



Innovación y tecnología



# Innovación y tecnología

Innovar es fundamental para mantener a Codelco en el liderazgo mundial de la industria del cobre. Frente a las variaciones y cambios del mercado, la innovación cumple un papel relevante al fortalecer la competitividad, generando valor para maximizar los aportes a Chile.

Durante 2014, Codelco realizó una fuerte inversión en innovación y tecnología que alcanzó a US\$ 102 millones. En la cartera de inversiones se dio prioridad a los desafíos propios del negocio que actualmente no están resueltos por el mercado. En las áreas de soporte, la estrategia se focalizó en incorporar la mejor tecnología disponible y promover su desarrollo con empresas externas. Destacan, también, iniciativas en las actuales operaciones y proyectos futuros, que tienen el objetivo de incrementar la seguridad laboral, la eficiencia de los procesos, la productividad de las personas y la protección medioambiental.

Codelco avanzó en su Plan Estratégico en Tecnología e Innovación 2012-2015 en todos los ámbitos, especialmente en el proceso de validación de tecnologías para la explotación minera subterránea, explotación de minería a rajo abierto, minería autónoma, integración de procesos, entre otras. Además, se evaluaron tecnologías innovadoras para el procesamiento de minerales e hidrometalurgia y hubo avances en la transferencia tecnológica entre las divisiones en procesos pirometalúrgicos.

De manera transversal se continuó impulsando iniciativas de automatización de procesos y de teleoperación, para mejorar la eficiencia, productividad y reducir la exposición de los trabajadores a riesgos laborales.

Las principales iniciativas y proyectos de 2014 fueron los siguientes:

## Minería subterránea

### Proyecto Minería Continua

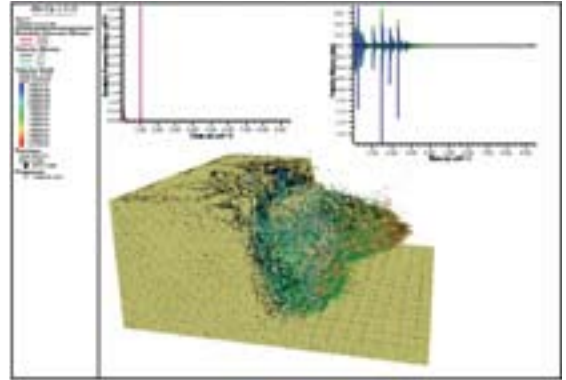
La minería continua representa un quiebre tecnológico que permitirá a Codelco aumentar su productividad en un 50%, disminuir los costos operacionales en 20% y reducir la exposición a riesgos de las personas. Básicamente, la nueva tecnología consiste en un proceso automatizado y operado a distancia, que permite extraer el mineral de forma continua y simultánea desde distintos puntos de extracción. Después de diseñar y probar nuevos equipos de extracción y transporte de mineral, se planificó la validación industrial de esta tecnología a través de una prueba en División Andina.

Durante 2014, el proyecto concluyó las obras mineras necesarias para la prueba industrial. La construcción de obras civiles alcanzó sobre el 90% de avance; el montaje mecánico, un 50%, y más del 37%, el montaje eléctrico e instrumentación. Con todo lo anterior y según lo planificado, se espera iniciar en 2015 la operación de la prueba, integrando todos los sistemas.



## Estudios complementarios

- **Modelo teórico de tronadura:** Codelco continúa participando, junto con importantes mineras y la Universidad de Queensland (Australia), en un proyecto para desarrollar y perfeccionar el modelo teórico de tronadura *Hybrid Stress Blasting Model*. El modelo ha sido utilizado para optimizar la tronadura de precorte en el desarrollo de taludes verticales, tronadura de bateas de minería continua y en los diseños de pre-acondicionamiento, usando detonación electrónica precisa.



- **Desarrollo vertical:** Codelco, junto con su filial IM2 y la empresa Herrenknecht, realizó el desarrollo de una nueva metodología de excavación, fortificación y blindaje de desarrollos mineros verticales (piques), que considera aplicar la tecnología *Raise Borer*, como también una mecanización del proceso de fortificación y blindaje. Las principales ventajas con respecto a la metodología convencional, es que el nuevo método tiene una mejor condición de seguridad en la operación, al retirar personal que actualmente realiza labores manuales al interior del pique y una disminución relevante en los plazos de construcción asociados.

## Minería a rajo abierto

Codelco lleva adelante un Plan de tecnología e innovación en minería a rajo abierto 2012-2018, que tiene el propósito de incorporar y motivar la generación de tecnologías para el control de taludes, optimizar su diseño y desarrollar un nuevo método de explotación a rajo abierto. Este desarrollo se focaliza en dos líneas de trabajo:

- **Optimización de diseños de la minería a rajo abierto:** durante 2014 se realizó el estudio de planificación minera, que permite ratificar el beneficio potencial de alrededor de US\$ 1.000 millones, al integrar e incorporar tecnologías disponibles en el mercado, para el control y monitoreo de taludes. Esta representa una oportunidad de negocios de corto plazo y una propuesta tecnológica para recomendar e incluir en el próximo ciclo de planificación del Plan Exploratorio 2016 de Codelco.

- **Quiebre tecnológico:** En el ámbito del desarrollo, se busca lograr un quiebre tecnológico, a través de un nuevo método de explotación para la minería a rajo abierto. En este contexto, se inició la primera etapa con una prueba experimental de taludes verticales, con operación remota telecomandada en la Mina Sur de División Chuquicamata. La prueba consideró la construcción de una pared vertical de 52 metros, para validar las características del macizo rocoso en gravas, con una operación remota telecomandada de los equipos mineros.

Las próximas etapas de la investigación que están planteadas, corresponde a la prueba de validación industrial y su aplicación en rajos de la corporación.



## Procesamiento de minerales

En esta materia, la innovación se focalizó en proyectos orientados a reducir el consumo de energía y mejorar la recuperación del cobre desde el mineral. Lo que incrementa la eficiencia en el uso de los activos y aumenta la competitividad de la empresa.

Adicionalmente, se fomenta la transferencia tecnológica entre divisiones, y se acuerda mantener y fortalecer el trabajo entre divisiones, con reuniones periódicas para avanzar en la estructuración de un plan corporativo de innovación, que logre ubicar a Codelco en el primer cuartil de costos de la industria en el procesamiento de minerales.



## Conminución de minerales

Se realizaron pruebas con MicroHammer, que es una nueva tecnología de conminución para minerales de Codelco. La conminución es el término general utilizado para indicar reducción de tamaño de un material. Las pruebas de la innovación evidenciaron reducción en el uso de energía, ya que el MicroHammer genera microfracturas mediante la aplicación de microondas de alta frecuencia en el procesamiento de minerales, debilitando su dureza. También se espera un menor consumo de aceros y una mejor liberación de las partículas mineralizadas, para permitir mayor recuperación de las especies de valor.

Durante 2014, se realizaron pruebas de liberación de mineral a diferentes tamaños, para verificar los efectos de la tecnología MicroHammer en el tipo de mineral enviado (se extrajo y caracterizó muestras de los yacimientos Río Blanco y Don Luis de División Andina). El informe final estará disponible en 2015. Posteriormente, las muestras tratadas con la tecnología, serán analizadas y evaluadas en laboratorios, mediante pruebas de conminución y flotación.

## Concentración

La tecnología *Separation Technology Assisted by Magnetic Particles*, desarrollada por la empresa alemana BASF, consiste en adicionar partículas finas (5 micrómetros) de magnetita hidrofóbica a las pulpas de mineral, las cuales mediante la acción de un reactivo colector específico, se adhieren a las partículas de sulfuros de cobre y molibdeno. Posteriormente, se aplica a la pulpa un campo magnético que separa las partículas de magnetita de los sulfuros de cobre y molibdeno.



Durante 2014 se desarrolló la puesta en marcha de la planta piloto de BASF. Se realizaron las pruebas de la tecnología de separación asistida con partículas magnéticas. Para el desarrollo de las pruebas se destinaron 30 toneladas de muestras de minerales de División Andina y contemplaron la evaluación de 6 tipos de magnetita, 2 separadores magnéticos y variación en la dosificación de reactivos. Se obtuvieron con el separador magnético resultados, que alcanzaron un 90% de recuperación. Las pruebas de laboratorio realizadas resultan en un atractivo potencial de la tecnología.

## Pre-concentración de minerales sulfurados

Codelco trabajó en el desarrollo de una tecnología para la pre-concentración de minerales de cobre y molibdeno. Con este desarrollo se agrupan selectivamente minerales sulfurados.

La tecnología NuWave, consiste en someter al mineral chancado (100%-1/2") a un campo confinado de un haz de microondas de alta frecuencia, con longitudes de onda de baja penetración y un breve período de tiempo (5 segundos o inferior). Posteriormente se clasificó el mineral según el nivel de temperatura absorbido por éste, permitiendo su pre-concentración. El proceso no utiliza agua y circula en forma continua, a través de una correa transportadora u otro medio.

En el 2014 se finalizaron las pruebas experimentales mostrando resultados promisorios para minerales que se encuentran en el entorno de la ley de corte. Por otra parte, IM2 avanzó en la elaboración del modelo para la evaluación económica de la tecnología, que se calibrará con los resultados informados. Con la empresa Rio Tinto, en tanto, se explora la factibilidad de instalar una planta piloto de la tecnología NuWave en Codelco.

## Flotación

Estudios realizados demostraron que si se operan las celdas de flotación en su condición de máxima recuperación de aire se obtiene también la mayor recuperación de cobre.

Motivados por los buenos resultados de experimentos a menor escala, en 2014 se estudió el desarrollo de una prueba de evaluación de la tecnología a escala industrial, en un sector de las plantas concentradoras de las divisiones Andina y El Teniente.

Junto con la Gerencia TICA se inició el proceso para instalar la instrumentación en el sector E de la flotación rougher de la planta de División Andina para desarrollar la prueba a nivel industrial.



## Lixiviación

### *Electrolixiviación*

Durante 2014, se inició la etapa de experimentación del proyecto lixiviación oxidativa electroquímica o electrolixiviación cuyo propósito es el tratamiento electroquímico de productos intermedios o de proceso tales como concentrados complejos, metal blanco, polvos de fundición entre otros.

### *Bioliixiviación*

En 2014, las actividades de bioliixiviación se focalizaron en la aplicación de la tecnología en mineral ROM, en un volumen de 3,6 millones de toneladas de sulfuros de baja ley en División Radomiro Tomic.

### *Industrialización de la tecnología BioSigma*

Se inicia el proceso de aplicación comercial de la tecnología en los sulfuros de baja ley en División Radomiro Tomic. La producción de cobre fino en una primera etapa alcanzó los 1.000 toneladas de cobre fino.

Posteriores etapas se desarrollarán en 2015 y 2016 para llegar a un régimen de 6000 toneladas.

### *Lixiviación in situ*

En División El Teniente se concluyen las obras civiles para la operación de *lixiviación in situ*. También se inicia el transporte de biomasa para la inoculación de consorcios bacterianos que darán origen a la lixiviación bio-asistida.

En División Chuquicamata se realizó un diseño experimental de pruebas a nivel de columnas de relaves con bioliixiviación, empleando tecnologías BioSigma. Estas 12 columnas está siendo operadas en el laboratorio de BioSigma en Santiago y consideran diferentes variables, incluyendo aspectos asociados al empleo de bacterias termófilas.



### *Procesos pirometalúrgicos*

En el marco de la estrategia para el desarrollo del negocio de fundición y refinación, se realiza la validación en División Chuquicamata de innovaciones en sensores para instrumentar hornos de fusión con el propósito de mejorar el control del proceso de fusión. Este desarrollo se transfiere a División El Teniente el que será implementado en 2015.

En el año se elabora el Programa de innovación tecnológica para las fundiciones de CodeLco. Además, en respuesta a la nueva normativa ambiental, se desarrolla un plan de acción para cada una de las fundiciones de la empresa, para dar cumplimiento a la nueva normativa ambiental.

CodeLco establece un acuerdo de colaboración con la empresa china Dongying Fangyuan Copper Industry Company Ltd. En el marco de esta alianza, se realizan pruebas con reactivos de la empresa china en la refinación de Chuquicamata, durante 2014.

## Automatización

### *Minería subterránea*

Durante 2014, se avanzó en el diseño de la prueba de validación industrial de LHD semiautónomos y camiones autónomos que se llevará a cabo en la Mina Esmeralda, durante 2015. Se estructuraron sus etapas y se realizaron las simulaciones preliminares de la operación semiautónoma en el sector de prueba. También se inició la elaboración de las bases técnicas para la licitación de las pruebas de LHD semiautónomos.



### *Minería rajo abierto*

En el desarrollo de tecnologías que permitirán habilitar la operación minera en condiciones de baja visibilidad por eventuales tormentas de nieve, en la mina rajo abierto de División Andina, se lleva a cabo estudios de *roadmap* de automatización de minería a cielo abierto, que incluyen un programa de visitas a las operaciones de CodeLco, evaluación de modelos operacionales para eventos de nieve de División Andina y un modelo de operación para equipos mineros.



## Otras innovaciones

### Fortificación

Se trabaja en el desarrollo de elementos de fortificación no metálicos y triturables para minería subterránea, que eviten pérdidas por atollamientos en los equipos de chancado. En este contexto, se analizaron cinco prototipos y se presentó un informe final con los estudios de conceptualización y experimentación de éstos. Se recomienda continuar a la etapa de validación industrial.

**Equipo de detección y extracción de materiales metálicos:** El proyecto consiste en el desarrollo de una tecnología capaz de detectar y extraer materiales metálicos, antes de que ingresen al chancado primario, para evitar atollamientos y daños a los equipos. Se inicia el estudio y pruebas experimentales con sistemas de sensores combinados que permiten la detección de elementos inchancables.

### Información, telecomunicaciones, automatización y robótica

Las nuevas tecnologías han contribuido en rediseñar los procesos mineros, tomando ventaja de la disponibilidad de información en tiempo real y de las facilidades para integrar procesos en una arquitectura homogénea.

En este sentido, Codelco incorporó en 2014 las tecnologías *machine to machine*, *Big Data* y *Cloud Computing*, que han propiciado avances importantes en la conceptualización de centros de gestión y operación; monitoreo y soporte a distancia (se destacan los centros que se están adaptando en divisiones El Teniente, Andina y Ministro Hales); rediseño de procesos orientados al mantenimiento, profundización de la automatización en plantas concentradoras y la integración con sistemas informáticos de la empresa, lo que facilita la evolución hacia modelos de gestión predictivos en el ámbito de la gestión.

De esta forma se han incorporado tecnologías de teleoperación de equipos mineros, automatización de procesos productivos y robóticos, aplicados en actividades de alto riesgo o esfuerzo físico.

Durante 2014, Codelco avanzó en fortalecer el marco regulatorio para la incorporación de estas tecnologías, creando un Comité corporativo de seguridad de la información, que velará por el adecuado resguardo de la información de Codelco, considerando este nuevo entorno de procesos altamente digitalizados e integrados.





## Automatización, telecomunicaciones y robótica

Durante el año, se logró una estandarización de un 80% de los sistemas de control de las plantas concentradoras de Codelco, fundamentalmente en lo relacionado con la infraestructura de instrumentación, redes de comunicaciones, sistemas de control distribuido, salas de operación y sistemas de control avanzado. Con ello se aporta significativamente a mejorar la operación y dar cumplimiento a los planes de producción.

En el año también se destacan los siguientes proyectos:

- El proyecto de Aplicación de la minería automática a la operación a cielo abierto, considera aplicar teleoperación cuando existan condiciones climáticas adversas, a un equipo *WeelDozer*, un camión de extracción y a un cargador frontal. En este contexto, en 2014 finalizó con éxito el primer hito de teleoperar el *WeelDozer*, utilizando un sistema de percepción mejorada.
- El Teniente incorporó un sistema de control avanzado a toda la línea de flotación y un nuevo sistema de control distribuido en el chancado primario.
- Chuquicamata puso en marcha estrategias de control avanzado en los espesadores *HighCup* e integraron el sistema de control de la planta de flotación de escoria, al sistema de control central.
- En robótica, se implantaron 3 brazos robóticos para apoyar el proceso de reposición de cátodos permanentes en la nave de *electrowinning* de Radomiro Tomic. Se avanzó en la solución robótica para el despegue de láminas iniciales para la refinería de Ventanas y en una solución robótica para la remoción de orgánicos de cátodos.

En relación a sistemas de control de monitoreo de las condiciones de funcionamiento de los equipos, se actualizó el sistema del área de chancado primario de Chuquicamata; y, en paralelo, se implantó el sistema a la correa *OverLand*, que se extiende desde Radomiro Tomic a Chuquicamata.

También se definieron las especificaciones técnicas y estándares que deben cumplir los sistemas LHD semiautónomos y los camiones autónomos en minería subterránea para los proyectos futuros de Codelco.

## Información y gestión

En el año 2014 finalizó el proyecto de Quiebre en uso de SAP, que consideró la implementación en este periodo de 28 nuevas funcionalidades en el ámbito de abastecimiento, contraloría, recursos humanos, mantenimiento y sustentabilidad. Se desarrollaron herramientas de control de gestión, integración con proveedores, servicios prestados desde la nube (Cloud), automatización de controles internos, entre otros. Se continuó trabajando en la implementación de nuevos módulos de mantenimiento y recursos humanos SAP para la subsidiaria Molyb. También se inició el proceso para implementar el ERP SAP a la subsidiaria Ecometales.

## Alianzas tecnológicas

Codelco propicia la colaboración tecnológica a través alianzas y acuerdos con instituciones especializadas en el desarrollo del conocimiento y nuevas tecnologías; y con mineras para el desarrollo de tecnologías a desafíos comunes, a través de consorcios o en forma bilateral.

Durante 2014, la Corporación mantuvo una red de colaboración en diversos proyectos e iniciativas de investigación con instituciones como CSIRO Chile - International Centre of Excellence, Australian Mineral Research Association (AMIRA), Universidad de Queensland, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Advanced Mining Technology Center (AMTC) y el Centro de Investigaciones Operacionales para la Minería (CIOMIN).

Además, mantiene acuerdos de colaboración con empresas mineras como Rio Tinto, Newcrest Mining, Dongying Fangyuan Copper Industry Company Ltd., con las que comparte experiencias y aborda proyectos de desarrollo tecnológico de interés común.

Con proveedores y fabricantes de equipos, durante el año se abordaron proyectos colaborativos con Basf, Sandvik, Atlas Copco, Herrenknecht, Komatsu y Caterpillar, entre otros.

# Empresas tecnológicas

Codelco continuó focalizando su inversión en sus empresas tecnológicas que desarrollan y fortalecen las tecnologías e innovaciones asociadas a los procesos productivos del negocio principal.

La Corporación tomó varias decisiones respecto de sus empresas de base tecnológica a partir del año 2013, disminuyendo su participación en las filiales que entregaban soporte a los procesos mineros. Coherente con esta estrategia, la empresa redujo su participación accionaria en Kairos Mining; vendió la empresa Micomo (Mining, Information, Communication & Monitoring S.A.), así como también su participación en la empresa MIRS (Mining Industry Robotic Solutions S.A.).

Paralelamente, Codelco focalizó su inversión en las empresas que buscan soluciones tecnológicas al negocio principal, como son las filiales BioSigma y el Instituto de Investigación e Innovación, IM2.





## BioSigma

### Biosigma S.A.

|            |   |
|------------|---|
| Inicio:    | 2002  |
| Propiedad: | Codelco <b>(66%)</b><br>JX Nippong Minin & Metals Co <b>(34%)</b>   |
| Contacto:  | <a href="http://www.biosigma.cl">www.biosigma.cl</a> / <a href="mailto:informacion@biosigma.cl">informacion@biosigma.cl</a> |

BioSigma es una filial de Codelco que desarrolla, adapta e implementa soluciones biotecnológicas integrales, basadas en tecnologías sustentables, agrega valor a las operaciones mineras y genera beneficios para sus accionistas y partes interesadas.

Durante 2014, BioSigma consolidó un equipo multidisciplinario capaz de diagnosticar problemas operacionales y desarrollar soluciones biotecnológicas integrales. La empresa identifica oportunidades de mejora, teniendo en cuenta los aspectos ambientales y de procesos, como mineralogía y microbiología asociada al recurso minero, calidad del recurso hídrico y disponibilidad de instalaciones de SX/EW, entre otros.

### Tecnología probada a escala industrial

Después de más de 10 años de investigación, desarrollo y creación de nuevas tecnologías para el aislamiento, producción y monitoreo de microorganismos biomineros, BioSigma logró realizar la transferencia tecnológica y escalar sus procesos llegando a validar a nivel industrial, sus tecnologías de biolixiviación de minerales sulfurados de cobre secundarios y primarios.

Todos estos desarrollos constituyen sus activos tecnológicos, los que se encuentran protegidos por más de 100 solicitudes de patentamiento en Chile y en el extranjero (76 otorgadas y 27 en trámite).

Durante 2014, BioSigma completó un año de operación de una prueba industrial de biolixiviación en pilas, llevada a cabo junto con División Radomiro Tomic, lo que le permitió validar sus tecnologías y comprobar la creación de valor mediante la aplicación de sus biotecnologías.

Las evaluaciones técnico-económicas recientes demuestran que las innovaciones biotecnológicas desarrolladas por BioSigma permiten obtener mejores extracciones de cobre desde un mismo recurso, biolixiviando especies mineralógicas refractarias como la calcopirita. Por otra parte, acortan los ciclos de biolixiviación, llegando a un tercio de los tiempos de ciclos de biolixiviación convencionales.

La tecnología permite incrementar las reservas mineras y, por ende, capturar mayor valor por el cobre contenido en los minerales de baja ley.

## Instituto de Innovación en Minería y Metalurgia, IM2

### Instituto de Innovación en Minería y Metalurgia S.A. (IM2)

|            |   |
|------------|---|
| Inicio:    | 1998  |
| Propiedad: | Codelco <b>(99,93%)</b><br>Sociedad Inversiones Copperfield Limitada <b>(0,07%)</b> |
| Contacto:  | www.im2.cl  |

El Instituto de Innovación en Minería y Metalurgia, IM2, es una filial de Codelco que apoya la generación de conocimiento y el desarrollo de innovaciones tecnológicas para aplicarlas a los procesos minero-metalúrgicos, con el objetivo de mantener el valor del negocio en el mediano y largo plazo.

Durante 2014, se desarrollaron proyectos de investigación e innovación tecnológica en el marco de los programas tecnológicos de Codelco e iniciativas relevantes de las divisiones. De esta forma, en minería a rajo abierto, el instituto apoyó en la generación del Programa tecnológico de minería rajo y se trabajó en la preparación de la prueba piloto de los **taludes verticales y operación remota en la Mina Sur**, en División Chuquicamata.

En minería subterránea, se continuó apoyando la validación industrial de la **tecnología de minería continua** en División Andina, en las áreas de caracterización de nuevas excavaciones; seguimiento del preacondicionamiento y de la construcción de obras mineras; ventilación; preparación de la prueba y, en especial, de la mantención de los equipos.

También participó en la validación de equipos y tecnologías de desarrollo minero, donde destaca el uso de elementos prefabricados. Además, se avanzó en la búsqueda y desarrollo de la tecnología de equipos semiautónomos.

En el ámbito de **procesamiento de minerales**, se continuó el trabajo en distintas líneas tendientes a cumplir el objetivo de reducir los consumos específicos en insumos mineros relevantes; además de aumentar la recuperación metalúrgica de cobre y molibdeno.

En el ámbito de los procesos pirometalúrgicos, se apoyó el análisis preliminar de nuevas tecnologías emergentes para fundición, como el *Bottom Blowing Furnace*. Adicionalmente, se colaboró en el proceso para cumplir con la nueva norma de emisiones para fundiciones. También se trabajó en el análisis de nuevos procesos que forman parte de proyectos estructurales de Codelco, como el procesamiento de la calcina proveniente del tostador de concentrados de División Ministro Hales.

Además, se realizaron diferentes proyectos orientados a mejorar el desempeño de convertidor Teniente. En el período finalizó la validación industrial del sensor de detección de fases en reactores pirometalúrgicos en el convertidor Teniente de División Chuquicamata.

