

# Planta desalinizadora Minera Escondida

## Tecnología del mar al cielo

**La obra comienza en las profundidades del océano Pacífico y termina a más de 3.000 metros de altura en la cordillera de Los Andes. El proyecto consiste en una avanzada planta desalinizadora que abastecerá de agua industrial los procesos productivos de Minera Escondida. Otro dato: La cañería que transporta el vital elemento desde la planta hasta la mina alcanza los 170 kilómetros.**

**Marcelo Casares**  
Editor Revista BiT



### Ficha Técnica

**Proyecto**

Planta desalinizadora

**Mandante**

Minera Escondida

**Ingeniería, Adquisiciones**

y Administración de la Construcción

Fluor Chile

**Captación agua marina**

1.050 litros por segundo

**Producción agua industrial**

525 litros por segundo

**Acueducto**

170 kilómetros de 610 mm de diámetro, acero de alta resistencia X 65.

**Estaciones de bombeo**

Cuatro

Todo empezó cuando a principios del 2004, BHP Billiton, empresa propietaria del 57,5% de Minera Escondida, aprobó la materialización del proyecto de Lixiviación de Sulfuros de Escondida (PLS). Esta iniciativa demanda una inversión de US\$ 870 millones para la construcción de una operación de lixiviación de sulfuros de baja ley en una pila de cinco kilómetros de largo por dos de ancho, una nueva planta de electro-obtención de cátodos, y una planta desalinizadora, que tendrá como objetivo el abastecimiento de agua industrial para satisfacer la demanda adicional de la PLS. El proyecto se pondrá en marcha en el segundo semestre del 2006, estimándose una producción promedio del orden de las 180.000 toneladas anuales de cátodos.

La planta desalinizadora, el eje de este artículo, representa por sí sola una obra emblemática que marcará un antes y un después en el abastecimiento de agua industrial en el sector minero de Chile. No es para menos. Los datos que arroja la construcción de esta planta llaman la atención. Un poder de captación de 1.050 litros de agua de mar por segundo, la aplicación de la avanzada tecnología de ósmosis reversa, la producción de 525 litros de agua industrial por segundo, 170 kilómetros de cañería de 610 mm de diámetro para el transporte del vital elemento, y cuatro estaciones de bombeo que permitirán la llegada del agua a los procesos productivos de la minera a 3.200 metros sobre el nivel del mar.

En este extenso recorrido destaca la aplicación de novedosas herramientas tecnológicas. «Los desafíos más relevantes en la ejecución radican en las instalaciones submarinas de bocatoma de agua de mar; el uso óptimo de la infraestructura existente en el puerto Coloso; y la selección de equipos para elevar el agua a 3.200 metros sobre el nivel del mar», indica Mauro Valdés, vicepresidente de Asuntos Corporativos y Comunicaciones BHP Billiton Metales Base. Esta compañía depositó en Fluor Chile la responsabilidad de la ejecución del proyecto bajo un contrato de Ingeniería, Adquisiciones y Administración de la Construcción (EPCM). Así, Fluor supervisa el avance global del proyecto y de los subcontratos como Degremont (responsable de la ingeniería, compras, construcción y puesta en marcha de la planta bajo el sistema de (EPC) «llave en mano»), Constructora Tecsa (subcontratista principal de Degremont y encargado de las obras civiles y montaje mecánico y tuberías de la desalinizadora), Techint (montaje de la cañería que transporta el agua a la mina), y DSD Construcciones y Montajes (estaciones de bombeo), entre otros.

1, 2 y 3 . Etapa de pretratamiento. El desarenador y las celdas de flotación de hormigón cuentan con un espesor de 30 cm para evitar que la salinidad afecte la estructura interior de fierro.

4. En la nueva obra se utilizaron algunas de las antiguas instalaciones de la planta Coloso.

5. Los filtros, debido a sus grandes dimensiones, exigieron importantes desafíos para su montaje.

6. La sala eléctrica de la planta desalinizadora fue construida por Constructora Tecsa.

7. El acueducto que atraviesa el desierto alcanza los 170 km de extensión.

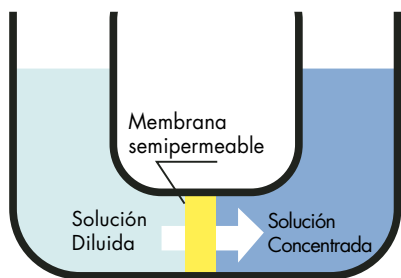
8. Innovadora maquinaria que selecciona el material con que se cierra la excavación donde se encuentra el acueducto.



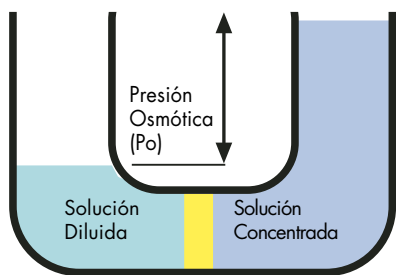
2



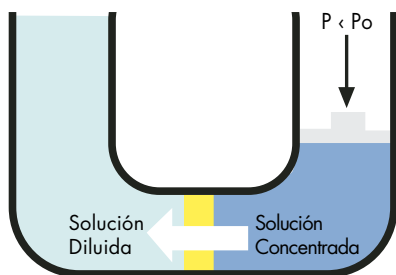
PROCESO DE ÓSMOSIS REVERSA



**Paso 1.** El paso de un solvente de una disolución desde una zona de baja concentración de soluto a una de alta concentración, separadas por una membrana semipermeable.



**Paso 2.** Cuando la ósmosis alcanza su estado de equilibrio, la diferencia de presión que se establece entre las dos soluciones se denomina presión osmótica.



**Paso 3.** Cuando una presión superior a la presión osmótica se aplica a la solución, las moléculas de agua migran en dirección contraria a la ósmosis. Este fenómeno se denomina ósmosis reversa.



Alan Fraser, gerente general de Fluor Chile.



Alejandro Cardone, gerente de proyecto de Techint.



José Rosón, director comercial de Degremont.

a 23 metros de profundidad. Este ducto de captación de HDPE ya existía en Coloso, pero se hicieron distintas modificaciones para adaptarlo a las nuevas necesidades. Éstas consisten básicamente en la colocación de mallas de retención en los extremos, que impiden el ingreso de peces y objetos extraños, y la instalación de una línea de precloración. Aquí destacan el impresionante poder de captación que alcanza los 1.050 litros por segundo, y las faenas submarinas que corrieron por cuenta de buzos especializados. «Esta tarea es muy delicada, y requiere de una gran coordinación ya que los buzos no pueden mantenerse en la profundidad por tiempos prolongados», acota Alan Fraser, gerente general de Fluor Chile.

A través de bombas de succión, se transporta el agua marina hasta la planta desalinizadora en tierra firme para dar inicio al proceso de pre-tratamiento. En primer lugar, el vital elemento proveniente del mar atraviesa por un desarenador donde se eliminan arena y piedritas. Luego accede a una celda de flotación física - química donde se extrae el 95% de la materia en suspensión, como residuos coloidales y plancton. El principio de funcionamiento de esta fase es muy simple, ya que se inyecta aire al agua que atraviesa una gran piscina (celda) superando en la superficie los elementos extraños. El pre-tratamiento concluye con una doble etapa de filtración donde se eliminan los restos de la materia en suspensión. Así, se obtiene un agua pura pero salina, lista para pasar por las membranas de ósmosis reversa. «Si bien éstas representan el corazón de la planta, el pre-tratamiento resulta fundamental pues cuanto mejor sea la calidad del agua que entregue, más alto será el rendimiento de la ósmosis reversa. Un sistema eficiente, pero que requiere atención en su operación», sostiene José Rosón, director comercial de Degremont.

Ósmosis reversa

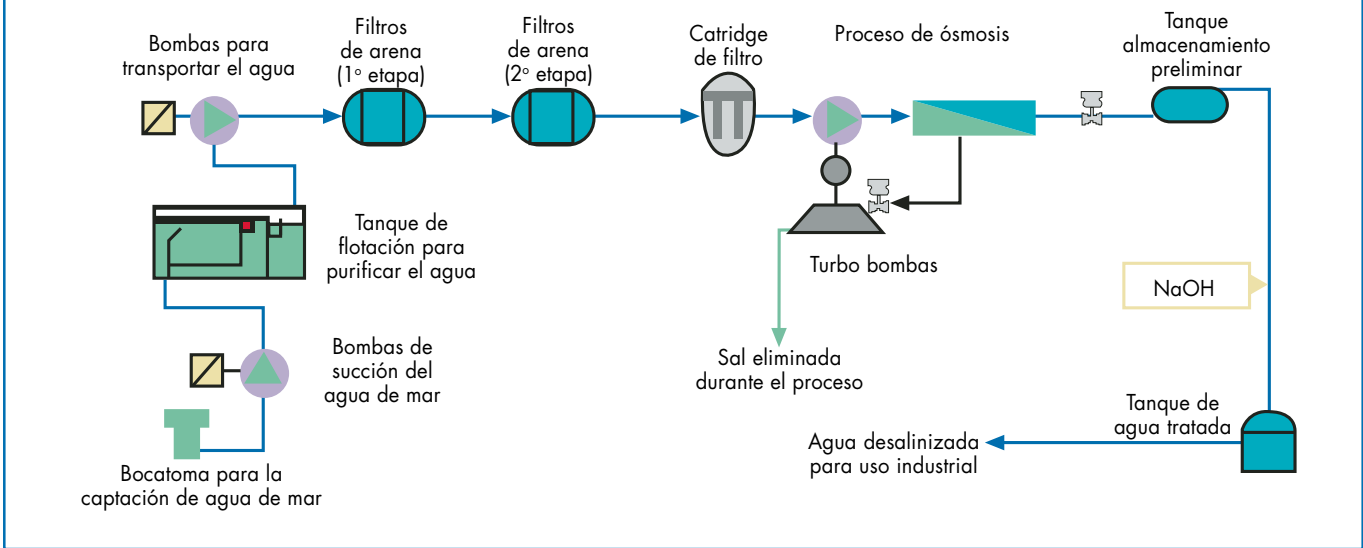
Ahora sí, el agua ya está lista para su desalinización. A través de un bombeo de alta presión (80 bares) el vital elemento atraviesa las membranas semipermeables de ósmosis

continúa en página 28

Planta desalinizadora

Entonces, queda claro que nos encontramos ante un proyecto pionero e innovador. De acuerdo, pero ¿en qué consiste la planta desalinizadora y cómo se efectúa el proceso? Dos buenas preguntas. La planta, ubicada en las instalaciones de Escondida en el puerto Coloso, al sur de la ciudad de Antofagasta, tiene su punto de partida en una bocatoma de agua de mar ubicada a 700 m de la costa y

## PROCESO DE DESALINIZACIÓN



reversa, que retienen la sal y dejan el agua disponible para el uso industrial. Esto parece simple, pero hay que explicar algunas cosas. Para empezar, se debe decir que un proceso de ósmosis es un fenómeno consistente en el paso de un solvente de una disolución desde una zona de baja concentración de soluto a una de alta concentración, separadas por una membrana semipermeable. En el caso particular de este proyecto, el soluto es la sal (ver figura *Proceso de ósmosis reversa*, paso 1).

Cuando la ósmosis alcanza su estado de equilibrio, la diferencia de presión que se establece entre las dos soluciones se denomina presión osmótica (ver figura, paso 2).

Esto sigue. Cuando una presión superior a la presión osmótica se aplica a la solución, las moléculas de agua migran en dirección contraria a la ósmosis. Es decir, se desplazan desde la concentración más alta hacia la más baja, liberándose de la sal. Este fenómeno se denomina ósmosis reversa (ver figura, paso 3).

Las membranas representan otro aspecto relevante. Las membranas de ósmosis reversa son capaces de rechazar bacterias, sales, azúcares, proteínas, partículas y otros elementos presentes en el agua. La separación de iones por ósmosis reversa se realiza eficientemente permitiendo eliminar la casi totalidad de las sales disueltas. Mientras mayor sea la carga de la partícula, de mejor manera será rechazada. «Básicamente las membranas son tubos cerrados donde se inyecta agua a presión en un extremo y se obtiene agua libre de sal en el otro. A su vez, por una salida lateral se expulsa la salmuera residual», simplifica Rosón. Para evacuar la sal que genera el proceso se instaló un ducto de descarga de Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV). Este tubo se encuentra cerca de la costa, a escasa profundi-

dad y alejado de la bocatoma, para evitar cortocircuitos con el punto de captación.

Un par de datos que señalan la magnitud y eficiencia del proyecto. El agua de mar posee 35 gramos de sal por litro y tras la desalinización esta cantidad se reduce a sólo 0,5 gramos. La planta tendrá capacidad para generar 525 litros de agua libre de sal por segundo.

### Obras sin sal

Claro que todo el proceso de tratamiento no se realiza en el aire. La planta de desalinización incluye importantes obras de construcción y montaje, las que en gran parte están a cargo de Constructora Tecsa (subcontratista principal de Degremont). «El contrato incluye la ejecución de las obras civiles para la planta industrial y el montaje estructural, equipos mecánico y piping de interconexión», comenta Marcelo Martínez, gerente de proyectos de Constructora Tecsa.

En las áreas de pre-tratamiento y ósmosis reversa se realizó la demolición de radieres existentes y las excavaciones de las fundaciones de los equipos principales. El material extraído, por encontrarse contaminado por filtraciones de antiguas instalaciones, debió ser depositado en terrenos especialmente dispuestos y autorizados por Minera Escondida cercanos a la mina a 200 kilómetros de Coloso.

En cuanto a faenas de hormigón, que integran los trabajos de instalación de fierro, moldajes y colocación, se ejecutaron las piscinas del pre-tratamiento, las fundaciones de los equipos principales y las canaletas conductoras de aguas tratadas.

El trabajo con agua marina requiere de una particular atención, por su alto contenido de sales y poder abrasivo.

Este punto se consideró especialmente al momento de construir las piscinas de hormigón del pre-tratamiento. «Los muros de estas estructuras tienen contemplado el trabajo con agua de mar, y por ello se establecieron de acuerdo al diseño de ingeniería espesores de muro de 30 centímetros para contar con un recubrimiento importante para proteger la enfierradura, así se evita el ingreso de la salinidad a las paredes. La salinidad es agresiva y en algún momento se pensó aplicar al hormigón revestimiento de protección, pero se prefirió el mayor espesor. Además, eliminamos cualquier imperfección que permitiera el ingreso de sal al fierro interno», explica Martínez.

Entre los equipos a montar destacan los filtros y bombas, que presentaron como principales dificultades constructivas los accesos, una situación que se observó especialmente en los filtros de gran peso y volumen. Las turbo bombas debieron ser desmontadas de su base para realizar el montaje, ya que completas superaban la capacidad disponible de levante. Posteriormente, se debieron realinear con tecnología láser con el fin de asegurar una adecuada operación posterior. «Un elemento interesante es el uso de tecnología láser para el alineamiento de los equipos, que son de una gran potencia y altas revoluciones. Por ello, deben quedar bien alineados y con adecuada fijación para evitar vibraciones», dice Martínez. Los equipos de mayor poder cuentan con su correspondiente fundación, una estructura compuesta por gran volumen de hormigón.

En cuanto a materiales novedosos, el profesional destaca la cañería de Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) utilizada en distintas faenas del proyecto como el ducto que evacua la sal retenida por el proceso de ósmosis y en las interconexiones entre equipos, maquinarias, canaletas y tuberías. «Habitualmente se utilizaba el acero inoxidable y ahora se busca innovar con PRFV. Material que tiene adecuada resistencia a la salinidad. Hay que tener cuidado con la unión a tope, que se realiza con un trabajo de biselado y soldadura con vendaje y resina», afirma Martínez.

## **Acueducto: Camino al cielo**

Una vez que el agua se encuentra desalinizada y disponible para su uso industrial se deposita en estanques y desde allí viaja a la mina a través de una cañería de 170 kilómetros, que trepa hasta alcanzar los 3.200 metros sobre el nivel del mar. Allí, Degremont cede la posta a Techint, encargada del montaje de la cañería, y DSD Construcciones y Montajes, responsable de las estaciones de bombeo. «Tras los estudios de ingeniería se definió la instalación de cuatro estaciones de bombeo, estratégicamente ubicadas según los tramos a cubrir y teniendo en cuenta el entorno, ya que se requiere de personal para las mantenciones, las inspecciones y la vigilancia», acota Alan Fraser, de Fluor Chile. Las cuatro estaciones de bombeo cuentan con un poder de elevación de aproximadamente 750 metros cada una. Cada estación incluye tres trenes de bomba de 175 litros por segundo de capacidad y de 4.000 HP. «Estos equipos constituyen la tecnología más avanzada en materia de estaciones de bombeo», asegura Mauro Valdés, de BHP Billiton.

Tampoco es habitual una cañería de 170 kilómetros de largo atravesando el desierto. Según los responsables del proyecto, se evaluaron distintas alternativas de trazado pero finalmente se optó por el trayecto que pertenece a Minera Escondida y por el que se extienden un ducto antiguo, líneas de fibra óptica y el camino pavimentado. El contrato de Techint, incluye la construcción y obras civiles relacionadas con la instalación de la cañería, sin provisión de tuberías ni materiales. «Además ejecutamos las obras civiles relacionadas, como el cruce de caminos y vías férreas, y sistemas de drenaje y venteo», señala Alejandro Cardone, gerente de proyecto de Techint.

Cosas que se deben saber. El acueducto es de acero de alta resistencia X 65, cuya tensión de fluencia equivale a 65 mil libras, y fabricado en Japón bajo la norma AP5L. La alta resistencia del material apunta a reducir los espesores, que en este caso varían desde los 7,5 milímetros hasta los 12 mm, con 610 mm de diámetro. Hay siete tipos distintos de espesores, los que se utilizan de acuerdo a su posición y a la presión que reciben, por ejemplo, cuando sale de la estación de bombeo se utilizan los mayores espesores.

Cada cañería alcanza los 12 metros, pero para una mayor productividad en una planta de Antofagasta se unen dos unidades para finalmente instalar en terreno tramos de 24 metros. La tubería presenta un recubrimiento de pintura epóxica interna y externa. Una innovación de peso se observa en el revestimiento externo e interno de las uniones soldadas en terreno. Externamente se aplica un proceso de arenado y soldadura. Lo interesante va por dentro, cuando se pintan. Para ello, se utilizan avanzados sistemas robotizados que se controlan desde afuera a través de telemetría y cámaras de filmación. El primer mecano llega hasta la zona de costura, granalla la unión soldada, y absorbe el material sobrante. A continuación ingresa otro robot que se ubica en la soldadura y pinta la costura. Posteriormente, un tercer mecano mide el espesor del revestimiento con un sistema de ultrasonido. Finalmente, otro robot aplicando inducción de corriente mide el espesor y controla que no existan posibles fallas en la pintura, ni presencia de boro y rayados. Si detecta alguna anomalía realiza una marca y con una chicharra informa la falla.

Por otra parte, el 60% de la tubería se encuentra sobre la superficie y el resto enterrada. Esta última opción se adopta por seguridad en zonas urbanas como el tramo comprendido entre la ciudad de Antofagasta y el cruce de la Ruta 5. También se coloca bajo tierra cuando la cañería se somete a altos niveles de estrés como al llegar y salir de las estaciones de bombeo, como una forma de empotramiento para soportar el movimiento elástico. Igualmente cuando se coloca externamente la cañería se sostiene en unos anclajes de hormigón, ubicados cada 500 metros, que tienen como objetivo reducir los movimientos por dilatación térmica. La única diferencia entre la tubería superficial y la enterrada

consiste en que la primera posee un recubrimiento externo de 500 micrones y en la de bajo tierra 800 micrones.

Atención, porque cada vez que ingresa o sale de las estaciones de bombeo la cañería también se empotra a través de machones de anclaje. Así, se evita que la tracción por dilatación térmica afecte las instalaciones de superficie, como por ejemplo los tanques. Los machones representan obras interesantes, ya que demandan más de 180 metros cúbicos de hormigón H35.

Una innovación también se observa al momento de cubrir la cañería enterrada. Techint está usando una de las tres únicas máquinas existentes en Sudamérica. Esta tecnología se traslada por el borde de la zanja, toma la tierra por un sistema de embudos de acero, la transporta por cintas metálicas hasta un sistema de filtración que selecciona el material inferior a una pulgada de espesor y lo utiliza en el recubrimiento del acueducto, eliminando el resto (ver foto 8).

Nada es fácil en la vida, y esta obra tampoco es la excepción. «Hay varios desafíos que se debieron superar. En el desierto existe una fuerte presencia de roca, y se debe recurrir a tronaduras y equipos hidráulicos para excavar el suelo. Además, para salir de la mina enfrentamos caminos en pendiente, múltiples interferencias, y zonas con poblaciones sensibles al paso de la obra», explica Cardone.

Al fin, tras un largo recorrido el agua llega a dos tanques metálicos ubicados en la mina, los que actualmente se abastecen de agua proveniente de otras fuentes cercanas. Es cierto, el camino puede ser largo a veces, pero finalmente la innovación siempre llega a destino. **B**

### en síntesis

**De mar a cordillera. La construcción de la Planta Desalinizadora de Minera Escondida involucra la remodelación de poderosos ductos en el fondo marino, avanzada tecnología de ósmosis reversa para la desalinización del vital elemento en el puerto Coloso en las cercanías de Antofagasta, y un acueducto de 170 kilómetros que atraviesa el desierto desembocando en las instalaciones de la minera a 3.200 metros de altura. Innovaciones tecnológicas como robots para la costura interior de la cañería, nuevos materiales como tubos de Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV), y poderosas estaciones de bombeo, son sólo algunos de los elementos que destacan en esta obra emblemática.**

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