



**HITO  
TECNOLÓGICO**

■ Un hito de la ingeniería se levanta en el norte del país. Es el Embalse Santa Juana, de 117,30 m de altura, que en octubre pasado fue galardonado por ser el primer proyecto en el mundo de presa CFRD fundado sobre rellenos aluviales de gran espesor, dado que los embalses precedentes se habían fundado en rocas en todo su contorno. A 15 años de su construcción, Revista BIT repasa los secretos tecnológicos que lo hicieron famoso. Es la innovación aguas arriba. Una presa de tecnología.

## **EMBALSE SANTA JUANA**

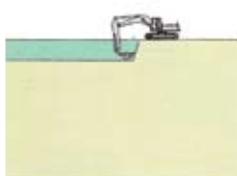
# **PRESA DE TECNOLOGÍA**

PAULA CHAPPLE C.  
PERIODISTA REVISTA BIT

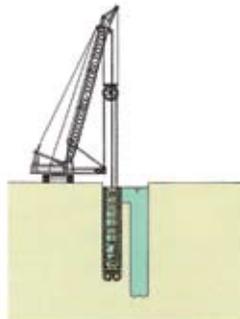


LIBRO EMBALSE SANTA JUANA

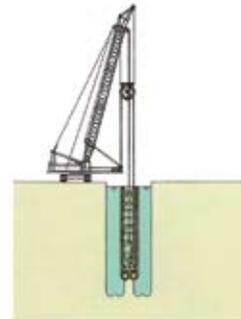
## SECUENCIA CONSTRUCTIVA PARED MOLDEADA



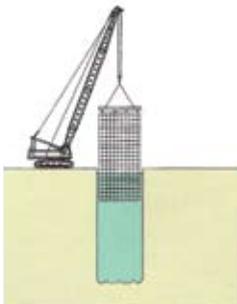
1. Se realiza una preexcavación.



2. Excavación del primer tramo compuesto por una zanja principal. Alternadamente se excava una segunda franja.



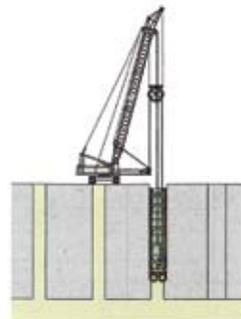
3. Excavación de la tercera zanja que completa el primer tramo de pared moldeada.



4. Instalación de la armadura.



5. Hormigonado del primer tramo de pared moldeada.



6. Excavación del segundo tramo. Se repite el procedimiento anterior.

### FICHA TÉCNICA

#### EMBALSE SANTA JUANA

**UBICACIÓN:** 20 km al Oriente de Vallenar, Huasco, III Región

**MANDANTE:** MOP, Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)

**PROYECTISTA:** MN Ingenieros Ltda.

**CONSTRUCTORA:** Agroman Ltda., España

**TIEMPO DE EJECUCIÓN:** 1991-1995

**CAPACIDAD:** 160 millones de m<sup>3</sup> para el riego de 12 mil hectáreas

**COSTO APROXIMADO:** US\$ 35 millones

#### CARACTERÍSTICAS DE LA PRESA

**TIPO:** Gravas compactadas con pantalla de hormigón (CFGD)

**COTA CORONACIÓN:** 653,40 MSNN

**LONGITUD CORONACIÓN:** 390 m

**ALTURA MURO:** 117,30 m

**TALUD AGUAS ABAJO:** 1,6/1

**TALUD AGUAS ARRIBA:** 1,5/1

**VOLUMEN MURO:** 2.700.000 m<sup>3</sup>

**SUPERFICIE PANTALLA:** 39 mil m<sup>2</sup>

**E**N LA HOYA del río Huasco (III Región), 20 km aguas arriba de Vallenar, está el embalse Santa Juana, obra de regulación interanual que acumula 160 millones de m<sup>3</sup>, y pionera en su tipo, por ser una presa de gravas arenosas compactadas, con pantalla de hormigón en la cara aguas arriba (CFGD o Concrete Face Gravel Fill Dam), una variante de las CFRD (Concrete Face Rock Fill Dam), de amplio uso en todo el mundo. Siendo premiada en octubre pasado por la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD), como el hito más importante del siglo en represas CFRD o de enrocados.

Una presa de enrocados, cuando es aplicable, tiene un costo 40 a 50% menos que el de una presa de otro tipo. Sin embargo, en los ríos chilenos no se podían usar porque, internacionalmente, sólo se habían construido en sitios en que la roca estaba a la vista en todo el perímetro de la pared aguas arriba de la presa. Los ríos chilenos

tienen en el fondo del valle una cubierta de suelos de espesores importantes, en el caso de Santa Juana unos 40 m de espesor. “En forma precursora para esta presa se ideó combinarla con una pantalla de hormigón vertical, denominada Pared Moldeada. Es la primera construida en Chile con tales características”, recuerda Jorge Egan, quien fuera el inspector fiscal de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) del Ministerio de Obras Públicas (MOP), mandante del proyecto.

“Este tipo de presas son alternativas a las zonificadas, en que la impermeabilización se compone de un núcleo de suelos arcillosos ubicado en el centro”, detalla Luis Pinilla, Consultor de MN Ingenieros, firma proyectista del embalse galardonada por ello en China. Antes de Santa Juana, la mayor parte de los embalses nacionales se construían como presas zonificadas (es el caso de Paloma, Colbún, Machicura, Melado, Convento Viejo, entre otras). Después de Santa Juana, este innovador diseño, CFRD con pared moldeada, se extendió a grandes obras de riego como Puclaro y El Bato. Pero hay más. La so-



GENTILEZA MIN INGENIEROS

## CONSTRUCCIÓN PANTALLA DE HORMIGÓN EN PRESA CFRD\*

1. Hecha la compactación, se coloca un emplantillado sobre el terreno.
2. Colocación de la armadura.
3. Hormigonado de las losas y faena de moldaje deslizante de abajo hacia arriba.
4. Vista panorámica de la pantalla de hormigón.

\*Estas fotos son genéricas del proceso constructivo y no corresponden al Embalse Santa Juana.

lución ha sido aplicada en todo el mundo, en China, por ejemplo, ya se han construido más de 15 presas. Entremos a la innovación aguas arriba, a esta presa de tecnología.

### PARED MOLDEADA

Empezamos de abajo hacia arriba. En las presas chilenas, desde Convento Viejo (MOP) y Colbún en los años 80 se ha aplicado en nuestras presas las "paredes moldeadas". Veamos de qué se trata. En la zona donde se construyeron estas presas existe roca en ambas riberas del río, mientras que en el fondo del valle en espesores de 40 a 80 m, se encuentran gravas. El primer desafío en Santa Juana fue la construcción de la pared moldeada. Para represar, había que evitar la fuga del agua y para lograr interceptarla, ante la imposibilidad de excavar bajo la napa hasta profundidades tan importantes, se tenía que,

como alternativa, impermeabilizar in situ los suelos existentes, con tratamientos (inyecciones) sumamente lentos y caros. Esto llevó a los mandantes a aplicar la técnica francesa llamada "Pared Moldeada".

Consiste en un muro vertical de hormigón de reducido espesor (0,8 a 1,2 m) que forma una cortina impermeable hasta la roca y que se ejecuta a todo lo ancho del valle. Con la aplicación de lodo bentonítico, que permite excavaciones verticales de pequeño espesor que alcanzan grandes profundidades", señala Pinilla. Tras estudios, se comprobó que la excavación de la pared se haría hasta los 40 m de profundidad (punto donde se encontró roca, gravas y arena compactadas) y a 80 cm de espesor, a todo lo largo de la presa.

Entremos a la secuencia constructiva de la pared moldeada. Había que ejecutar una zanja angosta y profunda que se excavaba a

todo lo largo de la fundación de la presa en tramos o paneles limitados a unos 7 m de longitud (compuesto cada uno a su vez de tres subpaneles o pases de excavación de aproximadamente 2,4 m que se excavan alternadamente y que se rellenan luego con hormigón (ver esquema Secuencia Constructiva Pared Moldeada). "La zanja se ejecuta con maquinaria que posee en sus extremos elementos especiales de corte que excavan el terreno a toda la altura de la pared (40 m en este proyecto o hasta alcanzar el fondo de roca). Para mantener la estabilidad de la excavación y evitar derrumbes se aplicaba lodo bentonítico, a medida que se excavaba hasta la profundidad requerida. Como el lodo tiene propiedades especiales y una presión mayor que la del agua del fondo del río, éste impide que el agua ingrese, conservan-

do así las paredes excavadas sin que éstas se derrumben”, comenta Egan.

Terminada la excavación del primer panel de zanja, y una vez se llegaba a la profundidad requerida, se hacía un reconocimiento geométrico de manera que la excavación fuese verticalmente perfecta, dentro de las tolerancias. “Mientras se excava la segunda zanja, y previa colocación de armadura, en la primera se hacía llegar, por intermedio de tuberías, hormigón, que a su vez desplazaba el lodo hacia la superficie. El mismo procedimiento se repetía con las zanjas posteriores”, cuenta Egan. Una vez que el hormigón, por la presión, salía hacia la superficie, a su vez desplazaba el lodo, éste último era bombeado a pozos recuperadores donde se purificaba, para luego ser reinyectado en la siguiente zanja.

El hormigón saliente venía contaminado con lodo bentonítico. Ese hormigón superficial era removido. “De esta forma, la pared moldeada funciona como un diafragma que confina e impermeabiliza todo el sistema”, apunta Pinilla.

## SEGURIDAD ANTE SISMOS

Este tipo de presa es una de las más seguras que existen, ya que las filtraciones en la pantalla de hormigón, no producen el colapso de la estructura. “El terremoto de Wenchuan, de 8,0° Richter, ocurrido el 12 de mayo de 2008 en China, tuvo su epicentro a 17 km de la CFRD Zipingpu, de 156 m de alto. Si bien se midieron aceleraciones horizontales en el coronamiento sobre 2 g, sólo se presentaron daños menores en la pantalla y en el muro del coronamiento”, detalla Luis Pinilla.

En Santa Juana, la pantalla de hormigón se construyó en fajas de unos 15 metros de ancho y toda la altura de la presa, entre cada faja, se colocaron juntas de dilatación de cobre, las que funcionan con un fuelle de manera que sean elásticas. Si fallan estas juntas o la pantalla de hormigón, una segunda barrera de protección la proporcionan los rellenos mismos que limitan las filtraciones por la secuencia de materiales que van desde granulometrías finas hasta las más gruesas en forma gradual. Como dato adicional, en los diseños de presas se evalúa el riesgo sísmico y se verifica su estabilidad ante los sismos máximos creíbles.

### CUERPO DE LA PRESA

Subimos aguas arriba. El segundo desafío. El cuerpo del embalse está constituido por un prisma de gravas compactadas, cuya cara aguas arriba se recubre con un pavimento grueso de hormigón armado “concrete face”. El prisma se construye en base a distintos rellenos extraídos del mismo río, pero de diversa granulometría. “Se estableció una

zona de yacimiento aguas arriba del área que se iba a represar, de donde se sacaron materiales. Casi la totalidad se coloca sin requerir tratamiento pero con una enérgica compactación”, señala Egan. Según el espesor de las capas al compactar se separaron en denominaciones estratégicas desde la 2A a la 3C, es decir, desde los más finos hasta los más gruesos, de manera que el primero fuese el filtro

BIT 72 MAYO 2010 ■ 83

## 42 años diseñando e inspeccionando grandes obras de ingeniería asísmica

### PIONEROS EN PRESAS CFRD

- EMBALSES
- CANALES Y OBRAS DE CONDUCCIÓN
- MANEJO DE RELAVES
- TÚNELES Y EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS

### PRINCIPALES EMBALSES

- Los Leones (División Andina Codelco)
- El Melado (ENDESA Chile)
- Ovejería (División Andina Codelco)
- Colihues (División el Teniente Codelco)
- Carén (División el Teniente Codelco)
- Santa Juana (Dirección Obras Hidráulicas MOP)
- Corrales (Dirección Obras Hidráulicas MOP)
- Puclaro (Dirección Obras Hidráulicas MOP)
- El Bato (Dirección Obras Hidráulicas MOP)

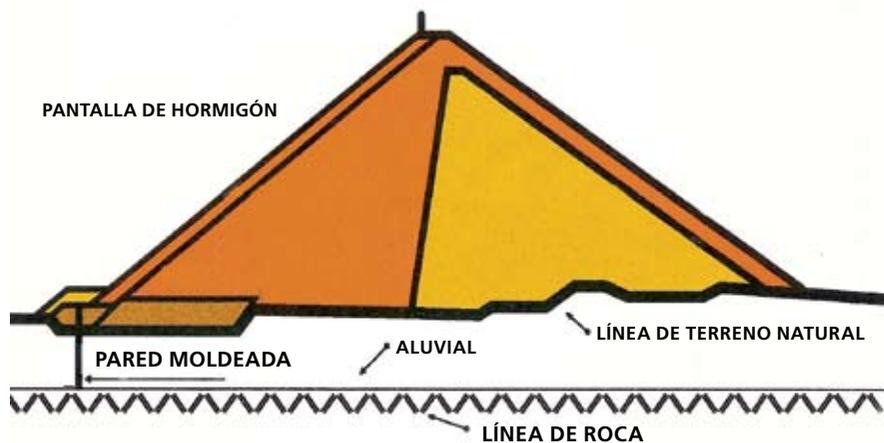
**MN** M. NENADOVICH  
INGENIEROS



MIGUEL NENADOVICH Y CÍA. LTDA.

Teléfono 4965900 - Fax 4965911 - Marchant Pereira 650, Providencia

SECCIÓN TIPO DE UNA PRESA CFRD



LIBRO EMBALSE SANTA JUANA

del que venía a continuación, frente a un eventual fenómeno de filtración. Primero una capa de poco espesor de fluvial cuyo tamaño máximo fue de 1,5 pulgadas, luego un espesor pequeño de fluvial de 6 pulgadas. “El grueso de la presa lo constituyen materiales fluviales con bloques de hasta 60 cm, que son bolones más grandes”, señala Egan. Cada relleno se compactaba con pasadas de rodillos vibratorios hasta lograr que los fluviales alcanzaran densidades elevadas.

Previa a la colocación definitiva del relleno, se hicieron terraplenes de prueba. De acuerdo a la especificación de los materiales, y en base a estudios de frecuencia de vibración, entre otros, se sacaron muestras de estos terraplenes para confirmar, tanto la permeabilidad requerida, como densidad y resistencia, entre otras variables. Tras los ensayos, se dispusieron por capas, desde las más finas a las más gruesas, formando el cuerpo del embalse, desde el pie de la presa

hacia arriba. Una faena más. A medida que se compacta, hacia ambos lados de la presa, las orillas van quedando irregulares, ya que en los bordes las maquinarias no logran realizar la compactación adecuada próxima al talud. “En Santa Juana el cuerpo de la presa se construyó con sobre ancho, de manera que una vez compactado, el material sobrante se cortó con equipos especiales”, expresa Egan.

Llegamos a la cara de concreto. La losa de hormigón o pantalla que cubre el talud, se construye por el lado soportante del embalse de agua. La secuencia es la siguiente. Primero. En la cara del talud compactado se coloca un emplantillado pobre. En Santa Juana se regó con asfalto líquido para eliminar el polvo en suspensión. Hecho esto, se colocaban las armaduras en base a mallas de acero y luego se hormigonaba la pantalla, que tenía 30 cm de espesor. “Fue una faena compleja. Desde arriba de la presa hacia

abajo, camiones hormigoneros descargaban el hormigón a través de canoas. De abajo hacia arriba desplazaba un moldaje deslizante mediante huinches.

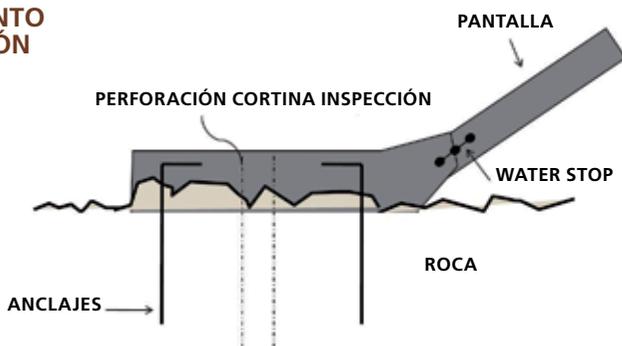
PLINTO

Llegamos al tercer reto, que se ejecuta en conjunto o previo a los rellenos de presa. Por el perímetro de aguas arriba de la presa, entre la roca y la pantalla, se coloca un hormigón llamado Plinto, dispuesto a todo lo largo bordeando la losa. “El plinto es el elemento de hormigón que se une a la roca y que permite alojar un elemento impermeable (Water Stop o lámina de estanqueidad) que sella la unión de la pantalla de hormigón con la roca. De este modo, la unión de la pantalla a la roca está articulada”, señala Pinilla. El plinto además sirve como cubierta para respaldar trabajos de inyección a presión de lechada de cemento en la roca para impermeabilizarla. Estas inyecciones sellan las grietas de la roca con lo que evitan que el agua filtre por debajo. Las inyecciones ocupan perforaciones profundas, de hasta 40 m, por las cuales se inyecta lechada que llega hasta la roca, a fin de otorgarle mayor resistencia y, ante la eventualidad de que existan huecos, éstos se rellenan”, prosigue Luis Pinilla. Finalmente, entre la losa y el plinto, se colocó una lámina de estanqueidad o Water Stop, que es una junta elástica para el movimiento.

A 15 años de su construcción, el embalse Santa Juana no sólo riega más de 12 mil hectáreas de terrenos agrícolas, hoy en día alimenta una mini central hidroeléctrica que aprovecha los caudales descargados para el riego y generación eléctrica. Un hito de ingeniería. Una presa de tecnología. ■

[www.doh.gob.cl](http://www.doh.gob.cl)

DETALLE DEL PLINTO Y DE LA INYECCIÓN DE LA LECHADA EN LA ROCA



GENTILEZA MÍN INGENIEROS

ARTÍCULOS RELACIONADOS

- “Embalse en Valle del Elqui. Las claves de Puclaro”. Revista BiT N° 38, Septiembre de 2004, pág. 42.
- “Innovación en Embalse de Riego. Presa inflexible de goma”. Revista BiT N° 34, Enero de 2004, pág. 53.

EN SÍNTESIS

En 1995 la Dirección de Obras Hidráulicas del MOP inauguró la Presa Santa Juana en el río Huasco. De 117,4 m de alto, se construyó sobre los fluviales del fondo del valle y se combinó la pantalla de la presa con una pared moldeada. Esta combinación francesa se aplicó por primera vez en presas de este tipo. Una gran innovación.

# Geotecnia y Obras civiles

Seguridad  
Innovación  
Creatividad  
Experiencia

**P**  
PERSONAL  
CALIFICADO

**M**  
MAQUINARIA  
ESPECIALIZADA

**ISO 9001**  
GESTIÓN DE  
CALIDAD

**OHSAS 18001**  
GESTIÓN DE  
SR&O



**SOLETANCHE BACHY**  
TECNOLOGIA SUSTENTABLE

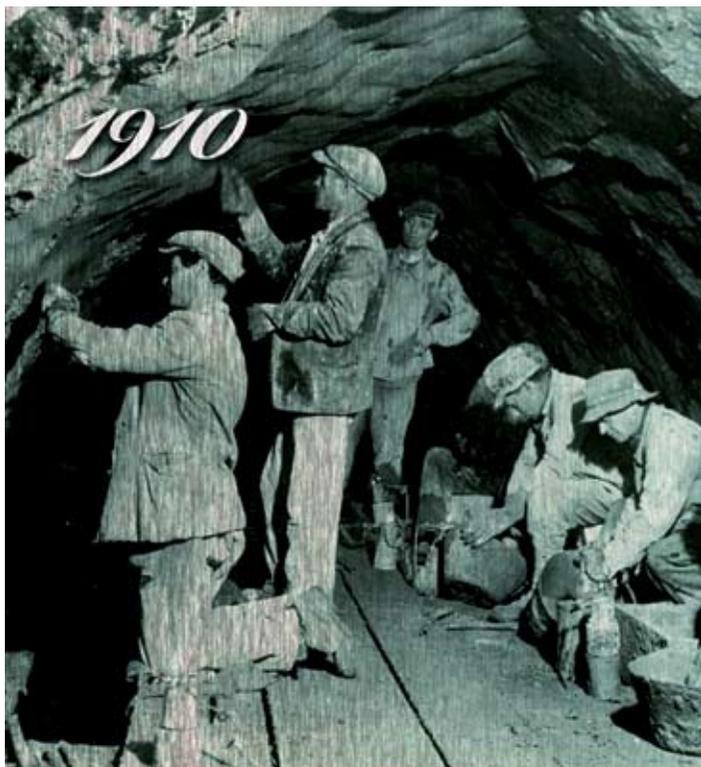
Contamos con una completa línea de procesos y metodologías geotécnicas especializadas con procedimientos y tecnologías de punta, desarrollada por una red mundial de ejecutivos e ingenieros de más de 60 nacionalidades, cuyas obras se encuentran alrededor de todo el mundo.



UNA EMPRESA DE  **SOLETANCHE FREYSSINET**

Url.: [www.soletanche-bachy.cl](http://www.soletanche-bachy.cl)

Dir.: Av. Cerrillos 980, Cerrillos, Chile | Casilla 122 | Tel.: (56 2) 589 9000 | Fax: (56 2) 5849001 | E-mail: [sbc@soletanche-bachy.cl](mailto:sbc@soletanche-bachy.cl)



[www.sika.cl](http://www.sika.cl)

**Innovation & Consistency** since 1910



# Encuentros CDT 2010



- ▶ **AGOSTO**  
4º ENCUENTRO MANDANTE CONTRATISTA
- ▶ **08 DE SEPTIEMBRE**  
6º ENCUENTRO PROFESIONALES DE OBRA
- ▶ **19 DE OCTUBRE**  
6º ENCUENTRO INTERNACIONAL CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE
- ▶ **17 DE NOVIEMBRE**  
3er ENCUENTRO INTERNACIONAL DE INNOVACIÓN

Más información en [www.cdt.cl](http://www.cdt.cl) y [eventos@cdt.cl](mailto:eventos@cdt.cl)

## **Venta y alquiler de sistemas de moldajes**

**Moldajes Alsina: un equipo humano en constante innovación  
comprometido con el servicio a sus clientes**



OBRA DESARENADOR AZUFRE  
HIDROELECTRICA LA HIGUERA



### **Moldajes Alsina Ltda.**

Un empresa dedicada a ofrecer soluciones en moldajes y un equipo humano trabajando por el servicio a los clientes y sus obras:

- Moldajes verticales y horizontales para hormigón.
- Sistemas de seguridad en obra.

Alsina trabaja bajo la certificación ISO 9001:2000, el Sistema de Gestión de la Calidad certifica el diseño, la fabricación, la comercialización (venta y alquiler) y el mantenimiento de equipos para encofrar.



### **Moldajes Alsina Ltda.**

Nueva Taqueral, 369  
Panamericana Norte Km 22  
Lampa, Santiago de Chile  
Tel: 2 745 2003  
Fax: 2 745 3023  
E-mail: [chile@alsina.com](mailto:chile@alsina.com)  
Web: [www.alsina.com](http://www.alsina.com)