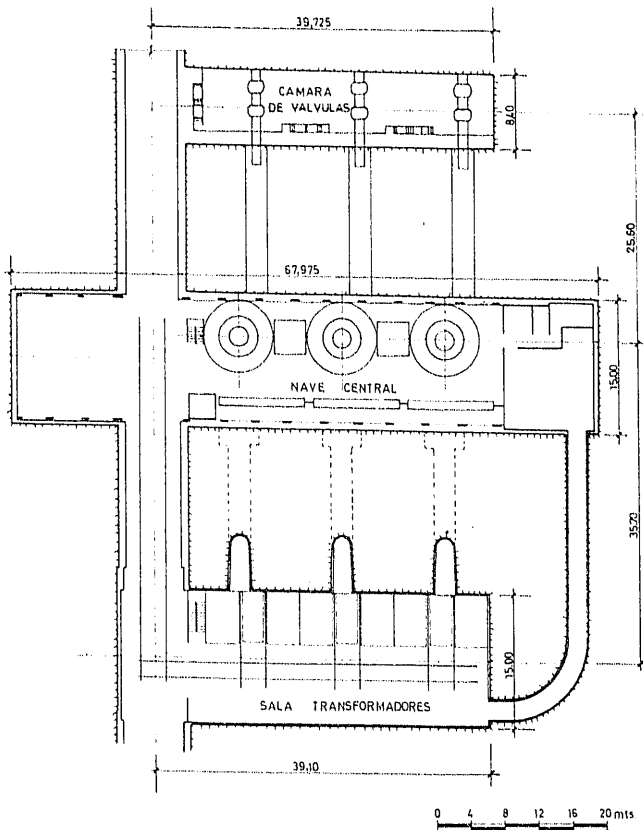


Fig. 9.—Central de Moralets. Planta.

La cuenca de aportación es de 76,67 Km², de los cuales 22,3 Km² corresponden a cuencas de lagos intermedios. La avenida de aportación máxima con período de retorno de quinientos años es de 490 m³/seg. que por efecto laminador del embalse se transforma en 300 m³/seg. vertidos por el aliviadero.

Como soluciones de presa posibles se estudiaron una bóveda, otra de gravedad, y una tercera de materiales sueltos, siendo rechazada esta última por motivos similares a los de Llauset, y la de gravedad por su excesivo coste.

3.2. Características de la presa.

La presa es de tipo bóveda, siendo sus secciones horizontales arcos de seis centros, tres para el paramento de aguas arriba y otros tres para el de aguas abajo, simétricos respecto al eje de la presa.

En la ménsula central, los espesores varían desde 7 metros en coronación, a 20,50 metros en cimientos. En sentido arco, estos espesores van incrementándose gradualmente a medida que se alejan de la ménsula central, hasta alcanzar un máximo en la cimentación.

La presa queda dividida por 21 juntas verticales, en 22 bloques con una anchura media de 15 metros.

Cuatro galerías de control de 1,50 metros de ancho y 2,25 metros de alto recorren la bóveda, a cotas 1.429,50, 1.408,50, 1.387,50 y 1.366,50, adentrándose en la roca para establecer las pantallas de drenaje e inyección.

El desagüe de fondo consta de una estructura de toma, y dos conductos de un metro de diámetro, con dos válvulas de compuerta en cada una de ellas, situadas en una cámara con acceso desde la galería 1.366,50. El caudal desaguado con el embalse a cota máxima es de 37,5 m³/seg.

El aliviadero es de labio fijo y consta de cuatro vanos de perfil vertedero, es de tipo Bradley, disponiendo de un trampolín a continuación, que aleja la lámina del paramento orientándola hacia el cuenco amortiguador, que se sitúa en el pie de la presa.

La inyección de las juntas se efectuará desde galerías que se dispondrán normales a las galerías principales de presa.

4. CENTRAL DE MORALETS

Es subterránea, excavada en la ladera derecha del río Ribagorzana y consta de tres naves en las que respectivamente se situarán las válvulas de alta presión, los grupos y los transformadores.

En la nave central, se dispondrán tres grupos reversibles turbina-bomba, alternador-motor. Las turbinas-bombas, serán de tres etapas del tipo no regulable. El caudal por grupo, en turbinado es de 10 m³/seg y 8,8 m³ en bombeo. La potencia unitaria máxima es de 68,3 MW en turbinado y 73 MW consumidos en bombeo.

La sumergencia de las máquinas, con respecto al nivel mínimo de Baserca, es de 45 metros, con lo que se sitúa al eje horizontal del cono de aspiración en la cota 1.345.

En la misma nave y aguas abajo del tubo de aspiración, se sitúan las compuertas de baja presión.

Dos puentes grúa móviles de 55 toneladas cada uno serán empleados para el montaje de los equipos.

En la cámara de válvulas de alta presión, se disponen por grupo dos válvulas esféricas de aislamiento en serie con by-pass o con anillo de estanqueidad. La válvula de aguas arriba hace el papel de órgano de seguridad y la de aguas abajo es de maniobra.

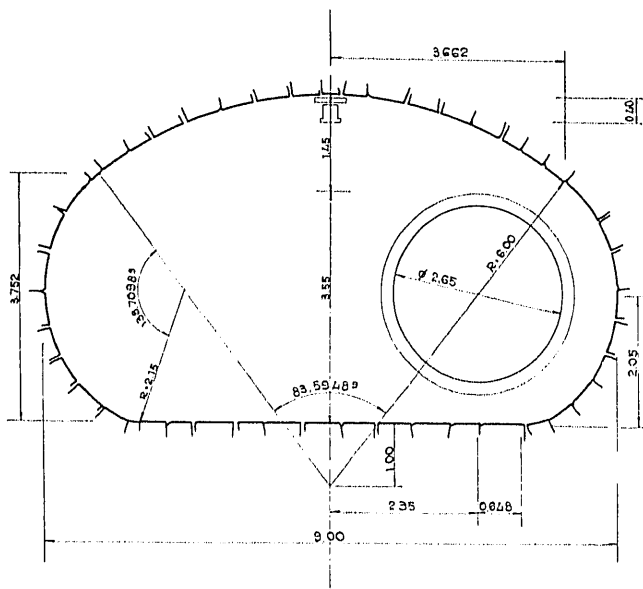


Fig. 10.—Sección tipo galería tubería forzada.

En la tercera nave se situarán tres transformadores que tendrán comunicación con sus respectivos alternadores a través de galerías.

La evacuación de la energía se efectuará desde los transformadores hasta la estación exterior, mediante cables en aceite dispuestos en el espacio que queda en la parte superior del acceso a la central, que tendrá una longitud de 1.100 metros.

Para la evacuación de las filtraciones de la central se construye una galería inferior de drenaje que desaguará aguas arriba de la toma del salto de Senet, actualmente en explotación.

5. TOMA DE LLAUSET Y GALERÍA DE PRESIÓN A COTA ALTA

La toma se situará en la ladera izquierda del lago, con solera a cota 2.131.

A 70 metros de la toma se sitúa el pozo de compuertas. En el mismo se dispondrán dos compuertas en serie de $4 \times 5,50$ metros que se utilizarán por el servicio normal de maniobra, y el de seguridad. El pozo tendrá una altura de 78 metros.

A partir de este punto, se inicia la galería de presión con una longitud total de 3.620 metros y 2 por 100 de pendiente hasta la chimenea de equilibrio, y la toma está proyectada para un caudal en régimen de turbinado de $60 \text{ m}^3/\text{seg}$. para una futura ampliación del salto si fuera menester, pudiendo doblar su potencia.

Desde la galería de presión, se procederá a un exhaustivo tratamiento de la roca mediante inyecciones, con el fin de asegurar la impermeabilidad de la misma.

6. CHIMENEA DE EQUILIBRIO

Se sitúa al final de la galería de presión, y consta de un pozo con cuatro metros de diámetro y dos cámaras de expansión, superior e inferior, situadas a las cotas 2.092,75 y 2.231,25 respectivamente.

7. TUBERÍA FORZADA

Su extremo superior está a la cota 2.062, donde como órgano de protección se dispone una válvula de mariposa. La tubería será de 2,65 metros de diámetro y su longitud de 1.052 metros, estando dispuesta libre en una galería con 45° de inclinación. Esta galería tendrá dimensiones tales que permita la instalación de una segunda tubería forzada de similares características para una eventual ampliación.

En la zona inferior la tubería se prolonga en tres ramales que acceden a la cámara de válvulas de la central.

8. GALERÍA DE PRESIÓN A COTA BAJA

Constituye la restitución al embalse de Baserca de los caudales turbinados para el salto de Moralets. Su longitud es de 702 metros y su diámetro interior de 4,90 metros.

Como protección, próximo a la toma en el embalse, dispondrá de un doble cierre compuerta-atagüa de $4 \times 5,50$ metros similar a la toma de Llauset.

La toma de Baserca, se proyecta con una bifurcación para futuros aprovechamientos.

9. ESTACION EXTERIOR

Comprenderá un parque de 220 kV, equipado con dos juegos de barras, su aparellaje de maniobra y una salida de dos circuitos hacia Pont de Suert, y además un parque de 25 kV que conectará las celdas instaladas en la caverna en la central con líneas de 25 kV de la zona.

10. SALTO DE BASERCA

La central se construirá en pozo, junto a la margen izquierda de la presa de Baserca; irá equipada con un grupo de restitución que aprovechará el desnivel existente entre el embalse y la toma de Senet.

El salto neto máximo es de 117,50 metros, el caudal de $6 \text{ m}^3/\text{seg}$. y la potencia de 6 MW.