

# COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

## TRATAMIENTOS DEL TERRENO EN LA PRESA DE EL BATO (CHILE) CIMENTADA SOBRE ALUVIAL PERMEABLE

Alejandro Rubén Martino Audisio<sup>1</sup>

Marcel Meza<sup>2</sup>

Antonio Capote del Villar<sup>3</sup>

Félix Lorenzo Martín<sup>4</sup>

*RESUMEN: Las obras del Embalse de El Bato sobre el río Illapel fueron adjudicadas a la UTE formada por FERROVIAL-AGROMAN y BESALCO por la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas de Chile en Junio de 2007. El proyecto incluye la construcción de una presa de gravas compactadas de 56 m de altura con pantalla impermeable de hormigón aguas arriba (CFRD) que crea un embalse de 25,5 Hm<sup>3</sup> cuyo objeto es regular los recursos de agua para riego y controlar las crecidas del río Illapel. La presa se apoya en el valle sobre un potente aluvial formado por bloques, bolones y gravas arenosas permeables y semipermeables, con potencias máximas del orden de 100 m, que se impermeabiliza parcialmente mediante una pantalla continua de 40 m de profundidad. La unión entre la pared moldeada y la pantalla impermeable de hormigón se realiza mediante un plinto articulado. En la ponencia se describen las características generales del proyecto de la presa, así como los tratamientos del terreno de cimentación.*

---

1 Ferrovial-Agroman. Jefe de Grupo de Obras. Delegación Chile

2 Ferrovial-Agroman . Jefe Oficina Técnica. Delegación Chile

3 Ferrovial-Agroman . Jefe Dpto. Presas Dirección Técnica

4 Ferrovial-Agroman . Jefe Dpto. Geotecnia Dirección Técnica

## 1.- INTRODUCCIÓN

En Junio de 2007, la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas de Chile adjudicó a U.T.E. formada por FERROVIAL-AGROMAN y BESALCO las obras de “Construcción del Embalse El Bato, IV Región de Coquimbo, Chile” definidas en proyecto redactado por MN INGENIEROS LTDA. y suscrito por el Ingeniero D. Jorge Astete M.

Las obras, situadas en el valle del río Illapel, unos 30 Km al Oeste de la Ciudad del mismo nombre (Fig. 1) tienen por objeto crear un embalse de 25,5 Hm<sup>3</sup> y 110 Ha de superficie inundada para laminación de avenidas y regulación de recursos del río para riego.



Fig. 1 Plano de situación de las obras

El contrato incluye las siguientes obras principales (Fig. 2):

Presas de gravas compactadas con pantalla de hormigón aguas arriba (CFRD) de 56 m de altura sobre cimientos y 591 m de longitud en coronación.

Desagüe de fondo y toma de agua a través de un túnel situado en la margen izquierda, de 257 m de longitud y sección en herradura de 2,80 m de diámetro, que se utiliza para desvío del río durante la construcción.

Aliviadero lateral en la margen derecha, de labio fijo con 50 m de longitud de vertido, canal de descarga y trampolín de lanzamiento.

Variante del camino de Illapel a Carén en la zona inundada por el embalse.

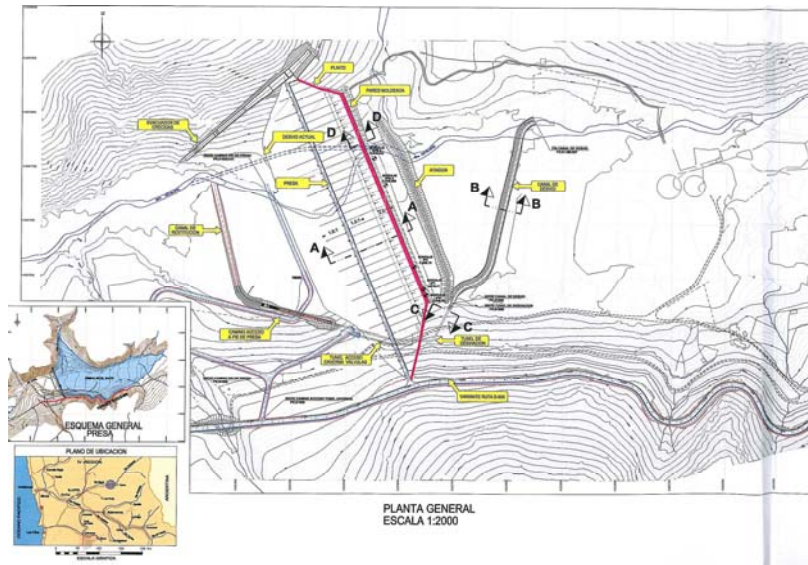


Fig.2 Planta general de la presa

Actualmente la presa está en avanzado estado de construcción, con gran parte de los rellenos ejecutados, parte del talud aguas arriba preparado para apoyo de la pantalla, pared moldeada terminada y túnel de desvío terminado y operando.



Fig. 3 Vista general de la presa en construcción (Julio de 2008)

## 2.- GEOLOGÍA DE LA CERRADA

El valle del río Illapel en el sitio de la presa tiene forma en U, con laderas de pendientes entre  $20^\circ$  y  $25^\circ$  y un amplio fondo de valle sensiblemente horizontal a la cota 850.

Las laderas, por encima de la cota 790 aproximadamente, están formadas por andesita ocoítica gris con fracturación media y dureza media-alta, con intercalaciones de paquetes de andesita afanítica poco alterada y dureza medio alta. La cobertura de suelos en ambas laderas es en general inferior a 1,5 m. Por debajo de la cota 790 aproximadamente, el sustrato rocoso está formado por tobas y brechas con estrato intercalado de andesita ocoítica.

En el todo el fondo del valle la roca está cubierta por un potente depósito aluvial formado por bloques, bolones y gravas arenosas permeables y semipermeables, alcanzando un espesor máximo próximo a 100 m.

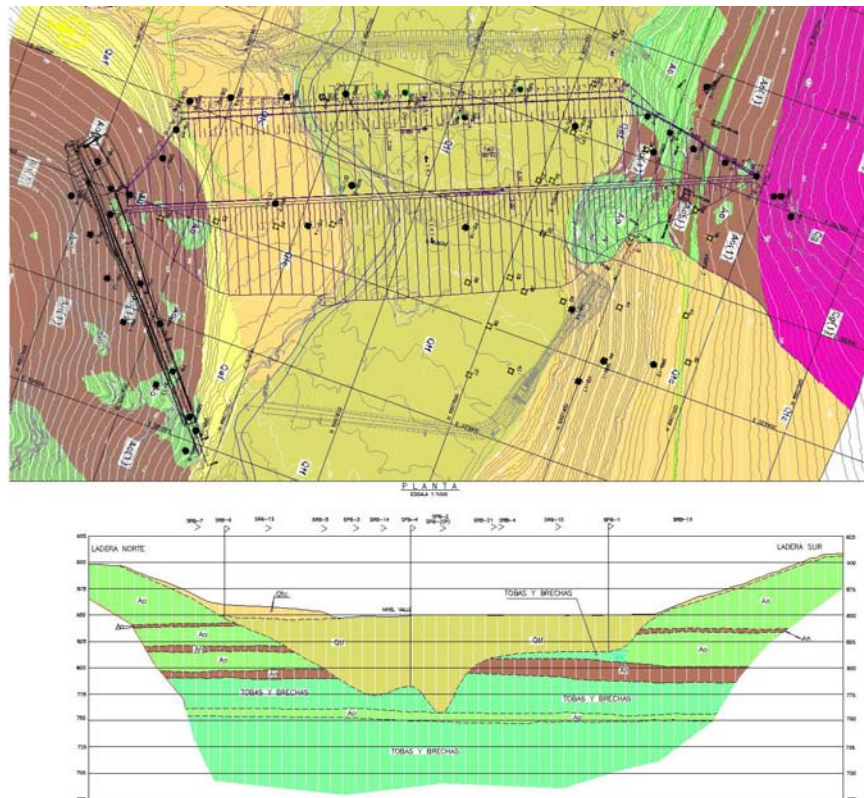


Fig. 4 Geología de la cerrada. Planta y perfil por el eje de presa

### 3.- DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA DE PRESA

#### 3.1.- CUERPO DE PRESA

La presa es de tipología CFRD, estando formado el cuerpo de la misma por bolos y gravas arenosas permeables compactadas con pantalla impermeable de hormigón aguas arriba, con una altura sobre cimientos de 56 m y una longitud de coronación de 591 m. La coronación tiene un ancho de 6 m a la cota 902,70, presentando la presa unos taludes con pendientes 1,5(H):1(V) el de aguas arriba y 1,6(H):1(V) el de aguas abajo.



En las laderas la presa apoya sobre la roca andesita previa excavación de la cobertura de suelos, por lo que las secciones de presa presentan el diseño clásico CFRD con plinto en losa hormigonado sobre roca.

Sin embargo, en el amplio valle fluvial, donde los materiales aluviales permeables alcanzan grandes espesores, próximos a 100 m, se ha adoptado una solución similar a la de otras presas construidas en Chile sobre emplazamientos similares (Santa Juana, Puclaro) cimentando presa y plinto sobre la superficie del propio aluvial. La sección tipo en esta zona (en 415,90 m de longitud) es la más característica de la presa, mostrándose en la Figura 5.

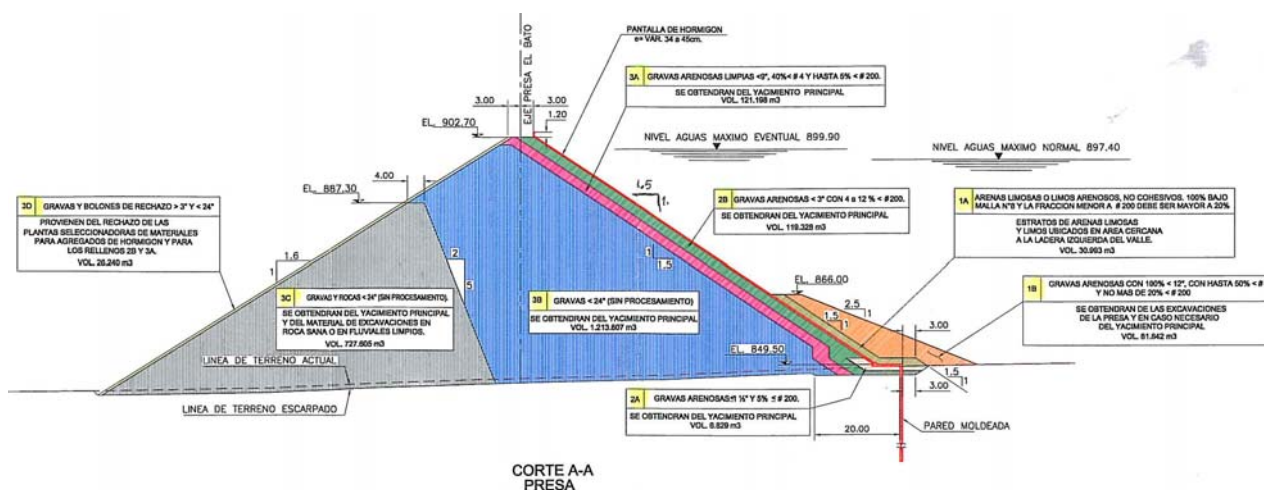


Fig.5 Sección tipo de presa

Los rellenos del cuerpo de presa están formados por bolos y gravas arenosas compactadas, mayoritariamente sin procesar, procedentes del propio aluvial del río Illapel y extraídos en zonas próximas a la presa, así como de excavaciones efectuadas en roca sana para construir las obras de fábrica, túnel y caminos.

### 3.2.- PANTALLA IMPERMEABLE DE HORMIGÓN

La pantalla impermeable de hormigón sobre el talud aguas arriba de la presa tiene un espesor variable entre 34 y 45 cm, siguiendo la ley  $t = 0,34 + 0,00207 H$ . El hormigón es del tipo H25, con  $1\ 1/2''$  de tamaño máximo de árido y 4 a 6% de aire ocluido. La armadura se dispone centrada en la sección, con una cuantía geométrica de 0,34% en dirección horizontal y 0,44% en dirección vertical, reforzándose junto al plinto, en el arranque de la pantalla.

La pantalla se divide en 40 módulos, típicamente de 15 m de ancho, mediante 26 juntas verticales centrales típicas y 13 juntas verticales de tracción, 9 en la margen derecha y 4 en la margen izquierda (Figura 6). Dichas juntas se impermeabilizan mediante sello de cobre según se puede en la Figura 7.

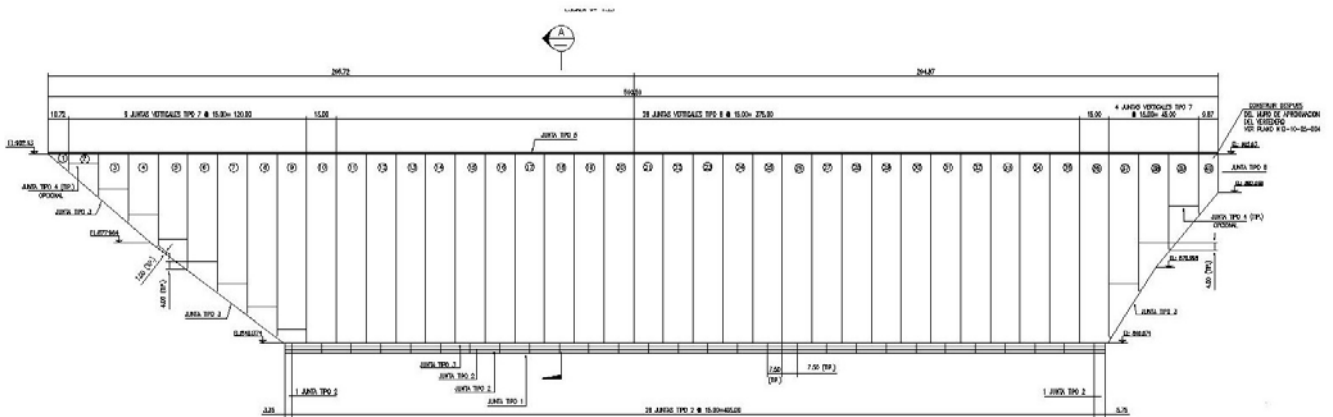


Fig.6 Vista normal de la pantalla de hormigón

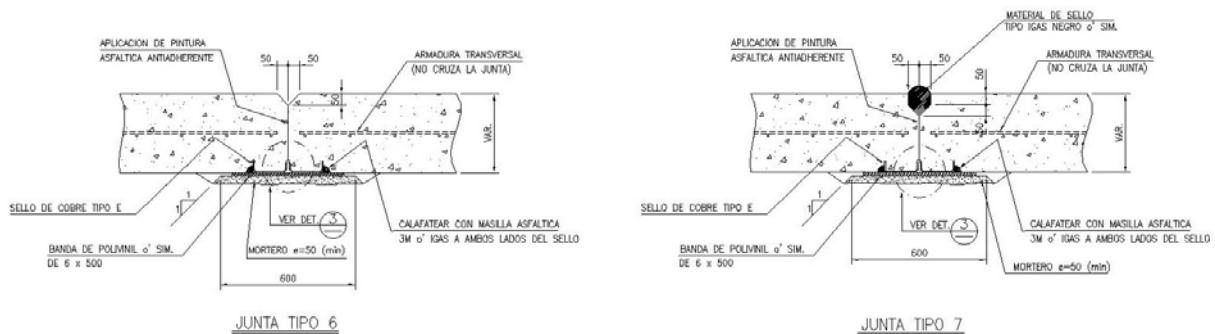


Fig. 7 Detalles de juntas verticales en pantalla

#### 4.- TRATAMIENTOS DEL TERRENO

Las características geológicas y geotécnicas del sitio de la presa, y más concretamente la presencia de un potente aluvial permeable en el fondo del valle, determinan algunos aspectos significativos del proyecto, en particular los relativos al tratamiento del terreno y a los dispositivos de enlace terreno-presa, tanto desde el punto de vista mecánico como hidráulico.

Desde el punto de vista mecánico se plantean dos cuestiones singulares: la necesidad de limitar a valores aceptables los movimientos en la junta pantalla-plinto, teniendo en cuenta la deformabilidad del aluvial y su potencia, y el comportamiento del enlace del plinto en roca con el plinto sobre aluvial, mientras que desde el punto de vista hidráulico el principal aspecto se refiere al tratamiento de impermeabilización del potente aluvial permeable del valle. Ambos aspectos se tratan brevemente en los apartados siguientes.

## 4.1.- PLINTO

Como elemento de unión cimiento-presa se ha proyectado el plinto con dos tipologías diferentes, correspondientes a las laderas (sobre roca) y al valle fluvial (sobre aluvial permeable).

En las laderas, donde el espesor de suelos es reducido, se eliminan estos y se cimenta sobre la andesita, presentando el plinto la disposición típica de plinto en roca clásico en las presas CFRD, con varios tramos según la carga de agua, espesores de 40 y 45 cm y longitudes de 3 y 4 m (Figura 8).

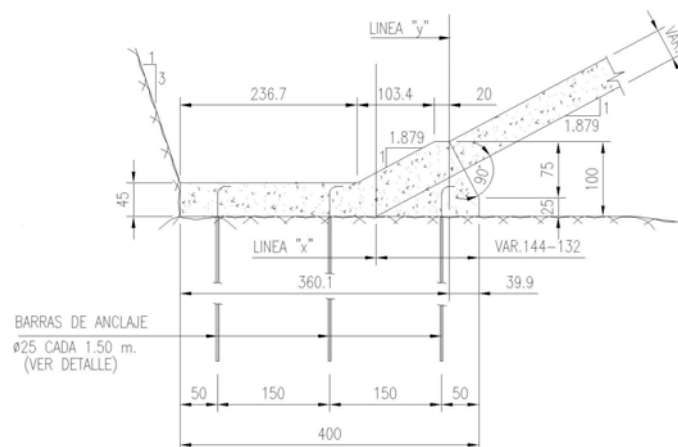


Fig.8 Plinto en roca (laderas)

En el fondo del valle, en una longitud de 415,90 m, presa y plinto se cimentan horizontalmente a la cota 849 sobre el aluvial permeable del río. En este tramo, el plinto se ha proyectado como en otras presas construidas en Chile en emplazamientos similares que han mostrado un buen comportamiento (Santa Juana y Puclaro) formado por varias losas articuladas entre sí de manera que las diferencias de movimientos entre el pie de pantalla y el plinto se reparten entre las diversas juntas, de forma que el movimiento relativo en la junta perimetral con la pantalla impermeable pueda ser absorbido por el elemento impermeabilizador en ella dispuesto.

Con este criterio, el plinto está formado por una losa de hormigón armado de 50 cm de espesor dividida en tres tramos articulados. El tramo de aguas abajo recibe el pie de la pantalla impermeable, donde se dispone la junta perimetral pantalla-plinto, y el extremo del tramo de aguas arriba enlaza con el dispositivo de impermeabilización del cimiento, materializado mediante una pantalla continua de hormigón (pared moldeada) excavada en el aluvial.

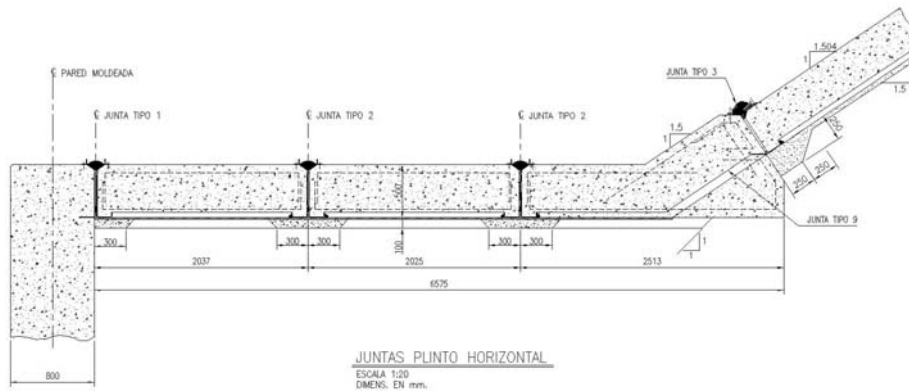


Fig. 9 Plinto articulado sobre aluvial del valle

Un esquema de funcionamiento de este tipo de plinto se puede ver en la Figura 10, en la que se muestra el estado de deformaciones durante el llenado del embalse en el plinto articulado de la Presa de Santa Juana en Chile, construida también por Ferrovial-Agromán (tomada de “CFRD constructed on deep alluvium” G. Noguera, L. Pinilla y L. San Martín).

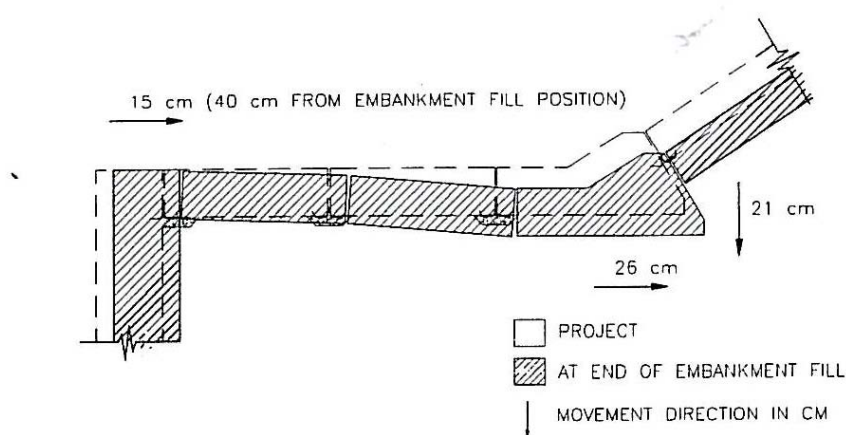


Fig. 10 Deformaciones en el plinto de la presa de Santa Juana durante el llenado del embalse

La junta perimetral pantalla-plinto dispone de doble cierre estanco, con un sello inferior de cobre y uno superior formado por una cubierta de hypalon rellena de material impermeable tipo igas negro (Figura 11).



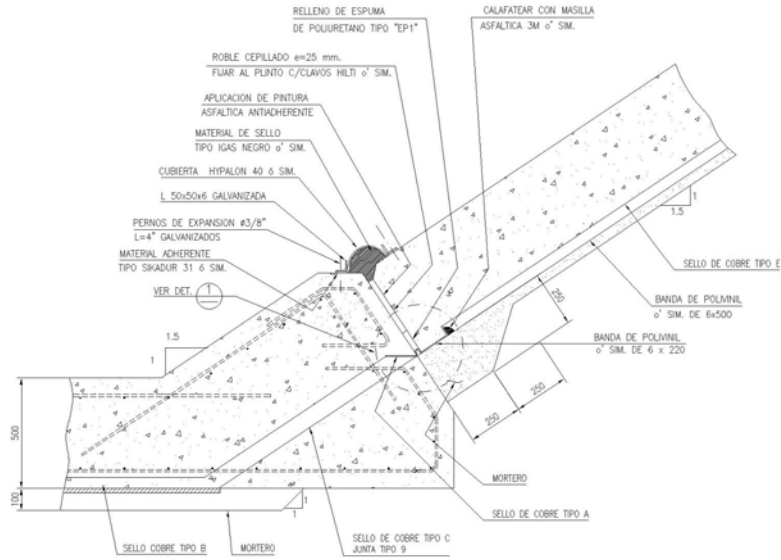


Fig. 11 Junta perimetral pantalla-plinto

El paso de plinto en roca (laderas) a plinto en aluvial (valle) se realiza mediante un tramo especial articulado a ambos tipos de plinto y anclado a la roca, cuya disposición general puede verse en la Figura 12 siguiente.

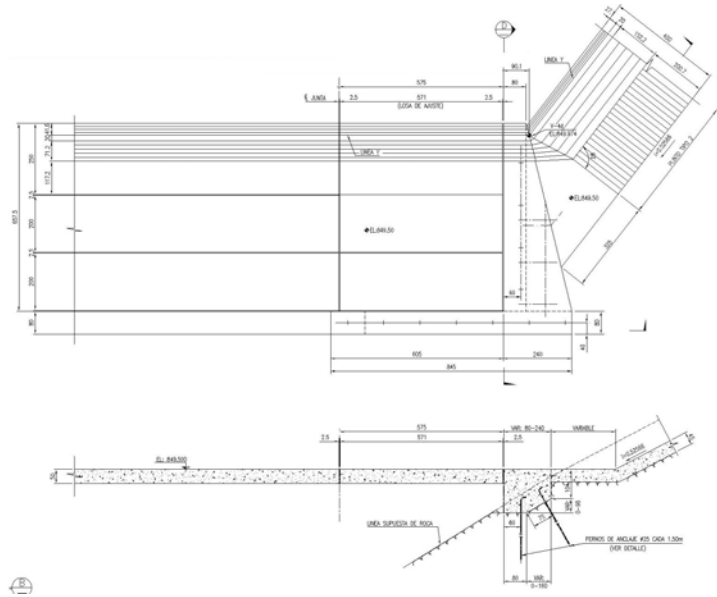


Fig. 12 Elemento de unión plinto en roca-plinto en aluvial

## 4.2.- TRATAMIENTO DEL ALUVIAL

En el valle la presa se apoya sobre el aluvial del río, constituido por gravas arenosas compactas, previa eliminación de las arenas superficiales sueltas y suelos compresibles que se presentan en un reducido espesor, procediendo a continuación a colocar los rellenos de presa, previa compactación del fondo de excavación mediante 10 pasadas de compactador vibratorio.

Preparado el cimientó, se impermeabiliza el aluvial, en una longitud de 404,35 m, mediante una pantalla continua de hormigón, de 0,80 m de espesor, desde la cota 849,50 de coronación de plinto articulado hasta la roca en las zonas más próximas a las laderas, con al menos 50 cm de penetración, y hasta 40 m de profundidad (cota 809,50) en el centro del valle. En las figuras siguientes se incluye un perfil longitudinal de la pantalla (pared moldeada) y la disposición final de rellenos en la zona de enlace de plinto, pie de pantalla y pared moldeada.

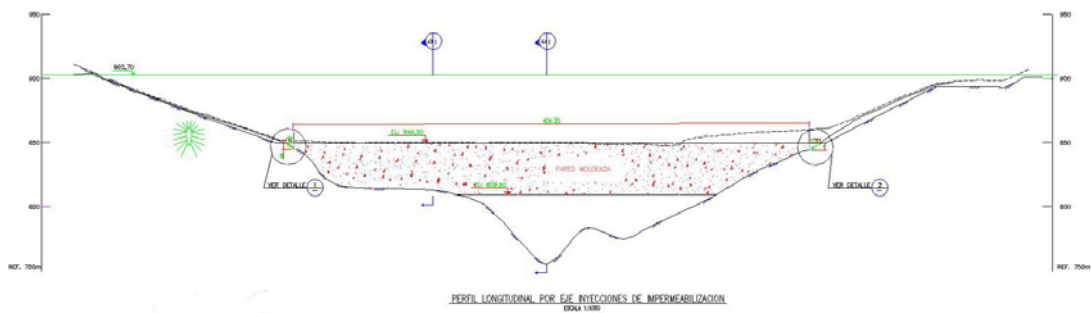


Fig. 13 Perfil por el eje de la pantalla de impermeabilización del aluvial

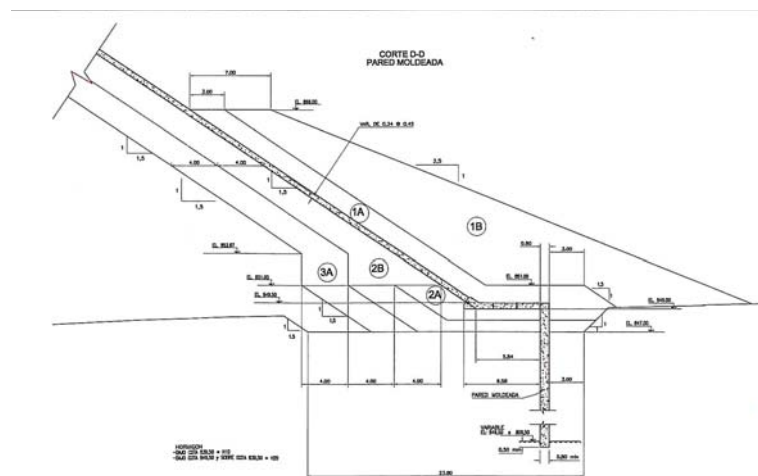


Fig. 14 Disposición de rellenos en pie de presa sobre aluvial permeable

En los 10 m superiores la pantalla continua se forma con hormigón armado H20, mientras que bajo dicha cota el hormigón es tipo H10 en masa, dejando incorporado en el hormigón una serie de tubos que permiten perforar posteriormente e inyectar la roca en el pie de pared moldeada. Las juntas entre bataches de pantalla se impermeabilizan mediante la colocación de elementos prefabricados de hormigón con sección transversal en H.



Fig. 15 Ejecución de la pantalla de impermeabilización del aluvial



Fig. 16 Elemento de impermeabilización de juntas entre bataches de pantalla

#### 4.3.- TRATAMIENTOS DE INYECCIONES

Pueden distinguirse dos tipos de inyecciones: de consolidación bajo el plinto en roca y de impermeabilización. Las inyecciones de consolidación se realizan en tres series de taladros, resultando finalmente con un espaciamiento de 3 m en planta y 10 m de profundidad. Las inyecciones de impermeabilización se realizan: en el valle a través de la pantalla continua hasta alcanzar la cota del pie de esta (cota 809,50) y en las laderas con profundidad variable con la carga de agua, con longitudes de perforación entre 40 m y 10 m y distancia entre taladros de 12 m en las perforaciones primarias, las secundarias entre las primarias, resultando un espaciamiento de 6 m, y las terciarias entre las primarias y las secundarias, resultando finalmente 3 m entre ejes de perforaciones.

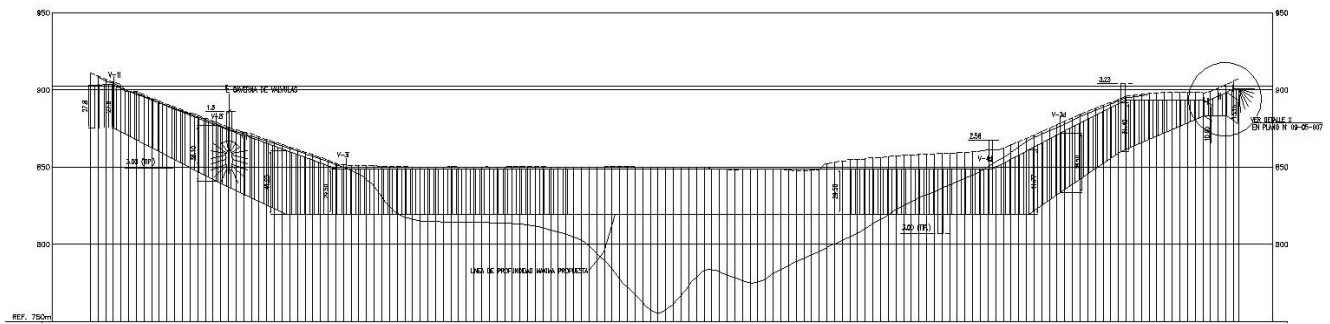


Fig. 17 Perfil longitudinal por eje de cortina de inyecciones de impermeabilización

La lechada de inyección prevista es única de cemento-agua con superplastificante, con una relación agua-cemento de 0,85 a 0,95 / 1 en peso, con unas presiones máximas de inyección variable según la profundidad del tramo a inyectar, variable desde 1 Kg/cm<sup>2</sup> en el contacto hormigón-roca hasta 20 Kg/cm<sup>2</sup> bajo 15 m de profundidad.

## REFERENCIAS

1. Rodríguez-Roa F., Álvarez L., Vidal L. (1993). Presas de materiales sueltos con pantalla de hormigón cimentadas sobre suelos de origen fluvial. Simposio sobre Geotecnia de la presas de materiales sueltos.
2. Noguera G., Pinilla L., San Martín L (2000). CFRD Constructed on deep alluvium. J. Barry Cooke Volume Concrete Face Rockfill Dams
3. Marulanda A., L. de S. Pinto N. (2000). Recent experience on design, construction, and performance of CFRD Dams. J. Barry Cooke Volume Concrete Face Rockfill Dams