

## CENTRAL HIDROELÉCTRICA LA MINA

# ARRIBA EN LA CORDILLERA

E

**N OPERACIÓN** comercial desde julio, La Mina es una central hidroeléctrica de pasada ubicada en la comuna de San Clemente, a 110 kilómetros al oriente de la ciudad de Talca, en la región del Maule.

Con una inversión estimada de US\$ 130 millones, considera una generación media anual de 190 GWh que inyecta al Sistema Interconectado Central (SIC) en la subestación Loma Alta. Tiene una capacidad para abastecer cerca de 48 mil personas, lo que representa el 5% del Maule.



— La aplicación de hormigones bajo agua fue parte de los retos técnicos en plena montaña. A ello, se sumaron complejos desafíos durante las excavaciones, por la cercanía del río Maule.

PAULA CHAPPLE C.  
PERIODISTA REVISTA BIT

## HITO TECNOLÓGICO



### CONSTRUCCIÓN DE BOCATOMÁS

Los trabajos se iniciaron en esta zona, formada por la obra de toma -donde nace el canal de aducción-, una barrera fija más una barrera móvil.



### COMPUERTAS RADIALES

Uno de los mayores desafíos fue montar estos elementos de acero, pertenecientes a la barrera móvil, en el lecho del río. Junto con ello, su traslado requirió de rigurosos controles. Se fabricaron en Santiago y se trasladaron a obra armadas.



Grandes retos técnicos marcaron su construcción. Hormigones bajo agua, importantes filtraciones que extremaron los cuidados durante las excavaciones, son solo parte de los desafíos de este desarrollo energético a los pies de la cordillera.

Junto con eso, La Mina es la primera central en Chile que midió su huella de carbono durante el periodo de construcción. El proyecto está acreditado, además, para generar bonos de carbono, consolidando a Colbún como una de las principales emisoras de este tipo de bonos provenientes de la generación hidroeléctrica.

### OBRAS DE ADUCCIÓN

Los trabajos se iniciaron en la zona de la bocatoma, formada por la obra de toma -donde nace el canal de aducción-, una barrera fija más una barrera móvil. La

obra de toma está compuesta por una reja y dos compuertas que regulan el caudal hacia el canal de aducción. La barrera móvil está formada por cuatro compuertas radiales, cuya función es la de mantener la cota de operación y regular las crecidas. Entre ambas barreras se ubica una compuerta ecológica, que permite la entrega del caudal ecológico durante todo el año, para preservar la fauna íctica.

La barrera fija, en tanto, permite el cierre del cauce del río Maule por su costado sur y está compuesta de un núcleo de hormigón y rellenos granulares, tanto aguas arriba como aguas abajo.

El procedimiento habitual en este tipo de proyectos consiste en desviar el cauce del río mediante la construcción de ataguías, para secar la zona y construir en forma segura. "Esperábamos y sabíamos que íbamos a encontrar agua al momen-

### FICHA TÉCNICA

CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE PASADA LA MINA

**Ubicación:**

Comuna de San Clemente. Región del Maule, Chile

**Mandante:**

Colbún S.A.

**Potencia Nominal:**

34 MW con dos turbinas Francis verticales

**Energía Media Anual:**

191 GWh

**Caudal de Diseño:**

60 m<sup>3</sup>/s

**Altura de caída bruta:**

64 metros

**Inversión:**

US\$ 130,1 millones

**Entrada en operación:**

Julio 2018

**Empresas Constructoras:**

Züblin Strabag, Power Machines, Inamar, BBosch



**KELLER**  
keller.com

**KELLER**

Micropilotes en gálibo reducido / Refuerzo estructural (CHILE)



**El primer tramo del canal de aducción está formado de un canal trapecial de 800 metros de longitud, construido en base a un hormigón bombeable.**

to de ejecutar las fundaciones de la bocatoma, pero el volumen final de agua superó nuestras expectativas. En el caso de la construcción de la bocatoma, las mayores dificultades estuvieron asociadas con la fundación de la barrera móvil, pues al estar esta estructura en pleno lecho del río, las filtraciones hacia las excavaciones eran difíciles de controlar, optando finalmente por el uso de hormigón bajo agua”, comenta Tomás Barrueto, gerente de Proyecto por parte de Colbún, mandante del proyecto.

Para ejecutar las fundaciones se utilizaron excavadoras de 30 y 40 toneladas, bulldozer y una gran cantidad de bombas de agotamiento. “Logramos manejar la napa, utilizando el método de hormigón sumergible o método tremie para las cotas más bajas. Con esto conseguimos salir a la superficie, retomando la construcción con el método convencional”, destaca Nelson Arcos, jefe de Ingeniería de Züblin Strabag, el mayor contratista a cargo del proyecto.

Cabe destacar que el hormigón bajo agua no se compacta ni se vibra con métodos habituales, porque no puede mezclarse con agua. “Es un hormigón más denso que está diseñado para pilotaje bajo agua. Para su utilización, fue necesario ocupar esta técnica, pues al llegar la época de deshielo, ya no era posible continuar agotando debido al aumento del caudal en el río Maule. El sistema de agotamiento estaba compuesto por 10 bombas



**El segundo tramo del canal de aducción está formado de un canal rectangular cerrado de 1,2 km de longitud. Se construyó con módulos deslizantes de 10 metros de largo, cuya sección interior era de 4,5 x 5,5 metros.**

sumergibles de 200 litros por segundo cada una”, relata Nelson Arcos de Züblin Strabag.

El primer tramo del canal de aducción está formado de un canal trapecial de 800 m de longitud, construido en base a un hormigón bombeable. “Las distancias de bombeo llegaron hasta los 40 metros. Este hormigón no podía ser tan fluido debido a que se aplicó sobre una pendiente con una fuerte inclinación”, comenta Nelson Arcos.

El segundo tramo del canal de aducción está formado de un canal rectangular cerrado de 1,2 km de longitud. “El canal rectangular se construyó con módulos deslizantes de 10 metros de largo, cuya sección interior era de 4,5 x 5,5 metros. Fue todo un desafío implementar varios módulos para cumplir con los plazos establecidos en el programa de construcción, especialmente en las zonas donde el canal se desarrollaba en curva”, señala el ejecutivo de Colbún.

Los principales desafíos constructivos de la aducción fueron la compactación de la alfombra drenante del canal trapecial previo a verter el hormigón sobre una superficie cuya inclinación era 3:2. Junto con ello, “el canal rectangular debió cruzar bajo una quebrada, lo que implicó desviar las aguas de la quebrada en dos oportunidades para poder trabajar en seco. Esta obra tuvo una exigente planificación, pues en ambos costados de la quebrada se continuaba con la construcción del canal”, señala Tomás Barrueto.

Panorámica de los primeros trabajos en la Casa de Máquinas. Un gran desafío fue fundar esta obra muy próxima al río Maule, a una profundidad cercana a los 25 m respecto al nivel del río, situación que obligó a mantener un sistema de bombeo 24x7 durante todo el período de construcción, que fue alrededor de 18 meses.



El circuito hidráulico concluye en la Casa de Máquinas donde se alojan las turbinas, dos unidades Francis de 17 MW cada una.



El montaje de la tubería de 4,8 metros de diámetro también implicó una acabada planificación, debido a que la grúa móvil de 120 toneladas que tuvo a cargo el montaje, debía posicionarse en puntos estratégicos y para ello era necesario construir caminos y plataformas especiales para su posicionamiento, todo esto en una zona de gran pendiente.

### CIRCUITO HIDRÁULICO

Al término de la aducción, el agua llega a una cámara de carga de 20 metros de altura. Esta estructura permite la continuidad entre la aducción y el penstock o tubería en presión. En caso de un rechazo de carga de la central, el caudal regresa hasta la cámara de carga y luego se deriva hasta el vertedero lateral de la cámara y de ahí, a un canal de seguridad que entrega las aguas al río en forma tranquila.

El agua continúa por la tubería en presión hasta la Casa de Máquinas a través de dos válvulas mariposas, las que tienen por finalidad cortar el flujo, en caso de una emergencia. “El montaje de la tubería de 4,8 metros de diámetro también implicó una acabada planificación, debido a que la grúa móvil de 120 toneladas que tuvo a cargo el montaje, debía posicionarse en puntos estratégicos y para ello era necesario construir caminos y plataformas especiales para su posicionamiento, todo esto en una zona de gran pendiente”, comenta Tomás Barrueto.

El circuito hidráulico concluye en la Casa de Máquinas donde se alojan las turbinas, dos unidades Francis de 17 MW cada una. “Otro desafío fue fundar esta obra muy próxima al río Maule, a una

profundidad cercana a los 25 m respecto al nivel del río, situación que obligó a mantener un sistema de bombeo 24x7 durante todo el período de construcción que fue alrededor de 18 meses”, expresa Tomás Barrueto. El sistema de bombeo era redundante y debía estar preparado para agotar 800 litros/segundo.

“Gran parte de la Casa de Máquinas está en contacto directo con el agua. El hormigón por capilaridad en algún momento termina siendo permeable con el agua, por lo que el proyecto consideró emplear un hormigón hidrófugo y, para lograrlo, la dosificación incluyó un aditivo que permitió la impermeabilización por cristalización para los muros perimetrales, de manera de asegurar que al interior no existirán filtraciones de agua”, con excelentes resultados, complementa Nelson Arcos.

Desde el punto de vista geológico, lo más relevante fue la aparición de una gran cantidad de bolones y mega bloques superiores a 2 metros cúbicos, los cuales fue necesario perforar y tronar para poder retirarlos de la excavación, principalmente en Casa de Máquinas.

Cabe destacar que la arquitectura de la Casa de Máquinas de la Central La Mina está pensada en minimizar el impacto visual, haciéndose parte del entorno, e incorporando colores y materiales presentes en la zona, como símil de madera y roca. Su diseño simula una cabaña de alta montaña, con una iluminación exterior discreta y un trabajo de paisajismo que busca cubrir o revestir los hormigones de taludes propios de la construcción.

En mayo de 2017 se sincronizaron las dos unidades de la central al Sistema Eléctrico Nacional. En julio pasado comenzó su operación comercial, siendo telecomandada desde el Complejo Colbún. Una gran obra hidráulica al pie de la montaña del Maule. ■

# Melón Hormigones S.A.

## Desarrollo de Proyectos Especiales



2015-2016, destaca particularmente por su ubicación. Y es que con temperaturas extremas en invierno y verano, obligó a utilizar hormigones de diferentes tipos, abocados a la problemática y exigencias del proyecto .

Por ejemplo, como buenas prácticas, en la casa de máquinas, se empleó un aditivo impermeabilizante que contiene sustancias químicas activas que se incorporan a la masa de hormigón y que responden a la humedad, generando una reacción catalítica que engendra una formación de cristal no soluble a través de los poros, lo que evita cualquier filtración. De esta manera, el hormigón queda sellado contra la penetración de agua o líquidos.

**E**L ÁREA DE PROYECTOS ESPECIALES (PP.EE.) de Melón Hormigones S.A., data de 1988 a partir de la ejecución de su primer proyecto en Minera Escondida. Desde esa fecha hasta hoy, ha estado presente en los proyectos más emblemáticos del país.

Así, en el rubro de la minería, ha participado en proyectos como El Abra, Radomiro Tomic, Collahuasi, Los Pelambres, Andina, El Teniente, Los Bronces, Pascua Lama y el tranque El Mauro de Minera Los Pelambres.

En la construcción de centrales hidroeléctricas, ha sido protagonista en la construcción de las centrales Rucue, Ralco (desagüe de fondo), Quilleco, Palmucho y La Mina. En otros proyectos de energías participó en Talinay 1, Torre Solar, Los Cururos, Cabo Leone, Punta Sierra, Bahía Sarco, San Gabriel (Torres de Prefabricados).

Por último, Melón Hormigones también ha tenido una destacada participación en el desarrollo de proyectos urbanos como el Aeropuerto Pudahuel y la autopista Costanera Norte.

### Compromiso con los Proyectos

Desde el inicio de cada proyecto, el Área de PP.EE. de Melón Hormigones se aboca a brindar soluciones constructivas para resolver los problemas que se van presentando en terreno, con reemplazos de materiales como suelos, cementos, auto compactantes,



fluidos , resistencias tempranas, entre otras. Ir donde los necesita el cliente: al cerro, a la montaña o al mar, es su principal premisa.

### Caso ejemplar: Central Hidroeléctrica La Mina

Con una capacidad de generación de 37 MW, dos turbinas, con altos estándares en las EE.TT., esta obra realizada en el periodo de

En la obra también se realizó reemplazo de suelos en espacios confinados de difícil acceso, particularmente con el material estabilizado y sobre todo con los equipos para de compactación. La solución brindada por PP.EE. fue colocar un producto capaz de llegar a todos los rincones del pantalón que -al día siguiente- entregó el soporte necesario para trabajar sobre él y brindar, así, continuidad al proyecto.

Junto con lo anterior, en Central La Mina también se aplicaron hormigones de alta resistencia para barrera móvil. Un hormigón de 900Kf/cm<sup>2</sup> que debía cumplir con requerimientos especiales debido al gran flujo de agua al abrir las compuertas (penetración e impermeabilización, según la NCh2262).

Las condiciones climáticas ya mencionadas, obligaron la aplicación de hormigones ciclo hielo-deshielo; así, se trabajó con soluciones sobre la base de aire incorporado, para evitar la expansión de las burbujas de agua por el congelamiento. De esa manera, se controlaron los elementos expuestos a este fenómeno, brindando temperatura al agua y los áridos.



# LA CUERDA DE LA VIDA

REALIZAR TRABAJOS EN ANDAMIO  
SIN CUERDA DE VIDA.



## PROGRAMA REPORTANDO INCIDENTES

Porque tienes la capacidad de ver los riesgos donde nadie más los ve.  
Cuando detectes uno, infórmalo en un reporte de incidentes.

**CONSTRUIR SEGURIDAD  
ES OBRA DE TODOS**

**0** CERO  
ACCIDENTES  
FATALES

**MUTUAL**  
de seguridad  
somos CChC®

**CChC**  
CAMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCION

# Vivir el progreso.



## La alternativa segura: Nuevas grúas todoterreno de Liebherr

LRT 1090-2.1: 47 m pluma hidromecánica

LRT 1100-2.1: 50 m pluma embulonada

- Segura y fuerte**
- Altas capacidades de carga y máxima seguridad gracias a VarioBase®
  - Tablas de cargas homogéneas a nivel global conforme a ANSI, EN y otras normas
  - Escaleras de acceso seguras y cubierta plana

- Cómoda**
- Manejo sencillo y fácil
  - Cabina del gruista fácil de usar, extra ancha y abatible
  - Venta y servicio técnico directamente del fabricante



Liebherr Chile SpA  
Avda. Nueva Tajamar N° 555, Piso 18  
Edificio World Trade Center, Torre Costanera  
Las Condes, CP 7550099, Santiago  
Phone: +56 (2) 2580 0711  
E-Mail: [info.gruasliebherr@liebherr.com](mailto:info.gruasliebherr@liebherr.com)  
[www.facebook.com/LiebherrConstruction](http://www.facebook.com/LiebherrConstruction)  
[www.liebherr.com](http://www.liebherr.com)

# LIEBHERR