

# LA PRESA DE RULES

## THE RULES DAM

ANTONIO NEVOT PÉREZ. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
 Director Técnico de la C. H. del Sur. anevot@chse.es

**RESUMEN:** La presa de Rules, situada en el río Guadalfeo, al sur de Sierra Nevada, creará un embalse de 117 Hm<sup>3</sup> de capacidad que, en combinación con el embalse de Béznar, regulará el 85 % de las aportaciones de la cuenca para satisfacer las demandas de abastecimiento de agua de la Costa granadina, con una población de más de 250.000 habitantes en los meses de verano; garantizará el regadío de los cultivos subtropicales y de invernadero del litoral y defenderá contra las avenidas el delta del río y la zona portuaria de Motril. La presa es de gravedad arqueada, tiene 130 m de altura sobre cimientos y 620 m de longitud de coronación. Las obras incluyen la construcción de diques de retención de acarreo en diversos cauces de la cuenca y otras auxiliares.

**PALABRAS CLAVE:** GUADALFEO, COMPLEJO ALPUJARRIDE, HORMIGÓN CONVENCIONAL, INSTALACIONES

**ABSTRACT:** The Rules Dam on the River Guadalfeo, to the south of the Sierra Nevada, will create a 117 Hm<sup>3</sup> capacity reservoir which, in conjunction with the Béznar reservoir, will regulate 85% of the basin's runoff to meet the water supply demands of the Granada coast which has a summer population of over 250,000 people. The new works will guarantee the irrigation of subtropical and hothouse crops throughout the coastal area and will provide defence against freshets in the delta of the river and in the port area of Motril. The 130 m high arch gravity dam has a 620 m long topping and works include the construction of check dams in various channels within the basin and other auxiliary works.

**KEYWORDS:** RIVER GUADALFEO, ALPUJARRIDE COMPLEX, CONVENTIONAL CONCRETE, INSTALLATIONS

### 1. MARCO GEOGRÁFICO

La presa de Rules está situada en el cauce del río Guadalfeo, aguas abajo de su confluencia con el río Izbor, en el término municipal de Vélez de Benaudalla (Granada) y recoge las aguas de la vertiente sur de Sierra Nevada, del macizo septentrional de Sierra Lújar y de las barranqueras profundas de la Contraviesa.

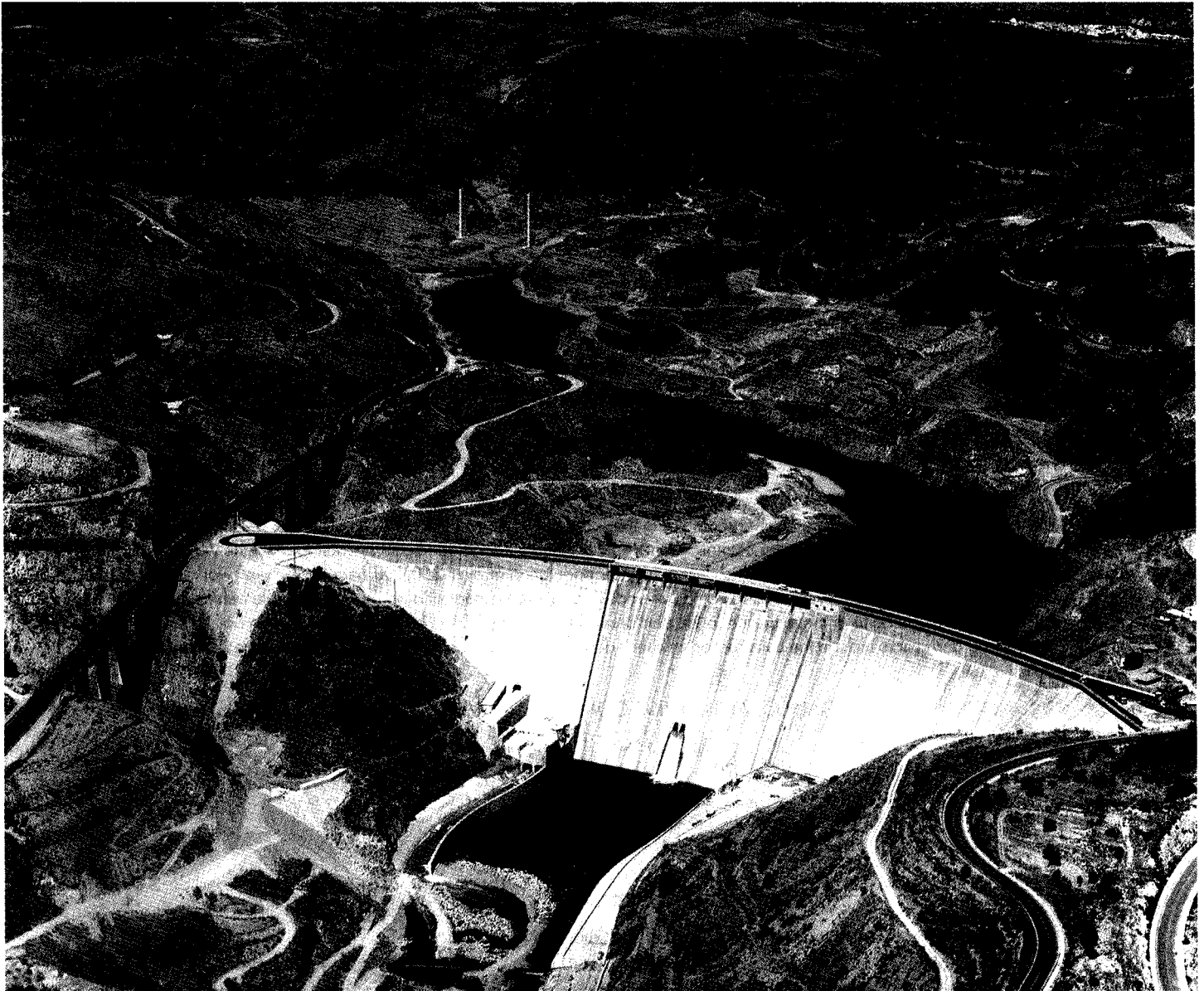
El Guadalfeo y su red de afluentes drenan la unidad territorial de la Alpujarra, situada en el sureste de la provincia granadina.

Es una zona de fuertes contrastes y gran diversidad geográfica, climática, socioeconómica y ambiental, características de esta comarca natural por cuyo pasillo central discurre el río tras nacer con el nombre de Cádjar en las inmediaciones del Cerro del Gallo y el Peñón del Puerto a 3.000 metros de altitud y dirigirse en dirección Norte - Sur durante 17 km. hacia el Mediterráneo. El cambio de dirección hacia el

Oeste se produce tras haber descendido 2.000 m, encajándose profundamente entre Sierra Nevada y la Sierra de la Contraviesa.

Al cabo de unos 40 Km. desde su nacimiento recibe las aguas de los ríos Trevélez y Poqueira unidos entre sí previamente en las proximidades de su confluencia con el río Cádjar tras recoger las aguas de las zonas más elevadas de Sierra Nevada, ya que su divisoria se sitúa en el Pico Mulhacén (3.483 m) techo de las cumbres peninsulares. Ya con el nombre de Guadalfeo se ensancha el lecho aluvial en las proximidades de Orgiva, recibiendo por su margen derecha los recursos de los ríos Chico y Sucio y regando las ricas huertas que rodean esta población, puerta de entrada a la comarca de la Alpujarra.

En las proximidades del paraje de Rules, cuando el curso toma de nuevo la dirección Norte - Sur se une con su afluente, el Izbor al que previamente se ha sumado el río Lanjarón.



Vista general desde aguas abajo. Pilas de futuro viaducto al fondo.

La subcuenca del río Izbor, con terrenos más permeables y relieve más suave cuenta con el único embalse de regulación existente en la actualidad: Béznar, que regula parte de sus recursos propios. De él parte el canal que alimenta una central hidroeléctrica que vierte aguas debajo de la presa de Rules.

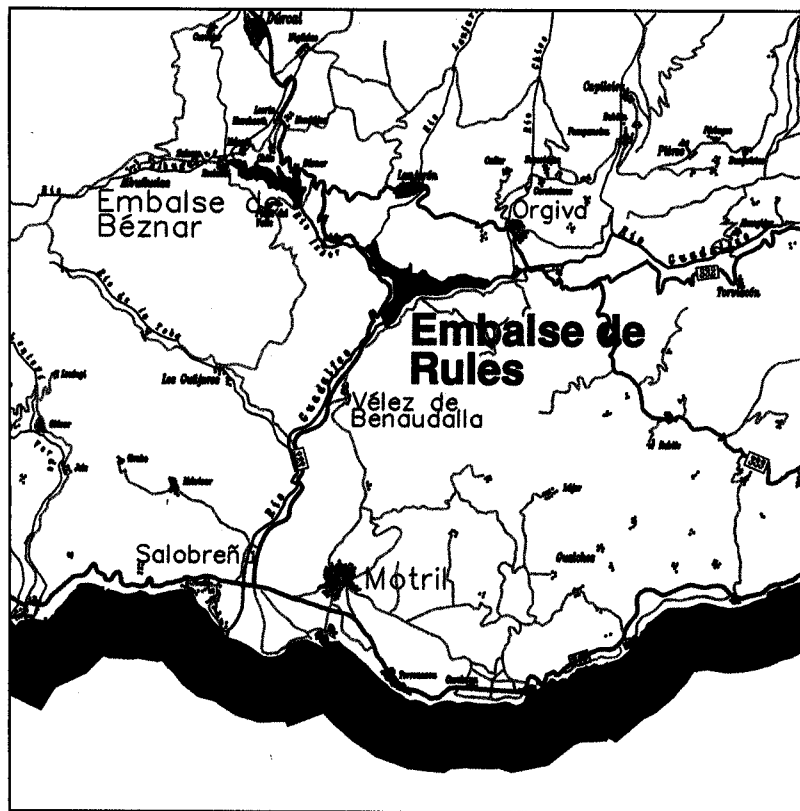
A partir de ahí, sigue encajado entre laderas de pendiente elevada atravesando las gargantas del Guadalfeo, de paredes verticales de más de 100 m de altura, encontrándose en este tramo los azudes de Vélez y el Vínculo que abastecen los Antiguos y Nuevos Riegos de la fértil vega de Motril-Salobreña, constituida sobre depósitos de origen deltaico, aportados por el curso fluvial. Estos terrenos forman un importante acuífero en el que existen numerosos bombeos

con alto rendimiento que completan en verano los caudales derivados de los azudes.

Este es el marco en el que se ha proyectado el embalse de Rules, 2 Km. aguas abajo de la confluencia de los ríos Guadalfeo e Izbor, en la cerrada que, tras cuidadosa selección, ofrecía mejores condiciones topográficas y geotécnicas.

## 2. ENTORNO GEOLÓGICO

La zona ocupada por el embalse de Rules se enmarca en las zonas internas de las Cordilleras Béticas, concretamente en el denominado Complejo Alpujarride constituido por un apilamiento de origen tectónico de los llamados Uni-



Plano de situación.

dades Alpujarrides, que presentan entre sí un rasgo estratigráfico que les es común: están formadas por dos conjuntos litológicos claramente diferenciados y que consisten en un tramo inferior de naturaleza metapelítica con cuarcitas y cuarzoesquistos, micaesquistos y filitas y un tramo superior fundamentalmente carbonatado, desde calcoesquistos a calizas y dolomias de carácter marmóreo.

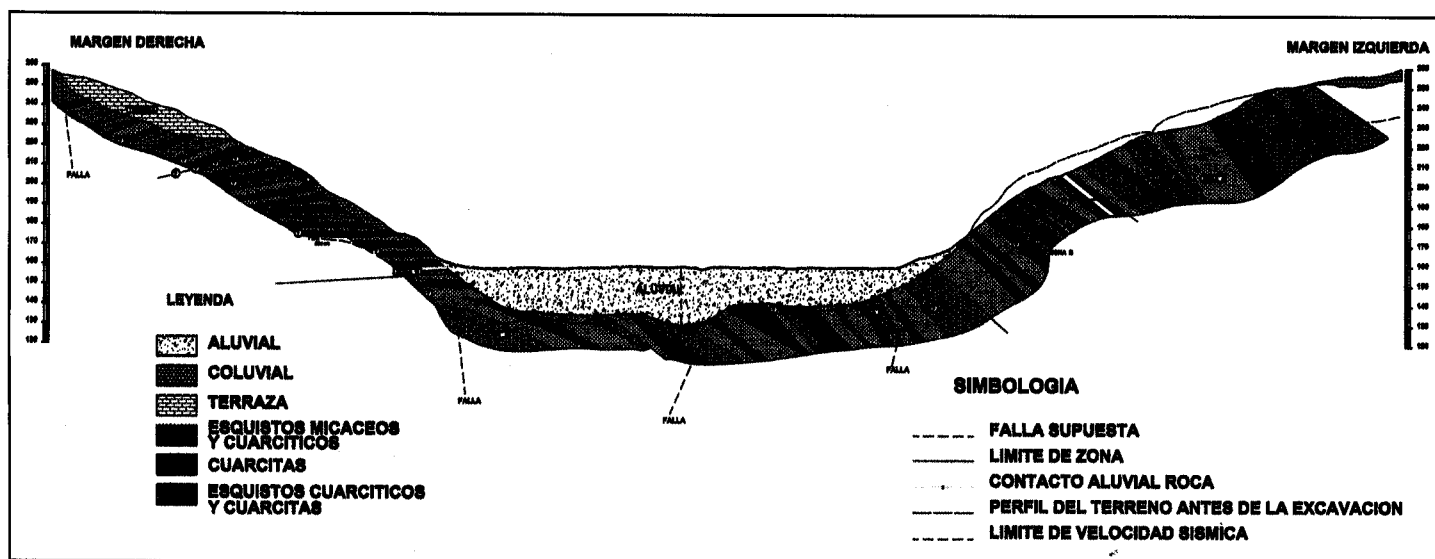
Geología de la cerrada.

En el área que nos ocupa se superponen varias de estas Unidades: los llamados manto de Lújar y manto de Murtas, y concretamente, en la cerrada seleccionada el sustrato rocoso está constituido por esquistos micáceos cuarcíticos y cuarcitas del manto de Murtas, que afloran en ambas margenes. Sobre estas unidades de edad Paleozoico -Triásica aparecen una serie de materiales sedimentarios de edad cuaternaria y pliocuaternaria procedentes de la denudación del relieve antiguo y el depósito de los productos de su erosión, entre los que se diferencian brechas poligénicas, brechas calcáreas cementadas y sin cementar, materiales aluviales recientes y acarreos antrópicos. En el lecho del río, los sedimentos aluviales alcanzan potencias de hasta 25 metros de espesor de acarreos, bastante permeables.

El perfil transversal del río tiene en la zona de la cerrada una morfología en artesa, con amplio cauce de inundación horizontal situado a la cota 155. Los márgenes inmediatos al cauce tienen pendientes de unos 40° hasta la cota 230, a partir de la cual se suaviza a 15°. En la zona superior aparecen en la margen izquierda depósitos coluviales semiencontrados, aflorando roca muy fracturada en la ladera próxima al cauce, con señales de deslizamientos superficiales que afectan al coluvial y a parte de la roca más alterada, encontrándose la roca sana a profundidades de entre 10 y 15 m.

En la margen derecha se encuentra en la parte superior una terraza de conglomerandos cementados y en la zona próxima al cauce aparecen coluviones de 2 a 3 m. de espesor. La roca sana está próxima a la superficie de la ladera, no detectándose problemas de estabilidad importantes.

En una cerrada de estas características geotécnicas se han realizado estudios de cartografía geotécnica de las importantes excavaciones realizadas en la margen izquierda y algunos afloramientos superficiales de roca en la margen derecha, se han realizado series de sondeos perforados en la



cerrada, para afinar en clasificación litológica de los materiales de la zona, se ha realizado prospección geofísica mediante perfiles sísmicos en el fondo de la excavación de la margen izquierda y en el aluvial.

Esta serie de datos han permitido definir las cotas de cimentación recomendables deduciéndose que el apoyo debe realizarse en roca de velocidad sísmica mayor de 2.000 m/sg.

Si en alguna zona apareciese bandas de roca de menor calidad, entre otras que cumplan esta condición, habría que efectuar un tratamiento a base de inyecciones de consolidación.

Asimismo se han excavado las laderas construyendo sobre la excavación una losa de hormigón armado de 1,00 m de espesor y anclajes con profundidades medias de 42,5 m para conseguir una compresión de al menos 0,5 kg/cm<sup>2</sup>.

Los módulos elásticos del macizo rocoso se han establecido en función de las litologías dominantes y sus proporciones relativas, de los módulos elásticos de la roca matriz, de los R.M.R. de los obtenidos de los sondeos de la orientación del esfuerzo respecto a la esquistosidad y de los resultados de ensayos de placa de carga in situ sobre la roca excavada.

### 3. ANTECEDENTES

La regulación de las aguas del río Guadalfeo fué objeto de estudio y elaboración de diversos documentos técnicos desde 1950, como son los Estudios: de viabilidad del plan de aprovechamiento integral del río Guadalfeo, del aprovechamiento hidroeléctrico de las cuencas de este río y del río Adra o de la ampliación de la zona regable de Motril y Salobreña de 1984. Los argumentos apuntados en esos documentos llevaron a la Administración a redactar el Proyecto de la Presa de Rules en Diciembre de 1989, dirigido por la Confederación Hidrográfica del Sur. Se desarrolló una solución de presa de materiales sueltos con núcleo impermeable de filitas (launas de la zona) y espaldones de acarreo del propio río. Los considerables caudales de avenida previstos exigían un desvío provisional importante a base de dos túneles gemelos y un gran aliviadero a construir en la ladera izquierda con salida al cauce frente a la ladera por la que discurre la CN-323 Bailén-Motril, con el consiguiente riesgo para su estabilidad.

Esta solución Base salió a Concurso de proyecto y construcción en Junio de 1990, aunque con posterioridad y tras profundizar en el estudio geotécnico de la cerrada, este concurso se modificó para admitir la posibilidad de soluciones de fábrica que parecían más adecuadas para responder ante una avenida extrema. La solución escogida consiste en una presa de hormigón vibrado que permite un aumento de un 20 % en la capacidad de embalse y una mejor garantía de explotación. Este tipo de fábrica requi-

rió que las características geotécnicas del cimiento se determinaran con más precisión de cara a tener datos más precisos de su capacidad resistente y su deformabilidad. Para ello se excavaron galerías de reconocimiento en las laderas, se realizaron campañas adicionales: de sísmica de refracción, placas de cargas, cross - hole, tomografía sísmica, sondeos mecánicos, ensayos de resistencia al corte del contacto roca - hormigón y otros estudios que permitieron fijar los parámetros con los que se han definido las características de la presa construida.

### 4. CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA Y EL EMBALSE

La cuenca tiene una superficie de 1.070 km<sup>2</sup> y la aportación media del río en el punto de cierre es de 210 Hm<sup>3</sup>/año, con un caudal medio de 6,65 m<sup>3</sup>/s.

La capacidad del embalse a su máximo nivel normal es de 117 Hm<sup>3</sup>, de los que 5 Hm<sup>3</sup> corresponden al embalse muerto. La superficie inundada a ese nivel es de 308 Ha. El volumen regulado se estima en 134 Hm<sup>3</sup>.

El embalse tiene dos brazos diferenciados, uno sobre el río Guadalfeo, de unos 6 Km. de longitud y otro sobre el río Izbor de 5,5 Km..

Los caudales de avenida en el emplazamiento de la presa y los volúmenes de los hidrogramas de avenida considerados son:

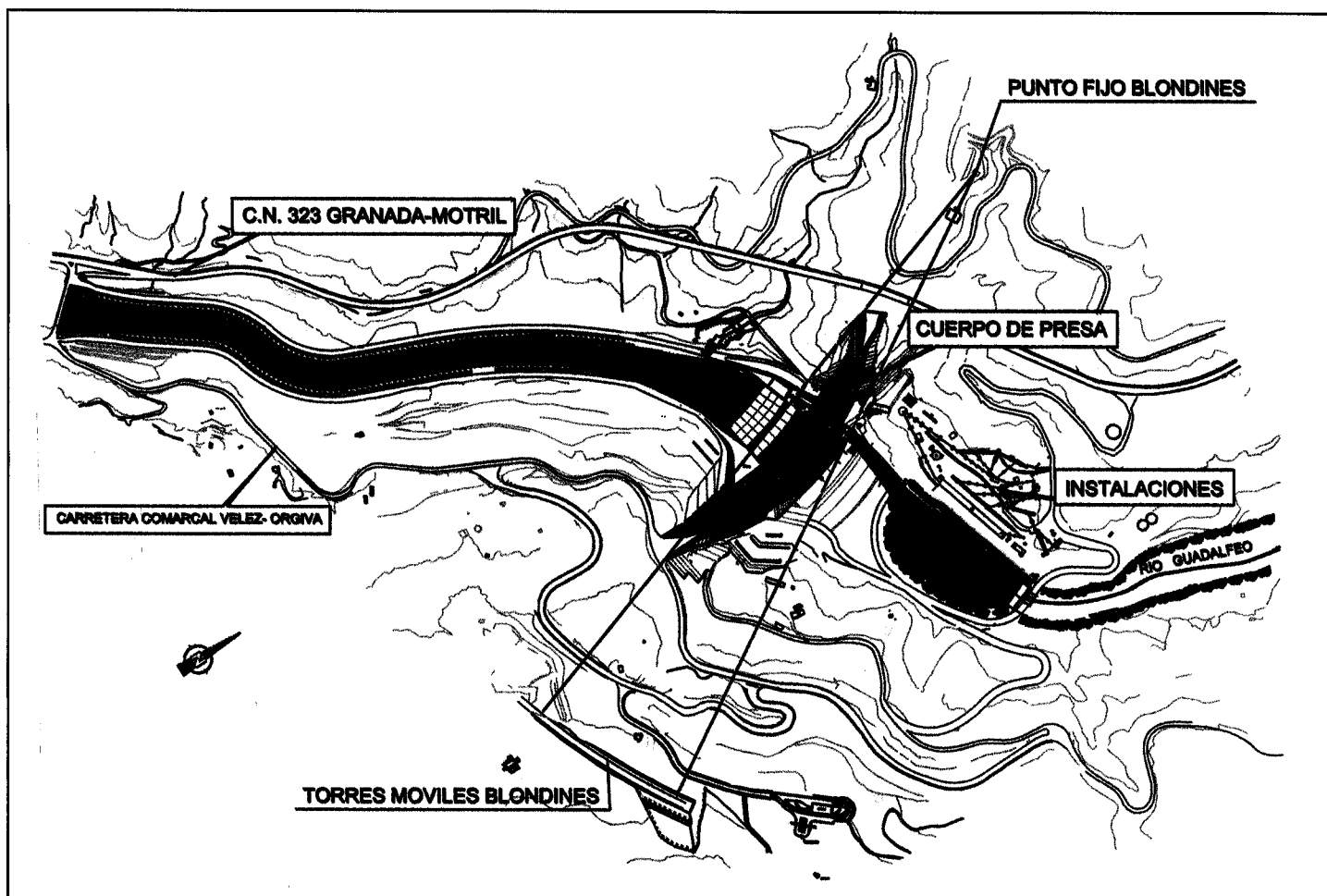
T = 25 años	Q máx = 1.022 m <sup>3</sup> /sg.	V = 60 Hm <sup>3</sup>
T = 100 años	Q máx = 1.730 m <sup>3</sup> /sg.	V = 107 Hm <sup>3</sup>
T = 500 años	Q máx = 2.680 m <sup>3</sup> /sg.	V = 180 Hm <sup>3</sup>
T = 1.000 años	Q máx = 3.020 m <sup>3</sup> /sg.	V = 205 Hm <sup>3</sup>
P.M.F.	Q máx = 6.240 m <sup>3</sup> /sg.	V = 462 Hm <sup>3</sup>

El máximo nivel normal corresponde a la cota 243 sobre el nivel del mar y el Máximo nivel extraordinario a la 250.

Junto con la presa de Béznar, en el río Izbor, regulará el 85 % de las aportaciones de la cuenca.

### 5. USOS DEL EMBALSE

La construcción de la Presa de Rules permitirá, conjuntamente con la presa de Béznar regular un 85% de las aportaciones de la cuenca para abastecer la población de la Costa granadina; garantizar el regadío de los productos extra tempranos, cultivos de invernadero de primor y frutos subtropicales del litoral; defender el delta del Bajo Guadalfeo contra avenidas catastróficas, protegiendo la fértil vega de Motril-Salobreña y la zona portuaria de Motril; producir energía hidroeléctrica a pié de presa mediante un aprovechamiento combinado con el existente en Izbor.



Planta general de las obras.

El reparto de los usos del agua es el siguiente:

- Abastecimiento: .....19%
- Riego: .....40%
- Control de avenidas: .....30%
- Producción de energía hidroeléctrica: .....9%
- Usos recreativos y otros: .....2%

## 6. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS

La presa está encajada en un valle de artesa, con una anchura de cauce de 180 m y laderas escarpadas.

En su margen derecha discurre la CN-323 que comunica Granada con la costa y por la izquierda, la carretera A-346, que comunica esta con la comarca de la Alpujarra.

La presa es de hormigón vibrado convencional, planta curva de radio 500 m y perfil de gravedad. El talud de aguas arriba es de 0,18/1 y el de aguas debajo de 0,6/1. La cota de coronación es la 250 y la altura sobre cimientos de 130 m (95 desde el cauce natural del río). El talud de

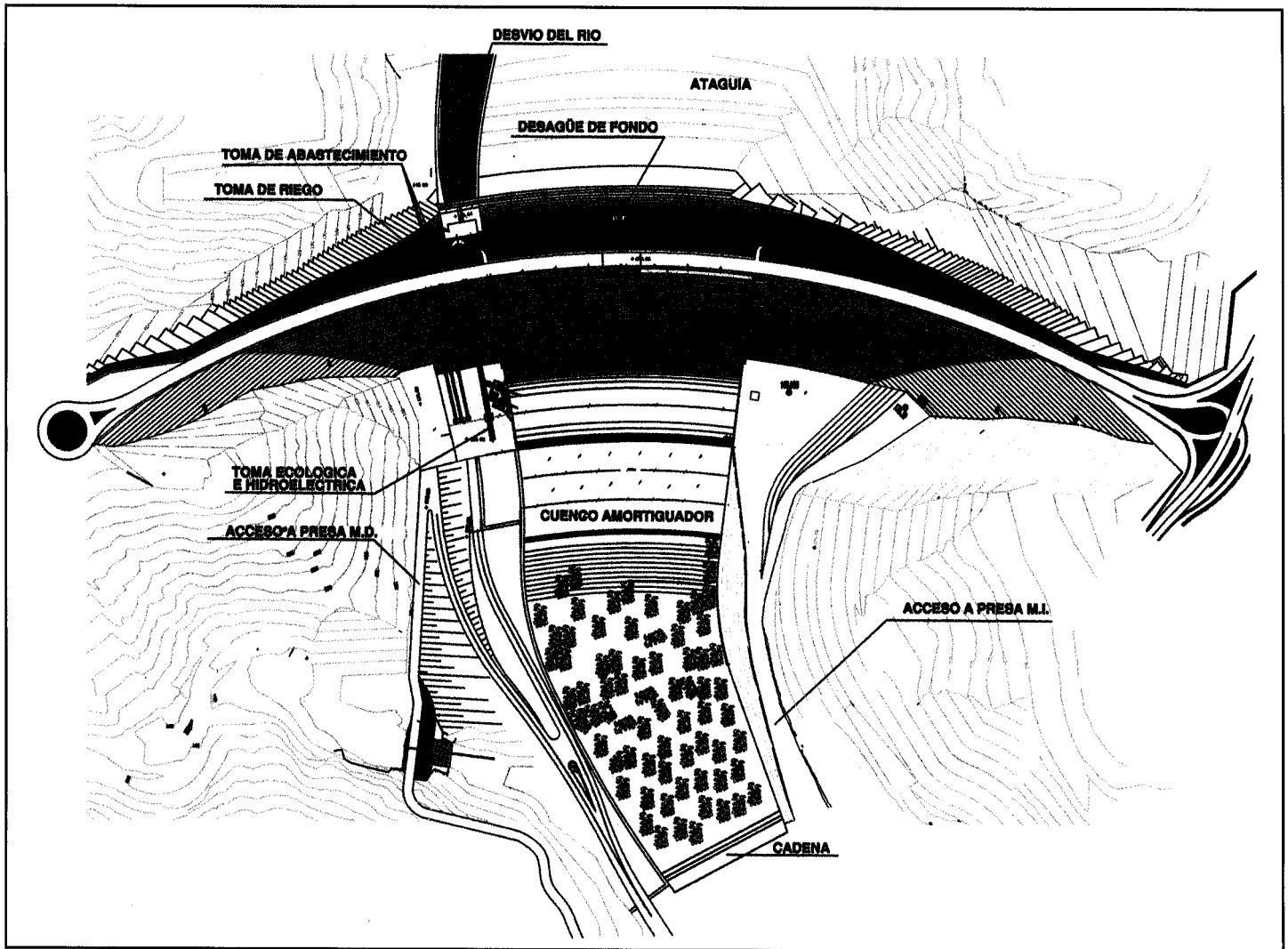
aguas arriba se curva entre las cotas 130 y 165 siguiendo un círculo de radio 77,50 m.

La anchura en la base y la inclinación de los empujes del agua junto al efecto inducido por la curvatura de la presa hacen que el cabeceo durante el llenado sea mínimo.

En la zona de laderas la sección es más robusta, alcanzándose el talud 1/1 aguas abajo para repartir más las compresiones sobre la roca de cimentación. Existen además unos amplios rellenos de hormigón en los pies de ambas laderas, necesarios para conformar el cuenco del aliviadero.

La coronación tiene una anchura de 10 metros, lo que permite disponer sobre ella de un vial con 7 m de calzada y dos aceras de 1,5 metros donde se incluyen el pretil y su correspondiente barandilla.

La longitud de coronación es de 620 m. Se han dispuesto juntas transversales cada 20 metros, que han dado lugar a 32 bloques a lo largo de la presa. También se ha ejecutado una junta longitudinal, desde la cimentación hasta la cota 200, lo que ha permitido disminuir las dimensiones de los mayores bloques, facilitando la disipación del calor de fraguado del hormigón.



Planta de la presa.

Con el fin de permitir la inspección y control, el mantenimiento durante su explotación y la ejecución de la inyección de las juntas entre bloques y de las pantallas de consolidación, impermeabilización y drenaje, se ha construido una amplia red de galerías dispuestas en cinco niveles horizontales a las cotas 130, 150, 175, 200 y 225 con 5, 4, 3, 2, y 1 galerías longitudinales respectivamente y las correspondientes galerías transversales cada 40 metros, que las comunican entre sí.

La dimensión de las mismas es de 2,80 m de altura por 1,60 m de anchura, salvo en la galería central de la cota 175 que tiene unas dimensiones de 4,80 \* 4,80 m y comunica ambos márgenes del río, permitiendo el paso de vehículos y maquinaria y el acceso a las cámaras de válvulas de los órganos de desagüe.

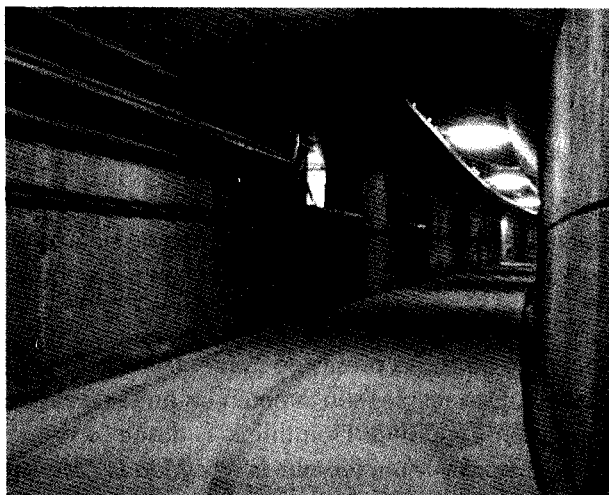
Por último, a la cota 105, es decir, 15 metros bajo el cimiento, existe otro nivel de galerías horizontales, excavadas en roca, que han servido para reconocimiento del terreno y drenaje del mismo.

La conexión de estos niveles de galería en sentido vertical se realiza mediante dos huecos de 4,80 m de diámetro, que enlazan por una parte el nivel 105 situado bajo el cimiento con el 175 y éste con la coronación por otro. En ellos, además de la escalera correspondiente se han instalado dos ascensores – montacargas.

#### ALIVIADERO

En los bloques centrales de la presa se ha construido un aliviadero de labio fijo con perfil Creager a la cota 243. Ocupa 7 bloques, por lo que su longitud es de 140 metros, que se reparte en 8 vanos separados por pilas de 1,10 m de espesor. Sobre ellas apoya un tablero de hormigón armado de 10 m de anchura, con 4 vigas de hormigón pretensado por vano, para darle continuidad a la coronación. Los cajeros son radiales convergentes hacia el centro del cilindro de referencia. El canal de descarga discurre sobre el pa-

## LA PRESA DE RULES



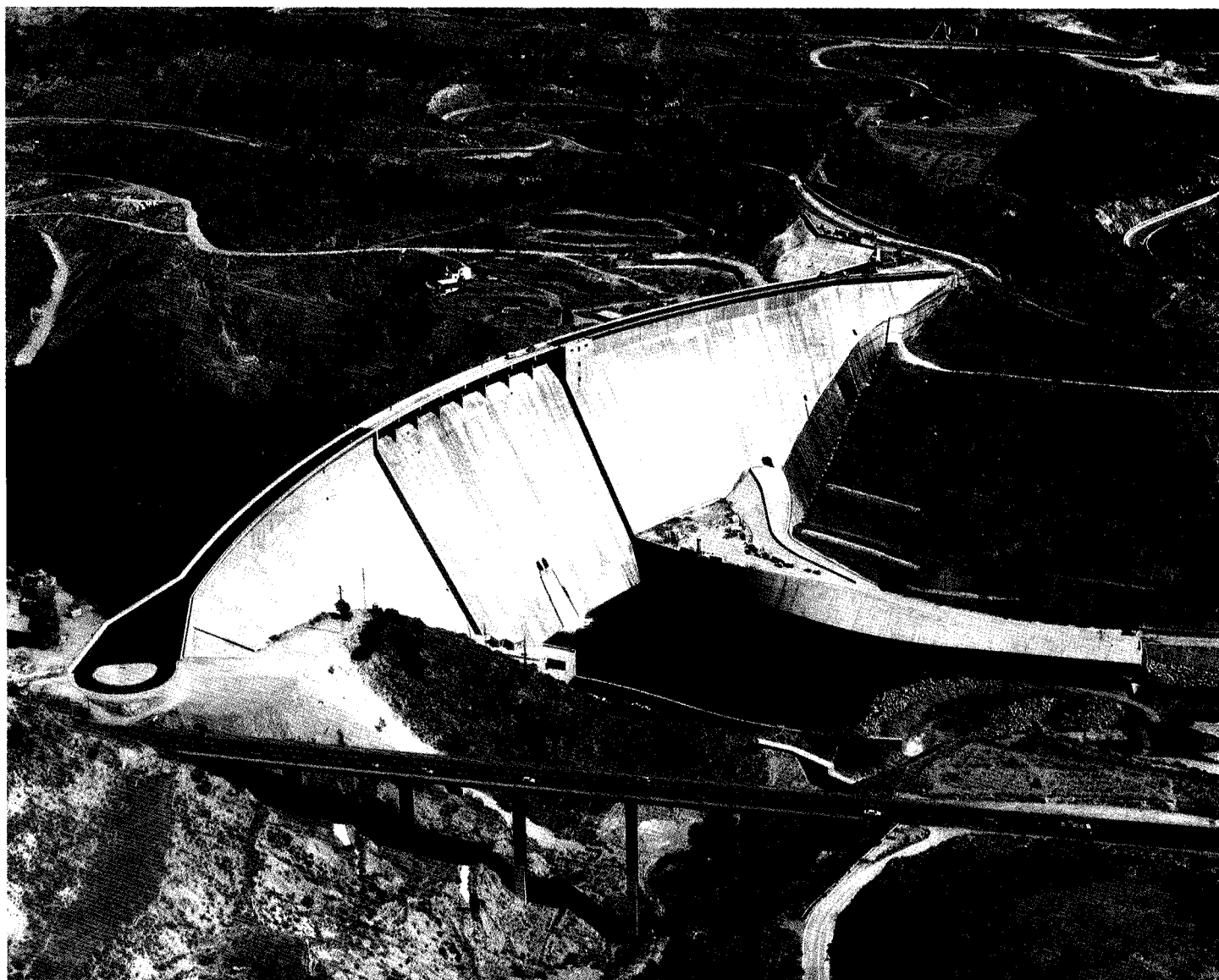
Vista general de la galería central de la cota 175.

ramento de aguas debajo de la presa, conectando con el trampolín sumergido, de 20 metros de radio, estando la generatriz inferior a la cota 138. Inmediatamente aguas abajo se dispone de un cuenco amortiguador provisto de muros cajeros de hormigón de 240 metros de longitud y coronados a la cota 165 en un primer tramo de 125 m, cota que varía linealmente hasta la 156 al final de los muros. En el lecho del cuenco se coloca escollera, cerrándose el mismo con una cadena de hormigón armado.

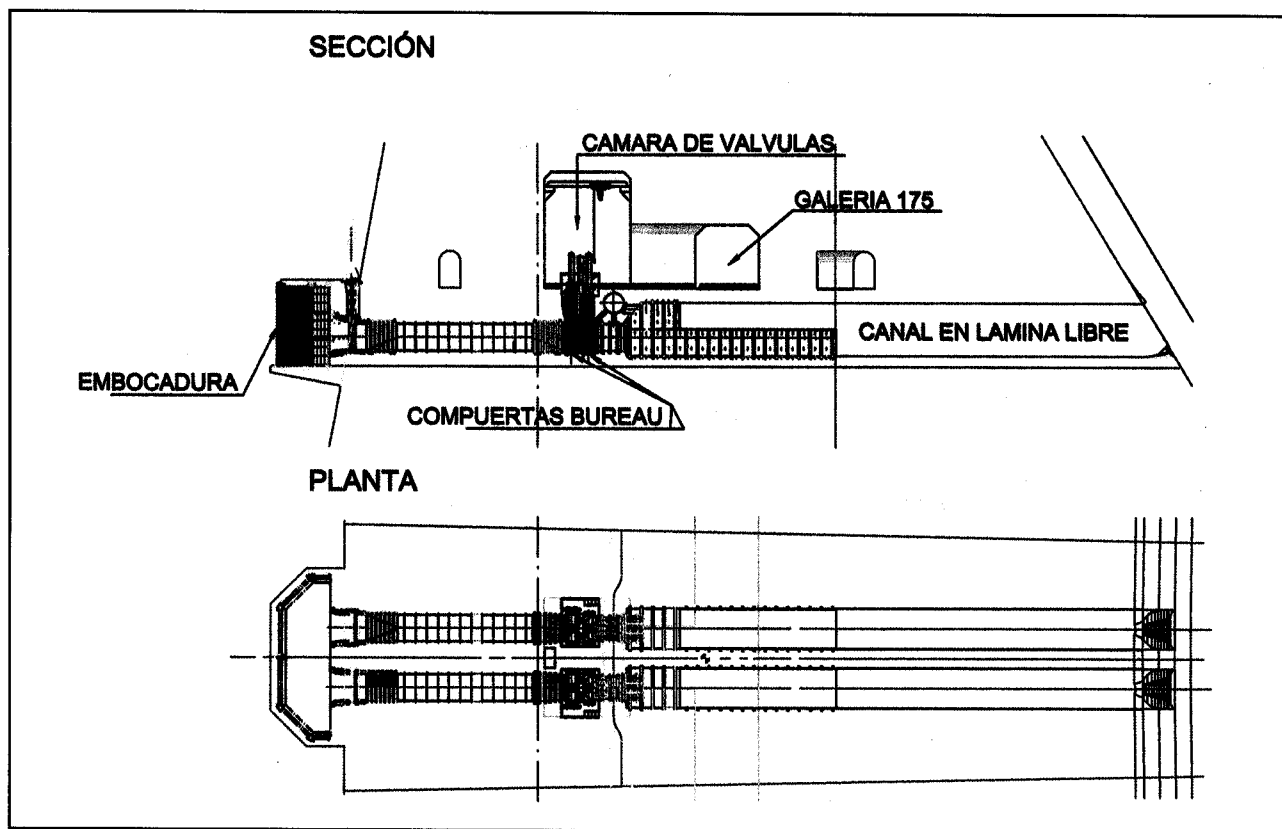
### DESAGÜES DE FONDO

El desagüe de fondo está situado en el bloque central de la presa a la cota 171 y está formado por dos conductos metálicos circulares de 2 metros de diámetro hasta la cámara de válvulas donde cada uno de ellos se regula mediante

Vista general desde aguas abajo.







Desagües de fondo.

dos compuertas Bureau de 1,60 x 2,00 metros (una para regular la apertura y cierre y otra de seguridad). A partir de dicha cámara el agua circulará en lámina libre mediante sendos canales de descarga blindados de sección rectangular de 3,0 x 4,0 m hasta su salida al paramento de aguas abajo en el centro del aliviadero. Cada sistema de válvulas está dotado de ventosas de 300 m/m, produciéndose la aireación de las válvulas mediante dos tuberías de hormigón que salen al paramento de aguas abajo en los bloques contiguos a los cajeros del aliviadero. La capacidad máxima de desagüe conjunto es de 187 m<sup>3</sup>/sg.

au de 1,20 x 1,50 m. La capacidad máxima de evacuación del conjunto es de 79 m<sup>3</sup>/sg.

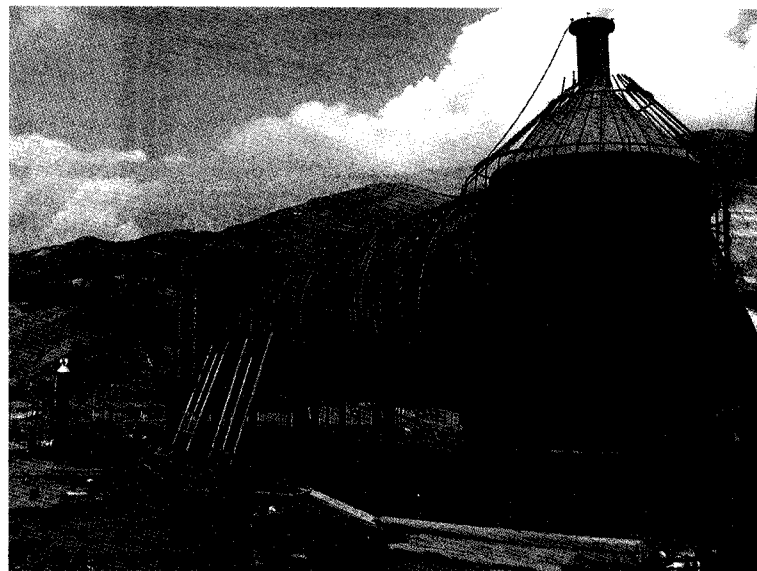
#### TOMAS PARA ABASTECIMIENTO Y RIEGO

Están situadas en el bloque contiguo al desagüe intermedio, en la margen derecha y consisten: la toma de riego en

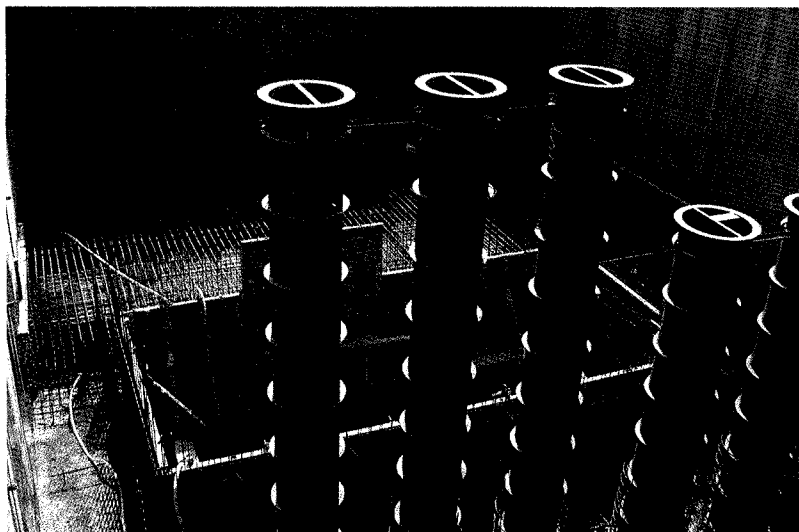
Desagüe intermedio. Bloque 8 en construcción.

#### DESAGÜE INTERMEDIO Y TOMA ECOLÓGICA

Consiste en un conducto metálico de dos metros de diámetro que toma a la cota 192 y tras pasar por la cámara de válvulas situada a la cota 175, sale al exterior a la 162,50, terminando en una brida ciega para la conexión a la futura central hidroeléctrica. Antes de ese punto se establece un by-pass, bifurcándose la conducción en dos tuberías de 1,50 metros de diámetro cada una que desaguan en el cuenco amortiguador. La regulación general se realiza mediante una compuerta Bureau de 1,60 x 2,00 m en la cámara de la cota 175 y la de las conducciones de salida al cuenco mediante sendas válvulas Howell-Bunger, acompañada cada una de ellas por una compuerta de seguridad de tipo Bure-







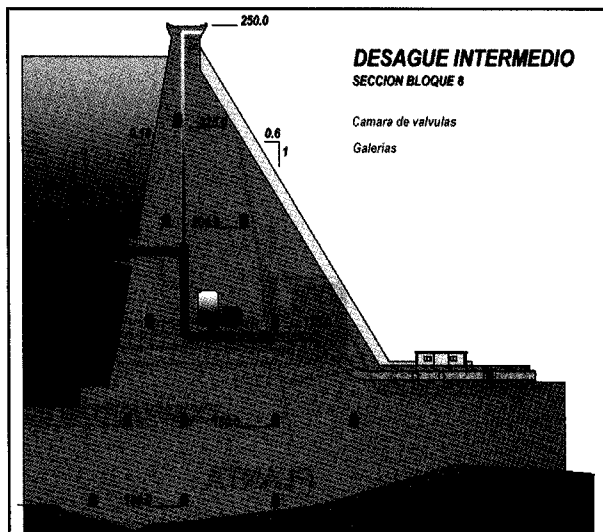
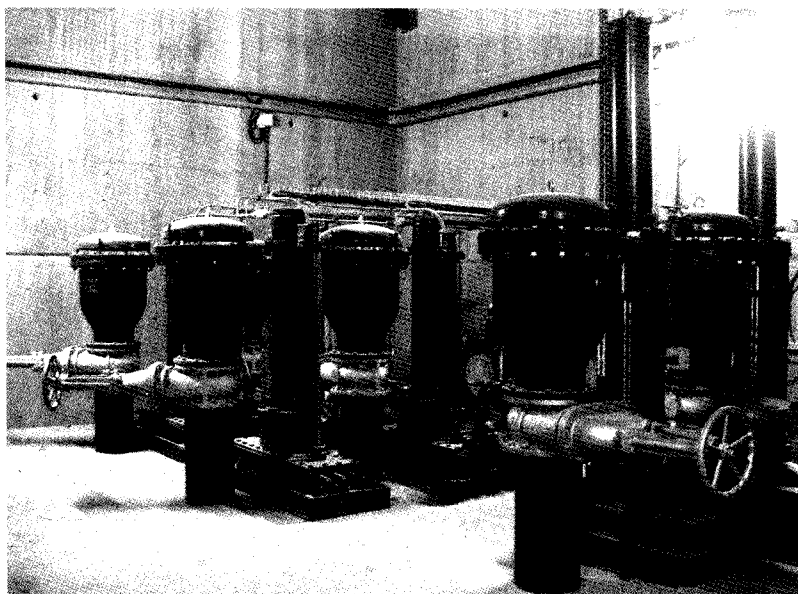
**Vista general  
bloque 10 en  
construcción.  
Elementos  
metálicos y  
cámara de  
válvulas.**

dos conductos metálicos de 1 metro de diámetro cada uno que toma a la cota 191,50, tras pasar por la cámara de válvulas a la cota 175 y ser regulados y protegidos por dos compuertas Bureau de 0,80 x 1,00 m salen aguas abajo a la cota 162,0 terminando en sendas bridas ciegas. El caudal máximo de suministro es de 12 m<sup>3</sup>/sg.

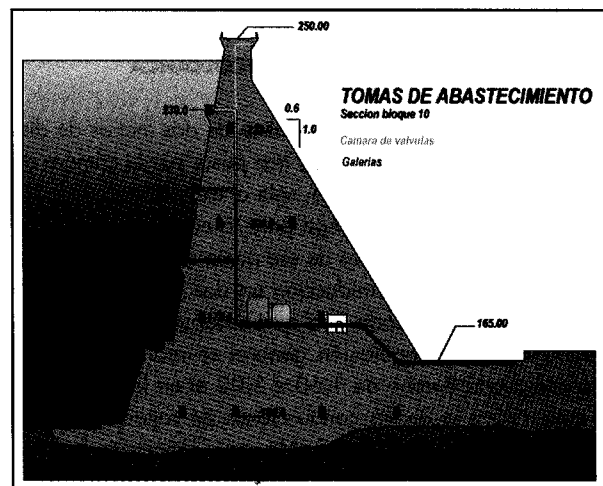
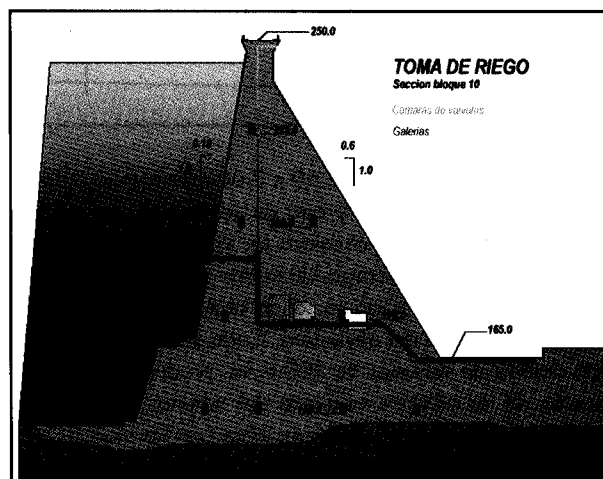
La toma de abastecimiento consiste en tres tuberías metálicas de 0,80 m de diámetro que se disponen en el paramento de aguas arriba a las cotas 191, 210 y 230, y que tras pasar por la cámara de válvulas de la cota 175 se unen en un solo conducto de 0,80 m de diámetro que sale aguas abajo a la cota 162,0.

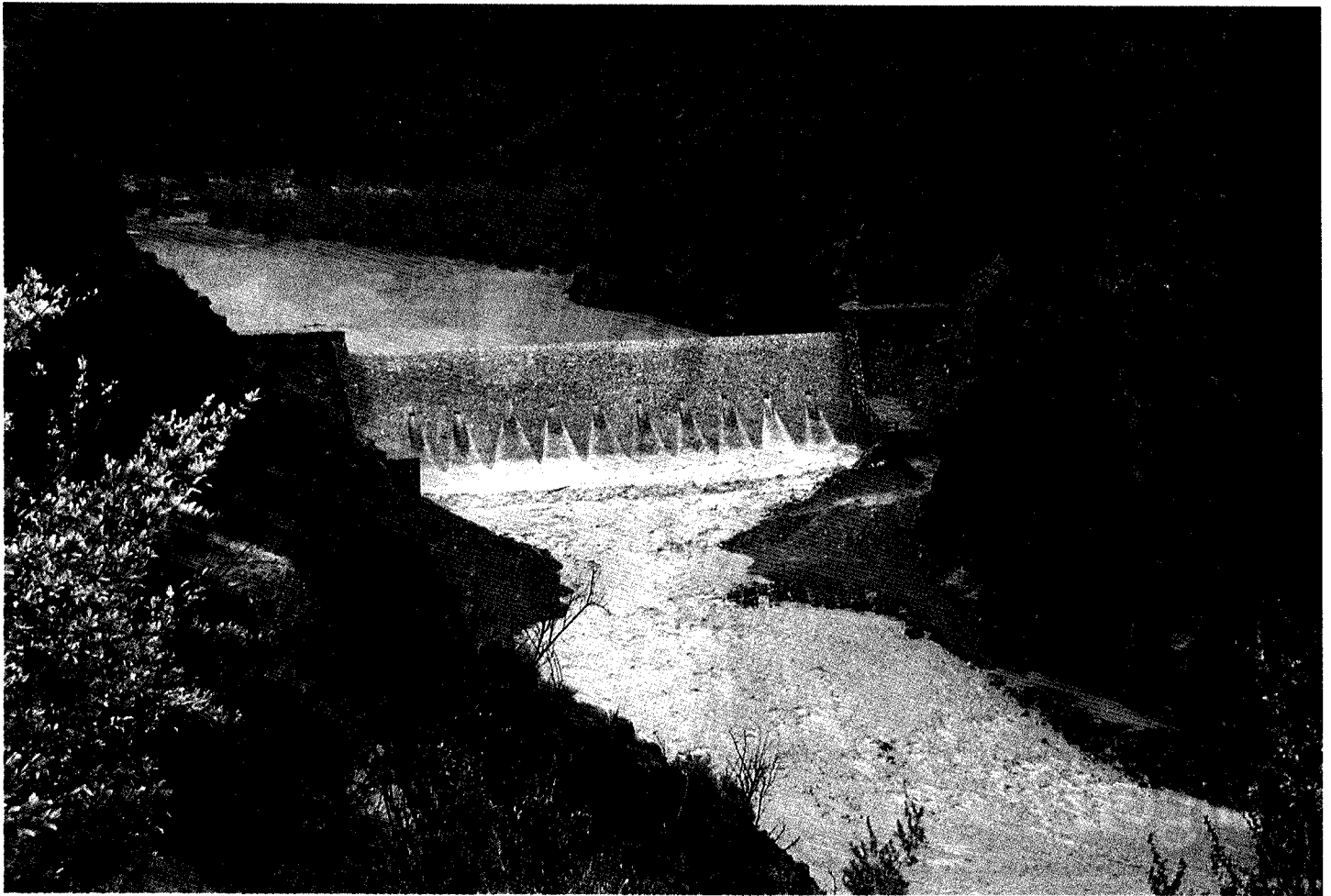
Cada una de las tres tuberías dispone de una válvula de compuerta de 0,80 m de diámetro con una adicional de guarda.

**Cámara de  
válvulas  
bloque 10.  
Conducciones  
riego y  
abastecimiento.**



Todos y cada uno de estos dispositivos de evacuación cuenta con rejillas de protección en las embocaduras (que en todos los casos son de sección rectangular) y las corres-





Vista general desde aguas abajo del Dique Graciano.

pendientes transiciones para los cambios a sección circular. Asimismo las conducciones cuentan con los correspondientes conductos de aireación, que salen junto a la coronación al paramento de aguas abajo de la presa.

## 7. AUSCULTACIÓN

La instrumentación de la presa es una herramienta imprescindible para contrastar las principales hipótesis de proyecto y comprobar el comportamiento de la cerrada en cuanto a deformidad, las deformaciones y tensiones del hormigón, el control de temperaturas durante la construcción y los cambios volumétricos asociados, el control durante el llenado, apoyado en los péndulos, topografía externa, extensómetros del cemento etc., piezómetros, limnigrafos.

Así se han dispuesto:

- 93 Termómetros de hormigón.
- 178 Extensómetros de hormigón.

- 19 Extensómetros de varillas.
- 35 Medidores internos de juntas.
- 54 Medidores tridimensionales de juntas.
- 189 Ternas de base.
- 45 Piezómetros de cuerda vibrante.
- 4 Péndulos directos.
- 4 Péndulos inversos.
- 62 Referencias de nivelación.
- 10 Aforadores de vertedero triangular.
- 2 Acelerógrafos.
- 1 Limnómetro de precisión.
- 29 Centrales de lectura.
- Aparatos de medida de péndulo, bases para equipos de cuerda vibrante.

## 8. OBRAS ANEJAS

Comprenden el conjunto de actuaciones necesarias para la construcción y explotación del embalse. La primera actuación previa a la excavación del estribo izquierdo fue la

construcción de la Variante de la Carretera comarcal Vélez-Orgiva, afectada por las obras, asimismo se encauzó el río desde el puente de acceso a Vélez de Benaudalla y el emplazamiento de las obras previamente a las excavaciones, con lo que se pudieron realizar éstas con un nivel freático rebajado en 10 metros.

Otras actuaciones son los caminos de acceso por ambas márgenes, edificios de la Administración, almacenes, laboratorio, urbanización, tratamiento de estabilización de laderas, reforestaciones y otras obras de corrección del impacto ambiental, reposición de servidumbres, líneas y acometidas de media tensión, centro de transformación y tendidos de baja tensión para alumbrado y fuerza en los distintos niveles de galerías, coronación, ascensores, cámaras de válvulas y bombas. Se han construido también diques en el propio río y barrancos afluentes para disminuir la acción erosiva de estos cauces en orden a controlar las aportaciones sólidas al embalse.

**Vista general desde aguas arriba, durante la construcción.**

## 9. CONSTRUCCIÓN

### 9.1. DESVÍO DEL RÍO

La anchura del cauce fluvial y terrazas adyacentes permitió realizar las obras encauzando el río por una u otra margen sin necesidad de construir túneles de desvío.

Así, en una primera fase, el río se encauzó mediante un canal revestido que discurrió al pie de la ladera izquierda.

La cota de esta canal fue 10 metros más baja que la del antiguo cauce del Guadalfeo, ya que previamente se había excavado el canalón mencionado anteriormente hasta el Puente de Vélez.

Este sistema se completó con una ataguía y una contrataguía formadas por diques de todo uno dotados de sendas pantallas de impermeabilización de bentonita-cemento que atraviesan el aluvial permeable del río hasta empotrarse en el sustrato rocoso. Estas pantallas de 80 cm de espesor y 420 m





Vista del muro cajero derecho en construcción. Hueco para futura central hidroeléctrica.

de longitud total permitieron realizar la excavación teniendo que bombear sólo las filtraciones de ladera y residuales.

Con este desvío provisional se construyeron los bloques de la margen derecha, por uno de los cuales, adyacente al aliviadero, se construyó el desvío definitivo consistente en un canal de hormigón que atraviesa la presa mediante dos huecos de 6 x 6 m, suficientes para una capacidad de unos 600 m<sup>3</sup>/sg que se corresponden con el caudal punta de la avenida de 10 años de período de retorno.

Este canal se ha mantenido abierto durante la construcción de la presa, habiéndose cerrado mediante los correspondientes tapones de hormigón, lo que ha permitido ambalsar hasta la cota de desagüe de fondo y atacar las obras del cajero derecho donde se ubicará la futura central hidroeléctrica.

## 9.2. EXCAVACIONES

Definidos los perfiles de excavación, se realizó ésta por fases lo que permitió avanzar en los estudios del sustrato ro-

coso y comprobar su alterabilidad una vez excavado. Los ensayos de resistencia al corte permitieron comprobar que esta alterabilidad es alta y en consecuencia se proyectó un tratamiento de consolidación del terreno a base de taladros que profundizaron en el mismo diez metros para mejorar el contacto terreno-hormigón y una losa de hormigón armado de 1 metro de espesor con anclajes de 40 m de profundidad y 120 Tm de tensión en la ladera izquierda para restituir 0,5 kg/cm<sup>2</sup> de compensación al terreno excavado. En la ladera derecha se han construido losas de hormigón armado adaptadas al terreno para garantizar la eficacia de la inyección de consolidación en esa zona.

## 9.3. INSTALACIONES DE OBRA

Tras el estudio de las distintas opciones que ofrecía la topografía de las inmediaciones de la presa, resultó que sólo aguas arriba se podía contar con superficie suficiente para la ubicación de las instalaciones y acopios de árido.

La procedencia del árido es del propio cauce del río Guadalfeo. La explotación se ubica en las márgenes del río en una extensión de 4 km. y un ancho de 110 m, con una potencia media de seis metros (hasta el nivel freático).

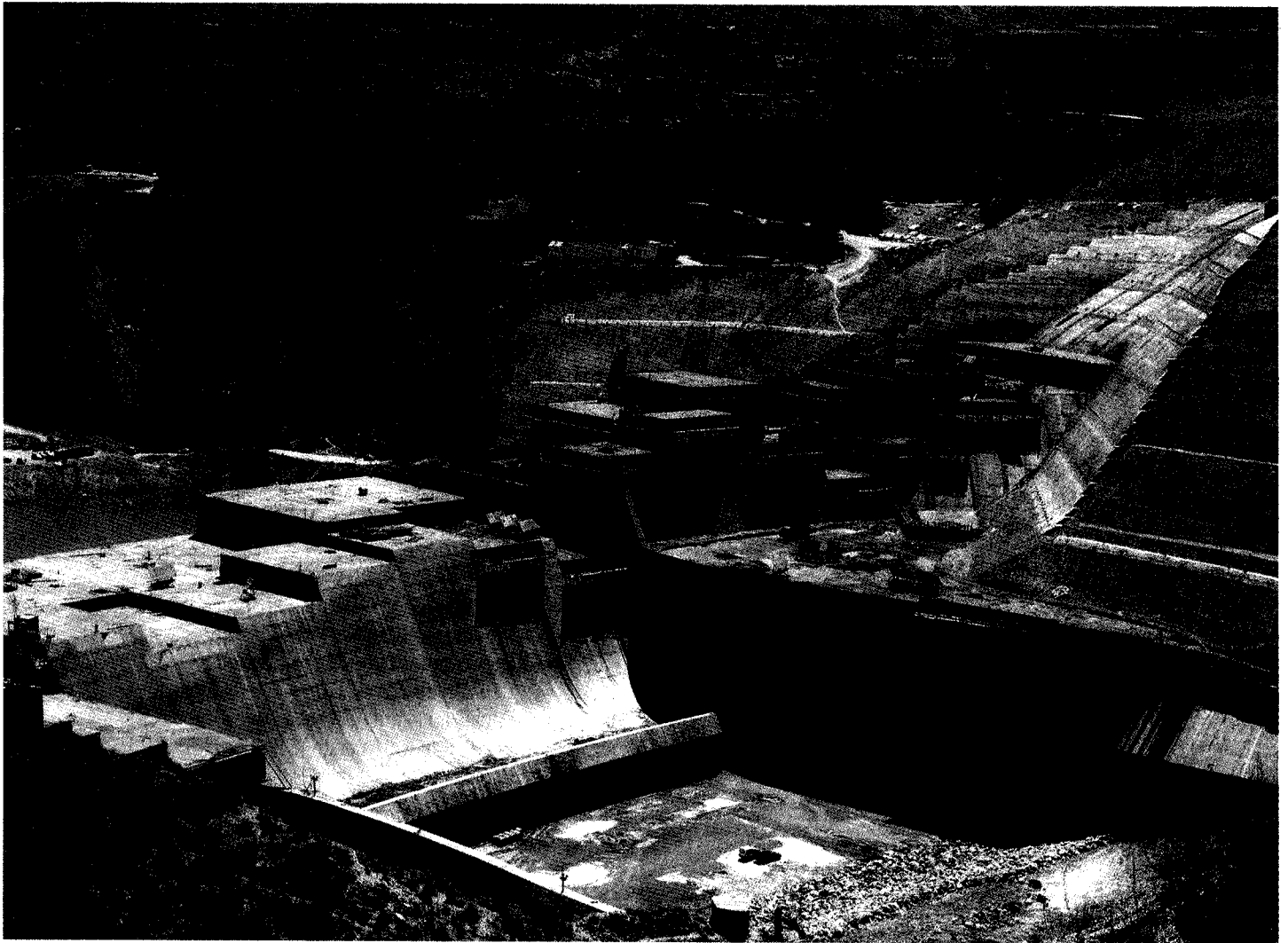
Se trata de aluviales modernos poco consolidados, que son repuestos por deposiciones sedimentarias del propio río en época lluviosa.

La extracción y carga por medios mecánicos con retroexcavadora, por tener este tipo de máquina un alto grado de selección y buenas cualidades para operar por debajo del nivel freático.

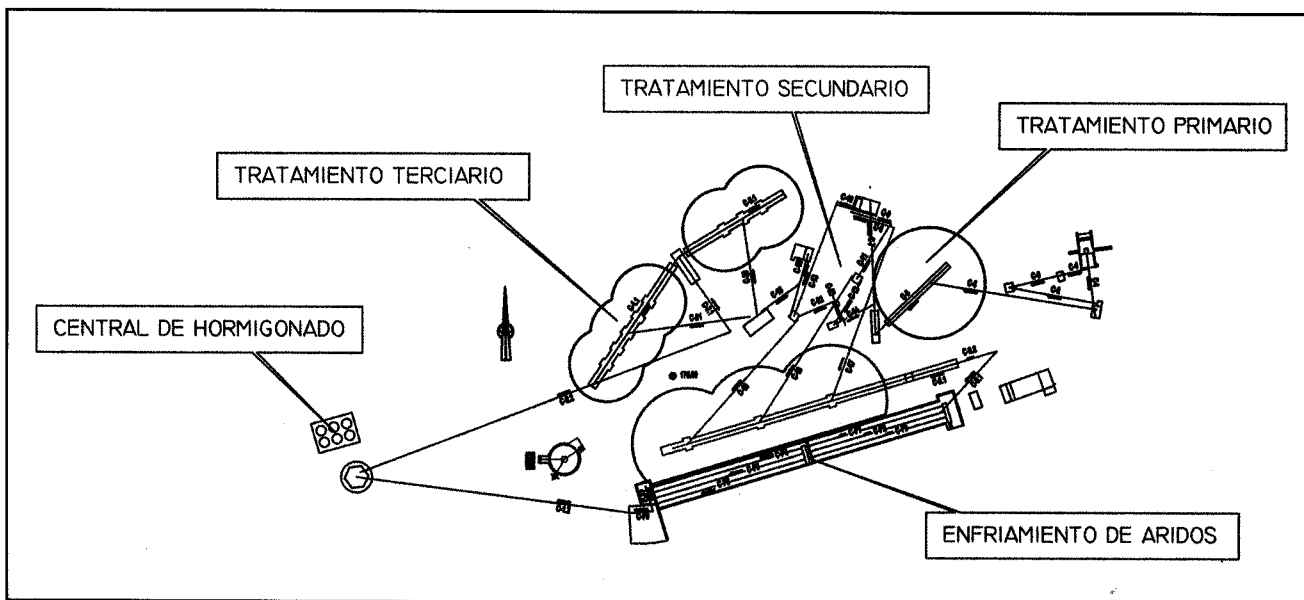
El árido extraído en la gravera es aportado en tamaño máximo de un metro en la tolva de recepción previa a la entrada de la machacadora. El tamaño inferior a 300 mm pasa directamente a una criba clasificadora y el superior es conducido a la machacadora, donde se produce la fragmentación y la reducción hasta 200 ó 300 mm. En la criba de clasificación se corta a tamaño máximo 100 mm, pasando el inferior directamente al acopio 0-100 ó silo pulmón. El superior es reciclado en un cono giratorio hasta conseguir un tamaño inferior a 100 mm.

Desde el silo pulmón se alimentan dos cribas, donde se produce el lavado y clasificación de las tres fracciones gruesas: 5-25, 25-50 y 50-100. Los tamaños resultantes son transportados por medio de cintas de banda hasta los diferentes acopios independientes para cada tamaño y los excedentes recirculados en sendos molinos para la transformación en fracciones más finas. Desde los silos montón y a través de galería subterránea se alimenta a la línea de refrigeración en circuito cerrado.

La pulpa, resultante del proceso de lavado, es transportada por medio de bomba de eje horizontal con revestimiento engomado hasta la torre de hidrociclones verticales, donde se tamiza y separa la arena gruesa, 1,75-5 mm. La are-



Vista de cuenco y bloques ladera izquierda en construcción.



Plano general de las instalaciones.



**Vista general de instalaciones para fabricación de áridos y hormigón.**

na fina junto con los lodos y el agua es de nuevo bombeada a otros ciclones inclinados de mayor tamaño, espesando y escurriendo la arena, 0-1,75 mm, posteriormente las dos arenas son transportadas y acopiadas en silos al aire libre para su drenado.

Los lodos son tratados con floculante para su espesado y posterior prensado y así conseguir una cierta manejabilidad. El agua depurada es devuelta al río, probablemente en mejores condiciones que cuando fue tomada de él.

El consumo de agua en la instalación de fabricación de árido y el resto de la obra se garantizó a través de bombeo directo del río a dos depósitos de decantación y posteriormente de nuevo ser bombeada a la cota +260, desde la que por gravedad abastecía a la obra.

Los áridos empleados en la fabricación del hormigón se clasifican, como ya se ha dicho, en cinco fracciones granulométricas: 0-1,75; 1,75-5; 5-25; 25-50 y 50-100 mm. Con los acopios existentes se garantiza el abastecimiento a la planta de hormigón durante una semana.

La planta torre de hormigón empleada, era capaz de dar una producción de 240 m<sup>3</sup>/h nominales. Dispone de ensilado superior para los cinco tamaños de árido y 60 tn de cemento. La torre está compuesta por cuatro hormigoneras bicónicas con capacidad útil de 3 m<sup>3</sup>, alimentadas con canaleta tipo "revolver". La dosificación cuantitativa de los diferentes componentes (áridos, cemento, agua y aditivo) se realiza por medio de un proceso informático.

El cemento utilizado es de adición con un 50% de cenizas volantes silicatoaluminosas mezcladas en la factoría de Carboneras (Almería), desde la cual es transportada por barco al puerto de Motril y desde éste mediante cisternas se transporta a obra, que dispone de seis silos metálicos de 450 tn de capacidad cada uno, con sistema fluidificador y de impulsión rotativo de paletas.

Para disminuir o minimizar los efectos del calor de fraguado, los tres tamaños gruesos del árido se refrigeran con agua enfriada a 4°C mediante una batería de cuatro equipos de enfriamiento, con intercambiador e inundación de re-



Carga de cazos con hormigón, silobuses en muelle cazos.



frigerante con una potencia total de 1.720.000 frigorías hora. Los áridos se hacen pasar por una cámara de frío compuesta por seis cintas de banda 1.600 mm y baja velocidad con duchas superiores de agua, previamente enfriada a 4°C, en una longitud de 150 metros.

Para el transporte del hormigón al tajo correspondiente se han empleado dos blondines o andariveles con un vano de 1.280 metros, de 20 tn de capacidad de carga cada uno, lo que equivale a 6 m<sup>3</sup> de hormigón por blondín, accionados mediante motores de corriente continua, gobernados por variadores de velocidad trifásicos de control numérico.

Desde la planta-torre al muelle de carga de los cazos y sobre carril, se transporta el hormigón por medio de tres silobuses de doble tolva, con capacidad cada una de 6 m<sup>3</sup> y un cuarto silobus de simple tolva.

#### 9.4. FABRICACIÓN, TRANSPORTE Y PUESTA EN OBRA DEL HORMIGÓN

Como ya se ha dicho anteriormente, los áridos proceden del aluvial del río que procesados en la propia obra se han clasificado en los cinco tamaños que se utilizan, dos arenas (0-1,75 y 1,75-5) y tres gruesos (5-25, 25-50 y 50-100).

El cemento empleado es el ESP-VI-32,5 (mitad clinker, mitad cenizas), las cenizas proceden de central térmica mezcladas en fábrica.

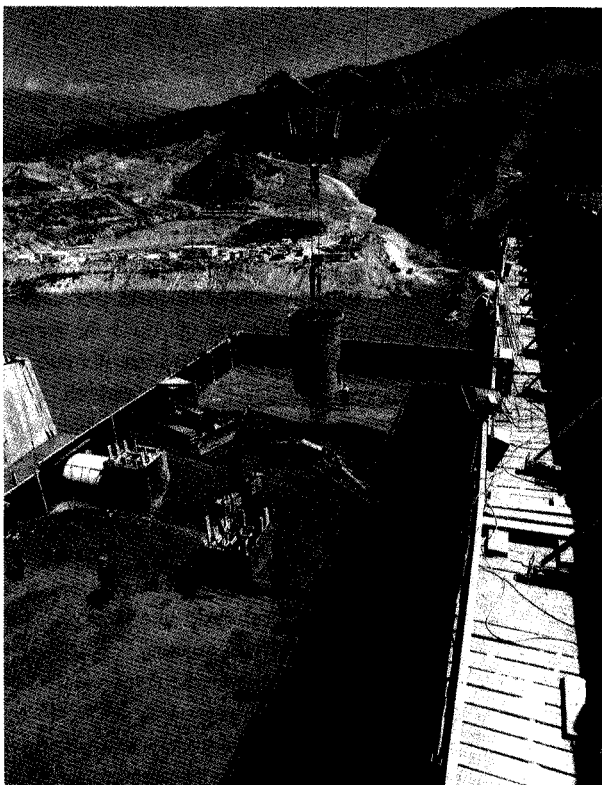
El hormigón empleado en el cuerpo de presa tiene un contenido de conglomerante de 210 kg por metro cúbico, suficiente para obtener de él los 175 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia característica a los 90 días. La consistencia es seca, cono próximo a cero, y para facilitar su puesta en obra se le añade como aditivo un plastificante, con dosificación variable según la época del año.

Los áridos clasificados por tamaños, almacenados al aire libre en silos montón dispuestos sobre galería que alimenta directamente a la torre de hormigón a través de dos grandes cintas (141 m la del árido grueso y 195 m la de las arenas), la de gruesos aislada térmicamente. Todo el proceso de fabricación de hormigón está automatizado y controlado desde la cabina de mando, con indicación digital de las básculas, consola de programación, impresora y circuito cerrado de televisión desde el que se controla el estado de llenado de los compartimentos de almacenaje, controlando desde la planta de hormigón el abastecimiento de árido y cemento a la misma.

La planta ha funcionado durante casi todo el periodo de hormigonado 24 horas al día en tres turnos de 8 horas, quedando los sábados y domingos para llevar a cabo las labores de mantenimiento y conservación necesarios.

El rendimiento en punta ha alcanzado 200 m<sup>3</sup> hora.

Las cuatro amasadoras vierten el hormigón a dos tolvas de recepción a la espera de ser vaciadas en los silobuses empleados para el transporte del hormigón hasta el muelle



Hormigonado de un bloque con blondín, máquinas de extendido y vibrado.





**Colocación de las vigas del puente sobre el aliviadero con blondin.**

de carga de los blondines y de ahí ser transportada al tajo correspondiente.

Para el hormigonado del cuerpo de presa ésta se dividió en 32 bloques, con numeración par en la margen derecha, numeración impar en la izquierda y un bloque B-0 en el centro. A su vez y como consecuencia del ancho de la presa, transversalmente se dispuso, en los bloques centrales, hasta el bloque B-14 en la margen derecha y B-17 en la izquierda, de una junta, de modo que cada bloque no superara los 50 m, dividiendo en esos casos cada bloque en A y B.

Los bloques tienen una anchura de 20 metros en la superficie de referencia y la altura de tongada, teniendo en cuenta los análisis del calor de hidratación, se fijó en dos metros, y un tiempo de espera entre hormigonado de tongadas sucesivas en el mismo bloque de 72 horas.

La primera labor, antes de comenzar la preparación de un bloque, es la de acondicionamiento de los accesos. A continuación se desencofra, con la ayuda de una grúa sobre

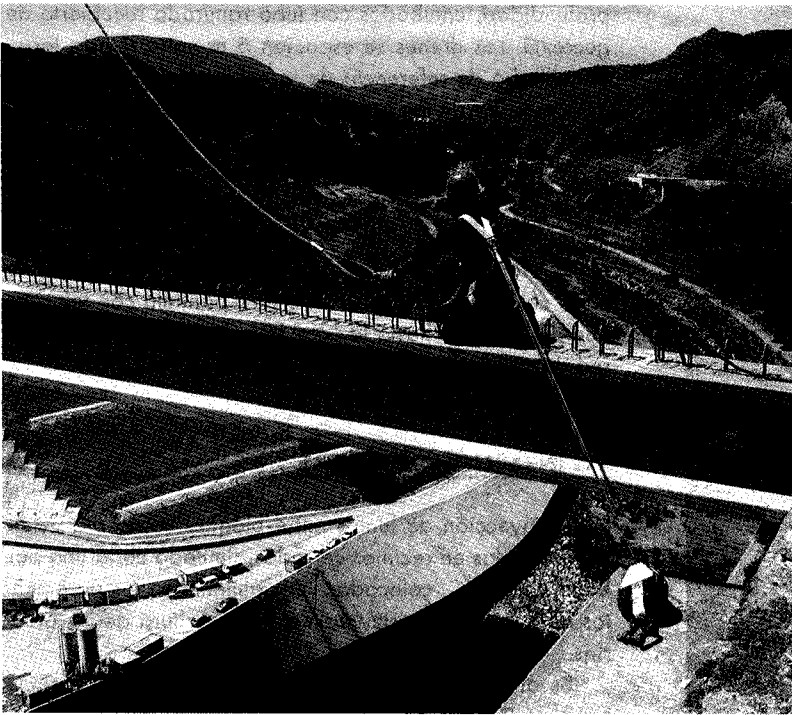
camión, la tongada anterior y se trepa el encofrado, procediéndose a la alineación de taludes, aplomado y arriostramiento de paneles. Se colocan las juntas de PVC entre bloques (dos en el paramento de aguas arriba y una en el de aguas abajo), así como los anclajes necesarios para la siguiente trepa.

La preparación de un bloque se da por terminada con la limpieza de restos y lavado con aire y agua a presión.

En las tongadas en contacto con el cemento se realizó una limpieza exhaustiva del mismo y un levantamiento geológico del terreno.

En las tongadas normales de bloques se empleó un encofrado trepante formado con consolas con carro aproximador y husillos con plataforma de trabajo forrada de madera y la correspondiente barandilla de protección.

En las pilas y el labio Creager, así como en las ménsulas de las distintas tomas y desagües se recurrió a encofrados especiales.



Colocación de las vigas del puente sobre el aliviadero.

Una vez un bloque encofrado y limpio, antes de iniciar el hormigonado se extendía una capa superficial de mortero muy plástico, con un espesor de 3 a 5 cm, para retoma de nueva tongada.

Cada bloque de presa de hormigonó en tongadas de 2 m de altura, dividiendo cada una de ellas en tres subtongadas de 70,70 y 60 cm. En bloques de gran superficie se hormigonó con los dos blondines correspondiendo a cada uno de ellos la mitad del bloque, y un equipo independiente de puesta en obra.

La maniobra de aproximación del cazo al punto de vertido estaba dirigida a través de emisora de radio con comunicación exclusiva con el blondinista. La descarga se realiza verticalmente y a cubo parado desde una altura aproximada de dos metros.

Para el extendido del hormigón se empleó un buldozer por equipo de 80 CV de potencia con regulación de ángulo de ataque del dozer. En el vibrado la máquina empleada fue, también por equipo, una retroexcavadora sobre orugas de 108 CV de potencia, a la que se acoplaron seis vibradores óleo-hidráulicos de alta frecuencia. Tanto para el extendido como para el vibrado se dispuso de una tercera máquina de reserva para el caso de avería.

En el vibrado de cada subtongada las puntas de los vibradores se hacían penetrar en la capa anterior para asegurar la unión de los hormigones frescos.

En la casi totalidad del proceso de hormigonado del cuerpo de presa se realizó durante las 24 horas del día, de lunes a viernes, con tres turnos de 8 horas. En el conjunto de

instalaciones, encofrado y puesta en obra del hormigón se alcanzó a tener alrededor de 300 personas en activo.

Una vez hormigonado un bloque y antes del comienzo del fraguado de la última capa se procedía a lavar la superficie con chorro de agua y aire a presión y así eliminar la lechada, sin remover el árido grueso creando una superficie rugosa dispuesta a recibir la siguiente tongada. A continuación se colocaron los aspersores que se encargaban de mantener la superficie de hormigón húmeda.

La temperatura de hormigón en su puesta en obra era de alrededor de 15°C, no obstante para facilitar la evacuación del calor de hidratación, entre cada tongada se dejaron embebidos unos tubos de 1" de diámetro, dispuestos a modo de serpentín por el que se hacía circular agua hasta que la temperatura de salida se estabilizara. Se ha empleado en obra casi 350 km. de dicha tubería.

Los volúmenes de hormigón colocado por mes variaron considerablemente desde los 4.800 m<sup>3</sup> hasta los 55.860 m<sup>3</sup> con media de 34.000 m<sup>3</sup> mensuales.

## 10. TRATAMIENTO DEL CIMIENTO

Se han realizado tres tipos de trabajos distintos: tratamiento de consolidación, tratamiento de impermeabilización y pantalla de drenaje.

### 10.1. TRATAMIENTO DE CONSOLIDACIÓN

Tratan de cerrar las fisuras abiertas tras la excavación y posterior hormigonado de los bloques y de rellenar con lechada los posibles huecos que queden en el contacto roca-hormigón.

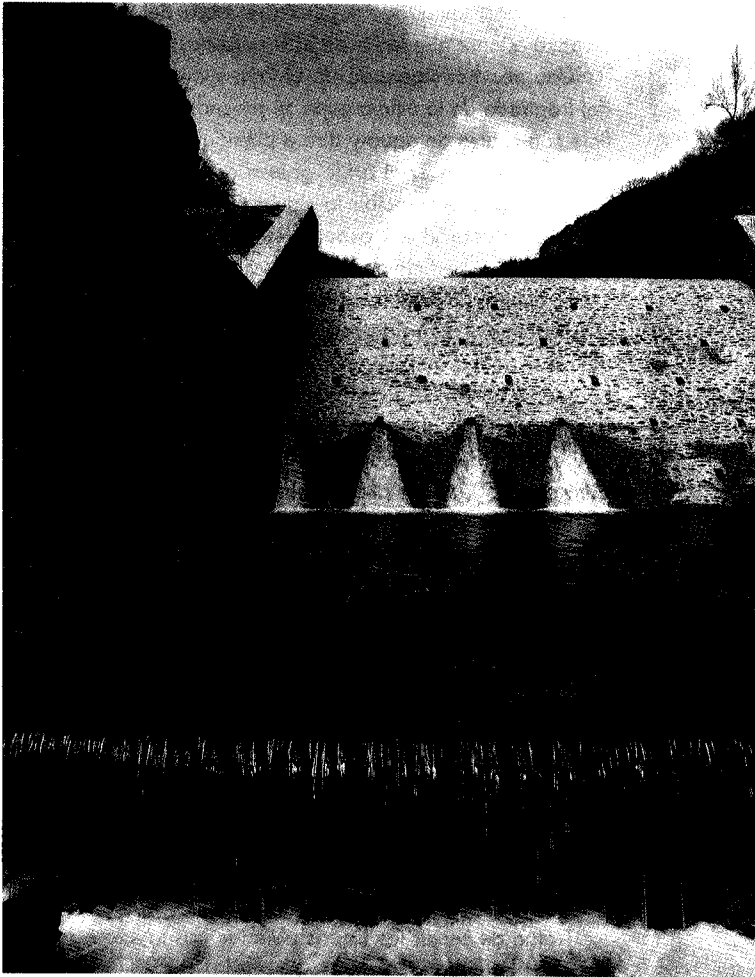
La consolidación del cimiento de la presa se ha llevado a cabo mediante la perforación de una serie de taladros de 86 y 66 mm ejecutados desde las galerías más próximas al terreno, formando una malla rectangular de unos 5 metros de lado, penetrando en el terreno unos 10 metros. Tras la limpieza de los mismos, se inyectó lechada de cemento con relación de mezcla 1/1 en peso.

Se han realizado 31.000 metros de perforación para ejecutar este tratamiento.

### 10.2. TRATAMIENTO DE IMPERMEABILIZACIÓN

La cerrada de Rules tiene en términos generales características de baja permeabilidad, si bien, en las laderas se han abierto diadasas confirmadas por la cartografía y los ensayos de permeabilidad efectuados, siendo particularmente notable la apreciada distensión horizontal producida en la ladera derecha entre las cotas 150 y 175.

El tratamiento de impermeabilización se ha realizado en varias fases.



Dique del Poqueira.

La primera fase de la pantalla consistió en la realización de taladros contenidos en un plano vertical radial inclinados ligeramente hacia aguas arriba, separados 5 m, de 3 pulgadas de diámetro y longitudinales de 50 y 65 m.

A la vista de las admisiones se realizó una segunda campaña, intercalando taladros entre los anteriores en la parte central de la presa, desde las galerías 130 y 150, comprobándose admisiones menores que en la 1ª fase.

En una tercera fase se realizaron 11 taladros en la margen izquierda desde la galería 130 en zona de admisiones algo elevadas.

La inyección de los taladros se ha realizado por tramos de longitud variable y de manera descendente con presiones de 7 y 10 kg/cm<sup>2</sup>.

### 10.3. PANTALLA DE DRENAJE

Con posterioridad a la pantalla de impermeabilización se ejecuta la de drenaje consistente en pantallas verticales de taladros de 4 pulgadas de diámetro y 40 m de

profundidad, entubados con tubo ranurado recubierto de geotextil. Los drenes se espacian 5 m entre sí a lo largo del cilindro de referencia de la presa. Los drenes se han ejecutado desde las galerías de aguas arriba de la presa tanto en el fondo como en las laderas y sus bocas de salida a las galerías se mantienen abiertas aunque es posible su cierre transitorio para medir la presión que alcanzarían con caudal nulo.

Desde la 2ª galería, aguas debajo de la anterior, y en la cota 130 se ha dispuesto otra pantalla con taladros que profundizan hasta la cota 105 donde se encuentra la red de galerías situadas bajo el cimientado.

## 11. INYECCIÓN DE JUNTAS

La inyección de juntas entre bloques se ha realizado dividiéndolas en recintos cerrados, limitado cada uno por bandas de PVC, colocadas verticalmente en los paramentos de la presa y horizontalmente a la altura de las galerías.

Se dispusieron para la inyección tres conductos circulares de 90 mm de diámetro en la parte inferior de las galerías como conductos colectores y otros tres en la parte superior como conductos inyectoros, además de una serie de conductos auxiliares del mismo diámetro embebidos en el hormigón.

La junta se lavaba con agua y una vez realizada esta operación se inyectaba con dosificaciones agua/cemento de 1/1.

## 12. MEDIDAS CORRECTORAS DE IMPACTO AMBIENTAL

Durante toda la ejecución de la presa y sus obras auxiliares se han cumplido los condicionantes y medidas previstas en la Declaración de Impacto Ambiental, respetando cuidadosamente el entorno con especial atención.

Las extracciones de áridos, construcción de caminos provisionales y ubicación de las instalaciones de obra se han producido dentro del área del embalse con la consiguiente minimización de las afecciones.

Las aguas empleadas en la fabricación de los áridos para hormigón fueron clarificadas antes de su devolución al río. Los productos de la excavación que no tuvieron empleo se vertieron aguas abajo para ser integrados en el entorno mediante la siembra y plantación de especies autóctonas, lo que garantiza su adaptabilidad al medio. En todo momento se ha respetado en el río el caudal mínimo, que a partir de ahora queda garantizado de manera definitiva. ■