

- Montaña adentro se prepara la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo (PHAM). Los detalles los entrega en exclusiva Revista BiT, adelantando cómo será la construcción de túneles en base a cuatro TBM y dos casas de máquinas insertas en cavernas subterráneas que minimizarán el impacto ambiental del complejo.

PAULA CHAPPLE C.  
PERIODISTA REVISTA BIT

## PROYECTO HIDROELÉCTRICO ALTO MAIPO

# BAJANDO DE LA CORDILLERA





**NOTA IMPORTANTE:**  
Las imágenes del artículo corresponden a la Central Alfalfal I. Una obra que es muy similar al futuro proyecto Alto Maipo. Alfalfal I fue visitada por Revista BIT gracias a la gestión del mandante de ambos proyectos, AES Gener.

### FICHA TECNICA

#### PROYECTO HIDROELÉCTRICO ALTO MAIPO (PHAM)

COMPUESTO DE DOS CENTRALES DE PASADA: ALFALFAL II Y LAS LAJAS

**CLIENTE:** AES Gener

**UBICACIÓN:** A 70 km de Santiago, sector del Cajón del Maipo, RM

**INVERSIÓN ESTIMADA:** US\$ 900 millones (Proyecto Total)

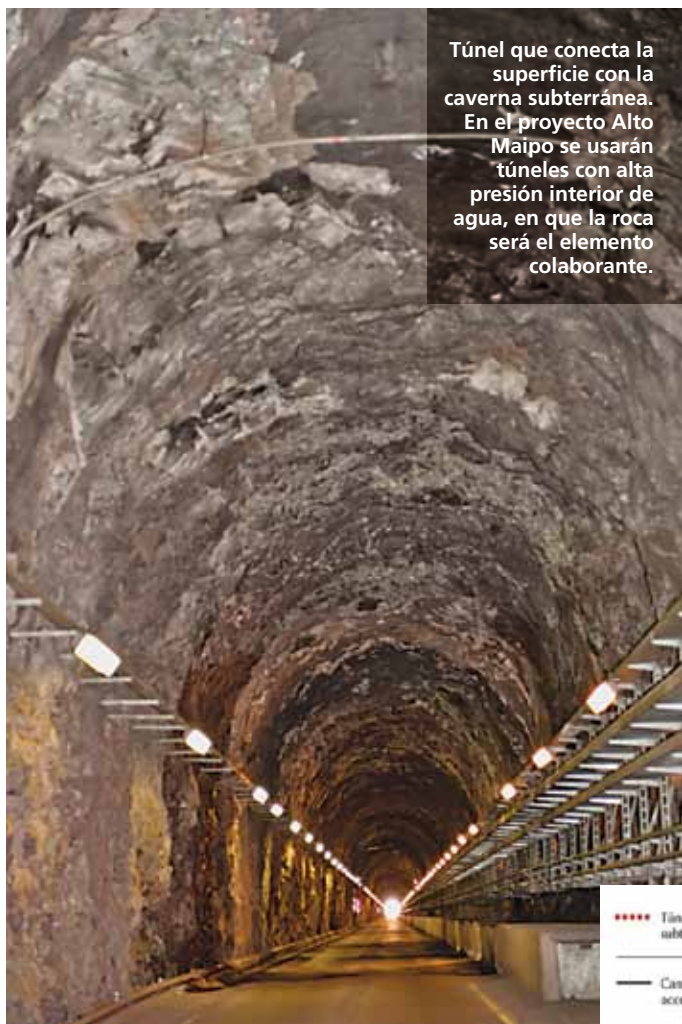
**POTENCIA TOTAL:** 531 MW (Alfalfal II: 264 MW / Las Lajas: 267 MW)

**ENERGÍA ANUAL ESPERADA:** 2.300 GWh/año. Equivalente a cerca del 50% de la energía que actualmente consumen los hogares de la RM y al 35% del consumo actual de los hogares de todo el SIC.

**E**N LO PROFUNDO de la Cordillera de los Andes, en el sector del Cajón del Maipo, en base a una red de 67 kilómetros de túneles subterráneos excavados en roca, se prepara la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo (PHAM), perteneciente al Grupo AES Gener. El complejo hidroeléctrico contará con dos centrales de pasada instaladas en serie. La primera central, Alfalfal II y a continuación la central Las Lajas, sumando entre ambas una potencia instalada de 531 MW (Alfalfal II: 264 MW / Las Lajas: 267 MW).

“Alto Maipo es un proyecto hidroeléctrico constituido por dos centrales de pasada en serie hidráulica, lo que significa que funciona una a continuación de la otra, y donde se utilizan los recursos que hoy se ocupan en la central Alfalfal, que se construyó hace unos 20 años, con características similares a las que tendrá el PHAM”, señala a Revista BIT Carlos Mathiesen, gerente del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo.





Túnel que conecta la superficie con la caverna subterránea. En el proyecto Alto Maipo se usarán túneles con alta presión interior de agua, en que la roca será el elemento colaborante.



Deterioro de las aspas de la turbina debido al paso del agua durante una temporada completa.

Mapa que muestra el emplazamiento del Proyecto Alto Maipo y de las centrales actuales en la zona del Cajón del Maipo.



GENTILEZA AES GENER

Más del 90% de las instalaciones de esta obra se ubicarán bajo tierra. Un total de 67 kilómetros de túneles, con un promedio de profundidad de 800 metros y dos casas de máquinas (una por cada central) dispuestas en cavernas subterráneas, representarán uno de los desafíos constructivos más relevantes del proyecto. En esta línea, si de particularidades se trata, lo más relevante del proyecto será que “las obras de caída, en vez de ser con tubería exterior, serán subterráneas, a través de un pique de caída que en Alfalfal II tendrá 45° de inclinación con alrededor de 1.000 metros de longitud; mientras que en Las Lajas el pique será vertical, del orden de los 200 metros de altura”, adelanta Mathiesen. El proyecto aprovechará las aguas del Río Volcán, El Yeso y El Colorado, donde la mayor cantidad de obras se concentrarán en el Colorado.

Al cierre de esta edición Alto Maipo se encontraba en fase de negociación de los contratos principales. En la actualidad se ejecuta la red de caminos, 17 kilómetros de vías nuevas y 40 kilómetros de mejoramiento de las ya existentes. Revista BIT se internó en la Cordillera de Los Andes, y recorrió las instalaciones de la actual central Alfalfal I, obra con características similares a las que tendrá Alto Maipo, que podría empezar a construirse a fines de este año. Energía del agua, bajando de la montaña.

### TÚNELES

El sistema constructivo en los túneles no es nuevo para AES Gener, “pero sí para Chile, salvo escasas experiencias. Usamos túneles con alta presión interior de agua, en que la roca es el elemento colaborante, y en base al sostenimiento que se requiere por temas es-

tructurales, pero no por temas hidráulicos. Esto se explica por tratarse de túneles de pequeño diámetro, en que al omitir el revestimiento hidráulico de hormigón, la sección útil del túnel es mayor, disminuyen las pérdidas de carga y también los costos de inversión”, indica Mathiesen. Así, en Alto Maipo no habrá un revestimiento de hormigón especial en los túneles, salvo que se requiera por condiciones estructurales. Por ejemplo, en Alfalfal I, la presión máxima en el sistema de túneles es del orden de los 350 metros de columna de agua, en Alfalfal II estamos llegando a poco más de 500 metros, y en las Lajas a los 300 metros de columna de agua”, prosigue el ejecutivo.

La lógica es que el sistema de túneles trate de seguir las condiciones de la geografía externa, “lo que permite que nuestros puntos de acceso para la construcción, sean mucho

## CENTRO DE CONTROL

DESDE EL CENTRO de Control se opera la central Alfalfal I y a futuro se manejará las centrales de Alto Maipo. Con un solo botón se pueden abrir y cerrar compuertas, de manera de hacer más eficiente el consumo de agua. Este sistema se diseñó para controlar la central a distancia, por ejemplo en el área de las bocatomas, se puede programar la operación de los desarenadores por tiempo o por peso de los sedimentos retenidos en ellos. Asimismo, también se puede operar todo el funcionamiento de la central manualmente. Otro dato de interés es que "las bocatomas más distantes de Alto Maipo, estarán a 70 km de Alfalfal I. Además, vamos a tener dos subestaciones, una a la salida de Las Lajas, bajo el concepto de una subestación encapsulada, es decir, dentro de un edificio, en tanto que Alfalfal II se conectará a la subestación de Alfalfal I", señala Carlos Mathiesen.



más cercanos a las vías normales de comunicación. Por ejemplo, si tuviéramos los sistemas de túneles convencionales, más horizontales, en la zona de caída cercana a ellos, tendríamos que subir desde el valle por caminos hasta llegar a ese punto. Al bajar los túneles y colocar presión interior, nuestros accesos quedan más bajos y la necesidad de caminos disminuye. Por lo tanto, el impacto ambiental asociado a la construcción de caminos también se reduce, y esa es una carac-

terística muy importante", destaca Carlos Mathiesen. Este sistema aprovecha las ventajas de la calidad de las rocas de la Cordillera de los Andes y permite optimizar el diseño de las obras de manera de impactar lo menos posible el entorno, además de hacerlas más eficientes desde el punto de vista económico. Este mismo concepto de diseño se utilizó en la central Alfalfal actual, hace ya unos 20 años.

El pique de caída será una de las obras in-

BIT 84 MAYO 2012 ■ 33

## Cambiamos nuestra imagen

Pero en membranas impermeabilizantes seguimos innovando y entregando la mejor calidad



Membranas Autoadhesivas



Membranas Líquidas poliuretano y acrílicas



Membranas EPDM



Membranas Asfálticas



Membranas TPO

**TEP**  
MATERIALES  
Grupo AsfalChile

Av. Pedro de Valdivia 2319, (56-2) 799 8700  
e-mail: asistenciatecnica@asfalchile.cl  
[www.asfalchile.cl](http://www.asfalchile.cl)





Cámara de entrada del agua procedente del túnel. En su interior posee compuertas que permiten el paso, mayor o menor, del caudal de agua, dependiendo de la presión con la que ésta viene.

Ventilador al interior de la caverna. Existe un circuito en que el aire siempre está entrando y saliendo, con presión interna en la caverna.



terasantes de observar, una vez que se materialice la construcción del proyecto. Tras la excavación, se colocará una tubería interna o blindaje de acero, relleno con hormigón por el exterior, que va solidario a la roca. Es decir, entre el tubo y la roca va dispuesto el hormigón. El diámetro de la tubería en Alfalfal II será de 2,6 metros y en Las Lajas de 3,5 metros.

Inmediatamente al lado del término de los piques de caída se dispone de otros piques, en cuya parte superior existe una zona de expansión o ensanche, "que permite disponer de un volumen y de una superficie libre que actúa como un amortiguador de las oscilaciones cuando hay variaciones de carga. En Alfalfal II este pique es similar al de caída, salvo que no contempla revestimiento de acero. En Las Lajas la zona de ensanche será de 10 metros en la parte alta. A diferencia de otras centrales, acá los caudales son relativamente pequeños", sostiene Mathiesen.

Serán poco más de 530 MW de potencia instalada, en que la altura de caída es de casi 1.200 metros en el Alfalfal II y en Las Lajas se aprovecha un desnivel del orden de los 500 metros. "En conjunto entre ambas centrales, estamos aprovechando 1.700 metros de desnivel. Y esa es la razón por la cual somos capaces de generar una potencia tan grande con pequeños caudales, ya que aprovecharemos la gran pendiente de la Cordillera de Los Andes. Por ejemplo, esa energía hoy en día se pierde en el calor y en la erosión en los propios cauces de los ríos", cuenta Carlos Mathiesen.

## **SIN EMBALSE**

**POR UN TEMA medioambiental, el proyecto no tendrá embalse, por lo que el efecto visual, considerando también la no existencia de tubería exterior, será prácticamente nulo, dicen en AES Gener. "Lo único que se verá como obras de construcción serán las bocatomas, que son cinco: cuatro en la zona de Alto Volcán, y una en el Yeso, aguas abajo del embalse, pero se trata de obras de pequeña magnitud, junto con algunos ductos que conectan a las bocatomas para luego introducirse en los túneles y cámaras de carga", sostiene Mathiesen.**

## SISTEMA DE TRANSMISIÓN Y CAMINOS

**LAS OBRAS PREVIAS** del proyecto hidroeléctrico Alto Maipo (PHAM) se iniciaron en septiembre de 2011 y están en plena marcha. Estas contemplan la habilitación de caminos, líneas eléctricas para faenas, sitios de acopio de marina, entre otras.

El PHAM aprovechará el sistema de transmisión existente y parte de los caminos. "Hoy tenemos que construir sólo 17 km de líneas de transmisión adicionales, para conectarnos al sistema y poder llegar a Santiago. La conexión es directa a los anillos de distribución de Chilectra, por lo tanto, no pasamos físicamente por el sistema troncal de transmisión, lo que tiene una ventaja considerable, porque en condiciones de emergencia, black out por ejemplo, podremos seguir abasteciendo directamente a Santiago", sostiene Mathiesen.

## MÁQUINAS TUNELERAS

Otro punto destacado del proyecto será la utilización de máquinas tuneladoras o TBM (Tunnel Boring Machine). "En principio vamos a tener cuatro máquinas trabajando en paralelo en distintos frentes. La novedad es que una de estas tuneladoras excava en 45°. Respecto a las dimensiones de éstas, serán del orden de los 3,50 metros para lo que son los piques, llegando hasta los 7 metros para

el túnel de mayor sección. Si bien la elección de las máquinas la ejecutan los contratistas, el mandante entrega algunas características de diseño, en especial la relativa a la potencia de las máquinas. "Una de nuestras exigencias es que sean lo suficientemente potentes como para ser capaces de partir en una condición de atrapamiento, es decir, si se enfrenta a una condición de geología mala y la roca se deforma, la máquina conta-

rá con una potencia tal que sea capaz de partir en esa condición y reiniciar la marcha", sostiene Mathiesen.

En general "hemos privilegiado las máquinas tuneladoras abiertas, lo cual es coherente con la metodología y el sistema de diseño, porque este tipo de TBM tienen mayor flexibilidad para colocar todo tipo de sostenimiento detrás del cabezal. Las de doble escudo, en general (como la utilizada en mina Los Bronces, ver Revista Bit N°77), presuponen, o han sido previstas, para túneles con roca mala en que la solución de sostenimiento en general es hormigón total de recubrimiento, y donde la máquina se va apoyando en las dovelas de hormigón prefabricado que se van poniendo detrás de la máquina. En cambio, las TBM abiertas están diseñadas para condiciones de roca de mejor calidad o con alguna mínima variación, con espacio suficiente para colocar todo tipo de sostenimiento entre el cabezal y el sistema de back up de la máquina", comenta el ejecutivo. Desde la

BIT 84 MAYO 2012 ■ 35

# ¿SOLDADURA FUERTE PARA REDES DE GAS DOMICILIARIO?

## Decreto 66 (Art. 45 Punto 45.2.6) - SEC

Desde hoy y para siempre, todas nuestras ventas de Soldadura Fuerte incorporarán un **CERTIFICADO DE ANALISIS DE COMPOSICION QUIMICA** hecho por Espectrometría de Emisión Óptica de la más alta precisión que acredita el pleno cumplimiento de las Normas Internacionales fundadas por la American Welding Society (AWS) de Estados Unidos y Deutsches Institut für Normung (DIN) de Alemania.

Evite Aleaciones de Composición Desconocida.

**ARGENTA**  
TECNOLOGIA EN SOLDADURA

Santa Corina 0198, La Cisterna, Santiago, Chile  
Tel. (56-2) 522 2222 - ventas@argenta.cl







En el Proyecto Alto Maipo se consideran dos subestaciones, una a la salida de Las Lajas, bajo el concepto de una subestación encapsulada, es decir, dentro de un edificio, en tanto que Alfalfal II se conectará a la subestación de Alfalfal I (en la foto).

máquina hasta donde termina el back up, son cerca de 200 metros de longitud. Los frentes dispuestos para estos gigantes serán: por el Yeso, avanzando hacia el Volcán; por el Colorado avanzando hacia el Yeso, en los piques de Alfalfal II y desde el Río Maipo avanzando hacia el Colorado.

## CASAS DE MÁQUINAS

El proyecto Alto Maipo considera dos Casas de Máquinas, una por cada central. Se trata de instalaciones dispuestas en cavernas subterráneas, siguiendo con los lineamientos de evitar construir obras por el exterior. Las dimensiones de las cavernas, se estima, serán entre los 12 a 15 metros de ancho; 40 a 50 metros de largo y cerca de 25 metros de altura. "Serán túneles grandes, con dimensiones cercanas a los del metro. Para construir las cavernas se utilizarán explosivos convencionales. Primero se ejecuta la sección de la bóveda y luego se comienza a excavar por banqueo hacia abajo", comenta Carlos Mathiesen.

Las dos cavernas están distantes del exterior, a las que se accede por túneles especialmente contruidos para llegar a ellas. En el

## ORGANIZACIONES SOCIALES

DESDE QUE EL PROYECTO fue presentado en 2007, algunas organizaciones sociales (esencialmente ONGs de carácter medioambiental) han manifestado su férrea oposición a esta iniciativa. Entre los principales argumentos, se esgrime se afectarán actividades turísticas que aprovechan el río Maipo, que se intensificará el cambio climático y la desertificación del valle central. Por su parte, la empresa argumenta que el proyecto no afectará el suministro de agua potable de Santiago, debido a que las aguas que utiliza para generación eléctrica son devueltas íntegramente al cauce del Río Maipo. Asimismo, AES Gener señala que el proyecto respetará todos y cada uno de los derechos de agua de terceros, y que los caudales ecológicos definidos en la RCA garantizan que no habrá efectos negativos en las actividades turísticas.

caso de Alfalfal II, cerca de 2.6 km y en Las Lajas unos 2,0 km. No obstante, "la particularidad de dichos túneles que conducen a las cavernas, es que se trata de túneles descendentes. Es decir, que se ingresa a ellos y después se empieza a bajar. Es una geometría y una disposición de obras bien particular, que también forma parte del proceso de optimización", prosigue el ejecutivo de AES Gener.

Las turbinas serán dos por cada central, tipo Pelton, de 6 inyectores en Las Lajas y 5 en Alfalfal II. Como obras de mantenimiento de las centrales, se considera el recambio, finalizada cada temporada, de los rodets y otros elementos de las turbinas. Y es que, a pesar de que el agua pasa por un tratamiento de desarenado, los residuos finos que se mantienen en ella, igualmente van erosionando el metal.

Por canaletas subterráneas alojadas a uno de los costados de los túneles, pasa la energía, procedente de los generadores acoplados a las turbinas y de los transformadores, hacia la subestación, mientras que por bandejas metálicas adosadas a la pared de los túneles viajan los servicios de control de comunicaciones e iluminación. Respecto a la ventilación, existe un circuito en donde el aire siempre está entrando y saliendo, con presión interna en la caverna.

Desde las alturas del Cajón del Maipo, su desarrollo -planificado durante décadas, por el gran potencial hídrico de la cuenca del Río Maipo- está a un paso de iniciar obras, tras haber conseguido su aprobación ambiental. La empresa eléctrica señala que los procesos de licitación para las obras principales van de

acuerdo al cronograma y deberían adjudicarse de aquí a junio. Se trata de dos contratos civiles, uno de equipamiento y uno para el nuevo sistema de transmisión. Energía bajando de la Cordillera. ■

### ARTÍCULOS RELACIONADOS

- "Tuneladora en Túnel Sur, Los Bronces. Gigante subterráneo". Revista BIT N° 77, Marzo 2011, pág. 28.
- "Central Hidroeléctrica La Confluencia. Montaña adentro". Revista BIT N° 70, Enero 2010, pág. 24.

### EN SÍNTESIS

→ La construcción de este megaproyecto hídrico se comenzará a finales de este año en el sector del Cajón del Maipo. Al cierre de esta edición, el proyecto se encontraba en fase de adjudicación del contrato con el consorcio constructor.

→ **El complejo contará con dos centrales de pasada instaladas en serie. La primera central, Alfalfal II y a continuación la central Las Lajas, sumando entre ambas una potencia instalada de 531 MW (Alfalfal II: 264 MW / Las Lajas: 267 MW).**

→ Ambas centrales aprovecharán en conjunto 1.700 metros de desnivel, razón por la que serán capaces de generar potencias de magnitud con pequeños caudales. Se aprovecha al máximo la pendiente de la Cordillera de Los Andes.

→ **La construcción de Alto Maipo destacará por el uso de cuatro máquinas tuneladoras y dos casas de máquinas dispuestas en cavernas. El 90% de las obras serán subterráneas, de manera de reducir el impacto ambiental en la zona.**



  
**TECNO PANEL**  
STRUCTURAL INSULATED PANEL



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

## LA MEJOR SOLUCIÓN PARA SUS PROYECTOS INMOBILIARIOS

“Trabajamos con las más grandes empresas constructoras e inmobiliarias del país, habiendo suministrado más de 10.000 viviendas con excelentes resultados”.

Tecnopanel ofrece soluciones que apuestan a ser comparativamente más eficientes y económicas que los sistemas tradicionales de construcción, disminuyendo los costos en mano de obra, materiales y tiempo, sin alterar la calidad, durabilidad y estética de la construcción, junto a una avanzada tecnología productiva, lo que nos permite ofrecer una amplia gama de productos, satisfaciendo los requerimientos específicos de cada proyecto.



**TECNOPANEL SIP** LA MEJOR TECNOLOGÍA  
CONSTRUCTIVA PARA SUS PROYECTOS

RAPIDEZ, RESISTENCIA, VERSATILIDAD, AISLACIÓN TÉRMICA



PRODUCTO  
NACIONAL

  
**TECNO TRUSS**

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

  
**TECNO FRAME**

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

**CONTÁCTENOS AL**  
**745 5940**  
[www.tecnopanel.cl](http://www.tecnopanel.cl)

WWW.TECNOPANEL.CL