

## HITO TECNOLÓGICO

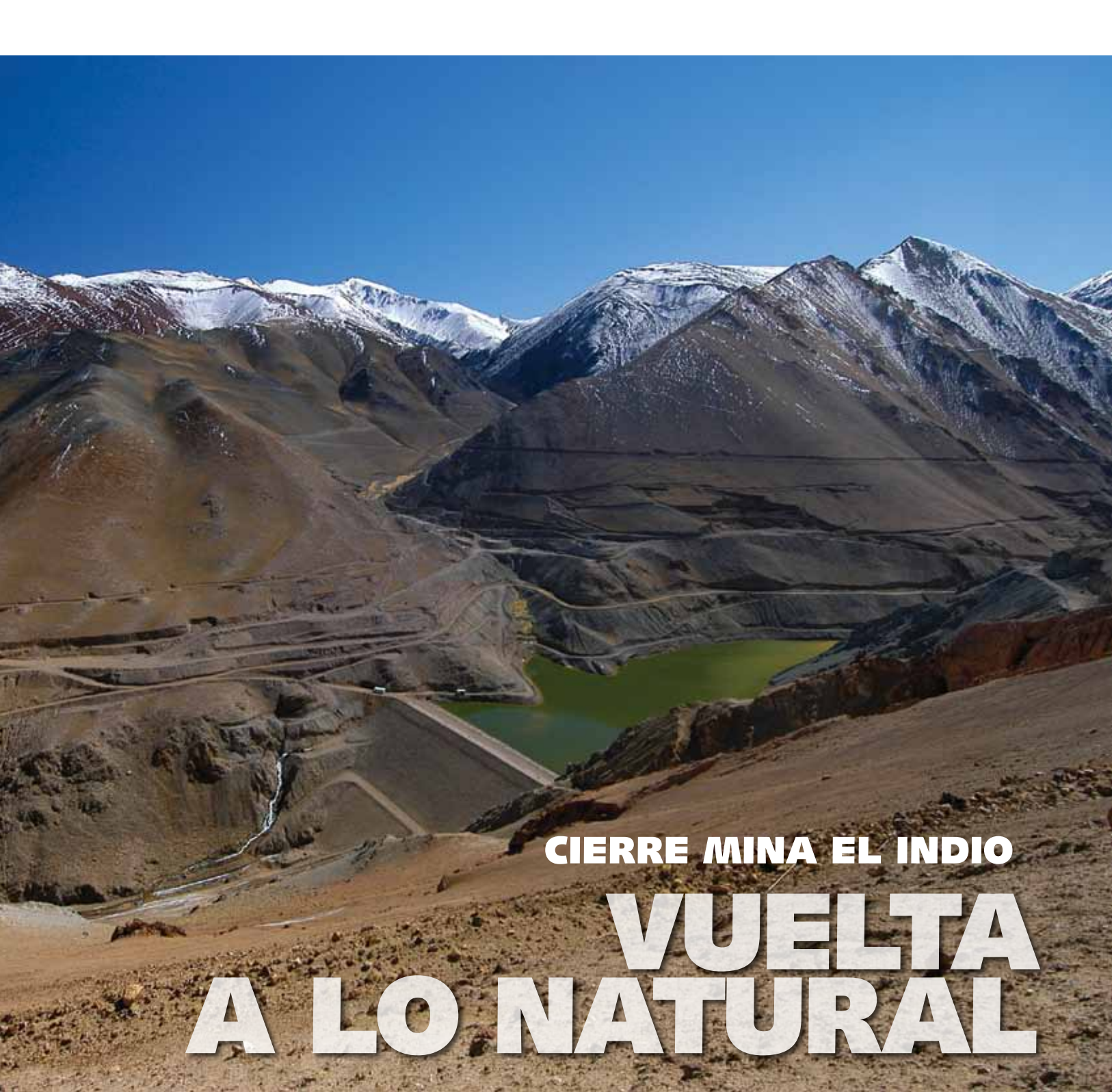
■ Es uno de los primeros planes de cierre minero que se han concretado en el país. Una labor que demandó la experiencia de profesionales extranjeros y la aplicación de nuevas tecnologías. La combinación de factores existentes en esta explotación minera con la cercanía de valles de alto valor socio-económico es una condición particular de este cierre, en el que la rehabilitación física y química del sitio fue su principal desafío. ■ A tan sólo un 2% para concluir el proceso y en la antesala de la promulgación de la ley que regulará estas faenas, la iniciativa marca un precedente en la minería nacional. Una obra a 4.000 metros de altura que comenzó en 2003, una vuelta a lo natural.



GENTILEZA EXCON



GENTILEZA BARRICK



# CIERRE MINA EL INDIO VUELTA A LO NATURAL

PAULA CHAPPLE C  
Y ALEJANDRO PAVEZ V.  
PERIODISTAS REVISTA BIT

**E** N LA COMUNA DE VICUÑA, a 180 kilómetros de la ciudad de La Serena, donde nace el valle del río Elqui, el paisaje comienza a recuperar su identidad. En la cordillera de los Andes, a 4 mil metros de altura sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), zorros y guanacos vuelven a recorrer aquellos senderos que por más de 30 años fueron dominados por grandes maquinarias y camiones. Se trata de las instalaciones de la mina El Indio, uno de los yacimientos de oro más importantes del mercado, que desde el año 1994 es propiedad de Ba-

## FICHA TÉCNICA

### CIERRE FAENAS MINA EL INDIO

**UBICACIÓN:** Cordillera de los Andes, a 180 km de la comuna de Vicuña, Región de Coquimbo

**MANDANTE:** Barrick Gold Corporation  
**PRINCIPAL CONTRATISTA:** Constructora Excon S.A.

**AÑO:** 2003 - Actualidad

**TERRENO REHABILITADO:** 500 hectáreas

**INVERSIÓN:** US\$ 70 millones

**PRINCIPALES OBRAS:** Movimientos de tierra, demolición de estructuras y manejo de aguas



GENTILEZA EXCON

El objetivo fundamental del cierre de las faenas de El Indio fue dejar el terreno como si nunca hubiese sido intervenido. Para ello, se han realizado diversos trabajos de movimiento de tierra. Hasta ahora se han removido más de un millón de metros cúbicos de material.



rick Gold Corporation y que hoy está a punto de cerrar definitivamente sus faenas. Un proceso que se comenzó a planificar y estudiar en el año 1998 y que decantó, en 2002 con la presentación del Plan de Cierre de Mina El Indio a las autoridades ambientales de la Región de Coquimbo. Con todos los papeles en regla, en diciembre de 2003 se firmó el acuerdo que autorizó el plan. Un proceso de carácter voluntario que involucró a la empresa, autoridades y a la comunidad de Vicuña. Una acción pionera, pues la legislación no obligaba a las empresas a realizar este trámite. Un tema pendiente que recién, durante julio pasado, fue aprobado como ley en el Congreso y, hasta el cierre de esta edición, espera la promulgación del Presidente de la República (ver recuadro). “En ausencia de una normativa vigente para el cierre y abandono de faenas mineras en el país, Barrick sometió a evaluación su plan de cierre mediante un proceso de ‘acuerdo voluntario’, coordinado por la entonces Conama y los servicios públicos de la Región de Coquimbo, con el objeto de formalizar y validar las acciones emprendidas”, comentan desde la empresa minera. El Indio vuelve a lo natural.

### EL TERRENO

La mina El Indio comenzó sus operaciones en el año 1978 como rajo abierto, alternando su desarrollo con una mina subterránea. El yacimiento incluyó tres sub-rajos conectados entre sí: Mula Muerta, Indio y Campana. A este conjunto, que cubría un total de 101.075 metros cuadrados, se le llamó Rajo Indio. Se ubica en medio de un estrecho cañón cordillerano irrigado y comprimido entre las cumbres de Los Andes, entre los 4.110 y 4.300 m.s.n.m. En los años 80, bajo el Rajo Indio, se desarrolló una mina subterránea que estuvo ubicada entre los 4.050 y 3.820 m.s.n.m. y fue conformada por cerca de 100 kilómetros de galerías. El volumen de extracción estimado de esta mina fue de 1.076.000 metros cúbicos. En total, durante su vida útil, Compañía Minera El Indio (CMEI) produjo 5,5 millones de onzas de oro, 24 millones de onzas de plata y 500 mil toneladas de cobre. En el año 1998, se anunció su cierre como resultado del fin de sus reservas.

Para iniciar este proceso, se conformaron cinco mesas de trabajo para evaluar en con-



GENTILEZA BARRICK

junto las principales acciones a seguir. La estrategia se preocupó de los aspectos comunitarios, el manejo del agua, la seguridad minera, suelo, la gestión de residuos sólidos y el desarme de la planta. Una vez firmado el acuerdo entre los involucrados, éste se convirtió en obligación ante los servicios públicos de la Región de Coquimbo. Los marcos generales de cierre se centraron en asegurar la estabilidad física y química de las instalaciones en el largo plazo; minimizar los impactos en la calidad de agua del río Malo, que cruza la zona; mantener las condiciones de seguridad de las instalaciones e implementar un programa social e interno de transición para los trabajadores. El tema medioambiental también resultó clave. “Se nos explicó que era la primera obra de estas características en Chile. Nosotros tomamos este trabajo con toda la responsabilidad, lo que significaba, dejar el terreno como si nunca hubiese sido intervenido”, explica Reinaldo Martín, vicepresidente de Constructora EXCON, empresa contratista de movimientos de tierra que trabajó en las obras.

La garra hidráulica, una maquinaria utilizada por primera vez en Chile, facilitó el movimiento de rocas de 1,6 m de diámetro para formar las galerías y el cauce del río Malo.



GENTILEZA BARRICK

Las faenas se han realizado con materiales y tecnologías adaptadas a la particular topografía del lugar y a las condiciones meteorológicas adversas y propias de un clima de alta montaña. Por tal razón sólo se trabaja de septiembre a mayo cada año. "El proceso está prácticamente en un 98% de avance. Hemos invertido 70 millones de dólares en las obras", señala Rodrigo Rivas director de Asuntos Corporativos de Barrick Chile. En total, se han rehabilitado un poco más de 500 hectáreas de terreno.



GENTILEZA EXCON

## OBRAS

Como en Chile no se tenía experiencia en este tipo de trabajos, se utilizó la experiencia que Barrick tenía en Norteamérica. "Se identificó la necesidad de contactar a empresas dispuestas a innovar con maquinarias específicas que permitieran la ejecución de las actividades de acuerdo con las especificaciones técnicas y los diseños de ingeniería", explica Marcelo Robledo, jefe de Cierre de Faenas Barrick Sudamérica. Así, una vez preparadas las especificaciones técnicas y realizadas las licitaciones, se comenzó con la etapa de ejecución. Las principales obras se centraron en:

**Movimiento de tierra:** Trabajos realizados en los rajes abiertos, cierre de accesos a minas subterráneas, botaderos de estériles y tranques de relaves consistentes en rellenos masi-

vos; perfilamiento y rellenos compactados para la construcción de coberturas de baja permeabilidad y una capa de material resistente a la erosión.

**Desmantelamiento de las instalaciones:** Descontaminación de las estructuras de la planta de procesos, desmantelamiento y demolición. Retiro de los suelos contaminados del área y desarme de las instalaciones auxiliares en superficie, de los estanques de combustibles, transformadores, líneas eléctricas, entre otros.

**Manejo de aguas superficiales:** Rehabilitación del cauce del río Malo. Manejo de aguas superficiales y construcción de canales, bajo un diseño de ingeniería hidráulica asegurando la calidad de agua a los usuarios de las comunidades aguas abajo.

## LA TIERRA

Las obras de movimientos de tierra son variadas y transversales a todo el plan de cierre. Las condiciones climáticas complejizaron el proceso. Los efectos de la altura, las bajas temperaturas (-15°C) y las intensas ráfagas de viento (80 km/h) representaron un gran



Cobertura Nacional

Respaldo

Flexibilidad



Experiencia



Metodología



Confianza



CONTRIBUYENDO A LA  
**PRODUCTIVIDAD  
LABORAL**

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

**CENTRO DE ENTRENAMIENTO Y CAPACITACIÓN LABORAL**



El desplome de las instalaciones fue realizado mediante equipos cortadores (tijeras).

1. Galería vertedero tranque El Indio. 14 m de profundidad, con galerías de 2 x 4 m en forma de escala.
2. Un canal de más de 5 km conduce al río Malo.
3. Construcción del cauce del río Malo. Se utilizaron rocas de diversos tamaños de acuerdo a las pendientes del terreno.



desafío. El uso de una cantidad limitada de personal resultó clave. La maquinaria también fue asunto de cuidado. “Fueron acondicionadas para trabajar en altura y en sectores con poco oxígeno”, comenta Reinaldo Martín. En el sector de los rajes abiertos, las principales obras ejecutadas por EXCON se centraron en minimizar las infiltraciones hacia la mina subterránea; asegurar la estabilidad de las paredes y fondo del rajo; y promover la escorrentía superficial fuera del rajo. Para ello, se trabajó impermeabilizando el fondo con materiales de baja permeabilidad, y sobre éstos, una cobertura de material anti-erosión para proteger esta capa impermeable frente a la acción de los deshielos y el viento.

También se realizó la estabilización de los botaderos de estéril, que “consistió en un perfilamiento de éstos eliminando taludes sensibles de producir deslizamientos no deseados hacia cursos de agua superficial”, acota Martín. Con ello se quiso evitar el apozamiento en la superficie y la infiltración del agua en el estéril. En las labores de escorrentías, tanto en los rajes, como en los botaderos, “la nivelación de las superficies rehabilitadas consideró pendientes en dirección longitudinal y transversal para promover el drenaje positivo del agua superficial. La pendiente de nivelación varía entre el 1 y 17 por ciento, y para taludes reconfigurados desde 2:1 a 3:1”, aclara Robledo. Estas pendientes permiten dirigir aquellas aguas generadas por el derretimiento de la nieve acumulada en los

períodos invernales en las laderas de las montañas hacia el curso principal del río Malo.

En los depósitos de relaves se realizó un proceso de monitoreo de los piezómetros (instrumental para la investigación y control de las aguas subterráneas) ubicados en los tranques, determinando los niveles freáticos y de consolidación de los relaves antes de proceder a su cierre. También se reniveló y recubrió la superficie de los relaves para resistir la erosión eólica y fluvial; y para minimizar la infiltración de aguas superficiales al interior de los relaves. También, se reforzó el muro de pie para resistir establemente las aceleraciones del sismo máximo predecible para el sitio.

El vertedero del tranque El Indio fue “uno de los mayores desafíos, ya que todo el trabajo se ejecutó en un terreno con una pendiente de un 33 por ciento”, ilustra el vicepresidente de EXCON. Se trata de un vertedero de 200 m de largo, con 45 metros en su parte más ancha y de 14 m de profundidad relleno con material granular impermeable. “También

construimos las gradas del vertedero de 2 m de alto por 4 m de ancho en forma de escala, finalmente colocamos todo el enrocado, el filtro, el alma de la grada y completamos con el relleno de lecho”, describe Martín.

El objetivo, fue “mitigar nuestros impactos y, una vez concluidas las operaciones, dejar un suelo que será capaz de responder a usos productivos para generaciones futuras”, señalan en Barrick. En total, se han movido más de un millón de metros cúbicos de material entre los que se incluyen rocas, relaves y tierras.

La seguridad resultó un tema clave para el mandante. Se contrató a una empresa experta para ejecutar los trabajos. “La construcción conforme con los diseños de las obras, era permanentemente auditada por la empresa de ingeniería”, dice Martín, agregando que “Desde la fecha hemos sufrido cero accidentes con tiempo perdido, un objetivo fundamental que nos fijamos para el proyecto. Un poco más de 1.600.000 horas / hombres sin accidentes”.

## SUBTERRÁNEA

El cierre definitivo de la mina subterránea requirió un estudio de estabilidad y relación con la superficie para evaluar eventuales subsidencias y consideró el retiro de equipos e infraestructura. Las actividades de sellado se iniciaron con la instalación de un letrero de advertencia, indicando la fecha de cierre del portal y señalando la prohibición de ingreso. Así, todas las galerías, rampas, chimeneas y piques distribuidos entre 11 niveles principales, conectados a la superficie, fueron sellados mediante un estándar de cierre de Barrick, que contempló la colocación de rellenos desde el interior hasta la superficie, en una longitud aproximada de 25 metros. Se relleno con material coluvial y luego con relleno consolidado consistente en una mezcla de hormigón y material coluvial. “Se rea-

## PROYECTO CIERRE FAENAS MINERAS

EN EL MES DE JULIO, el Senado aprobó por unanimidad el proyecto de ley de Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras, presentada por el Estado con el objetivo de obligar a las empresas a desarrollar un plan de cierre para todas las faenas existentes y futuras, para las áreas de exploración, prospección y explotación de los yacimientos. Este es el tercer y último trámite legislativo. En lo fundamental, el proyecto obligará a las empresas a generar un plan que garantice la calidad física y química del lugar que explotó, resguardando la seguridad de la población. Además deberá presentar una garantía que se constituirá a través de instrumentos de inversión líquidos y de bajo riesgo en un plazo no superior a 15 años. Esto en caso de que la empresa no cumpla, igualmente se pueda hacer el cierre.



GENTILEZA EXCON

lizó una construcción de rellenos desde el interior de la galería mediante un accesorio especial (push blade) conectado a un scoop que permitía empujar el relleno hasta lograr un buen contacto con el techo de la labor”, aclara Marcelo Robledo. La fase final del relleno se realizó hasta alcanzar el portal de la galería, incorporando nuevamente material coluvial para relacionarlo al entorno natural. El sellado de las labores verticales abarcó a todas las chimeneas de ventilación y piques de traspaso que estaban conectados con la superficie al momento del cierre. Esta tarea consideró el relleno de toda su longitud, compuesto por rellenos cementados y la construcción de un tapón de hormigón armado en el brocal.

### DEMOLICIÓN

La demolición de la planta principal de El Indio necesitó antes una profunda limpieza y descontaminación de los equipos con el fin de recuperar todos los residuos provenientes del proceso industrial y que se habían acumulado en las estructuras de la planta de procesos. El área también fue limpiada con arena inyectada a presión, lo que incluyó la limpieza del concentrado verde en la zona de molienda-flotación y la recuperación de todos los elementos con trióxido de arsénico en el sector de tosta-

Láminas de LLDPE, y de GCL se utilizaron para impermeabilizar todos los canales.

ción. Para enfrentar la demolición, se estimó el uso de unos 400 trabajadores utilizando métodos tradicionales. Sin embargo, a partir de experiencias que Barrick había tenido en el extranjero, se trajo la tecnología de tenazas hidráulicas (shears y grapples), que optimizó el proceso. Una maquinaria que, hasta entonces, no había sido utilizada en nuestro país. Este es un equipo especialmente adaptado para el corte y retiro de estructuras. Su impacto fue considerable, pues la dotación de mano de obra bajó a tan solo 30 hombres.

El mayor desafío de esta obra fue el desplome de la planta de tostación, un edificio de 16 pisos de altura que no podía ser desarmado por los equipos cortadores. Para solucionar este problema, se optó por usar explosivos para el corte de acero, que tampoco se habían visto en Chile. Con la estructura ya en el suelo, se procedió a cortar y manipular las vigas y objetos de gran tamaño. En total, se extrajeron 30 mil toneladas de acero que fueron enviadas a reciclaje. 18.344 toneladas de escombros de demolición fueron enviadas a vertederos autorizados, y 5 mil toneladas de residuos peligrosos fueron tratadas y dispuestas en rellenos de seguridad fuera de la faena.

### RÍO MALO

Las instalaciones de la planta se construyeron sobre el cauce del río Malo, lo que obligó a su desvío y entubamiento bajo tierra. Uno de los grandes desafíos de este proceso de cierre fue devolver el cauce a su condición inicial. La construcción del canal de rehabilitación del río y las obras anexas corresponden a uno de los trabajos más complejos. Estudios de hidrología e ingeniería hidráulica permitieron un di-

# Cuando se busca calidad en Morteros los Maestros eligen Presec®.



MEZCLA SECA PRECISA DE CEMENTO, ÁRIDOS Y ADITIVOS.



CONTROL EFICAZ DE MATERIALES



SÓLO AGREGUE AGUA



AHORRO DE TIEMPO



MORTEROS FÁCILES DE PREPARAR



CALIDAD PRESEC



ÚNICOS CON TODO EL RESPALDO MELÓN.

# Presec®



EL CORAZÓN DE CHILE



Para mayor información técnica de nuestros productos, contactarse al: Fono: 490 9000 - Email: presec@melon.cl



Para la instalación de las láminas se utilizó un aditamento que se colocó en el balde de una excavadora o de un camión pluma, con él se levantó el rollo del material impermeabilizante.



GENTILEZA EXCON

seño que reproduce las condiciones del río en su estado natural. “En el desarrollo de los criterios de diseño se observaron las características naturales existentes en cursos de las aguas superficiales, en cuencas vecinas, análogas a la cuenca del río Malo. Se realizaron distintas mediciones para obtener la base de parámetros de diseño a utilizar en la construcción del canal de rehabilitación”, complementa Robledo.

Los principales objetivos se enfocaron en limitar la infiltración de aguas a la mina subterránea y evitar el flujo a través de los botaderos de estéril para evitar la contaminación de las aguas; desarrollar un sistema que reproduce el comportamiento de un río en forma natural con el transporte de agua y sedimentos, incluyendo eventos extremos sin daño substancial; y establecer un diseño que consideró la máxima precipitación probable en un período de retorno de mil años. Los principales retos técnicos dieron en la construcción de los rellenos de enrocados que permiten disipar la energía del curso de agua en pendientes que varían de 3 hasta 25 por ciento. Para ello, se trasladaron rocas de 1,6 m de diámetro, desde el sector del Tambo, donde se hallaban los botaderos de estéril con rocas competentes y no generadoras de drenajes ácidos, hasta sector El Indio. “Un recorrido de más de 25 kilómetros entre pendientes y gradientes con una diferencia de altura de más de 1.000 m entre cada sector”, comentan en EXCON. Una labor complicada. Para la instalación de las rocas y la formación del cauce, se utilizó una garra hidráulica que se instaló a una excavadora de alto tonelaje, esto permitió manejar y colocar la roca de acuerdo a la especificación técnica del proyecto. “Esta maquinaria



permitió la construcción del canal de rehabilitación, colocando las rocas en la forma y posición requerida por el diseño hidráulico, generando estructuras estables, resistentes a la erosión y protegiendo las riberas del río rehabilitado”, sintetiza Robledo.

El canal se impermeabilizó con dos sistemas, dependiendo de las pendientes. A menor pendiente se utilizó una lámina de LLDPE que corresponde a una geomembrana delgada y flexible producida con polietileno de alta densidad que se utiliza generalmente en la minería como base de pilas de lixiviación, recogiendo las soluciones ácidas. En las pendientes mayores, en cambio, se usó un material llamado GCL, que consiste en un paño tejido doble con un núcleo de bentonita (arcilla), que al tomar contacto con la humedad se expande cumpliendo con su función impermeabilizante. “Para la colocación de las láminas utilizamos un aditamento que se coloca en el balde de una excavadora o de un camión pluma, con él se levantaba el rollo del material impermeabilizante, lo que permitió sin mucho esfuerzo, la instalación de las láminas”, concluye Martin. Posteriormente se colocó una capa de material granular seleccio-

nado, que sirve de filtro y de protección del material impermeabilizante, seguido por el enrocado correspondiente al material del lecho y las rocas que conforman las gradas de control que permiten disipar la energía.

Actualmente, sólo resta la construcción de unas obras de manejo de aguas en la parte baja de la cuenca, habiendo completado la construcción de más de 5 kilómetros de canal artificial. Hoy, la actividad principal se centra en el monitoreo constante de la estabilidad física de las instalaciones y de su situación ambiental, evaluando el resultado de todas las acciones implementadas. El plan a largo plazo considera el uso alternativo del terreno. Se evalúa la implementación de proyectos de energías renovables no convencionales (ERNC), pero eso aún está en carpeta. El cierre de la mina El Indio, una faena meticulosa que marca un precedente en el país y que espera volver a lo natural. ■

[www.barricksudamerica.com](http://www.barricksudamerica.com),  
[www.excon.cl](http://www.excon.cl)

## ■ EN SÍNTESIS

**Plan de cierre minero pionero en Chile, que se realizó de forma voluntaria y en conjunto con las autoridades y comunidades. Demandó la experiencia de profesionales extranjeros y la aplicación de nuevas tecnologías. Un proceso que está por finalizar y que representó una importante labor de logística y seguridad a más de 4 mil metros de altura. Todo para volver a lo natural, adecuando las instalaciones mineras remanentes para proteger en forma efectiva la salud, la seguridad pública y el medio ambiente.**

PREMIO 2010  
DESARROLLO  
TECNOLÓGICO



# EDIFICIOS EDUCACIONALES

COLEGIOS  
UNIVERSIDADES  
CENTROS DEPORTIVOS  
GIMNASIOS  
GRADERÍAS



## TENSOCRET

SISTEMAS PREFABRICADOS EN HORMIGÓN ARMADO Y PRETENSADO

Colegio Inglés de Quillota, 2011 - obra iniciada el 2 de junio, fotografía avance al 14 de julio



Más de **50** establecimientos educacionales construidos en Chile

**ESTRUCTURAS PREFABRICADAS  
EN HORMIGÓN ARMADO:  
SÓLIDAS, SEGURAS,  
ECONÓMICAS,  
DE RÁPIDA EJECUCIÓN.**

### VENTAJAS

Óptimo comportamiento estructural, comprobado tras el terremoto del 27 de febrero de 2010.

Rápida gestión del proyecto, fabricación, transporte y montaje de la estructura prefabricada.

Durabilidad en el tiempo con mínimo costo de mantención.

La óptima calidad de la obra gruesa estructural, disminuye el costo de las terminaciones.

Posibilidad de incorporar Aislación Sísmica basal, asegurando la continuidad de uso inmediata del edificio y entregando un alto nivel de seguridad a las personas, contenidos y estructura.