

■ Desde el punto de vista de la ingeniería, y de acuerdo a Colbún, la central cuenta con la caverna de máquinas más grande que se ha construido en los proyectos hidroeléctricos en Chile. ■ Además, posee la bocatoma de mayor volumen en el país y tiene la mayor cantidad de compuertas de evacuación en número y dimensiones.

ALFREDO SAAVEDRA L.
PERIODISTA REVISTA BIT

CENTRAL HIDROELÉCTRICA ANGOSTURA

EL ÚLTIMO GIGANTE





FICHA TÉCNICA

CENTRAL HIDROELÉCTRICA ANGOSTURA

UBICACIÓN: Comunas de Santa Bárbara y Quilaco, en la Región del Biobío.

MANDANTE: Colbún S.A.

CONSTRUCTORA: Consorcio Impregilo-Fe Grande.

AÑO CONSTRUCCIÓN: 2010-2014.

FOTOS: GENTILEZZAS COLBÚN S.A.

TRAS CUATRO AÑOS de construcción, la central hidroeléctrica Angostura comenzó su operación comercial en abril del año pasado. Ubicada en las comunas de Santa Bárbara y Quilaco, en la VIII región del Bío Bío, el proyecto se ha convertido en un aporte de generación relevante para el Sistema de Interconexión Central (sistema que abarca desde Taltal a Chiloé y que concentra el 92% de la población), cubriendo cerca del 3,3% de la demanda de dicho sistema durante el pasado mes de junio.

Angostura aprovecha los recursos hídricos de los ríos Bío Bío y Huequecura mediante la construcción de un embalse de regulación mínima, lo que permite una variación no mayor a un metro en el nivel de las aguas, minimizando así su impacto ambiental y posibilitando el desarrollo turístico en su entorno.

Las faenas de construcción se iniciaron en febrero de 2010 y durante los primeros dos años, se trabajó en la reposición de caminos, túneles y minería, mientras que para el tercero se llevó a cabo la construcción de la presa, pretil y la edificación de la caverna de máquinas, para luego dar curso a los

montajes de compuertas, turbinas y puertas de puesta en servicio.

La central tiene tres turbinas Francis Vertical, dos de 135 MW y una de 46 MW, para un total de 316 MW, lo que permite una generación media anual de 1.542 Gigavatio hora (GWh). Además, su configuración le permite tener la flexibilidad suficiente para operar tanto en épocas de mayor caudal, como ocurre en invierno, o de menor caudal, como sucede en verano.

Angostura consta de cuatro partes principales: presa principal y evacuador de crecidas, pretil sur, obra de toma y túneles de aducción y caverna de máquinas.

PRESA PRINCIPAL

Es un muro perpendicular al eje del río Bío Bío, construido con una base de hormigón compactado rodillado (HCR) y sobre este posee un evacuador de crecidas construido en hormigón armado con 6 vanos de compuertas, que permite confinar el embalse con la capacidad de evacuar 10.200 m³/s convirtiéndolo, según Colbún, en el vertedero de mayor capacidad en el país. La presa posee una altura media de 50 metros, variando desde los 23 m en ambos costados, has-



Utilizado para desviar el río y construir la presa sobre el lecho seco, el túnel de desvío tiene una longitud de 300 m y un diámetro de 15 metros.



La presa tiene 60 m de altura y 130 m de longitud. Su cuerpo está constituido por 300.000 m³ de hormigón compactado con rodillo (HCR), siendo ejecutado entre febrero y septiembre del 2012.

ta 63 m en el sector central. Tiene una longitud de 160 m y un ancho de 10 m a la cota 320 metros sobre el nivel del mar (msnm). De acuerdo a Leonardo Díaz, gerente de proyecto de la Central Angostura de Colbún S.A., cada vano tiene un ancho de 13,2 m que aloja una compuerta radial y una compuerta de emergencia de 17 m de altura; esta última utilizada para el mantenimiento de la compuerta radial. “Para las maniobras de estas compuertas de emergencia, así como para las del desagüe de fondo, se dispuso de una grúa portal en el coronamiento de la presa”, explica.

Dentro de los principales desafíos enfrentados para la ejecución de esta etapa, estaba el reto de compatibilizar el riesgo hidrológico de enfrentar crecidas que amenazarán la construcción de las obras, impactando en los plazos y costos. “Para iniciar la construcción de la presa fue necesario hacer un túnel de desvío de unos 300 m de longitud y 15 m de diámetro. Esto fue una obra temporal excavada en roca y revestida en hormigón armado que permitió desviar las aguas del río para un caudal de 2.000 m³/s, y de esta forma construir dos ataguías para secar el tramo de lecho comprendido entre estas para comenzar la fundación de la presa sobre el manto rocoso”, detalla Díaz.

El embalse tiene una superficie de 641 hectáreas con un volumen aproximado de 100 millones de m³ y las obras que lo confinan son la Presa y el Pretil Sur. “Estas obras poseen un diseño que permite que las solicitaciones en el hormigón sean admisibles y confiables”, cuenta el experto.

La presa y su evacuador de crecidas, son una robusta estructura con un volumen de 284.670 m³ en hormigones. Su diseño consideró tanto el sismo de operación, que corresponde al que se puede esperar durante la vida útil de la presa, como el sismo extremo, que corresponde a un sismo con período de retorno de 1 en 5.000 años. Ambas obras están diseñadas para resistir crecidas con período de retorno de 1 en 10.000 años.

A su vez, el montaje hidromecánico de las compuertas del Vertedero se ejecutó en dos etapas, correspondiendo a la primera, el montaje necesario para poder dar inicio al llenado del embalse. Para esto, se montaron tres compuertas de servicio radiales y seis compuertas de emergencia, de tal forma de iniciar el llenado del embalse y, paralelamente en la segunda etapa, continuar el montaje de las otras tres compuertas de

servicio radiales en el sector aguas abajo, manteniéndose estos vanos protegidos del embalse con sus compuertas de emergencia en el sector aguas arriba. "El proceso de montaje de estas compuertas de 17 m de altura y 13,2 m de ancho, comenzó con las vigas tensoras de los brazos hidráulicos, ubicadas en cada machón del Vertedero y en paralelo, se ejecutó el montaje de partes fijas y hormigones correspondientes a las guías de zócalo y laterales para las compuertas de emergencia y de servicio" explica Díaz.

Cada una de las compuertas radiales fue ensamblada con cuatro segmentos radiales mediante soldaduras, y paralelamente se realizó el montaje del sistema oleohidráulico, eléctrico y de control que permite los movimientos de apertura y cierre.

Otro hito emblemático para el proyecto fue el desvío del río, ya que su intervención, para dar cierre al cauce original, requirió un volumen importante de rocas de alto tonelaje en

una época en que el río registra caudales incluso superiores a los 600 metros cúbicos por segundo.

Además de la presa, otro desafío constructivo relevante que se presentó durante el desarrollo de las obras, fue mantener activos, en paralelo, cerca de 22 frentes de trabajos de obras civiles con recursos independientes, concentrados en un área reducida de actividades, traslapando faenas de minería con hormigones, obras civiles con montajes y finalmente, el término de montajes con pruebas de puesta en servicio. "Este logro se consiguió mediante un estricto seguimiento, control y gestión de la programación de las obras de Colbún hacia sus empresas colaboradoras, permitiendo reducir tiempos perdidos, estudiando opciones eficientes en las metodologías de trabajo y reforzando permanentemente las medidas de contingencia y de recuperación de atrasos sobre los caminos críticos del programa", señala Díaz.

PRETIL SUR Y OBRA DE TOMAS

El pretil es un muro de cierre que tiene por finalidad confinar las aguas del embalse en la ribera sur del cauce del río Bío Bío, minimizando el área de inundación. Tiene una altura máxima de 32 m, un ancho medio basal de 77 m, un ancho en su coronamiento de 8 m y una longitud de 1.600 metros. Este muro del tipo CFGD (Concrete Faced Gravel Dam) está compuesto por gravas y arenas compactadas que en su cara expuesta al agua del embalse posee un revestimiento mediante una pantalla de hormigón armado de un espesor uniforme de 0,4 m, la que es impermeable. Además, bajo el nivel de fundación de este muro se construyó una pared moldeada, que es una estructura de hormigón de 0,8 m de espesor y una profundidad media de aproximadamente 50 m que penetra a lo menos 5 m en estratos de suelo semi impermeable.

Desde Colbún indican que los análisis de las características geológicas del estrato glaciolacustre, en el caso del pretil sur, determi-

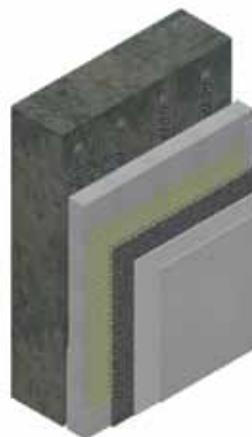


sto

Aislante térmico

ahorro de energía y ecológico

Sto "Therm", provee a la construcción un aislamiento térmico continuo, ayudando a **reducir los costos de energía hasta un 40%**, logrando ambientes confortables para todos los suarios. Otorga hasta **19 puntos** en una certificación **LEED®**



- **Aislante térmico**
- Rápida instalación
- Limpio
- Ligero
- Durable
- Arquitectónicamente versátil

Sto | Construir a conciencia.

SANTIAGO +(56-2) 2949 3593 • CONCEPCIÓN +(56-41) 2325 0627 • www.stochile.com



El pretil tiene una longitud de 1.600 m, altura máxima de 32 m, un volumen de 1.600.000 m³ de material de relleno y 100.000 m³ de hormigón convencional en su cara mojada.

naron que en el tiempo podría consolidarse causando asentamientos a nivel de fundación y deformaciones importantes en su estructura y, por ello, el diseño consideró un reforzamiento del sistema de estanqueidad utilizando sellos de cobre de las juntas inferiores del revestimiento de hormigón y sellos flexibles en las juntas superiores, permitiendo dar plena seguridad a la estanqueidad global del pretil.

La obra de toma, por otro lado, corresponde a una estructura de hormigón armado de 35 m de altura y 108 m de longitud, que según la empresa, también sería la de mayor tamaño de las centrales construidas en Chile. Además, posee las compuertas que dan paso de forma independiente a la entrada de agua del embalse hacia cada uno de los túneles de aducción. “A la entrada de cada aducción se instalaron rejillas hidráulicas planas que impiden el paso de elementos semi flotantes de tamaño mayor a 12 cm que puedan dañar a las turbinas”, señala Díaz. El experto agrega que los 3 túneles de aducción, excavados en el macizo rocoso existente al costado norte de la presa, cumplen la función de conducir en presión el agua del embalse Angostura hacia cada unidad generadora ubicada en la caverna de máquinas. “Estos tienen un desa-



Con una capacidad de 12.500 m³ por segundo (crecida decamilenaria), el evacuador es el de mayor capacidad en Chile.



De acuerdo a Colbún, la bocatoma de Angostura es la mayor obra de su tipo en Chile, gracias a sus 108 m de longitud, 35 m de altura y 40.000 m³ de hormigón.



rollo paralelo entre sí, con longitudes de 366 m, 307 m, y 246 m. Son revestidos en hormigón armado y en el sector de llegada a la caverna poseen 20 m de blindaje de acero”, detalla.

CAVERNA DE MÁQUINAS

Esta es una excavación en roca, realizada entre septiembre de 2010 y octubre de

2011, que tiene una longitud máxima de 177 m, un ancho máximo de 30 m y una altura de 59 metros, así como un volumen total de excavación de aproximadamente 160.000 m³, equivalente a casi 5.000 contenedores de 6 m, lo que de acuerdo a Colbún, la transforman en la mayor caverna de máquinas del país. En ella se ubican las 3 Unidades generadoras, sus 3 Transformado-

Las tres unidades generadoras tienen asociado un túnel de aducción y un túnel de descarga independientes. Los túneles tienen diámetros de 9,6 y 5,8 m, las descargas tienen una longitud de 300 m y las descargas, 150 metros.



res de poder, equipamiento de sistemas auxiliares, Subestación encapsulada GIS, y la Sala de control para operar esta central. Es aquí donde se transforma la energía cinética del agua en energía eléctrica.

Bajo el nivel del piso principal en cota 273,12 msnm se consideraron excavaciones hasta una profundidad de 33 m para 3 niveles: nivel Generadores, nivel Turbinas y nivel Drenajes.

El proceso de excavación de la caverna requirió coordinar la ejecución de excavaciones en roca de diferentes túneles que conectan al cuerpo de la excavación principal, con el pro-

Acompañamos a nuestros clientes

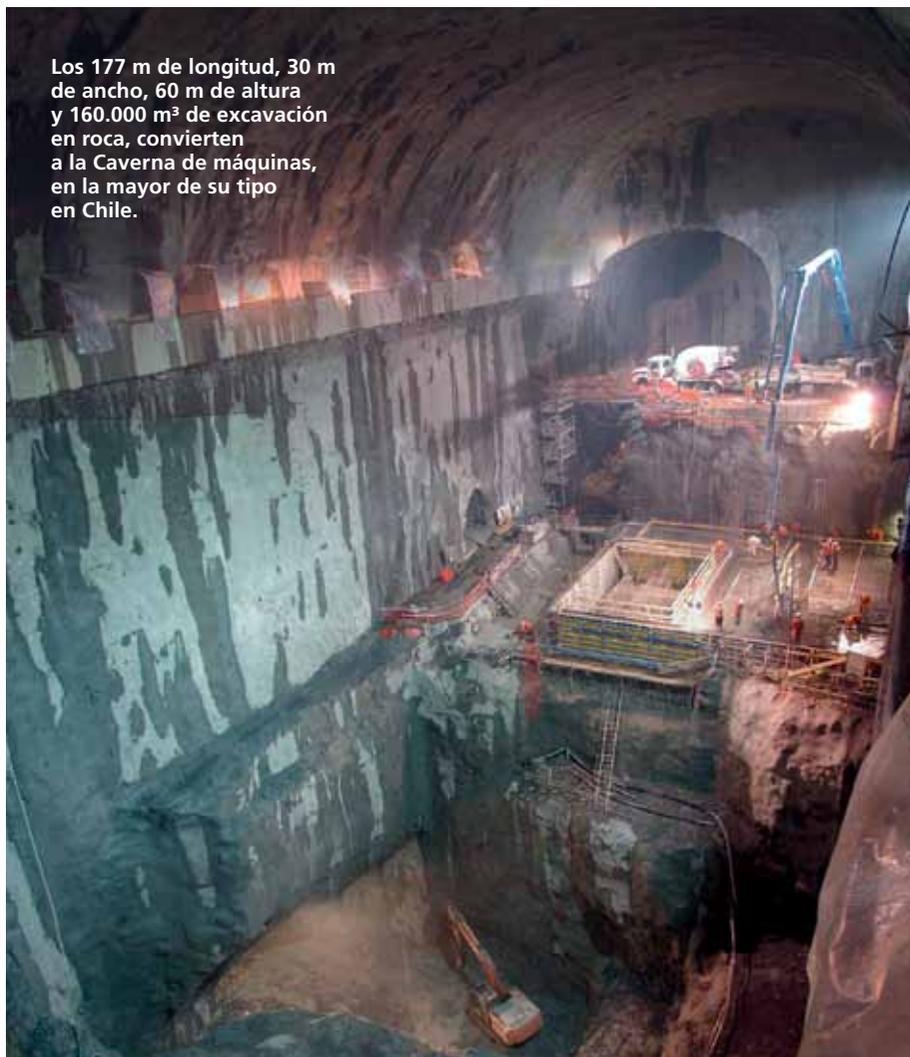


EUCLID GROUP





La caverna tiene 43.000 m³ de hormigón convencional, distribuidos en cuatro niveles: drenaje, tuberías, generadores y nivel principal.



Los 177 m de longitud, 30 m de ancho, 60 m de altura y 160.000 m³ de excavación en roca, convierten a la Caverna de máquinas, en la mayor de su tipo en Chile.

pósito de disponer de accesos para el personal y equipos de minería y así poder realizar el retiro de marina de las diferentes etapas del proceso. Estos frentes de excavación paralela correspondieron a un túnel de acceso principal a la caverna, tres túneles de aducción y tres túneles de descarga. "Todo el trabajo de minería tiene asociado un ciclo en secuencia: perforación de un patrón de disparo, carguío de explosivos, tronadura, ventilación y retiro de marina; luego de controles topográficos e inspecciones geológicas, se trabajó en el sostenimiento que correspondía a la calidad de roca excavada, repitiendo luego el ciclo" señala Díaz.

El experto cuenta que se comenzó excavando un túnel piloto de 5 m de altura y 100 m de longitud con el objetivo de llegar a la zona central más alta de la caverna y abrir dos frentes opuestos de excavación de la bóveda. Cada uno de esos frentes se subdividió en tres zonas de excavación de anchos de 10 m y longitudes de 80 m aproximadamente. Luego se ejecutaron etapas denominadas de banqueo, bajando la excavación en etapas de 3 a 5 m, ejecutando rampas y piques y los sostenimientos de bóveda y muros mediante pernos de anclaje, mallas de acero y hormigón proyectado.

Esta sección de la central funciona como su "corazón", ya que es en este lugar donde se ubica todo el equipamiento electromecánico que hace posible la generación de los 1.542 GWh de energía media anual. "Los equipos de generación tienen la función de realizar la transformación eficiente y segura de la energía cinética del agua en energía eléctrica mediante las 3 turbinas Francis del tipo eje vertical, con capacidad total de generación de 316 MW, 2 Unidades mayores de 135 MW y una menor de 46 MW, diseñadas para un caudal total de 700 m³/s, 300 m³/s las dos primeras y 100 m³/s la unidad menor, todas para una altura neta de caída de aproximadamente 50 metros", especifica Díaz, agregando que cada una de las dos turbinas mayores están acopladas directamente a un generador síncrono vertical de 135,4 megavoltamperio (MVA), mientras que la turbina menor, a uno de 45,2 MVA.

Finalmente los cables de poder salen de la caverna a un Patio de Mufas externo, donde se conectan a la Línea de Alta Tensión de aproximadamente 40 km, hasta la Subestación Mulchén, donde se entrega energía equivalente al 3% de la capacidad instalada del Sistema Interconectado Central (SIC).

LLENADO DE EMBALSE Y RELACIÓN CON LA COMUNIDAD

El llenado del embalse se inició bajando secuencialmente las dos compuertas del túnel de desvío, lo que permitió dar paso a un caudal restringido del río Bío Bío, que correspondía a caudal comprometido con regantes de aguas abajo y caudal ecológico. Así el excedente sobre este caudal comenzó a embalsarse paulatinamente hasta alcanzar su evacuación por el túnel de desagüe de fondo, teniendo ya cerradas y sumergidas las compuertas del túnel de desvío.

Mientras continuaba la evacuación por el túnel de desagüe y el nivel del embalse subía lentamente, se dismanteló el equipamiento oleohidráulico que permitió el accionamiento de las compuertas del túnel de desvío, evitando contaminación. "Una vez que el embalse alcanzó el umbral de evacuación del Vertedero en la cota 301,84 msnm fueron cerradas totalmente las compuertas

del túnel de desagüe de fondo para lograr regular el caudal hacia aguas abajo mediante las tres compuertas de servicio operativas del Vertedero o Evacuador de Crecidas de la presa mientras el embalse alcanzó su cota 317 msnm de operación", explica Díaz.

Durante el llenado se realizaron múltiples monitoreos al comportamiento de la puesta en agua de las estructuras, básicamente el pretil, la presa y taludes de las laderas del contorno del embalse, manteniendo de forma periódica y permanente lecturas de la instrumentación y sistema de drenaje que permitieran advertir oportunamente algún comportamiento anómalo. "Es importante mencionar que previo y durante este proceso se realizaron campañas de rescate de fauna y relocalización de peces en estado de conservación", agrega el experto.

Y es que un proyecto de esta magnitud no solo debía preocuparse de la construcción sino también de las comunidades que podían verse impactadas. En ese sentido, desde Col-

bún indican que se trabajó en la creación de un polo de atracción turística en el entorno del nuevo embalse, formando en el año 2011 una Mesa de Turismo, donde participaron representantes de los municipios de Santa Bárbara y Quilaco, de Sernatur y la Cámara de Comercio local, entre otras instituciones. Dentro de las obras desarrolladas, se cuentan senderos, un mirador, tres campings, un arbóterum, dos playas ya habilitadas y un centro de información ambiental (construido y en marcha blanca). Desde que comenzó su puesta en funcionamiento el pasado verano, el Parque Angostura ya ha recibido más de trece mil visitas.

Así, este importante proyecto de generación de energía, no solo se preocupó del complejo proceso constructivo, sino también de integrar a las comunidades que seguirán estando en los alrededores de la zona y que también son parte de los miles de usuarios que recibirán energía gracias a este monumental proyecto hidroeléctrico. ■

GASCO, LA MEJOR ENERGÍA PARA TUS PROYECTOS INMOBILIARIOS

Con **GASCO Inmobiliario** cuentas con la asesoría de un equipo de **expertos especializados en instalaciones de gas licuado y eficiencia energética**, desde el inicio de tu proyecto.



Servicio de asesoría energética, que incluye un completo informe sobre análisis de:

- Demanda energética.
- Potencias para artefactos.
- Costos de implementación.
- Gastos de operación.
- Comparativo de soluciones.
- Recomendaciones para el uso eficiente de la energía.



Solución de central térmica eficiente para edificios.

Características:

- Producción eficiente.
- Potencia y acumulación adecuada.
- Sistema modulado y control automatizado.

Ventajas:

- Bajos costos de operación.
- Amigable con el medio ambiente.
- Mayor facilidad de integración arquitectónica.
- Mayor espacio disponible en sala de calderas.