

# Salto de Moralets. Presas de Baserca y de Llauset

Por ALFONSO ALVAREZ

E.T.S. de Ingenieros de Caminos de Madrid.

JUAN MANUEL BUIL

E.T.S. de Ingenieros de Caminos de Barcelona, ENHER.

EUGENIO HERRERO

E.T.S. de Ingenieros de Caminos de Barcelona, ENHER.

*Las presas de Baserca y Llauset, forman parte del salto de bombeo de Moralets sobre el río Noguera-Ribagorzana en las provincias de Huesca y Lérida. A describir su proyecto y construcción se dedica el siguiente artículo.*

## 1. INTRODUCCION

Las presas de Baserca y Llauset, forman parte del Salto de Bombeo de Moralets que ENHER ha construido en la cabecera del río Noguera-Ribagorzana, en las provincias de Huesca y Lérida. La potencia del aprovechamiento en primera fase es de 206 MW, habiéndose realizado las obras con vistas a una fácil ampliación de la potencia instalada.

El agua del Noguera-Ribagorzana, se almacena y regula en el embalse inferior de Baserca, y se bombea en las horas de baja demanda de energía, al embalse superior de Llauset (ver figura 1).

Las características principales de los componentes del Salto son las siguientes:

### PRESA DE LLAUSET

Superficie cuenca aportación	7,6 Km <sup>2</sup>
Superficie embalse.....	0,44 Km <sup>2</sup>
Volumen útil.....	13,7 Hm <sup>3</sup>
Volumen total.....	16,5 Hm <sup>3</sup>
Cota coronación.....	2.192,0
Nivel máximo embalse ordinario.....	2.191,5
Nivel mínimo de explotación	2.150,0
Longitud de coronación ...	300,0 m
Altura total desde cimientos	87,0 m
Volumen de hormigón en presa.....	220.000 m <sup>3</sup>

### PRESA DE BASERCA

Superficie cuenca aportación	77,1 Km <sup>2</sup>
Superficie embalse.....	0,93 Km <sup>2</sup>
Volumen útil.....	21,0 Hm <sup>3</sup>
Volumen total.....	22,8 Hm <sup>3</sup>
Cota coronación.....	1.437,5
Nivel máximo embalse ordinario (500 años).....	1.436,3
Nivel mínimo de explotación	1.390,0
Longitud de coronación ...	330,0 m
Altura total desde cimientos	89,0 m
Volumen de hormigón en presa.....	230.000 m <sup>3</sup>
Número de aliviaderos y dimensiones.....	4 x 13 m

### CIRCUITO HIDRAULICO

Galería de presión:	
Longitud.....	3.600 m
Diámetro interior.....	4,90 m
Conducción forzada:	
Longitud.....	1.050 m
Diámetro medio.....	2,65 m
Galería de baja presión:	
Longitud.....	620 m
Diámetro.....	4,90 m
Desniveles aprovechados:	
Salto bruto máximo.....	801,5 m
Salto bruto mínimo.....	715,5 m
Salto bruto medio.....	762,5 m

PERSPECTIVA DEL APROVECHAMIENTO

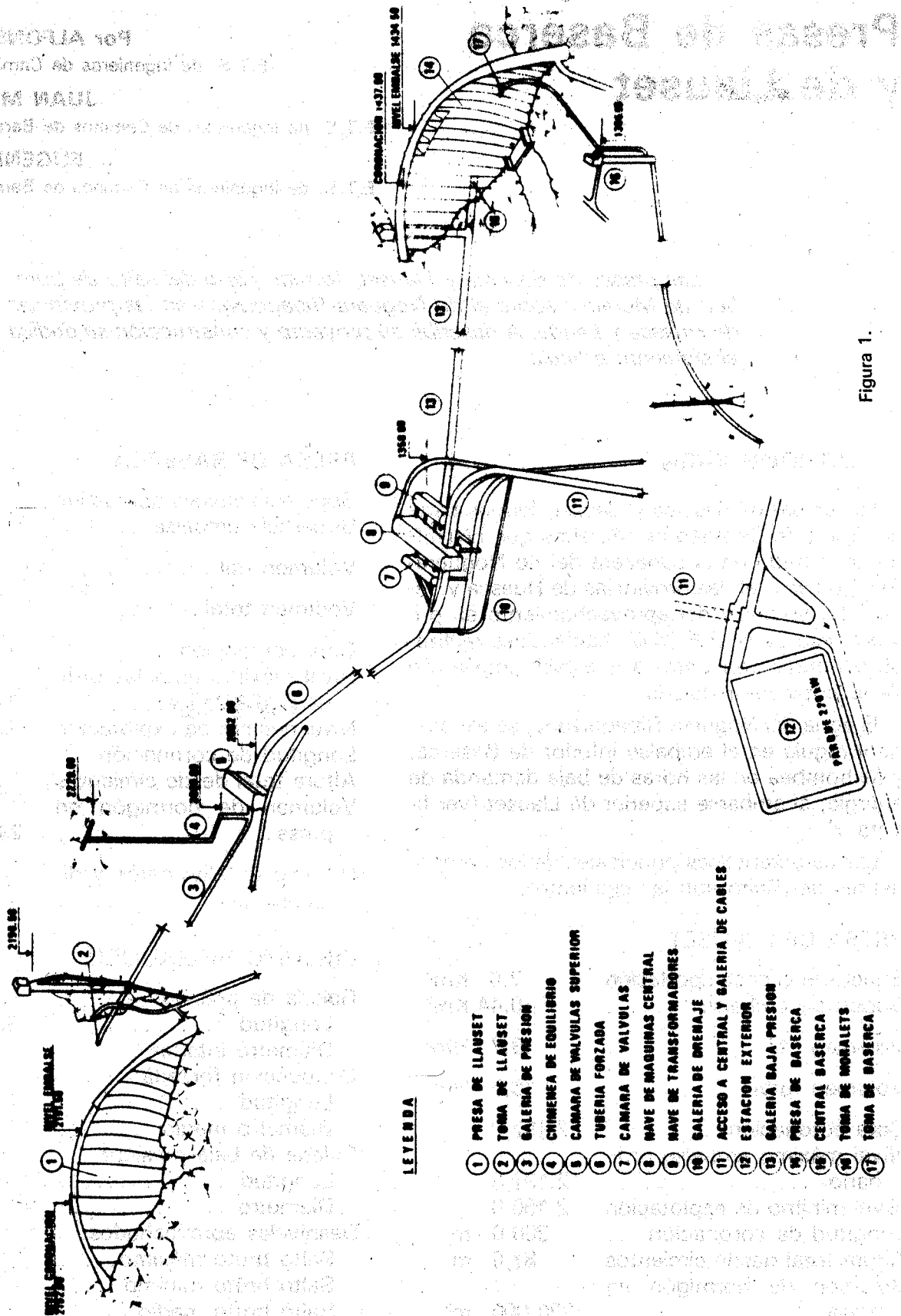


Figura 1.

## SALTO DE MORALETS. PRESAS DE BASERCA Y DE LLAUSET

### CENTRAL HIDROELECTRICA

3 Grupos turbina-bomba de eje vertical en tres etapas.

Potencia nominal .....	82	MVA
Potencia suministrada con salto medio .....	67	MW
Potencia absorbida por la bomba .....	75	MW
Velocidad de rotación síncrona	750	r.p.m.
Velocidad de embalamiento ..	1.040	r.p.m.
Frecuencia nominal .....	50	Hz.
Tensión nominal del alternador motor .....	3.054	A
Factor de potencia (cos $\phi$ ) ..	0,9	
Transformadores estrella-triángulo .....	15,5 kV	
	220,0 kV	
Producción anual por aportaciones propias .....	25	MWh
Producción media anual por bombeo .....	279	MWh
Consumo medio anual por bombeo .....	357	MWh

## 2. EL PROYECTO

Los primeros estudios en la zona de ubicación de las presas, se desarrollaron en las décadas de los años 50 y 60, incluyendo algunos sondeos y pruebas de permeabilidad con el fin de determinar las características geológicas de las cerradas.

Los anteproyectos que datan de esta época, concebían embalses más pequeños que los actuales (eran saltos convencionales), proponiendo presas de gravedad en los dos casos, si bien la planta de Llauset aparecía arqueada con un ángulo de unos 50°.

A finales de los años 60, se planteó de nuevo el anteproyecto, apareciendo por primera vez un aprovechamiento con bombeo; la potencia máxima prevista era de 65 MW. Los niveles de los embalses se aumentaron ligeramente pero sin modificar los tipos de presa.

Durante los años 1973 a 1975, se modifica sensiblemente el anteproyecto, proponiendo una potencia de bombeo de 200 MW y un salto a pie de presa de 6 MW. Los volúmenes de los embalses se aumentan en consonan-

cia a la nueva potencia y se comienza el proyecto de las presas.

### 2.1. Presa de Llauset

Constituye el embalse superior del salto, y aprovecha la existencia del Lago de Llauset sobreelevando su nivel (ver fig. 2).

La cerrada está formada por calizas y calcoesquitos del Devónico con algunas intrusiones aplíticas. El fondo del lago está relleno de sedimentos y las laderas recubiertas por material morrénico y derrubios con espesor importante en algunos puntos.

#### 2.1.1. Estudio de soluciones y descripción del proyecto

Se consideraron tres soluciones: materiales sueltos con núcleo impermeable, arco gravedad y bóveda.

De ellas se eligió la bóveda, pues se adapta bien a las características de la cerrada, con costos similares a la de materiales sueltos. Esta última reduciría el volumen de embalse y presentaría problemas de ejecución ya que las lluvias frecuentes en verano dificultarían la compactación del núcleo de arcilla; otro tipo de sistemas de impermeabilización fue desechado igualmente por motivos climatológicos. La presa de arco-gravedad se desechó por su mayor coste.

Se llegó a la definición geométrica de la bóveda después de modificaciones sucesivas realizadas en base a un primer modelo estructural que con arcos de dos centros se generaba a partir de una ménsula central. Las variaciones se introdujeron en la forma de la ménsula central y en los centros y radios de los arcos generados desde la misma, pasando en último lugar a ajustar la geometría a base de arcos con seis centros (tres para cada paramento).

La determinación de tensiones en la estructura, se realizó mediante cálculo por elementos finitos tridimensional, analizándose en esta primera etapa las situaciones de peso propio con ménsulas independientes, carga hidrostática y efectos de temperatura. Se discretizó la bóveda siguiendo planos verticales coin-

## SALTO DE MORALET. PRESAS DE BASERCA Y DE LLAUSET

cientos con juntas de construcción alternas y planos horizontales.

La geometría de las ménsulas es tal que durante la construcción y por efecto del peso propio, se desplazan hacia arriba, tendiendo a abrir las juntas de construcción e impidiendo cualquier interacción entre las mismas. Por ello el cálculo a peso propio se realizó como ménsulas independientes sin que existieran tensiones en sentido arco.

Para poder atender posibles modificaciones de las superficies de cimentación en función de la calidad de roca encontrada al excavar, se dispuso una estructura simétrica continuada por un zócalo, que permitiera incidir correcta-

mente en la cimentación, sea cual fuere su situación dentro de unos límites predeterminados.

La coronación se situaba a la cota 2.191,50 previéndose como cota inferior de cimentación la 2.113. Dos desagües de fondo se hallaban a cota 2.131,40. En superficie se disponía de un aliviadero de labio fijo con dos vanos de 7,5 metros de anchura cada uno. Un cuenco amortiguador con solera a cota 2.123 completaba el sistema de evacuación de avenidas.

Para el control e inspección durante la explotación, se dispusieron tres galerías en la presa que se prolongaban en las laderas y se comunicaban por el pozo ascensor dentro de la margen izquierda.

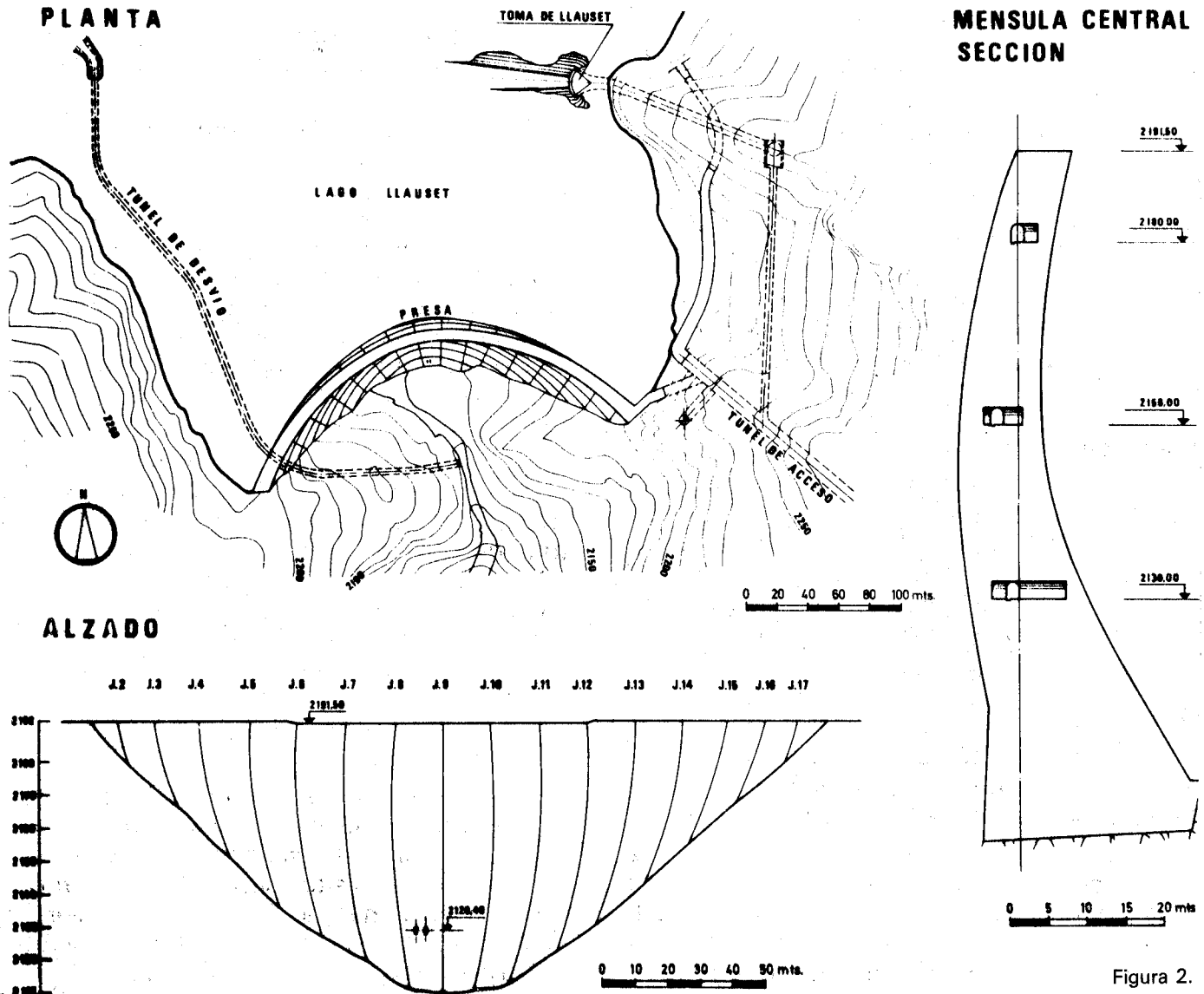


Figura 2.

La presa está dividida por 19 juntas de construcción verticales; éstas se inyectan por unos conductos situados en las mismas, los cuales comunican unas galerías transversales coincidentes con el plano de junta. El cálculo de las presiones de inyección se efectuó considerando la ejecución por tramos de junta comprendidos entre galerías, comenzando por la inferior y desde las laderas hacia el centro. Se calcularon las tensiones que aparecían en los bloques adyacentes libres todavía, y en la zona de presa inyectada, procurando que los esfuerzos contrarrestasen las mayores tracciones a que iba a verse sometida la estructura. Se propuso una presión de 6 kg/cm<sup>2</sup> en boca de taladro, teniendo que estar la junta adyacente rellena de agua con una presión en boca de taladro de 3 kg/cm (esto se efectúa con el fin de no someter todo el empuje de inyección sobre una sola ménsula, lo que daría tracciones importantes).

El estado tensional final, queda determinado por las siguientes combinaciones de efectos, todas ellas calculadas mediante elementos finitos a excepción del efecto sísmico que se determinó en modelo reducido:

- Peso propio ménsulas independientes más efecto inyección juntas.
- Carga hidrostática.
- Aumento térmico.
- Descenso térmico.
- Sobreelevación embalse (caso máxima avenida).
- Sobrepresión.
- Efecto sísmico.

El oleaje y el efecto del hielo no se han considerado por ser un embalse de muy poca superficie y con variaciones diarias de nivel debido al sistema de explotación.

### 2.1.2. *Modificaciones al Proyecto durante la construcción*

Como se ha indicado anteriormente, las condiciones exactas de la roca de cimentación no se conocen antes de realizar las excavaciones, y por tanto, al redactar el proyecto, por lo que se definió un zócalo que permitiera incidir a la

cimentación de forma adecuada dentro de unos márgenes razonables. Sin embargo, la superficie de cimentación en el pie de la presa quedó fuera de estos límites, y fue necesario modificar ligeramente la geometría del zócalo, sin variar las características de la bóveda, con el fin de adecuarlo a la situación real.

El aliviadero, de dos vanos con una pila intermedia y pasarela superior, se ha sustituido por un vertedero de 100 m de longitud que abarca los seis bloques centrales de la presa, en el cual la máxima altura de lámina será de sólo 0,44 m para la avenida de 500 años. Podrán pasar vehículos sobre la coronación de la presa, puesto que los laterales del aliviadero no son verticales sino una rampa suave, y además la coronación es muy ancha. El cuenco amortiguador aprovecha una cubeta natural, ya que el caudal específico desaguado es muy pequeño, llegando el agua totalmente emulsionada.

## 2.2. Presa de Baserca

La presa se sitúa en el río Noguera-Ribagorzana, agua abajo de la confluencia de los barrancos de Rueno y Feneruy (ver fig. 3).

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

Agua arriba de la presa, y coincidiendo con los barrancos Rueno (margen derecha) y Feneruy (margen izquierda), existe una fractura en el terreno, con importancia suficiente como para ser condicionante en la definición de la presa.

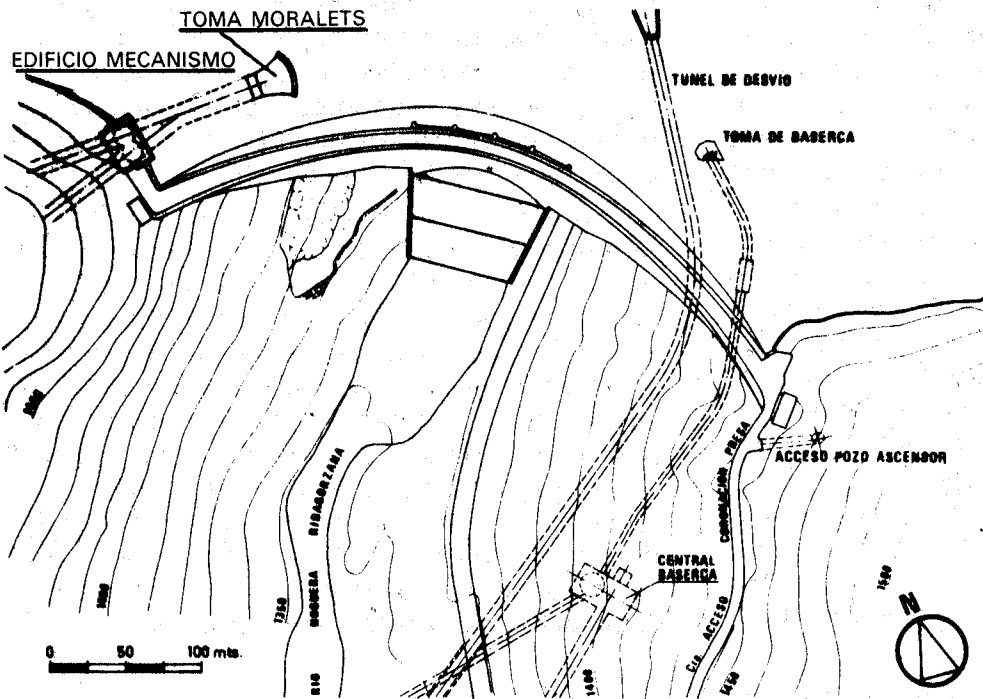
### 2.2.1. *Estudio de soluciones y descripción del proyecto*

Se estudiaron tres tipos de presa: materiales sueltos, gravedad y bóveda.

Las estructuras de presas bóveda y materiales sueltos se asemejaban en cuanto a coste, pero el aliviadero que se debía disponer en la margen izquierda para la presa de materiales sueltos desequilibraba la balanza a favor de la bóveda. Por otro lado, existían los problemas constructivos citados en la presa de Llauset para

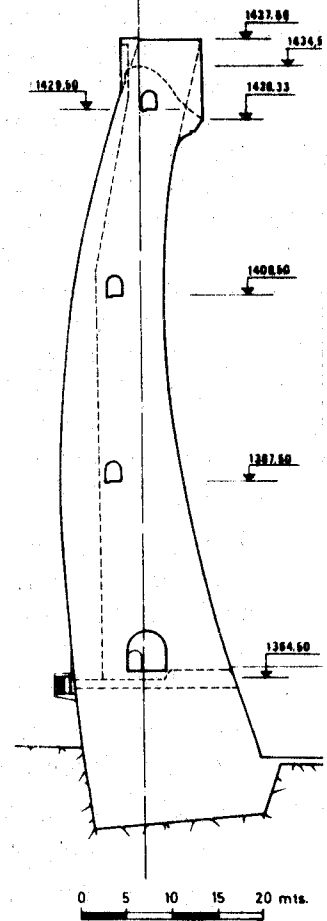
# SALTO DE MORALETS. PRESAS DE BASERCA Y DE LLAUSET

## PLANTA



## PRESA DE BASERCA

### MENSULA CENTRAL



## ALZADO

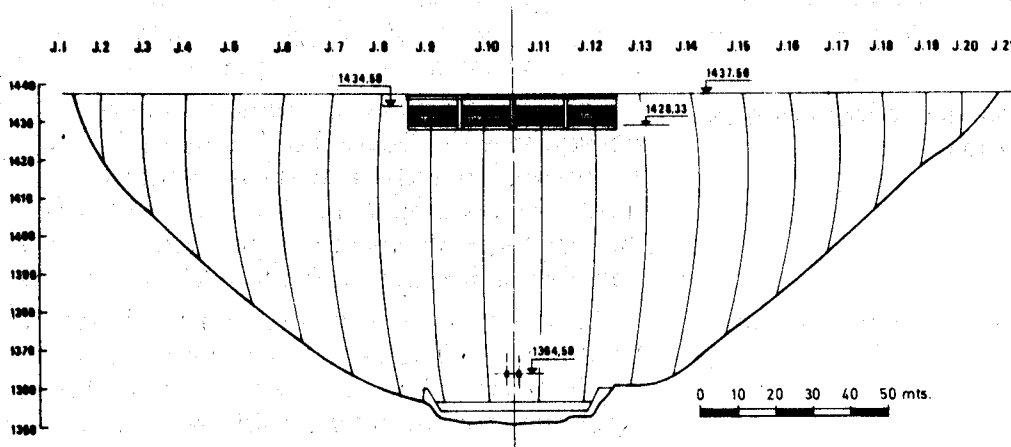


Figura 3.

la solución de materiales sueltos. La presa de gravedad fue rechazada por su coste notablemente alto.

La definición geométrica de la estructura, se realizó con criterio similar al descrito para la presa de Llauset. Las ménsulas tienen desplome hacia agua arriba, por lo que el planteamiento general de los cálculos tensionales es idéntico a los de la presa de Llauset.

La definición horizontal es simétrica a base de arcos de seis centros, tres para cada paramento, siendo en la clave el punto de espesor

menor, ensanchándose hacia los arranques. Para conseguir una incidencia adecuada en las laderas, los arcos son relativamente abiertos.

Debido a que la situación de la roca era perfectamente conocida a priori, se pudo diseñar una estructura adecuada a la misma sin tener que prever modificaciones posteriores.

El aliviadero con labio fijo, se ubica en el centro de la presa y consta de cuatro vanos con perfil vertedero tipo Bradley y un trampolín a continuación que aleja la lámina hacia un cuenco amortiguador previsto en el pie de la presa.

Para el control e inspección se disponen cuatro galerías en la presa que se prolongan en las laderas y se comunican por un pozo ascensor en la margen izquierda.

La presa queda dividida por 21 juntas de construcción verticales que se inyectan por el mismo procedimiento y con idénticas prescripciones a las utilizadas en la presa de Llauset.

El cálculo de la estabilidad de la cimentación se ha realizado por el método de las cuñas. La determinación de los paramentos resistentes de la roca se ha efectuado mediante ensayos de resistencia al corte «in situ».

### 2.2.2. *Modificaciones al proyecto durante la construcción*

El cuenco amortiguador del aliviadero, se ha limitado a una losa de hormigón de espesor mínimo, 2,50 metros, que protege la roca en la zona de vertido.

Se ha suprimido el azud que, en el borde de agua abajo de la losa, serviría para crear un calado de agua útil a los efectos de amortiguar la energía de caída del caudal vertido.

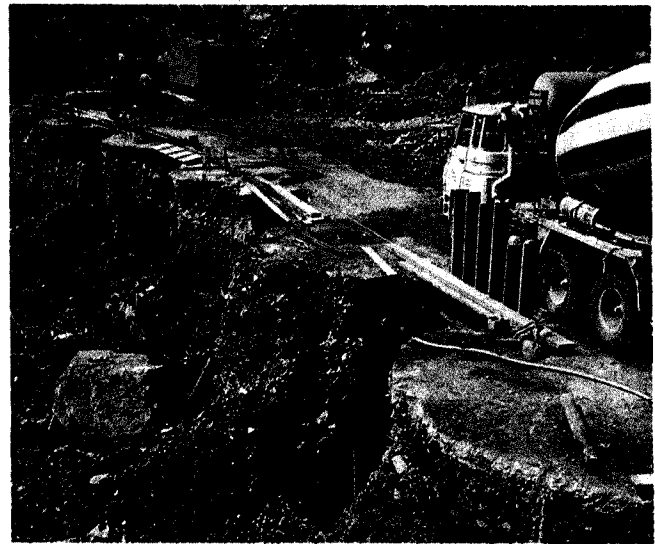
Esta supresión ha podido hacerse con garantía después de que durante un año los chorros de los desagües de fondo han vertido directamente sobre la losa, casi constantemente, sin producir ninguna erosión en ella.

## 3. CONSTRUCCION DE LA PRESA DE LLAUSET

Tomada la decisión de construir una presa bóveda destinada a elevar la cota del lago desde la 2.130 que tenía de modo natural hasta la cota 2.191,50, cota del labio del aliviadero definitivo, se buscó una cantera, para la obtención de los áridos.

Tratando fundamentalmente de encontrar un material que proporcionara densidad, impermeabilidad y trabajabilidad al hormigón, después de estudiar diferentes canteras, se eligió una en calizas que satisfacía las cualidades requeridas.

Para su explotación, se instalaron los correspondientes trenes perforadores, y el material extraído se transportaba a un machaqueo primario con machacadora de mandíbulas de gran ca-



pacidad que producía un árido calizo de tamaño máximo 130 mm. Este se sometía a un primer lavado para eliminar el material arcilloso, que en algunos casos lo acompañaba. Toda esta instalación estaba ubicada en las proximidades de la cantera.

### 3.1. Desvío del río. Ataguía

Para conseguir el desvío del río, después de diversos estudios de diferentes soluciones, se decidió realizar un túnel aproximadamente a la cota 2.128 en cabeza de toma del lago y realizar agua abajo de la toma una ataguía con la coronación a la cota 2.132, con el mismo material existente en el fondo y las proximidades del lago y con taludes muy tendidos, dadas las cualidades mecánicas del material.

Una vez realizado el hormigonado de la presa por encima de los desagües de fondo, fue posible devolver el río a su cauce normal, aprovechando caudales bajos, permitiendo hacer un tapón de cierre de hormigón, de 15 metros de longitud, en la vertical de la pantalla de impermeabilización de la presa, y su posterior inyección con cemento de sellado.

### 3.2. Excavaciones

Durante este tiempo se había realizado la excavación de cimentación en ambas márgenes y una vez desviado el río, se inició la excavación de los bloques centrales.

Anteriormente, con ánimo de conocer la profundidad de la roca, en la zona ocupada por el lago, se habían realizado sondeos siguiendo la traza de la presa, y perfiles geofísicos. Los resultados de ambos, no muy congruentes, situaban la roca en su zona más profunda alrededor de la cota 2.115, la cual se había tomado como base para definir la toma del túnel de desvío, y la traza de la ataguía.

Al realizar la excavación de los bloques centrales se comprobó la existencia en el fondo del lago, de grandes bolos graníticos y de unos lodos con diatomeas de características extraordinariamente fluidas. Además, el nivel de la roca resultó bastante inferior a lo previsto. Se produjeron, motivados por la mayor profundidad de excavación y el ángulo de rozamiento muy bajo de los lodos, varios corrimientos de este material que obligaron a modificar la implantación de la ataguía hacia agua arriba y también la embocadura del túnel de desvío.

Al comprobar que la cota mínima real de la roca, en el fondo del lago, era del orden de la 2.105, fue obligado realizar una obra de sujeción del pie del talud de lodos entre esta cota y la 2.115 aproximadamente, a base de congelación de los lodos.

El proceso de congelación creaba cilindros verticales cuyo interior se excavaba y se rellenaba de hormigón, con un posterior anclaje a la roca de cimentación.

Estos cilindros tenían un diámetro de 5,80 m, estando separados 8,20 m entre ejes. La zona intermedia entre cilindros, también se rellenó de hormigón por el mismo procedimiento de congelación en la zona de agua arriba. La longitud total de la zona tratada fue de 68,2 m.

Esta obra permitió realizar la excavación, en los bloques centrales de la presa hasta alcanzar la roca de cimentación llegándose a la cota 2.103.

### 3.3. Instalaciones

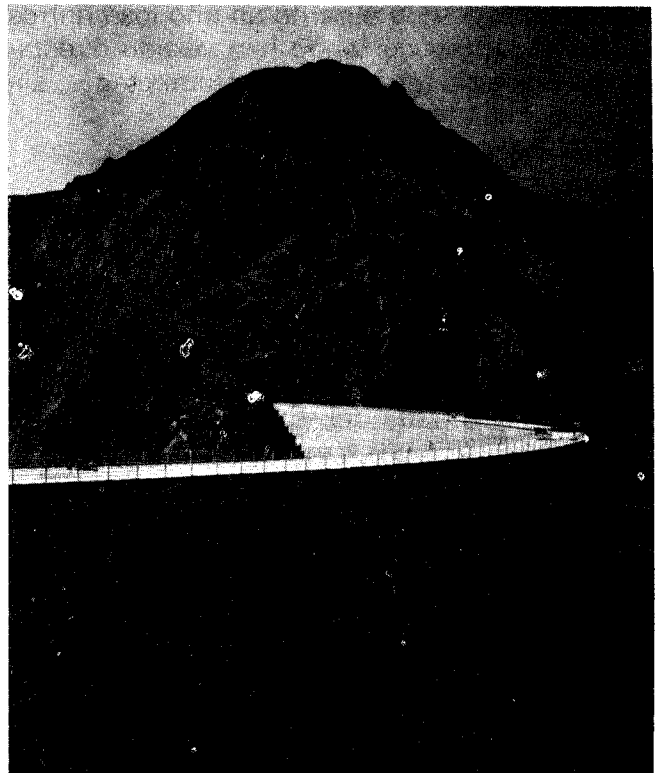
Para la obtención de los cinco tamaños de áridos previstos (grava, gravilla, garbancillo, arena gruesa y arena fina), se instaló una central de machaqueo y clasificación que con el material procedente del primario y utilizando macha-

cadoras, molinos, clasificadoras y el correspondiente y riguroso lavado, producía los áridos de acuerdo con la granulometría prevista y en condiciones para ser transportados y ensilados en los silos de la central de hormigonado.

Un problema derivado del necesario lavado era la variable humedad residual en los áridos, sobre todo las arenas, lo que obligó a un ensilado importante de áridos ya clasificados, en las inmediaciones de la central de hormigonado.

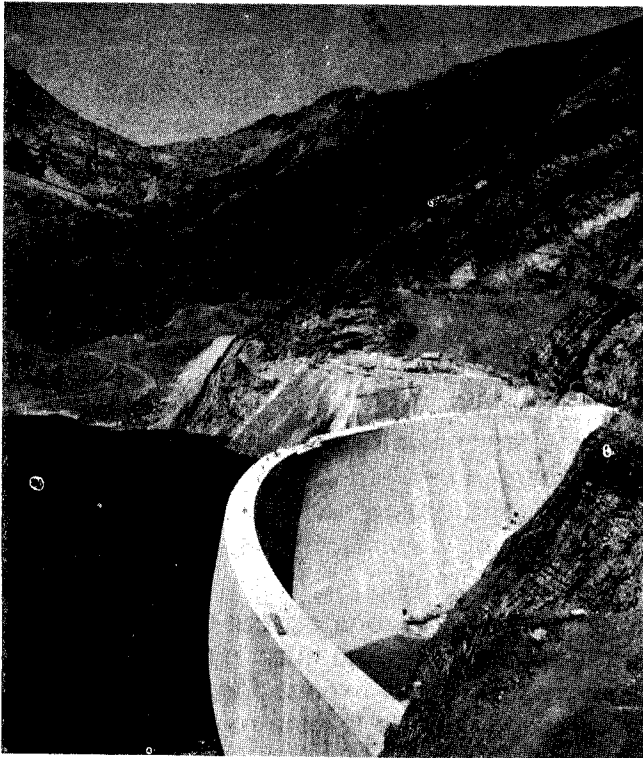
Teniendo en cuenta que la obra, cercana a la cota 2.200, no resulta accesible durante la época invernal, el hormigonado debía realizarse en campañas de verano y otoño. Los silos almacenadores de áridos se colocaron en las proximidades de la central de hormigonado; teniendo estos silos llenos, y con el consiguiente reposo, se podían iniciar las campañas de hormigonado con suficiente stock de áridos y habiéndose homogeneizado la humedad existente en las arenas.

En las inmediaciones de la propia presa se ubicaron las instalaciones de fabricación del hormigón, con capacidad de 100 m<sup>3</sup>/hora, consistentes en los cinco silos de áridos, tres silos de



Presa de Llauset.





Presa de Llauset.

cemento de 500 t cada uno, una instalación de hormigón automática, con dos hormigoneras de eje casi vertical de una capacidad útil de 2 m<sup>3</sup> y los correspondientes filo-buses y camino de rodadura de los mismos.

Para la puesta en obra del hormigón, se instalaron dos blondines, con un punto fijo en la margen derecha y móvil sobre carril en la margen izquierda con una capacidad portante de 3 m<sup>3</sup> de hormigón cada uno.

### 3.4. Hormigonado de la presa

Una vez realizada la excavación y probadas las instalaciones de hormigón, se inició el hormigonado, con dosificaciones estudiadas y con cemento P.A. 380 en cantidad normalmente inferior a los 200 kg por metro cúbico de hormigón. Se llegaron a colocar 1.100 m<sup>3</sup> diarios en jornadas de trabajo de 10 a 14 horas como máximo.

La puesta en obra del hormigón, se realizó con dos blondines de 3 m<sup>3</sup> de hormigón de capacidad cada uno, y el extendido se efectuaba mediante dos pequeños bull-dozer, los cuales

llevaban acoplados los vibradores. El hormigón colocado tenía una consistencia seca, con una relación agua/cemento del orden de 0,5.

Los encofrados, tanto en paramentos como en juntas eran metálicos trepantes, con protecciones de madera, para prever descensos fuertes de temperatura. Todos los bloques se subieron uniformemente en tongadas de 2 m de altura casi horizontales, con ligera pendiente hacia aguas arriba, formadas por cuatro subtongadas de 0,50 m. La diferencia entre bloques adyacentes, normalmente era de tres tongadas, llegándose en alguno a ser de cuatro tongadas.

El tratamiento de las juntas horizontales, entre tongadas, se realizaba, después de iniciado el fraguado de la última subtongada, mediante chorro de aire y agua a presión, para limpiar la lechada superior del bloque, dejando ligeramente descubierto el árido, para el enlace con la siguiente tongada.

Cuando las condiciones climáticas lo aconsejaban, para asegurar el fraguado correcto del hormigón, este se protegía superficialmente, así como los encofrados. Al retirarse en época invernal, todos los bloques quedaban protegidos con arena.

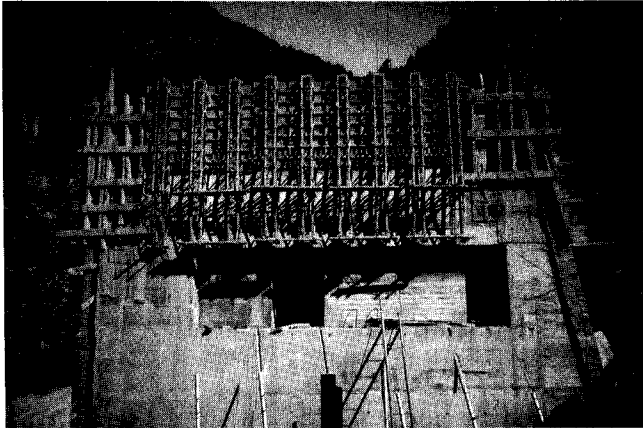
La distancia entre juntas verticales es de 18 m, por lo que todos los bloques de anchura superior a los 12 m, fueron refrigerados mediante una tubería de media pulgada de diámetro, situada en las juntas horizontales de separación de las tongadas, en forma de serpentín, que bañaba toda la superficie de hormigonado. En esta tubería se hacía circular agua alrededor de 8° C controlando la temperatura del agua a la salida de circuito y se conservaba esta circulación, hasta que ambas temperaturas se igualaban.

Una vez finalizada la refrigeración de cada bloque, se inyectaban con cemento estas tuberías, dando por terminado el proceso.

Todo el hormigonado de 222.000 m<sup>3</sup>, de esta presa se realizó en tres campañas.

## 4. CONSTRUCCION DE LA PRESA DE BASERCA

La presa de Baserca, está ubicada en el río Noguera-Ribagorzana, a la cota 1.360 del lecho del río con posible acceso durante todo el año,



pero con pérdidas de rendimiento, por cuestiones climáticas en los meses invernales.

Análogamente, a la presa de Llauset y por las mismas razones, se buscó una cantera de caliza, para la obtención de los áridos, en situación similar a la anterior. El motivo de no ser la misma cantera, fue debido a que la ejecución de las presas fue realizada por diferentes contratistas, los cuales propusieron sus soluciones, que tuvieron que ser aprobadas por la Dirección de Obra. La explotación de la cantera fue similar en cuanto a la extracción de áridos, pero para Baserca el primario se situó junto al resto de las instalaciones de machaqueo y dosificación de áridos, por lo que el transporte de cantera a instalaciones de machaqueo, se hacía con la «piedra en rama», sin ningún tratamiento previo.

### 4.1. Desvío del río. Ataguía

Para conseguir el desvío del río se realizó un túnel de desvío, con embocadura a la cota 1.364 (en solera) y después un rápido descenso para librar la cimentación de presa.

Una vez realizado el túnel de desvío, se ejecutó una ataguía de materiales sueltos, aprovechando depósitos de materiales próximos con la coronación a la cota 1.366 y previendo la posibilidad de tener que realizar en la misma, una pantalla de impermeabilización; esto no fue necesario.

Una vez hormigonada la parte de presa con los desagües de fondo, a la cota 1.364,5 en solera, y aprovechando caudales de estío, se vol-

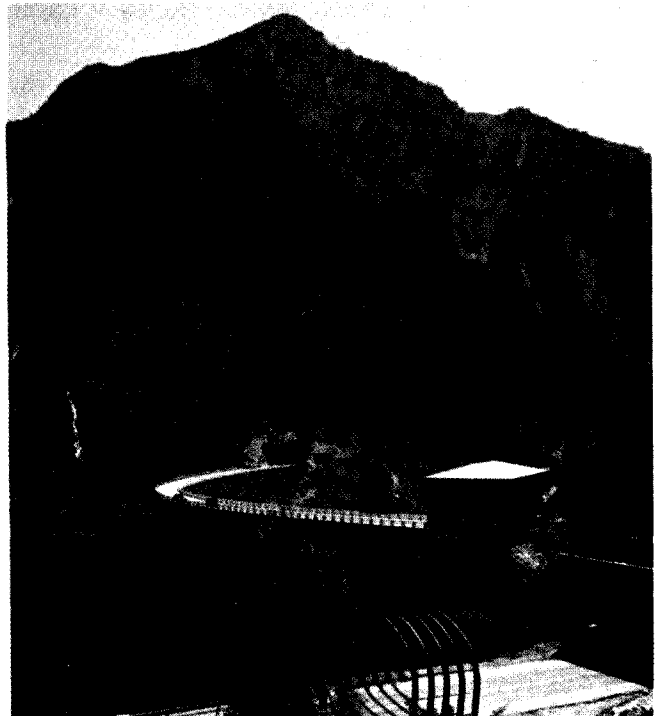
vió el río a su cauce natural, permitiendo realizar un tapón de cierre de hormigón en vertical de la pantalla de impermeabilización de la presa, de 20 metros de longitud y su posterior inyección con cemento de sellado.

### 4.2. Excavaciones

Desde el inicio de la obra, se empezaron por ambas márgenes, de arriba a abajo, las excavaciones de la presa en estribos. Dada la buena calidad de la roca en la margen derecha, su realización se ajustó a lo previsto en proyecto. En la margen izquierda, también de calidad, hubo una zona donde fue aconsejable aumentar la excavación prevista, buscando un mayor encaje en el estribo:

En cuanto a la zona central del cuenco, una vez desviado el río, no hubo ninguna sorpresa, y se pudo hacer la excavación, tal como estaba previsto, siendo la cota mínima de excavación la 1.348.

Estas excavaciones, fueron realizadas mediante perforaciones de 50 mm y voladuras con recorte en los paramentos, tanto en apoyos, como agua arriba y agua abajo.



Presa de Baserca.

### 4.3. Instalaciones

Para la obtención de los cinco tamaños de áridos previstos, se instaló una central de machaqueo y clasificación, agua abajo de la presa, incluyendo un primario con una machacadora de mandíbulas de gran capacidad, diferentes molinos y clasificadoras de los diferentes tamaños, y un lavado riguroso.

Los cinco tamaños de áridos, acordes con la granulometría prevista, se almacenaban en nueve silos, de ellos tres para los tamaños gruesos y tres para cada una de las arenas, con el fin de que en cada momento, hubiese un silo de arena dispuesto para extraer material para la central de hormigonado, otro silo lleno en reposo, para que perdiera humedad y se homogeneizara, y el tercero llenándose con los productos procedentes de la central de machaqueo.

Desde estos silos se transportaba el árido a la central de hormigonado, donde existían otros silos para cada árido, con capacidad por encima del consumo diario, todos ellos cubiertos.

En la misma zona existían tres silos de cemento de 500 t cada uno, uno llenándose, otro sellado en espera del control del cemento y el otro alimentando el silo propio de la central de hormigonado de 50 t.

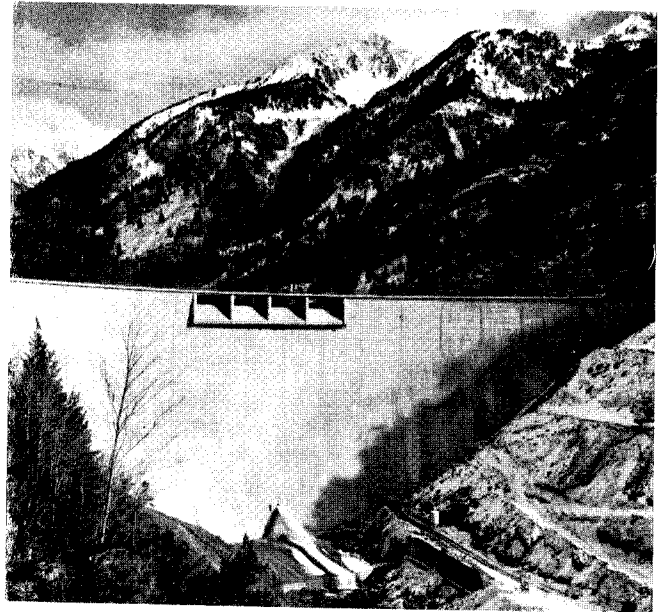
La central de hormigonado, automática y con dosificación en peso de los distintos componentes incluía tres hormigoneras de 2 m<sup>3</sup> de capacidad útil cada una y una tolva de recepción de las amasadas correspondientes.

A la salida de la tolva de recepción, recogían el hormigón dos silobuses de 4 m<sup>3</sup> de capacidad cada uno, que a través del camino de silobuses, descargaban en los cazos de los blondines.

### 4.4. Hormigonado de la presa

La puesta en obra del hormigón de la presa, se realizó con dos blondines de 4 m<sup>3</sup> de capacidad cada uno, y una grúa para los últimos bloques de la margen derecha, que no eran alcanzados por los blondines.

Una vez colocado el hormigón en el bloque correspondiente, se extendía con un bulldozer



Presa de Baserca.

y se vibraba con otro en subtongadas de 50 m, siendo el espesor de la tongada de 2 m. El hormigón colocada tenía una consistencia seca con una relación agua/cemento del orden de 0,5.

Los encofrados en paramentos, eran metálicos trepantes para prevenir descensos fuertes de temperatura.

Todos los bloques se hormigonaban uniformemente, en tongadas de 2 m de altura, con ligera pendiente hacia agua arriba. Se tuvo muy en cuenta que siempre estuviera con cota más baja un bloque central, para que en caso de avenidas incontroladas, el vertido se realizara por este bloque, sin afectar a los estribos.

La diferencia de altura entre bloques adyacentes, era de tres tongadas normalmente, llegándose, en algún caso particular, por razones de rendimiento, a las cuatro tongadas.

El tratamiento de las juntas horizontales entre tongadas se realizaba, después de iniciado el fraguado de la última subtongada, mediante chorro de agua y aire a presión, eliminando la lechada superior del bloque y dejando ligeramente descubierto el árido, para asegurar el enlace con la siguiente tongada. En períodos invernales, cuando se preveían temperaturas que pudieran afectar el normal fraguado del hormigón, se protegía éste, tanto en los encofrados como en superficie.

La distancia entre juntas verticales es de 15 m; los bloques de anchura superior a 15 m, fueron refrigerados mediante una tubería de media pulgada de diámetro, situada en las juntas horizontales de separación de las tongadas, en forma de serpentín, que cubría toda la superficie de hormigonado. Una vez hormigonado la tongada que cubría la tubería de refrigeración, se le hacía circular agua alrededor de 8° C, controlando la temperatura del agua a la salida del circuito y se conservaba esta circulación hasta que ambas temperaturas se igualaban. Una vez finalizada la refrigeración se inyectaban las tuberías.

Todo el hormigonado de esta presa de 232.000 m<sup>3</sup>, se realizó en tres años aproximadamente.

### 5. INYECCIONES Y DRENAJES DE LAS PRESAS

Avanzado el hormigonado de las presas, se inició una pantalla de inyección de la roca de cimentación y del contacto roca-hormigón con cemento desde las galerías de servicio de las presas, fundamentalmente la inferior, mediante sondeos perforados a profundidad de 30 m por debajo de la cimentación, con ligera inclinación hacia agua arriba de la presa, y posterior drenaje vertical.

También se inyectaron las juntas de la presa con cemento, mediante conductos que unen las galerías transversales construidas para esta finalidad en coincidencia con el plano de la junta.

### 6. CONTROL

Durante la ejecución de las obras se han controlado todas las características fundamentales, especialmente el hormigón en un laboratorio a pie de obra, con ensayos y análisis diarios de los materiales utilizados, en particular impermeabilidad, densidad, resistencia y docilidad, buscando uniformidad en el hormigón fabricado.

También se han instalado los elementos necesarios para la futura auscultación de las presas, especialmente, los pozos y estaciones de lectura de péndulos, que proporcionarán datos fundamentales para el control de estas presas.

### 7.1. PUESTA EN CARGA

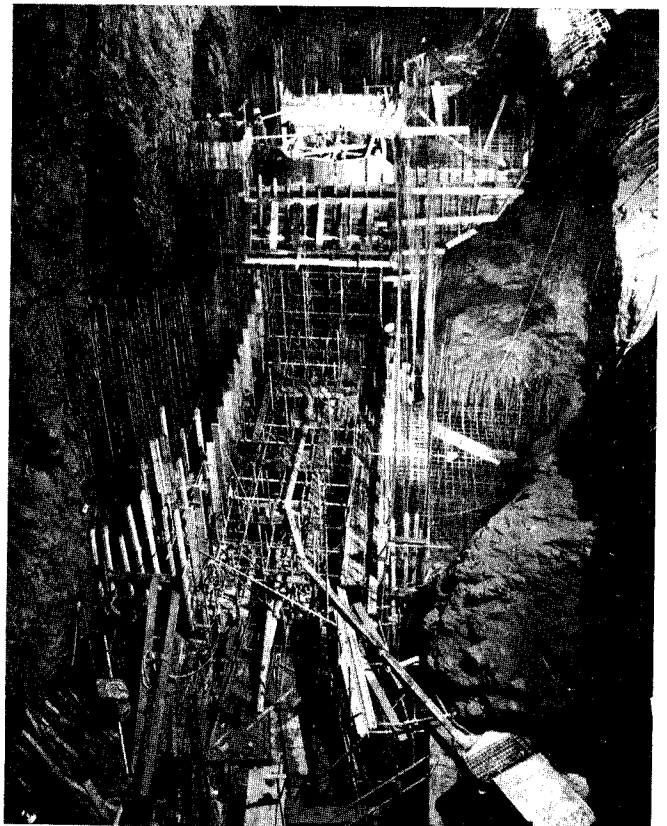
#### 7.1. Presa de Baserca

Su hormigonado se terminó en noviembre de 1983, pero ya en junio de 1982, mediada la construcción, se cerró el desvío del río y se comenzó a embalsar para así beneficiar los saltos veteranos con poca regulación que existen río abajo.

En julio alcanzó el agua la cota 1.400 (la de embalse vacío es la 1.364) y en noviembre del mismo año las fuertes lluvias que ocasionaron destructoras avenidas en Cataluña hicieron que el agua vertiese sobre el bloque central de la presa, que en previsión de ello se iba dejando siempre a cota más baja que los restantes. En aquel momento era la 1.415.

La presa en construcción permitió así laminar la crecida; de otro modo con casi seguridad se hubiesen producido daños y, posiblemente víctimas en los pueblos de agua abajo.

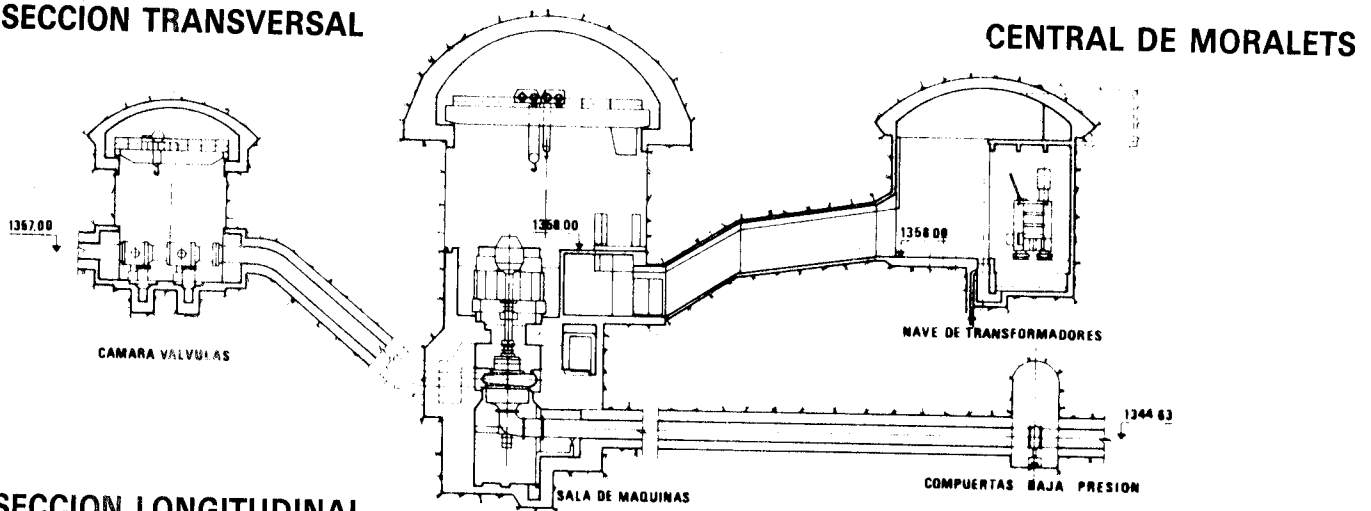
En la primavera de 1983, después de niveles bajos durante el invierno en que las aportacio-



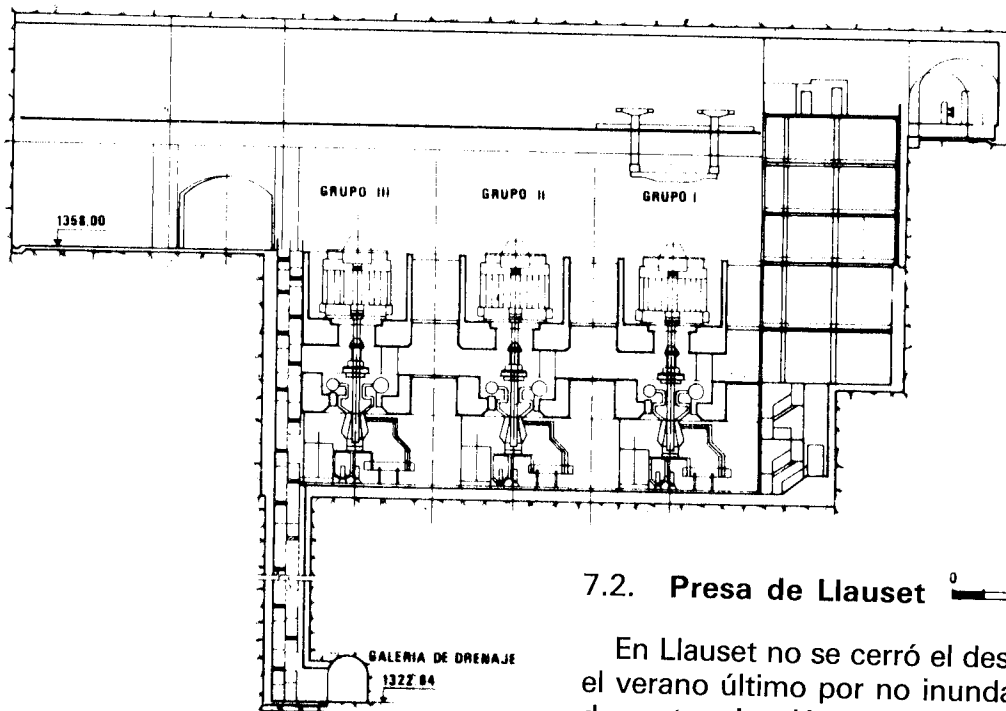
Central de Moralets.

## SALTO DE MORALETS. PRESAS DE BASERCA Y DE LLAUSET

### SECCION TRANSVERSAL



### SECCION LONGITUDINAL



### 7.2. Presa de Llauset

En Llauset no se cerró el desvío del río hasta el verano último por no inundar la toma antes de su terminación completa.

Durante el invierno las aportaciones de agua al embalse son muy reducidas y, por tanto, todavía es bastante bajo el nivel alcanzado.

En consecuencia, en este momento no habiendo existido la verdadera puesta en carga, no se debe enjuiciar el comportamiento de la presa.

## 8. OBRAS SUBTERRANEAS

El Salto de Moralets, debido a sus condiciones topográficas y geológicas se ha proyectado y realizado dentro de un contexto de gran

nes son menores, fue aumentando el nivel del embalse llegando a la cota 1.420 en agosto.

Para realizar un mejor control de distintos elementos en enero de 1984 se bajó el embalse a la cota 1.377 para luego subir lentamente, hasta llegar a un llenado cercano al total.

Lo expuesto muestra que la presa de Baserca ha sido ya suficientemente comprobada.

Las medidas realizadas en los diversos elementos de control (nivelaciones, péndulos y extensómetros) revelan que el comportamiento de la presa es plenamente satisfactorio.

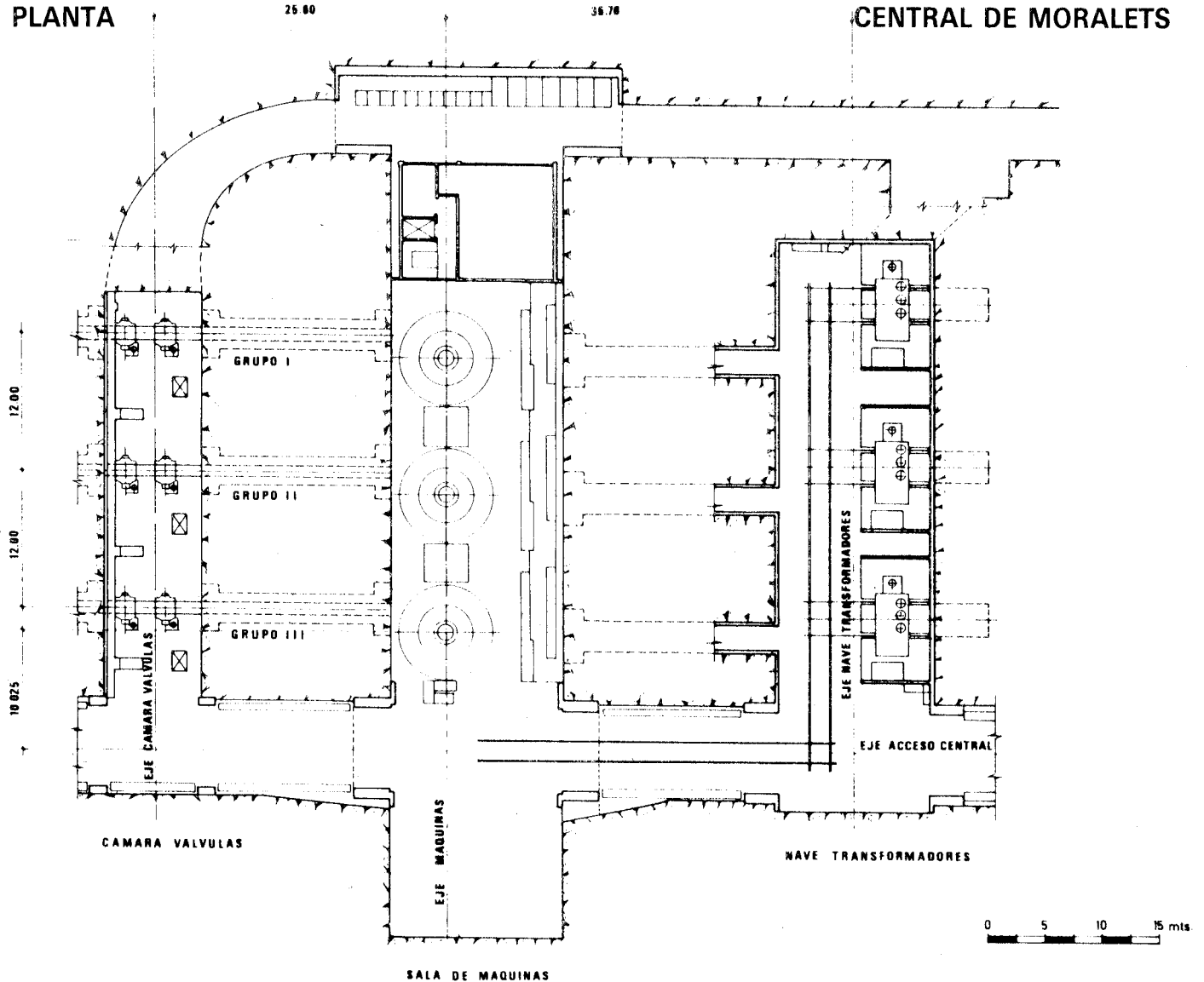
## SALTO DE MORALETS. PRESAS DE BASERCA Y DE LLAUSET

PLANTA

25.00

36.70

CENTRAL DE MORALETS



importancia, en cuanto a obras subterráneas se refiere. Como datos generales más significativos se pueden indicar los siguientes:

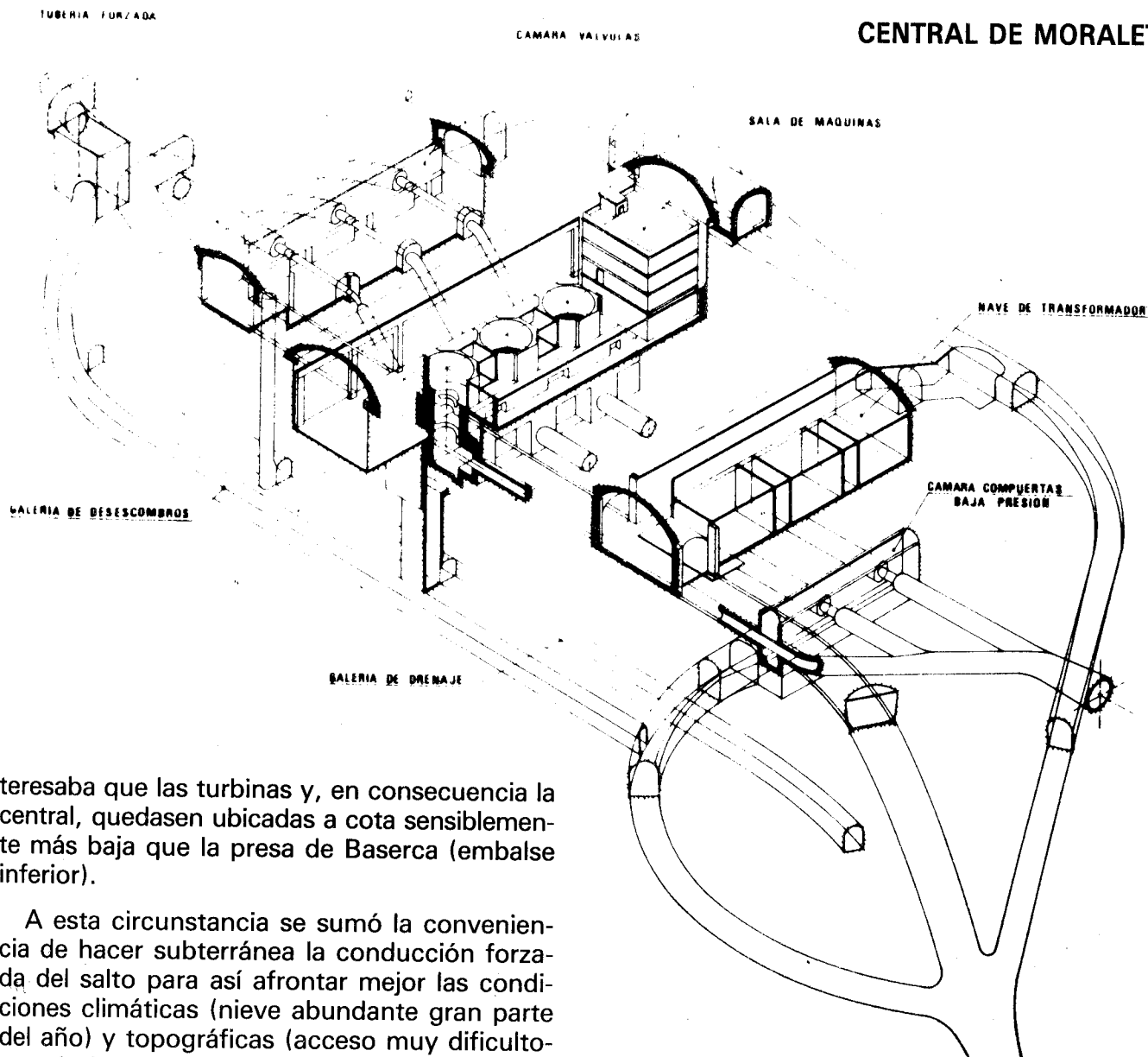
- Aproximadamente 15 km de túnel en roca, de los cuales más de la mitad se han realizado con distintas máquinas tuneladoras.
- Cámaras de grandes dimensiones, para alojamiento de válvulas de las conducciones, máquina de la central y transformadores. En particular la cámara de ubicación de las turbinas reversibles y alternadores, etc., tiene 100 m de longitud, 15 m de anchura y 38 m de altura.
- Pozos, entre 40 y 130 metros realizados

normalmente con Raisse Driel y posterior destroza mediante cargas suspendidas hasta alcanzar su sección prevista sirven para: chimenea de equilibrio, comunicación entre galerías de presa, instalación de compuertas en tomas, etc.

- Galería de 1.035 m de longitud con 45° de inclinación para alojar la conducción forzada.

### 8.1. Central

Para garantizar el buen funcionamiento de las turbinas reversibles, con los diferentes niveles posibles en los embalses superior e inferior, in-



teresa que las turbinas y, en consecuencia la central, quedasen ubicadas a cota sensiblemente más baja que la presa de Baserca (embalse inferior).

A esta circunstancia se sumó la conveniencia de hacer subterránea la conducción forzada del salto para así afrontar mejor las condiciones climáticas (nieve abundante gran parte del año) y topográficas (acceso muy dificultoso a lo largo de un trazado exterior).

Ambas razones indujeron a construir el Salto de Morales con la central en caverna y la conducción forzada alojada en una galería que permite el acceso a lo largo de ella y tiene 1.035 m de longitud y un desnivel cercano a 750 m.

Después de un minucioso estudio geológico, apoyado con prospecciones geosísmicas, se decidió ubicar la central en un punto del interior de la montaña alejado 1 km de la superficie.

En esta zona los esfuerzos tectónicos han sido intensos y son altas las tensiones residuales existentes en el interior del macizo rocoso.

La central subterránea tiene comunicación con el exterior mediante la galería de acceso, que en su parte superior lleva los cables conductores de energía, y mediante la galería de drenaje que evacúa las filtraciones producidas.

La galería de acceso, con 1.000 m de longitud tiene una sección de  $7,60 \times 770$  m.

Se perforó con medios convencionales, realizando primeramente una galería de avance con misión simultánea de reconocimiento para poder modificar la posición de la central, caso de resultar aconsejable.

En toda la galería de acceso hubo cuatro zo-

nas débiles (una de ellas de 35 m de longitud) donde la roca fuertemente diaclasada y tectónica obligó a realizar sombrillas de protección y reforzar inmediatamente bóvedas y hastiales mediante bulonado y hormigón aplicado a un encofrado deslizante. En el resto de la galería pudo dejarse la roca al descubierto.

Después de haber perforado las galerías de acceso, drenaje de baja presión y de alojamiento de la conducción forzada puede afirmarse que se acertó al elegir la ubicación de la central, pues ésta queda donde la roca tiene mejores condiciones.

Para excavar las tres cámaras que componen la central (de válvulas, de turbinas y de transformadores) habida cuenta de las dimensiones de las cámaras y de las tensiones residuales que los esfuerzos tectónicos han dejado en el interior de la montaña, se adoptaron precauciones especiales.

En particular se colocaron micrómetros ISETH que, con un extremo en hastial de la cámara de turbinas llegan a la cámara de válvulas unos y a la de transformadores otros.

Los micrómetros permiten medir corrimientos en sus extremos y en puntos intermedios y deducir la variación de tensiones en la roca, consecuencia de la excavación de las cámaras. Tal variación no suele presentarse instantánea, sino con un retardo de tiempo.

Las medidas efectuadas y su interpretación quedan descritas en «Stresses and strains associated with underground openings in the Moralets powerhouse», presentado al Symposium Field Measurements in Geomechanics que se celebró en Zürich en septiembre de 1983.

Ha de decirse ahora que, gracias a la buena calidad de la roca, pudo dejarse esta vista en los hastiales de las distintas cámaras. Fue únicamente necesario colocar algunos bulones y garantizar la protección de los alternadores mediante bóvedas de hormigón.

### 8.2. Conducción forzada

La galería que sirve para alojar las tuberías de presión tiene, según se ha dicho antes, una lon-

gitud de 1.035 y una inclinación próxima a los 45°, salvando un desnivel de 732 m.

Se excavó previamente una galería de avance, desde abajo hacia arriba, utilizando un Yumbo GOUND-KEF que se desplaza por un carril suspendido de la clave mediante bulones y explosivos normales. Los escombros deslizaban hasta abajo donde una pala los cargaba en camión.

Se realizaron así los 800 m inferiores y para acortar el plazo los 200 m superiores se excavaron con Raisse-Drill, perforando primeramente un taladro de  $\varnothing$  0,30 m para después escarificar hasta 2,10 m de diámetro.

Una vez completa la galería de avance se ensanchó hasta su sección definitiva comenzando desde el extremo superior. Se empleó un Yumbo de dos brazos desplazado sobre vía apoyada en la solera. Los escombros deslizaban por la galería y eran recogidos abajo.

En esta galería se encontraron tres zonas inestables, con roca fuertemente fracturada, que precisaron tratamientos especiales.

### 8.3. Galería de presión y pozos

La galería de presión con 4 km de longitud y 5,50 m de diámetro fue excavada a sección completa mediante un topo.

Es de destacar la gran variedad de resistencia encontrada en la roca (desde 400 hasta 2.800 kg/cm<sup>2</sup>) y su alta abrasividad que obligó a frecuentes reemplazos de los elementos cortadores.

En varias zonas fue preciso utilizar cerchas y elementos de protección debido a las condiciones de inestabilidad de la roca.

Los diversos pozos ejecutados fueron todos perforados mediante Raisse-Drill, con diámetros que están entre 2,10 m y 3,40 m.

En el pozo de compuertas de la toma de Llauset la gran dureza de la roca obligó a cambiar frecuentemente los elementos cortadores.

Para ejecutar excavaciones de ensanche y destroza se emplearon en varios casos cargas suspendidas.