

ABB

3 | 14  
es

# review



**Accionamientos para la minería 25**

Plataforma unificada para la minería 64

**Informática portable 70**

60 años fabricando semiconductores 84

La revista técnica  
corporativa



# Minería

Power and productivity  
for a better world™



Las dificultades que afrontan las minas y las empresas mineras son numerosas. Muchas minas se encuentran en zonas aisladas de climatología extrema. La maquinaria debe cumplir criterios de fiabilidad elevados, pese a la dureza de las condiciones en que trabaja. Hay que limitar los efectos adversos para las sociedades y para el medio ambiente. Las empresas mineras deben vigilar sus datos y optimizar sus procesos para minimizar los residuos y maximizar la productividad. Lea este número de *ABB Review* para averiguar cómo apoya ABB a las empresas mineras y como atiende sus demandas.

La imagen de la portada de este número de *ABB Review* corresponde a la mina de cobre Esperanza de Chile. La fotografía de esta página (que continúa en la página 5) muestra la planta de peletización de mineral de Gulf Industrial Investment Co.'s en Bahrein.



# Minería

- 7 La mina del futuro**  
La convergencia de las tecnologías hace avanzar el rendimiento y la productividad de la minería
- 12 Transportando el progreso**  
ABB suministra accionamientos para cintas transportadoras sin engranajes, fiables y casi sin mantenimiento, para aplicaciones de potencia y par elevados
- 18 Devanados avanzados en 3-D**  
Devanados en 3-D para GMD con sólo unos pocos clics
- 25 Mayor es mejor**  
Los sistemas de accionamiento de ABB permiten a la industria minera utilizar molinos mayores
- 31 Evolución industrial**  
Integración eléctrica con el sistema de automatización Extended Automation System 800xA de ABB con la IEC 61850
- 35 Explotación más eficiente**  
El sistema de automatización ampliado System 800xA permite la colaboración en la explotación minera
- 37 Comunicación ininterrumpida**  
Las redes inalámbricas privadas de ABB para automatización sobre el terreno mejoran la gestión del parque de vehículos de la mina a cielo abierto
- 42 Elevar el producto de la mina**  
Elevadores de ABB para minería
- 47 Transformar el mantenimiento en la minería**  
Soluciones de servicio avanzadas en minería y proceso de minerales
- 52 System 800xA avanza**  
Desmitificar MPC e implantarlo con el sistema ampliado de automatización System 800xA de ABB
- 60 Un salto adelante**  
La madurez de las TI convierte el sector de la minería de atrasado en líder
- 64 Una y no más**  
Una solución de plataforma unificada ayuda a las empresas mineras a superar las complejidades de los procesos de comercialización actuales

# Superación de barreras

- 70 Ciborgs modernos**  
Adentrarse donde sólo la ciencia ficción se ha atrevido a penetrar
- 76 Aire limpio en los muelles**  
Los incentivos fiscales pueden mejorar la calidad del aire en los puertos
- 80 Cuenta corriente**  
Modbus hace posible un nuevo sistema de medición de la intensidad eléctrica

# Eternos pioneros

- 84 Generaciones de semiconductores**  
ABB repasa 60 años de progreso en semiconductores

# La minería, a examen



Claes Ryttoft

## Estimado lector:

En esta revista abordamos con regularidad los procesos industriales y la forma en que ABB contribuye a apoyarlos, controlarlos y alimentarlos. Como se trata de una publicación de ingeniería, cabe esperar que se centre sobre todo en los aspectos técnicos. Pero no debemos olvidar que estos procesos no tendrían sentido si de uno de sus extremos no saliese un producto refinado, lo que a su vez significa que en el extremo opuesto hay que cargar productos en bruto.

Naturalmente, no todos estos productos en bruto han salido de una mina, pero la importancia de la minería queda clara cuando pensamos en lo difícil que es encontrar un objeto artificial que no contenga algún mineral o que se haya producido sin utilizar instrumentos que lo contengan.

Una de las razones por las que se presta tan poca atención a la minería es que casi siempre se desarrolla en lugares aislados, bajo tierra o en regiones desérticas o montañosas poco pobladas. El aislamiento de estos lugares dificulta no poco el trabajo de las máquinas, que deben prestar servicio en condiciones climáticas y operativas extremas y mantener la fiabilidad más elevada con una intervención mínima. Un aspecto en el que ABB está haciendo aportaciones importantes es el de los grandes sistemas de accionamientos, por ejemplo para elevadores, trituradores y sistemas de ventilación de minas.

Para evitar el desperdicio y aumentar la rentabilidad es esencial que el operario pueda tomar decisiones basadas en información exacta y útil. ABB aporta su rica experiencia en control industrial y diseño de sistemas y

en comunicaciones inalámbricas al campo de la minería y permite, por ejemplo, la convergencia de la información en la sala de control.

Estos aspectos se ilustran en doce artículos de este número de *ABB Review*.

Fuera del campo de la minería, la revista incluye también artículos sobre tendencias en informática portable, mejora de la calidad del aire en los muelles y un nuevo sistema de medición de la intensidad. Siguiendo con el aniversario que celebramos este año, también repasaremos los 60 años de experiencia de la empresa en la fabricación de semiconductores (tanto ASEA como BBC iniciaron sus actividades en el ámbito de los semiconductores de potencia en 1954).

¿Sabía que, además de impresa, *ABB Review* se distribuye en formato electrónico? Puede descargarla en la versión clásica en pdf o en presentación interactiva para smartphones y tablets. Encontrará los detalles en la contraportada.

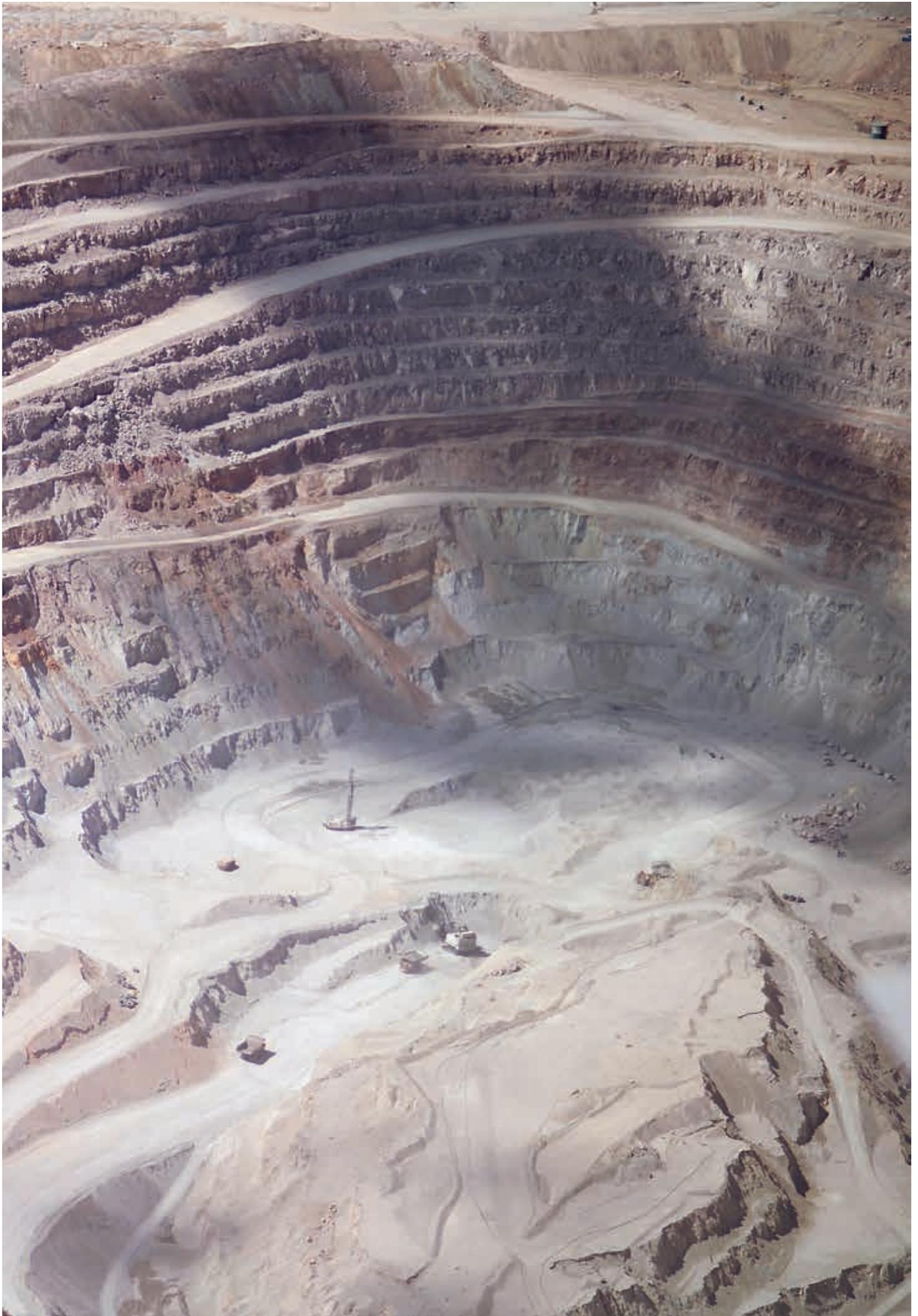
Confío en que este número de *ABB Review* le aporte un conocimiento más detallado de los problemas de la minería y de la forma en que ABB apoya al sector y contribuye a su avance.

Que disfrute de la lectura.

Claes Ryttoft  
Director de Tecnología y  
Vicepresidente Senior  
del Grupo ABB







# La mina del futuro

La convergencia de las tecnologías hace avanzar el rendimiento y la productividad de la minería

**EDUARDO GALLESTEY, CLIVE COLBERT – “Ojos que no ven, corazón que no siente” es un refrán que parece hecho a la medida del sector de la minería. Las minas suelen encontrarse en lugares aislados, muchas veces bajo tierra, y las ve muy poca gente. Pero todo el mundo toca todos los días los metales y los minerales que producen; desde los más sencillos cubiertos hasta los teléfonos de alta tecnología, hay muy pocas cosas que no contengan productos extraídos de una mina. Por no mencionar el combustible procedente de la minería que mueve el mundo. A pesar de esta presencia universal y de una historia milenaria, la minería se ha quedado atrás respecto a otros sectores industriales, como el petróleo y el gas, en lo que se refiere a la tecnología. Pero el sector se encuentra ahora al comienzo de una transformación tecnológica radical que desembocará, gracias a la integración de información y maquinaria –desde el frente de extracción hasta la fábrica– en una amplia plataforma coherente de automatización.**

## Imagen del título

La integración completa de todos los datos y equipos será el sello distintivo de la mina del futuro. Ya ahora se están instalando sistemas que facilitan este cambio radical de la industria. Uno de los muchos beneficios será el control a distancia de las minas, que a menudo se encuentran en lugares remotos.

**A**unque la demanda de materias primas está aumentando a largo plazo, el sector minero afronta dificultades únicas. La presión de la competencia está obligando a las empresas mineras a descubrir formas de aumentar el ritmo de producción, reducir el coste por tonelada producida y prolongar la duración de sus yacimientos o abrir otros nuevos. La productividad de las personas y los recursos tiene también que aumentar, porque los bajos precios de las mercancías, los crecientes costes de producción y la alta volatilidad de los precios (debida en parte a las perturbaciones del suministro, la rigidez de los mercados y los nuevos sistemas de precios) están obligando a las empresas a reducir los gastos de capital → 1-2. Realmente, la mejora de la productividad se está convirtiendo rápidamente en un elemento diferenciador fundamental de la competitividad y está entrando a formar parte de los modelos de proyección financiera.

Los costes energéticos crecientes obligan a que todo esto vaya acompañado de un consumo de energía menor y de menos emisiones de dióxido de carbono. Las empresas mineras tienen que buscar yacimientos cada vez más remotos e inaccesibles, con depósitos de menor calidad. Al mismo tiempo, tienen que esforzarse por mejorar la seguridad laboral y reducir los accidentes; la minería se

---

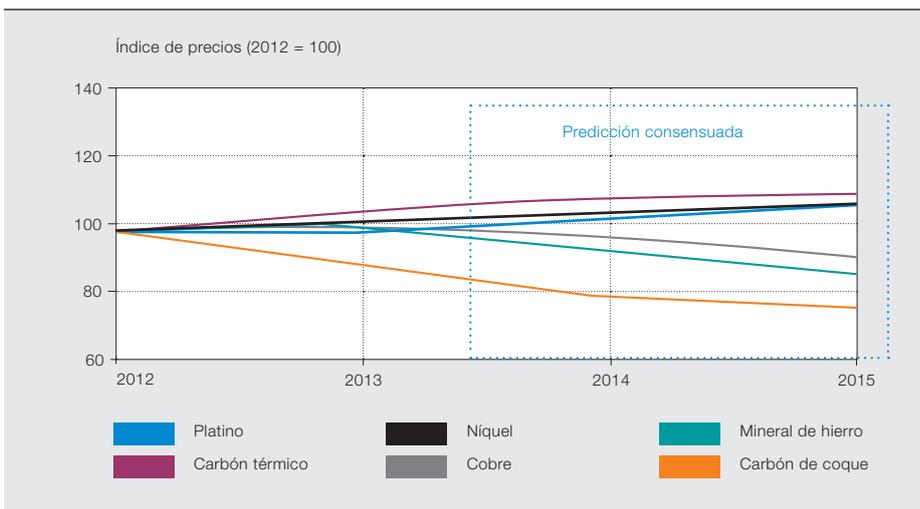
**Aunque la demanda de materias primas está aumentando a largo plazo, el sector minero afronta dificultades únicas. La solución, y el futuro de la minería, pasa por la automatización y la integración.**

ha hecho mucho más segura a lo largo de los años, pero el número de accidentes y muertes sigue siendo inaceptable.

A todo esto se suma el envejecimiento de la mano de obra. Como en otros sectores industriales, el perfil de edades de la minería aumenta poco a poco, y los trabajadores que se jubilan se llevan unos

La clave para el futuro de la minería se encuentra en la integración total. Con una plataforma de automatización moderna, como el sistema Extended Automation 800xA de ABB, se puede controlar una explotación minera completa.

**1 La evolución nada halagüeña de los precios de las materias primas en los años recientes hace que la mejora de la productividad sea un asunto urgente.**



conocimientos y una experiencia de gran valor. La situación de muchas minas en lugares aislados e inhóspitos que hace difícil llevar a expertos y contratar y mantener personal competente, agrava el cuadro.

La solución a estos problemas y el futuro de la minería pasan por la automatización y la integración de la información y el uso del conocimiento para la optimización en tiempo real de los procesos mineros.

**Una visión integrada**

La automatización no es nueva en la minería, pero la empleada en las minas suele ser más básica que en otras industrias y suele limitarse a un simple control de motores, equipos o algunas partes de los procesos.

Además, las minas suelen tener un gran número de equipos independientes de distintos proveedores. Cada una de estas "islas de automatización" puede disponer de sus propios datos, formatos de datos e interfaces, y los operarios y el personal de las salas de control debe vigilar muchas pantallas conceptualmente inconexas para coordinar diferentes partes del proceso.

La clave para este futuro de la minería reside en la integración total de los datos y procesos de trabajo. Con una plataforma de automatización moderna, como la Extended Automation 800xA de ABB, se puede controlar una explotación minera completa. La plataforma de automatización System 800xA maneja sistemas de control del proceso clásicos, sistemas de

control distribuido (DCS), sistemas de seguridad y equipos eléctricos, como accionamientos y motores, y planificación de la producción, gestión de la energía eléctrica, mantenimiento, gestión de recursos, planificación de recursos de la empresa y sistemas de documentación. Todo ello se pueden integrar en un solo entorno de control. El sistema integra distintos usuarios, vídeo en directo, sistemas de voz y aviso público, además de aplicaciones y aparatos de red. Además de productos de ABB, en el flujo del proceso se pueden integrar también productos de otros fabricantes.

Esta convergencia canaliza hacia el software cada vez más información de sistemas de tiempo real, enriqueciendo cuatro áreas fundamentales que refuerzan la eficiencia, la capacidad de respuesta y el rendimiento a lo largo de toda la cadena de valor de la mina:

- Producción inteligente y mayor productividad de personal y recursos.
- Respuesta inteligente al estado de recursos críticos.
- Planificación dirigida por la demanda.
- Menor consumo de energía y menos residuos.

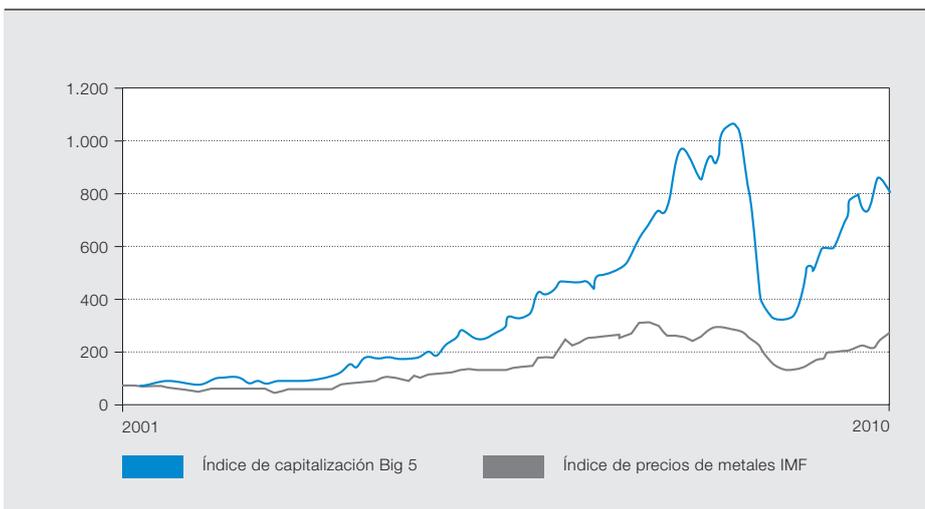
**Producción inteligente**

La integración de datos puede mejorar espectacularmente el rendimiento y la productividad → 3. Veamos algunos ejemplos:

**Proceso optimizado en función de las propiedades del mineral**

En las plantas de procesamiento de minerales, las propiedades de éstos son la principal fuente de incertidumbre. La plan-

## 2 La elevada volatilidad de los precios hace más importante tener una visión detallada de todo el proceso de la mina, desde la extracción hasta el cliente final.



ta puede reaccionar más rápidamente a la variabilidad si las propiedades del mineral se cuantifican por adelantado. La automatización generalizada lo hace posible, ya que el movimiento de materiales y la calidad del mineral se siguen desde la mina hasta la planta de transformación.

También pueden utilizar esta información los controladores de optimización del proceso que emplean estas predicciones para hacer ajustes anticipados en el circuito de molienda y flotación en función de las propiedades exactas ahora conocidas del mineral. El resultado es una mayor utilización de los equipos, una mayor recuperación y un menor consumo de energía.

### Objetivos de producción optimizados de acuerdo con las condiciones del mercado

Si bien algunas empresas mineras ya disponen de soluciones de control avanzado de procesos (APC) para la gestión en tiempo real del beneficio del mineral (molienda y/o flotación), la mayoría no pueden adaptarlo fácilmente a las condiciones en tiempo real del mercado. Por ejemplo, hay empresas mineras que no pueden contextualizar la información sobre precios relativos de productos, los datos sobre el mineral y la información de los contratos de venta, porque esta información se guarda en sistemas distintos, a menudo en una unidad completamente distinta de los operarios de la sala de control.

La convergencia de los sistemas empresariales de TI y los sistemas de control de procesos permitirán que los sistemas

APC afinen los puntos de referencia del proceso para maximizar la rentabilidad financiera de los insumos de material y el precio del producto sobre la base de la información de ventas y el índice de precios global.

### Las comunicaciones inalámbricas permiten la gestión óptima del proceso justo a tiempo.

La integración de las comunicaciones bajo tierra mejora asimismo el rendimiento de la producción. Una vez instalada bajo tierra una infraestructura de comunicaciones e informatizada la flota de equipos fijos y móviles, se abren nuevos mundos de posibilidades de intercambio de datos. Por ejemplo:

- Pueden obtenerse los resultados comunicados por los equipos móviles, como el estado de la producción en línea y los informes, análisis y estadísticas de producción. También se puede supervisar en línea la localización y el estado de los equipos móviles, junto con datos de su entorno local.
- Con esta información se pueden calcular y entregar nuevos planes de perforación y secuencias de carga para las máquinas de producción de forma oportuna para su ejecución por los equipos de explotación bajo tierra.

ABB y Atlas Copco Underground Rock Excavation, Suecia, han desarrollado un innovador sistema de integración móvil que incluye la plataforma de automatización System 800xA de ABB y la maquinaria de minería de Atlas Copco. La solución está instalada actualmente en una mina de Kvarntorp, Suecia. Esta tecnolo-

En las plantas de transformación de minerales, la mayor incertidumbre reside en las propiedades de la mena. La planta puede reaccionar más rápidamente a la variabilidad si las propiedades del mineral se cuantifican por adelantado.

Un sistema moderno de optimización de recursos puede ayudar a las minas a pasar de estrategias de mantenimiento reactivo a otras de mantenimiento predictivo y a reducir los costes de explotación.

### 3 La integración efectiva de datos de toda la empresa es esencial para mejorar la eficiencia y la productividad.



gía ofrecerá a las empresas mineras unas oportunidades y una información inigualables para el control del proceso.

La infraestructura de comunicaciones es también valiosísima para el seguimiento de los recursos.

#### Respuesta inteligente en tiempo real al estado de los recursos

El fallo de un recurso crítico para la producción puede tener consecuencias catastróficas para los objetivos de producción. Las pérdidas derivadas del fallo de una cinta transportadora principal, por ejemplo, ascienden a cientos de miles de dólares por hora.

Un sistema moderno de optimización de recursos puede ayudar a las minas a pasar de estrategias de mantenimiento reactivo a otras de mantenimiento predictivo y a reducir los costes de explotación. Las soluciones de automatización ampliada, como System 800xA, integran sistemas modernos de mantenimiento de proveedores como IBM, SAP o Ventyx. Los datos en tiempo real sobre el estado de los recursos pueden emplearse para racionalizar el mantenimiento y permitir una supervisión basada en el estado.

En el caso del sistema de cinta transportadora mencionado, si un supervisor de recursos hubiera detectado un estado anómalo, se habría producido una alarma y el sistema de control podría haber ralentizado el accionamiento para reducir el peligro de fallo. Una vez integrados, estos

sistemas se conectarían fácilmente a los sistemas de TI y generarían automáticamente una orden de trabajo para el personal de mantenimiento. Cuando termine el trabajo, el equipo puede notificarlo al instante para que el sistema de control devuelva los sistemas a su estado normal en el tiempo más breve posible.

#### La planificación dirigida por la demanda mejora la rentabilidad

La cadena de suministro de la minería se extiende desde la extracción de la materia prima hasta el cliente final pasando por el transporte de productos. Para alcanzar los objetivos de producción y productividad, las compañías mineras tienen que lograr el máximo rendimiento de explotación y la máxima eficacia en toda la cadena de suministro.

La mejor integración y automatización de todas las operaciones de la planta de procesamiento, la planificación de la mina y el mantenimiento y la gestión de recursos garantizará la disponibilidad del producto adecuado en el momento adecuado. Asegurará asimismo que los pedidos de los clientes se aceptan únicamente cuando la cadena de suministro puede entregarlos, mejorando así la capacidad de negociación y la gestión de riesgos. Además, esta visión unificada asegura que se puede programar el mantenimiento de los equipos para minimizar su efecto sobre los programas de producción mientras se mantiene el nivel necesario de disponibilidad.

#### 4 Presentación de System 800xA en un entorno móvil para mejorar la supervisión, el control y el mantenimiento en la mina de cobre Boliden Aitik en el norte de Suecia.



#### Consumo de energía reducido

Pueden conseguirse mejoras de la eficiencia energética no sólo mejorando los procesos y las tecnologías de la minería, sino también aumentando la visibilidad y el control del proceso a lo largo de la cadena de valor mediante la integración de la información y la optimización del proceso.

La ventilación, por ejemplo, puede consumir hasta el 50 por ciento de toda la energía gastada en actividades bajo tierra, por lo que ABB ha desarrollado un nuevo método único de control coordina-

La convergencia de la información puede reducir la demanda de energía en la mina de otras formas. Por ejemplo, prediciendo las necesidades de energía a fin de aprovechar los momentos de baja demanda, modelizando escenarios de “qué pasaría si” para las etapas de producción más consumidoras y analizando el perfil de la energía en un emplazamiento determinado.

#### Centros de control a distancia para alcanzar la visión

Las minas del futuro se dirigirán desde centros de control remoto. Los datos procedentes de todas partes de la explotación viajarán juntos para así optimizar la gestión precisa de la mina, desde la extracción hasta el cliente final, y los recursos y la producción en varios yacimientos. Una planta integrada de generación de electricidad y minería de carbón de Europa sirve como ejemplo sencillo de la confluencia de mina y factoría. Cuando las existencias de la central bajan, se envía un mensaje automático a la mina totalmente automatizada que excava, dosifica y mezcla el carbón automáticamente para su entrega a la planta. Totalmente automati-

zada y optimizada desde una sala de control central, representa el fin último de los futuros proyectos de minería.

#### La minería del futuro

ABB se ha comprometido con la industria de la minería y tiene un programa de investigación que cubre todos los aspectos relevantes, desde sensores hasta modelización, visualización y optimización.

El planteamiento holístico de la explotación completa de la mina incorporará aparatos y equipos inteligentes preparados para la configuración autónoma, el funcionamiento eficiente y el autodiagnóstico junto con software que proporcione una visibilidad total en tiempo real a los operarios → 4. Esto hace visibles los recursos en toda la mina; una producción inteligente basada en la demanda en tiempo casi real, las condiciones de mercado y los tipos de mineral disponible; y una respuesta óptima al estado de los recursos críticos.

Aprovechando todo el potencial de la automatización ampliada y combinando personal, equipos y sistemas en un entorno totalmente integrado, ABB cree firmemente que las compañías mineras pueden mejorar sustancialmente la productividad, la satisfacción del personal y la seguridad. El camino de la automatización para el sector minero no ha hecho más que empezar.

## La mejor integración y automatización de todas las operaciones de la planta de procesamiento, la planificación de la mina y el mantenimiento y la gestión de recursos garantizará la disponibilidad del producto adecuado en el momento adecuado.

do en toda la mina de ventiladores y reguladores de aire para conseguir una solución fiable y optimizada que actúe automáticamente para inyectar aire donde se necesite.

cia de mina y factoría. Cuando las existencias de la central bajan, se envía un mensaje automático a la mina totalmente automatizada que excava, dosifica y mezcla el carbón automáticamente para su entrega a la planta. Totalmente automati-

**Eduardo Gallestey**

**Clive Colbert**

ABB Switzerland Ltd.

Baden-Dattwil, Suiza

eduardo.gallestey@ch.abb.com

clive.colbert@ch.abb.com



# Transportando el progreso

ABB suministra accionamientos para cintas transportadoras sin engranajes, fiables y casi sin mantenimiento, para aplicaciones de potencia y par elevados.

MARCELO PERRUCCI – Con actividades mineras situadas en regiones cada vez más aisladas en las que la infraestructura es escasa, las plantas de procesamiento se sitúan con frecuencia lejos de la mina. Hay que llevar el mineral a grandes distancias (a veces bajo tierra), lo que plantea nuevas dificultades para las cintas transportadoras. Estas tienen que cubrir distancias del orden de decenas de kilómetros y salvar pendientes pronunciadas. Al mismo tiempo, hace falta más capacidad de transporte. Para aumentar la fiabilidad global, las compañías mineras desean también menos estaciones de transferencia entre

cintas. Estos requisitos se traducen en cintas más anchas y largas que transmiten pares más elevados a los ejes de las poleas. Las soluciones convencionales están limitadas por las restricciones de potencia y par impuestas por la caja reductora. En colaboración con el OEM líder del mercado TAKRAF GmbH, ABB ha presentado sistemas de cintas transportadoras que satisfacen estas mayores demandas con una fiabilidad radicalmente mayor. Se está entregando una instalación de este tipo a la compañía minera Codelco para el proyecto El Teniente de Chile.



## ABB y TAKRAF GmbH han iniciado el desarrollo de una tecnología de accionamientos de baja velocidad que abordan los principales problemas planteados por las cajas reductoras

Las transmisiones de cintas transportadoras clásicas presentan importantes limitaciones. En primer lugar, la viabilidad de una caja reductora con una potencia nominal superior a 3,5 MW es muy limitada. En segundo lugar, con potencias elevadas las cajas reductoras exigen mucho mantenimiento. Los rodamientos de la caja reductora, junto con la bomba de lubricación del sellado, los dispositivos de refrigeración del aceite, etc. pueden tener un MTBF<sup>1</sup> de solo tres o cuatro años. La sustitución de rodamientos está vincula-

da con una reparación de gran envergadura (los fallos en los rodamientos de entrada son lo más comunes).

En tercer lugar, la vida útil de la caja reductora es relativamente corta (unos 10 años por término medio). Por ejemplo, en una explotación minera con una duración prevista de 20 años habrá que cambiar las cajas reductoras al menos una vez durante la vida de la planta.

El análisis del tren motor de una cinta transportadora de 6 MW convencional revela un total de más de 22 componentes expuestos a desgaste y rotura → 1.

Para conseguir una potencia nominal de 6 MW, la solución convencional con engranajes precisa dos sistemas de accionamiento, cada uno de ellos con un motor de inducción de jaula de ardilla, un freno de disco, acoplamientos y caja reductora con numerosas piezas, como

rodamientos de motor y reductora, juntas, engranajes y lubricación con unidad de refrigeración.

Consciente de la necesidad de una solución más eficiente y fiable, ABB firmó en 2011 un acuerdo de alcance mundial con la OEM líder TAKRAF GmbH. Los socios han comenzado a desarrollar una tecnología de accionamiento de baja velocidad que resuelve los principales problemas de las cajas reductoras.

### ¡Fuera engranajes!

La solución desarrollada elimina las cajas reductoras, que exigen mucho mantenimiento, y crea un accionamiento para cinta transportadora sin engranajes (GCD) para aplicaciones de alta potencia. Utiliza un motor síncrono unido a un eje de polea adaptado, diseñado específicamente para soportar las elevadas fuerzas producidas por la máquina eléctrica.

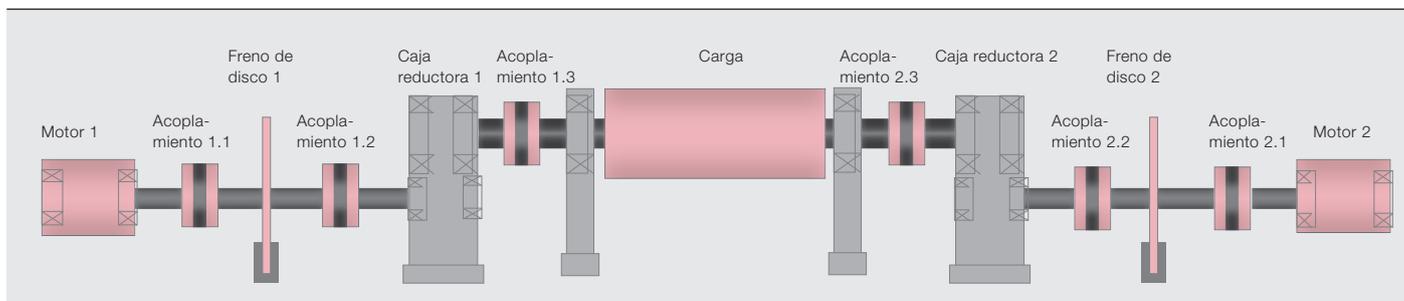
#### Nota a pie de página

1 MTBF: tiempo medio entre fallos

#### Imagen del título

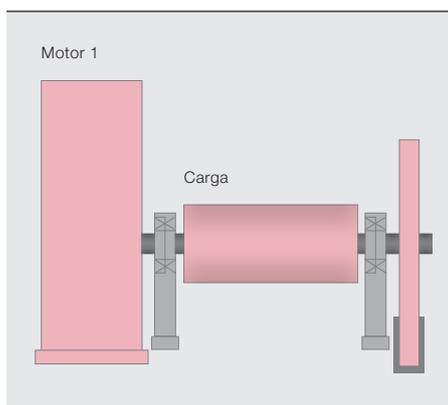
Los minerales se transportan a distancias cada vez mayores, y las cintas transportadoras deben superar nuevas dificultades. Esta imagen se ha tomado en la mina de cobre El Abra, en Chile.

## 1 Accionamiento con engranajes con motores de inducción y cajas reductoras (por ej., 2 x 3 MW)



Desgaste y roturas (componentes): > 22, MTBF (tiempo medio entre fallos) 3 – 4 años

## 2 Accionamiento simple sin engranajes con motor síncrono (por ej. 1 x 6 MW)



Desgaste y rotura principal (componentes):  
2 MTBF del motor: >30 años

Los motores síncronos funcionan a velocidad muy baja y se accionan con un convertidor de frecuencia que modula frecuencia y amplitud de la onda sinusoidal para el control completo de la aplicación. Este enfoque tiene todas las ventajas propias de un convertidor: control suave, par de arranque controlado a muy bajas frecuencias, factor de potencia elevado (que también se puede controlar para hacerlo igual a 1, en avance o en retardo) y control de velocidad variable.

Los convertidores de frecuencia utilizados en la GCD pueden ser accionamientos simples, si sólo se controla un motor, o múltiples si se conectan varias secciones de inversor al bus de CC común con

ma de accionamiento y un solo motor síncrono de 6 MW. Solo hay dos componentes expuestos a un grado elevado de desgaste y rotura, con un MTBF de hasta 30 años.

La configuración de la solución GCD → 2 contrasta claramente con la de la solución convencional → 1.

### ¿Con o sin rodamientos?

ABB y TAKRAF han desarrollado conjuntamente un concepto que elimina los rodamientos en el lado del motor, aumenta drásticamente la disponibilidad del sistema en comparación con la solución clásica con engranajes y reduce los costes de adquisición y explotación.

Todo el tren motor se dimensiona para que soporte la fuerzas de flexión sobre el eje, incluso durante condiciones de funcionamiento anómalas, como terremotos o cortocircuitos.

Todo el tren motor se dimensiona para que soporte la fuerzas de flexión sobre el eje, incluso durante condiciones de funcionamiento anómalas, como terremotos o cortocircuitos. Esta solución tiene diversas ventajas para los clientes, como la reducción

de motores controlados individualmente. Este segundo método reduce el cableado y los costes de instalación y elimina elementos como transformadores individuales e interruptores. Los convertidores pueden también trabajar en modo regenerativo para cintas transportadoras descendentes.

En contraste con las soluciones convencionales, el tren motor del sistema GCD es sencillo y muy duradero. La potencia nominal de 6 MW citada en el ejemplo anterior puede lograrse con un solo siste-

de peso y la longitud de todo el tren motor, la disminución de repuestos y la facilidad de mantenimiento.

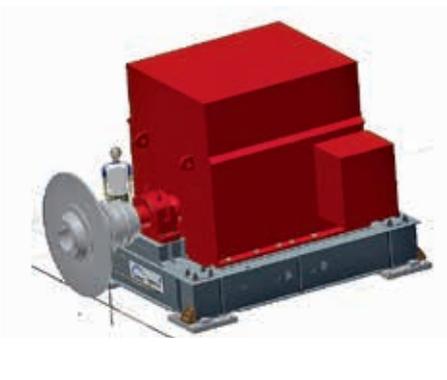
Por otra parte, la instalación equivalente con rodamientos aporta gran flexibilidad para los clientes que tienen limitaciones para la instalación, por ejemplo, cuando la polea motriz de la cinta transportadora está suspendida a varios metros del suelo y no se pueden construir cimientos de hormigón. Los rodamientos se utilizan como un buen apoyo que asegura el giro sin rozamiento del eje de la polea de la cinta

### 3 Comparación de las soluciones con engranajes y sin ellos

Parámetro	Solución con rodamientos	Solución sin rodamientos
MTBF	Duración limitada de los rodamientos	Mayor
Fiabilidad	Reducida debido a los rodamientos y acoplamientos	Mayor
Exige supervisión extra	Sí (para rodamientos y acoplamientos)	Sí (para el espacio de aire)
Sistema de lubricación de los rodamientos	Sí	No
Peso de transporte	45 t (hay cargas útiles mayores y menores)	30 t (hay mayores y menores)
Capacidad de la grúa	Mayor (sólo 1 pieza)	Menor (puede dividirse entre rotor y estátor)
Acoplamiento	Sí (flexible)	No
Otros repuestos	Sí (para rodamientos y acoplamientos)	No
Tren motor	Más largo	Más corto
Costes Capex y Opex	Mayores	Menores
¿Hay solución ABB/TAKRAF?	Sí	Sí

La electrificación de la nueva cinta transportadora de superficie sin engranajes forma parte de la ampliación de un total de 550 millones de dólares de la mina El Teniente.

### 4 Bastidor de la base del motor hecho por TAKRAF



transportadora, y pueden ayudar también a hacer más estable el tren motor y a reducir la necesidad de cimientos reforzados. Por tanto, ABB y TAKRAF ofrecen ambas soluciones. La elección óptima depende del cliente y del proyecto → 3.

#### Proyecto El Teniente

ABB ha conseguido un pedido de suministro de equipos eléctricos, incluyendo su nueva GCD, para la mayor explotación de Codelco en Chile. El contrato lo obtuvo Tenova TAKRAF (como contratista principal del sistema de cinta transportadora) de Leipzig, Alemania, en diciembre de 2012.

La electrificación de la nueva cinta transportadora de superficie sin engranajes forma parte de la ampliación de un total de 550 millones de dólares de la mina El Teniente, situada unos 70 km al sureste de Santiago de Chile.

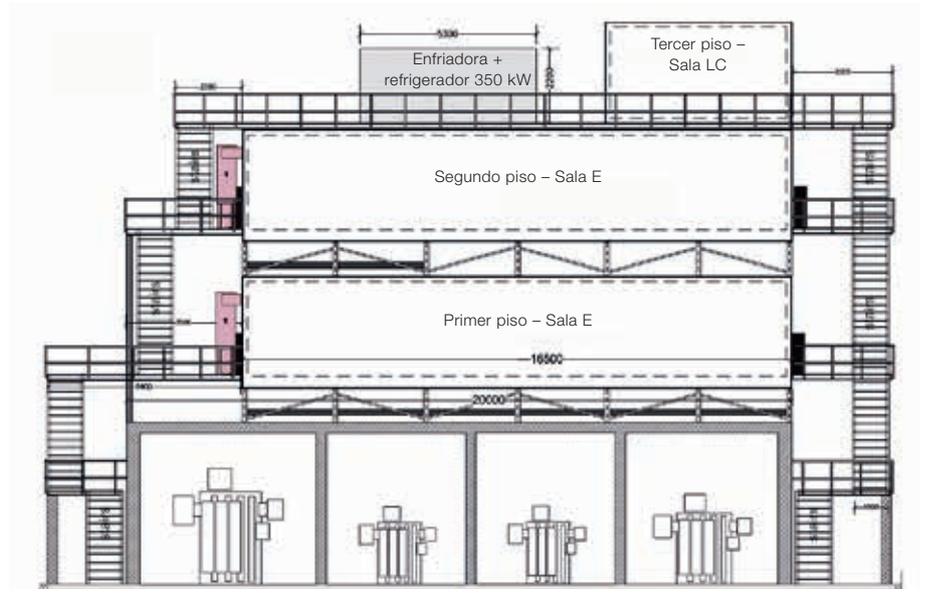
#### Alcance del proyecto

El ámbito total del proyecto de El Teniente no se limita al tren motor de la GCD. ABB logró contratar todos los aspectos de los equipos eléctricos desde los terminales del cable de alimentación de media tensión y hasta el árbol motor, incluyendo todos los equipos principales y auxiliares de distribución, sensores, módulos eléctricos personalizados, instrumentación de campo, equipos de refrigeración y sistema de control y automatización.

#### Motores principales

En total se suministrarán 12 motores de 2,5 MW a 56 rpm. Motores síncronos de baja velocidad, como los que se suelen utilizar en los montacargas sin engranajes de las minas, sirven como base para el concepto de los motores. Además, el motor tiene que adaptarse a la aplicación de cinta transportadora. Por ejemplo, era necesario un medio para reali-

## 5 Las limitaciones de espacio obligaron a colocar los módulos para CV-01 por encima de los transformadores.



near fácilmente el motor tras haber alineado la polea motriz de la cinta transportadora. Para ello, se montó el motor sobre un bastidor especial construido por TAKRAF → 4. La creación de este bastidor requirió una estrecha colaboración entre TAKRAF y ABB.

### Módulos eléctricos

Los cuatro módulos eléctricos son contenedores completamente sellados y a prueba de sismos. Cada módulo contiene apartamento de media tensión aislada en gas (Sx2) con dos alimentadores de entrada. Además, los contenedores alojan controladores de motor, apartamento de baja tensión (de ABB), SAI<sup>2</sup> con baterías y aire acondicionado, paneles PLC<sup>3</sup>, paneles de comunicaciones, detectores de incendio y extintores. Además se reserva espacio para los propios armarios de conexión del cliente.

Los contenedores están diseñados especialmente para las exigentes condiciones del emplazamiento, como espacio y accesibilidad limitados en plataformas de roca; grandes cargas de nieve; y condiciones sísmicas. Por ejemplo, la cinta

CV-01 está diseñada como una construcción de tres plantas que descansa sobre la parte superior de las cajas de transformadores → 5. Otros módulos eléctricos tienen que dividirse en hasta seis secciones para su transporte.

### Equipos de control

Cada módulo está equipado con controladores PLC AC800M redundantes de ABB. Los controladores sirven como unidades de proceso para los accionamientos principales de la cinta transportadora,

## Los 6 MW de potencia nominal se pueden lograr con sólo un sistema de accionamiento.

los accionamientos auxiliares y aparatos a pie de obra.

Las comunicaciones se basan en el MMS Ethernet, el TCP Modbus Ethernet y el bus de campo PROFIBUS DP, todos ellos redundantes, para enlazar por ejemplo con:

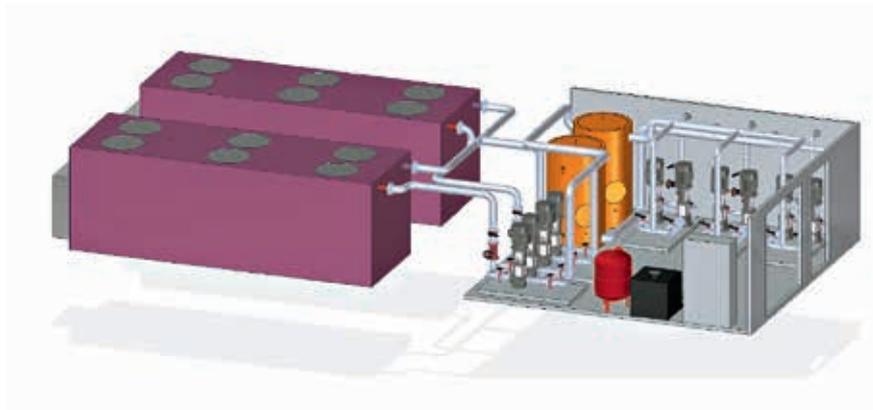
- S800 remote I/O
- Generadores de canales Dupline
- Dispositivos de supervisión de la cinta
- Puesta en marcha inteligente CCM y VFD (accionamientos de frecuencia variable)
- Unidad de refrigeración para VFD y motores → 6

### Nota a pie de página

2 SAI: sistema de alimentación ininterrumpida

3 PLC: controlador lógico programable

El ámbito total del proyecto de El Teniente no se limita al tren motor de la GCD. ABB logró contratar todo el ámbito del equipamiento eléctrico.



El MCCP asegura que todos los convertidores de frecuencia conectados aplican el mismo par a la cinta.

- Básculas para cintas
- Controladores de freno SOBO
- Módulos Pt100 para supervisión de la temperatura y
- Módulos contadores de velocidad y supervisión de deslizamiento (poleas motrices y no motrices)

#### Software

Las aplicaciones de controlador se estructuran en una forma normalizada y fácil de leer de acuerdo con las normas de ABB. La aplicación se basa en la biblioteca de software System 800xA Minerals Library de ABB. Un conjunto de módulos de software diseñados expresamente para apoyar la aplicación de cintas transportadoras.

#### Estación central de control

La empresa minera obtendrá toda la información necesaria del proceso por medio de cinco puestos de operador en

forma de pantallas gráficas, listas de alarmas y sucesos y presentaciones de tendencias para vigilar y controlar los equipos. Los operadores pueden controlar y supervisar el proceso, pero no pueden cambiar los parámetros ni los valores de configuración.

#### Control de los accionamientos principales

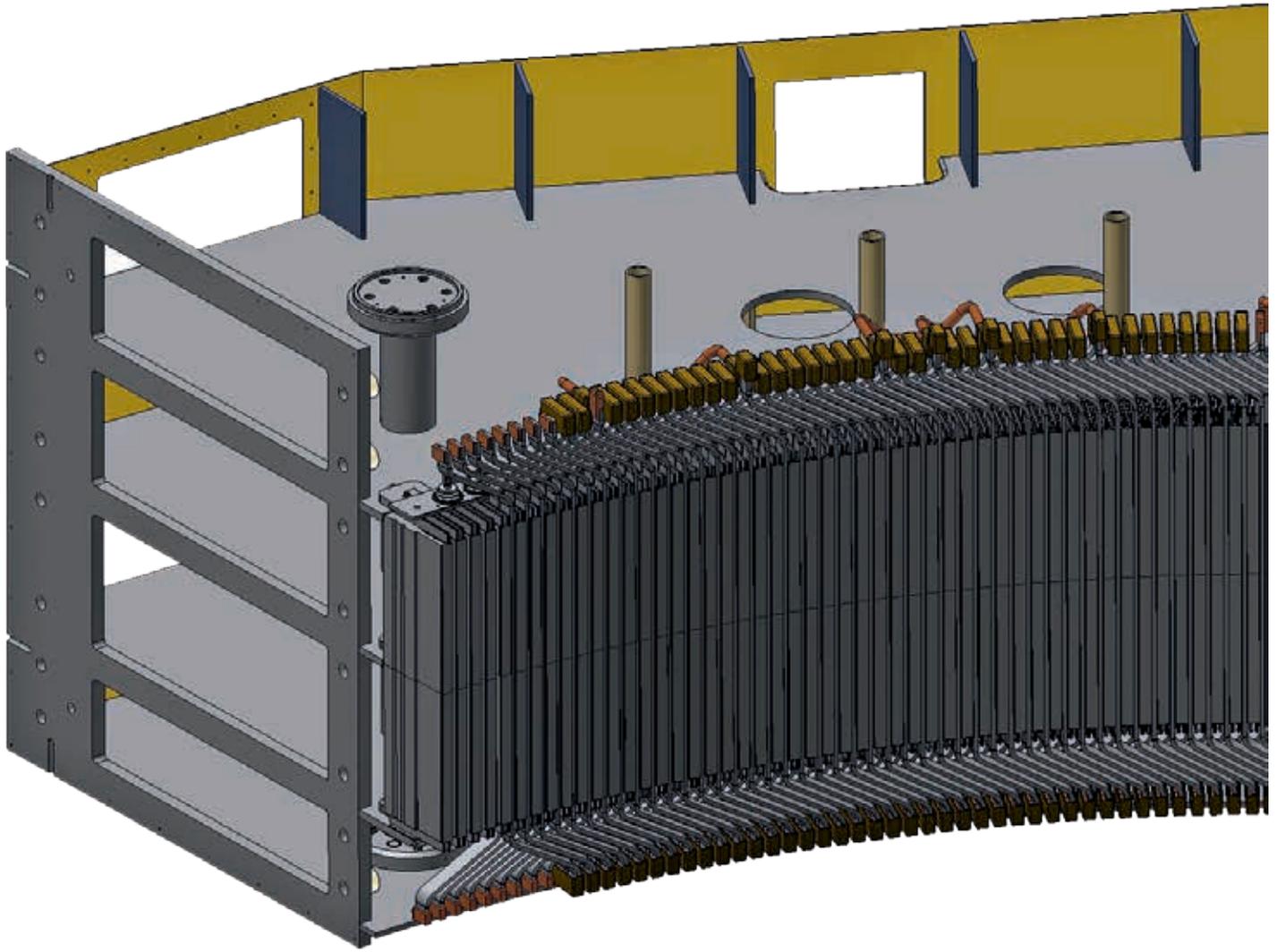
Los VFD de ABB se integran con una interfaz de bus de accionamiento de alta velocidad (DDCS) para controlar los accionamientos principales y con PROFIBUS DP para leer la información de diagnóstico.

El programa Mining Conveyor Control Program (MCCP) de ABB proporciona el control principal de la cinta transportadora. El sofisticado bucle de control es superior a los métodos de control clásicos (como el maestro-esclavo básico) en precisión y flexibilidad del control. Se presta especial atención al arranque de la carga compartida y al funcionamiento compartido entre los motores a fin de mitigar los picos elevados de par y la oscilación longitudinal en la cinta.

El MCCP asegura que todos los convertidores de frecuencia conectados apliquen el mismo par a la cinta, mientras que se puede ajustar el reparto de carga definido entre las distintas poleas. Además de todas las limitaciones necesarias, en el MCCP se incluyen funciones de supervisión y protección.

#### Marcelo Perrucci

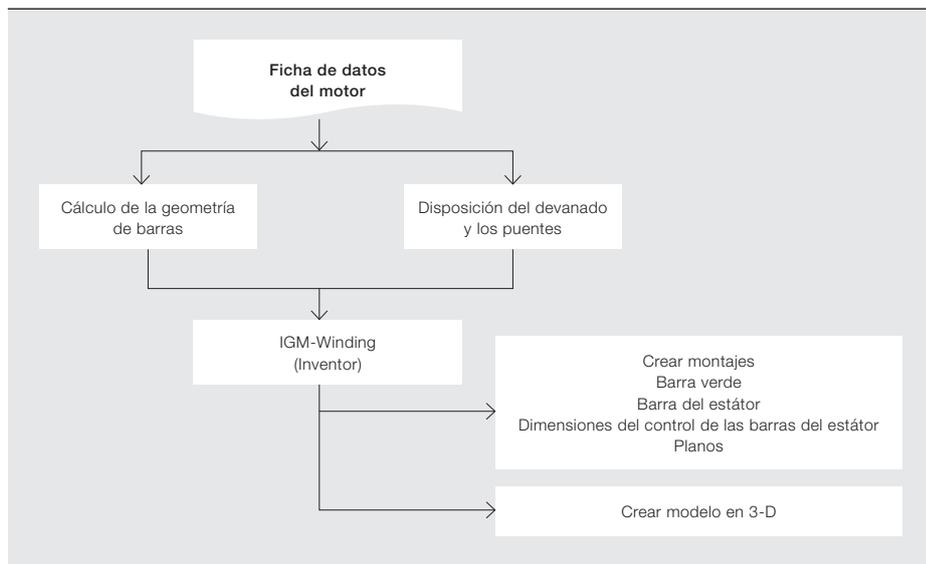
ABB Process Automation, Industry Solutions  
Baden-Dattwil, Suiza  
marcelo.perrucci@ch.abb.com



# Devanados avanzados en 3-D

Devanados en 3-D para GMD con sólo unos pocos clics

MACARENA MONTENEGRO-URTASUN, GIOVANNI CANAL, JAN POLAND, AXEL FUERST – Los accionamientos para molinos de transmisión directa (GMD) se fabrican de forma individualizada de acuerdo con la especificación del cliente y por tanto no se ofrecen como productos comerciales listos para usar. Según el IEEE, el 33% de los fallos, y los enormes costes de inmovilización correspondientes, detectados durante el funcionamiento normal en motores de gran tamaño están relacionados con los devanados del estator. ABB ha presentado una filosofía para el diseño en 3-D de devanados que permite evaluar y comparar distintas disposiciones de devanados y ofrece una base sólida para el análisis y la elección de soluciones. Esto se traduce en menores costes de fabricación, instalaciones más rápidas, tiempos de reparación más breves y menor riesgo de fallos del devanado debidos al mal diseño.



ingeniería más detalladas. La parte más compleja de esto es el diseño del devanado del motor.

de la herramienta son los planos de construcción de cada pieza precisa para construir el devanado → 1.

**A**BB entregó el primer GMD del mundo, un motor de 8.600 caballos (6,4 MW) para un molino de bolas, a Lafarge Cement en Francia en 1969. Desde entonces, los sistemas GMD se han hecho más grandes, más potentes, y trabajan ahora a mayores altitudes, incluso por encima de 4.000 m, donde las extremas condiciones ambientales y de contorno complican la vida útil de un GMD. En estas exigentes condiciones, solamente los mejores diseños de devanados resistirán.

#### Diseño óptimo con IGM-Winding

El método de diseño actual para los GMD es desarrollar modelos de GMD en 3-D basados en la parametrización y generar planos de fabricación en 2-D. Actualmente, los parámetros se calculan a partir de los datos de la especificación del motor y, a partir de ahí, se crea automáticamente un modelo en 3-D. Este modelo es la base para simulaciones numéricas y de

Sin las herramientas adecuadas, el diseño y la optimización de los devanados es una tarea casi imposible, que exige muchísimo tiempo sólo para evaluar las posibles disposiciones del devanado y para minimizar el riesgo de fallos debidos a entrehierros insuficientes. El objetivo era desarrollar una herramienta que creara un modelo paramétrico en 3-D desde la barra aislada al montaje completo del devanado para evaluar y optimizar distintos devanados antes de elegir la mejor opción para su fabricación. El resultado de la herramienta es un juego completo de planos de construcción optimizados y revisados necesario para la fabricación del devanado, y el posterior control de calidad. La herramienta que ABB ha desarrollado para hacerlo se llama “IGM-Winding”.

El cálculo de la geometría de barras se compone de una breve rutina que permite el cálculo geométrico de las barras del estator empleando como entradas los valores de la ficha de datos del motor.

Las disposiciones del devanado y los puentes se calculan con una herramienta desarrollada por ABB → 2a. Los puentes

## La herramienta de diseño se implantó en tres etapas: cálculo de la geometría de barras, cálculos de la disposición del devanado y modelo paramétrico en 3-D del devanado.

pueden disponerse de distintas formas sin influir en la configuración eléctrica del diseño → 2b. Una vez seleccionada la configuración final, es necesario crear una lista que define el tipo de barra que se coloca en cada ranura → 2a.

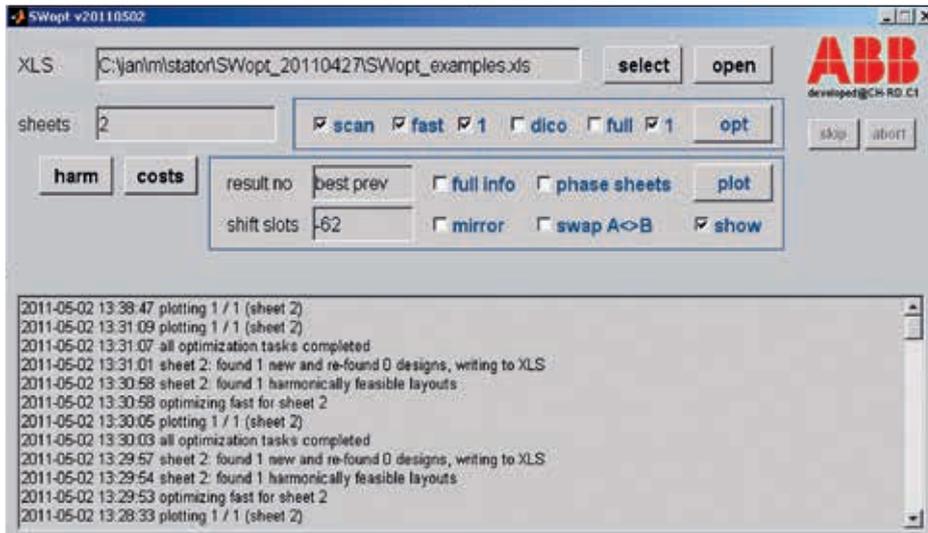
#### Imagen del título

La sofisticada herramienta de diseño IGM-Winding de ABB aporta a los ingenieros electrotécnicos un medio potente para optimizar los devanados. El producto obtenido, de mayor calidad, ahorra costes, acelera la instalación y disminuye el riesgo de fallos, cualidades muy de agradecer en lugares aislados.

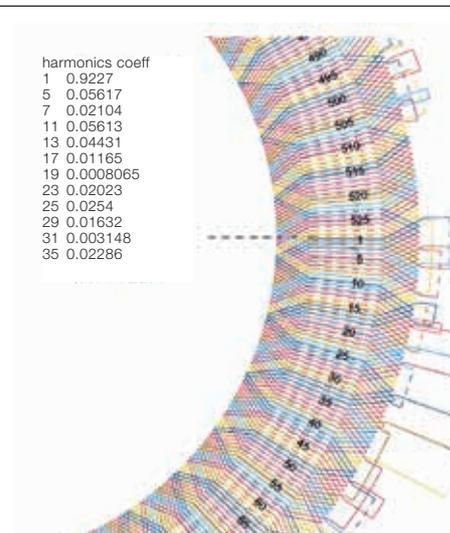
#### Tres etapas, un proyecto.

A lo largo de los dos últimos años, se ha ido poniendo en servicio la herramienta de diseño en tres etapas: cálculo de la geometría de barras, cálculos de la disposición del devanado y modelo paramétrico en 3-D del devanado. El resultado

La herramienta de devanados en 3-D, IGM-Winding, realizada en Autodesk Inventor, construye y dibuja el modelo paramétrico en 3-D del devanado y sus componentes, utilizando como entradas los valores obtenidos de la geometría de



2a Presentación típica



2b Disposición del devanado obtenida con la herramienta

cálculo de barras y el cálculo de la disposición del devanado.

### Elección de la mejor disposición de devanado

La decisión sobre la mejor disposición del devanado es un complicado problema de optimización. Puesto que se suelen preferir devanados fraccionarios (disposiciones en las que el número de ranuras no es un entero múltiplo del número de polos por el número de fases) por sus favorables propiedades de armónicos, cada bobina no puede conectarse directamente a su vecina. Una configuración de devanados válida debe incluir puentes, que salven la separación entre terminales de bobinas que están separados por algunas ranuras. Estos puentes se pueden colocar de manera más o menos favorable, siendo el principal criterio la minimización de material (cobre) y costes de fabricación. De hecho, el problema de la disposición de una sola fase es un ejemplo del famoso problema del viajante de comercio (TSP), uno de los más estudiados en la optimización matemática. El objetivo es encontrar un camino que recorra todas las bobinas (en términos del TSP: ciudades) una vez y sólo una, de tal forma que sea mínimo el coste del viaje (que es el coste de los conectores). El problema del TSP pertenece a una categoría de problemas difíciles de resolver, y la idea generalizada es que lo seguirá siendo en el futuro.

En cuanto a la propia disposición del devanado, hay que resolver un problema aún más difícil que el del TSP. Hay un

problema TSP para cada fase y todos están interrelacionados, porque todos los puentes seleccionados para las disposiciones optimizadas no deben interferir entre sí. Además, los campos eléctricos inducidos alrededor de los puentes interactúan si los puentes son adyacentes, por lo que se desean interacciones favorables de los campos que se cancelen entre sí, no que se refuercen mutuamente. Además de la colocación de los puentes, hay que decidir la asignación de las barras a las tres fases, y esta decisión influye sobre las propiedades de los armónicos del devanado.

La tarea de optimizar la disposición del devanado se traduce en estructuras de optimización matemática de uso común: programación lineal entera mixta (MIP) y programación bajo restricciones (CP). La formulación MIP ofrece la ventaja de que se pueden acomodar en la estructura (versiones linealizadas a trozos de) todos los criterios de diseño. El inconveniente es que los métodos de resolución de MIP emplean normalmente una estrategia de “branch-and-bound” en un árbol de búsqueda, lo que puede requerir mucho tiempo de cálculo para completar una optimalidad probada. Por otro lado, la CP es un método distinto que lleva a cabo una búsqueda de buenas disposiciones del devanado guiada por las restricciones del problema (los conflictos geométricos de los puentes). Tiene la ventaja de que suele producir soluciones muy buenas muy rápidamente, pero sin la garantía de una optimalidad global.



### Diseño del devanado en 3-D

El primer paso del proceso de diseño de devanados en 3-D es la creación del grupo del devanado: un estator completo en el que el número total de ranuras se llena con las correspondientes barra superior (TB) y barra inferior (BB). Para este primer paso, es necesario crear un montaje de barras en 3-D que incluya la barra y todos los elementos asociados, es decir, las diferentes orejetas, conexiones en zig-zag y tapones aislantes. Se hace esto para las barras superior e inferior, porque son geométricamente distintas → 3.

Una vez que se han construido los conjuntos TB y BB, la herramienta empieza a rellenar automáticamente cada ranura del montaje de devanados en 3-D con el tipo correspondiente de TB y BB. Al finalizar, el montaje del devanado en 3-D corresponde a una representación

Una vez que se ha elegido la disposición del devanado, el proceso de diseño continúa con la integración del devanado en el bastidor → 4. Este paso es crucial para la validación del diseño, especialmente para GMD situados a gran altitud, y para corroborar mediante medidas de precisión todas las distancias precisas para instalar o ajustar elementos críticos en la máquina.

La disposición de las barras terminales se integra en el bastidor → 5. Esta es la única parte del diseño que se hace a mano y toma en consideración el mejor encaminamiento posible basándose en ángulos de doblado, longitud de las barras terminales y posición de la caja de terminales.

### Interfaz de usuario de IGM-Winding

La interfaz de usuario de IGM-Winding determina el ajuste general del software. El programa genera los protocolos de los

pasos y los planos durante el proceso.

Se guardan en "Info" y "Log" y pueden exportarse a un archivo CSV. La función llamada Green Bar crea dos planos: la barra verde y la consolidada. Estos planos hacen falta al principio

del proceso de diseño y se envían al suministrador de cobre para que fabrique las barras Roebel.

La función "Create Assemblies" tiene que ejecutarse antes de realizar otros planos. Crea todos los modelos en 3-D de los distintos tipos de montaje de TB y BB (M01, M02, etc.) y sus distintos elementos.

La mayor innovación de IGM-Winding es su capacidad para parametrizar en 3-D cualquier configuración de devanado, ayudando así a la comparación entre variantes y facilitando la creación automática de planos.

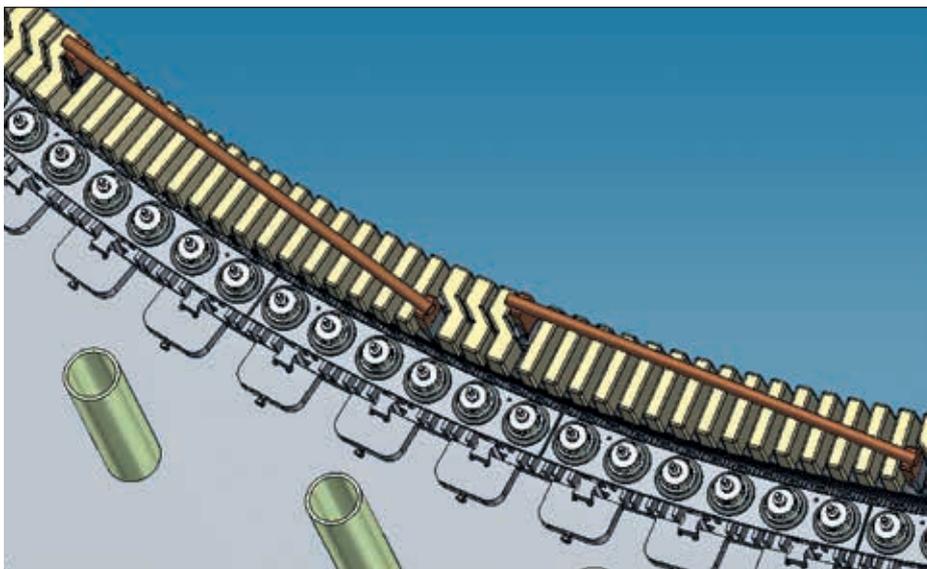
El problema del TSP pertenece a una categoría de problemas difíciles de resolver, y la idea generalizada es que lo seguirá siendo en el futuro.

paramétrica en 3-D de la disposición del devanado.

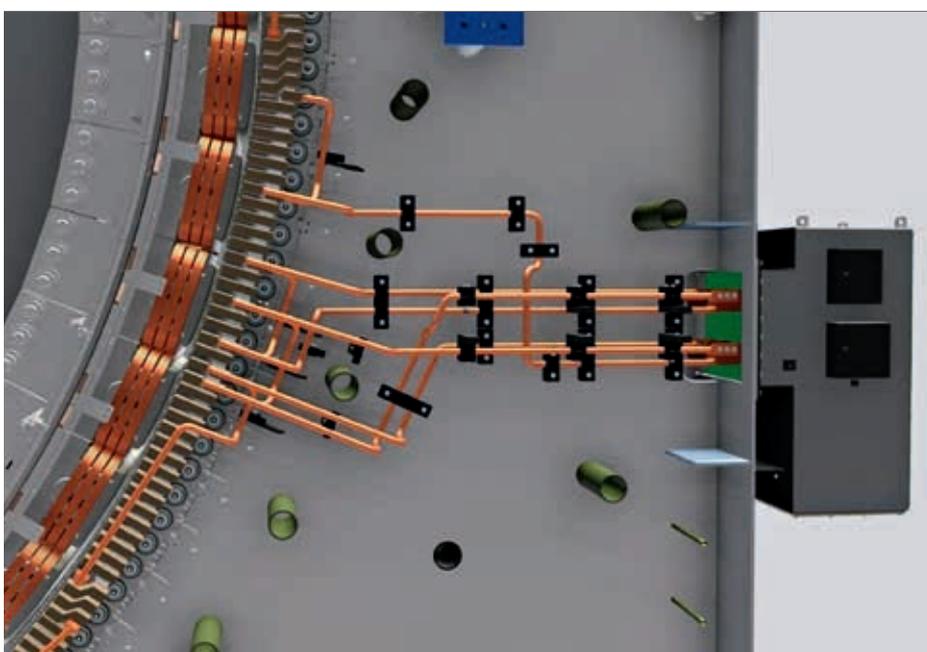
Normalmente es posible obtener varias disposiciones de devanado con diferentes combinaciones de puentes para cada una de ellas. La mayor innovación de IGM-Winding es su capacidad para parametrizar en 3-D cualquier configuración del devanado, ayudando así a la comparación entre variantes y facilitando la creación automática de planos.

La tarea de optimizar la disposición del devanado se traduce en las estructuras de optimización matemática utilizadas normalmente.

#### 4 Integración del devanado en el bastidor



#### 5 Barra terminal y barras de fase conectadas a la caja terminal. Deben diseñarse con cuidado, ya que el espacio está limitado.



Las funciones “Stator Bar” y “Stator Bar Control Dimensions” producen los planos de los distintos tipos de barras de la disposición del devanado y sus correspondientes dimensiones del control para la fabricación de las barras. Estos planos son muy importantes para la fabricación de la herramienta de doblado, para la producción de las barras y para el control de calidad.

La función “Create 3-D Model” crea el montaje del devanado en 3-D.

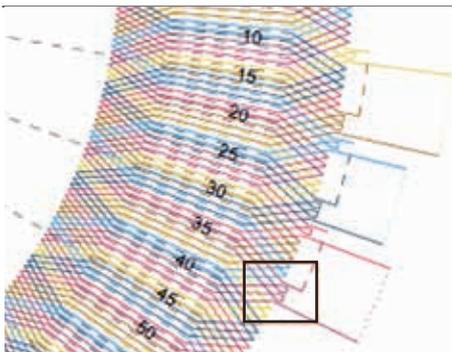
#### Possible optimización

Una vez reunida toda la información y definidas las distintas disposiciones posibles, puede procederse a la optimización. Un ejemplo de una máquina con 540

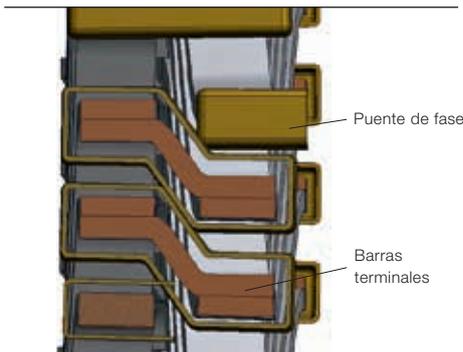
ranuras y 36 pares de polos sirve para ilustrar las posibilidades de IGM-Winding.

A primera vista, la disposición del devanado parece bastante simple, sin puentes en el devanado del estator y con puentes solo en la zona de las barras terminales. Una vista detallada muestra los puentes de fase, las barras terminales y las conexiones en zig-zag. El cuadrado negro delimita el montaje en 3-D, con una vista desde arriba en → 7. Gracias a la vista en 3-D es posible predecir dos regiones donde aparecerán problemas cuando se fabriquen los tapones aislantes sobre las conexiones de las barras del devanado. El espacio entre el tapón aislante de la barra terminal y la conexión

6 Disposición en 3-D del montaje del devanado. El detalle del área del cuadrado negro se ilustra en la figura siguiente.



7 Vista en 3-D de la disposición del devanado



8 Montaje del devanado en 3-D



en zig-zag próxima no permite la construcción. Se da la misma situación entre el tapón aislante del puente de fase y la conexión en zig-zag inmediata. La falta de espacio impide construir este devanado empleando conexiones en zig-zag. Para buscar otra solución es necesario considerar la distancia mínima entre las conexiones y la viabilidad de la construcción y el aislamiento de la nueva geometría de conexiones.

El proceso de optimización puede efectuarse en cualquier etapa del diseño, y en este caso concreto incluye principalmente la viabilidad de la construcción de la pieza alternativa, manteniendo las tolerancias y entrehierros mínimos. La vista en 3-D de una disposición de devanado presenta una situación completamente diferente que la de 2-D → 8.

La optimización de costes, sin ningún efecto sobre la calidad o las prestaciones, no solamente se relaciona con el número de puentes presente en una disposición del devanado. También puede relacionarse con el precio de una conexión en zig-

zag en comparación con el de un puente doblado de pequeño tamaño. El coste del inductor adicional que se requiere para la soldadura de una conexión en zig-zag, así como el tiempo invertido en la soldadura, la localización de terminales, la longitud, etc. desaparece cuando se aplica el puente pequeño (el mismo inductor que las barras terminales). Hay que tener en cuenta todos estos aspectos para conseguir la solución más viable.

#### Diseño óptimo, riesgos mínimos.

La herramienta IGM-Winding, exclusiva de ABB, optimiza la disposición del devanado de una máquina eléctrica y ayuda a los equipos de diseño y construcción a tomar las mejores decisiones basándose en modelos de 3-D parametrizados y precisos. El proceso automatizado y la predicción entregados en etapas iniciales de problemas críticos del diseño permiten la minimización del tiempo de diseño y creación de planos.

La predicción precisa de distancias críticas minimiza el riesgo de problemas en la fabricación y, posteriormente, de fallos

La herramienta IGM-Winding, exclusiva de ABB, optimiza la disposición del devanado de una máquina eléctrica y ayuda a los equipos de diseño y construcción a tomar las mejores decisiones basándose en modelos de 3-D parametrizados y precisos.

prematurados de los devanados a causa de un mal diseño, especialmente para los GMD situados a gran altitud. IGM Winding se puede utilizar para diseñar cualquier motor o generador y ya está en servicio para los diseños de GMD de ABB.

#### Macarena Montenegro-Urtasun

##### Giovanni Canal

Process Automation

Baden-Dättwil, Suiza

macarena.montenegro-urtasun@ch.abb.com

giovanni.canal@ch.abb.com

#### Jan Poland

ABB Corporate Research

Baden-Dättwil, Suiza

jan.poland@ch.abb.com

#### Axel Fuerst

anteriormente en ABB Process Automation

#### Agradecimientos

ABB desea agradecer a Mensch und Maschine CAD-LAN AG por apoyar este proyecto, especialmente la contribución de Peter Voegeli quien encontró una forma muy eficiente de formular la geometría de 3-D en Inventor.





# Mayor es mejor

Los sistemas de accionamiento de ABB permiten a la industria minera utilizar molinos mayores

VENKAT NADIPURAM – Actualmente, uno de los mayores desafíos para la industria minera es mantener la producción a pesar de que la calidad del mineral ha disminuido en un 40 por ciento en el último decenio. La rentabilidad debe ser atractiva incluso con un aumento de los costes de la energía y de la normativa medioambiental. Los analistas del sector esperan que la industria minera presente un crecimiento modesto en los próximos decenios, haciendo así esencial una mayor productividad. Como líder del sector de accionamientos de molinos, ABB combina su amplio conocimiento de la industria con su experiencia en el suministro de una cartera variada de soluciones de accionamientos para la industria minera.

---

#### Imagen del título

Las soluciones de ABB ayudan a mover los enormes molinos que se utilizan actualmente en la industria minera. Este es el GMD de la mina de cobre Esperanza de Chile.

En el proceso de triturado, distintos molinos son movidos por distintos tipos de accionamientos eléctricos.

### 1 Distintos procesos de triturado

Proceso	Tamaños (mm)
Explosión	∞ – 1000
Machacadora giratoria	200 – 1000
Machacadora cónica	20 – 200
Molino AG / SAG	2 – 200
Molino de rodillos	5 – 20
Molino de bolas	0.2 – 5
HPGR	1 – 20
Molinos de medios agitados	0.001 – 0.2

<span style="display:inline-block; width:15px; height:10px; background-color:orange; border:1px solid black;"></span> Explosión	<span style="display:inline-block; width:15px; height:10px; background-color:yellow; border:1px solid black;"></span> Machacado
<span style="display:inline-block; width:15px; height:10px; background-color:lightgray; border:1px solid black;"></span> Molido	

### 2 Molino de bolas de la mina de cobre Aitik de Boliden



En su nivel más básico, la minería trata de liberar el metal valioso encerrado en la mena. Pero no hay nada básico en el triturado del mineral en bruto. Para reducir el tamaño de los trozos de mineral bruto a una forma más utilizable se llevan a cabo procesos complicados que emplean varios molinos diferentes → 1. Los circuitos de triturado están frecuentemente unidos entre sí por cintas transportadoras. El machacado y el molido son los dos procesos principales y críticos de una instalación de triturado, cada uno de los cuales precisa equipos fiables y con eficiencia energética que también incluyen sistemas de accionamiento.

Los circuitos de triturado se clasifican generalmente como circuitos de bolas autógenos de molido-machacado (ABC) o semiautógenos de bolas de molido-machacado (SABC). Un circuito ABC se compone de un molino autógeno para molido (AG), un molino de bolas y una machacadora. Un circuito SABC se compone de un molino semiautógeno para molido (SAG), un molino de bolas y una machacadora. Un molino de bolas es un cilindro horizontal giratorio ligeramente inclinado, parcialmente lleno de bolas cerámicas, guijarros de pedernal o bolas de acero inoxidable, que muelen el material por fricción e impacto con las bolas que van dando vueltas hasta el grado de finura necesario → 2.

Un ejemplo de un circuito de triturado normal en la industria que proporciona una elevada producción puede verse en → 3. Pero este circuito tiene un elevado consumo específico de energía por tonelada de mineral procesado, causado principalmente por el bajo rendimiento de los molinos de bolas y la necesidad de utilizar medios de acero para el molido.

#### Accionamiento de molino movido por corona dentada

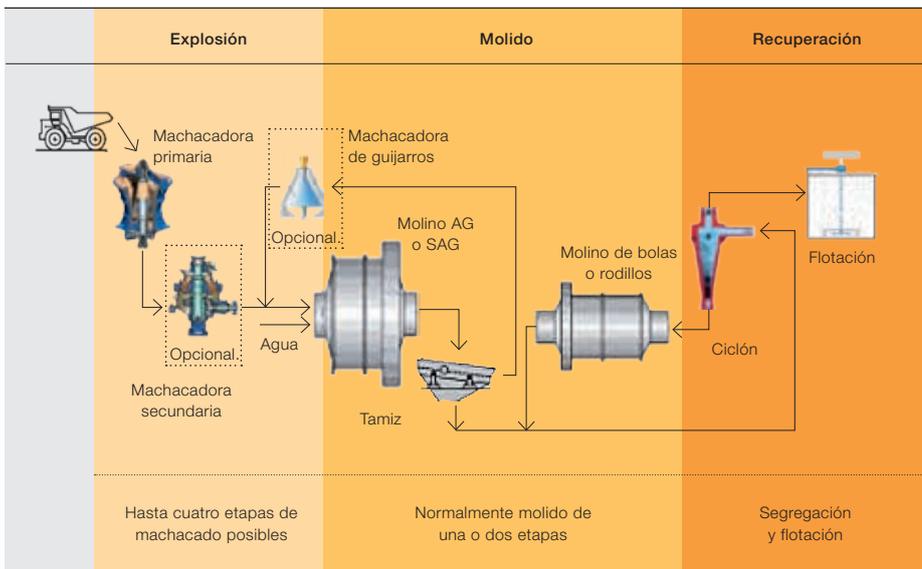
En el proceso de triturado, distintos molinos son movidos por distintos tipos de accionamientos eléctricos. ABB suministra distintos tipos de soluciones de accionamiento para el sector minero.

Por ejemplo, los sistemas de accionamiento de molino movido por corona dentada (RMD) son buenas soluciones cuando la potencia necesaria para mover el molino es inferior a 18 MW, con un máximo de 9 MW por piñón → 4. Los molinos de tubo aumentan de tamaño para satisfacer la demanda de mayores producciones, pero también aumenta la potencia necesaria para moverlos. Aunque ABB puede fabricar accionamientos para potencias muy grandes, los engranajes mecánicos limitan su aplicación al accionamiento de molinos de tubo cuando la potencia requerida es mayor de 18 MW.

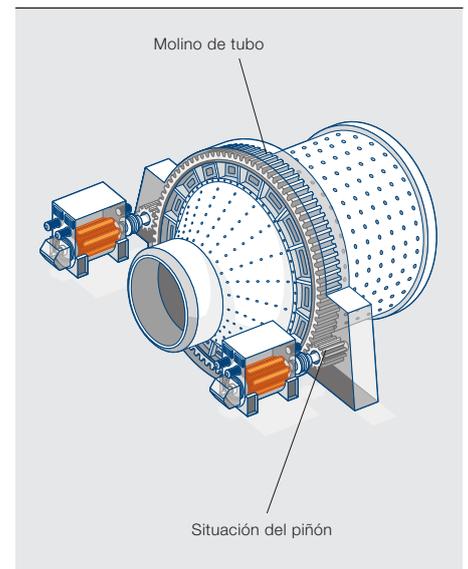
#### Accionamiento para molino de transmisión directa

La limitación de un sistema RMD la superó ABB cuando presentó el primer accionamiento para molino de transmisión directa (GMD) en 1969 para la industria

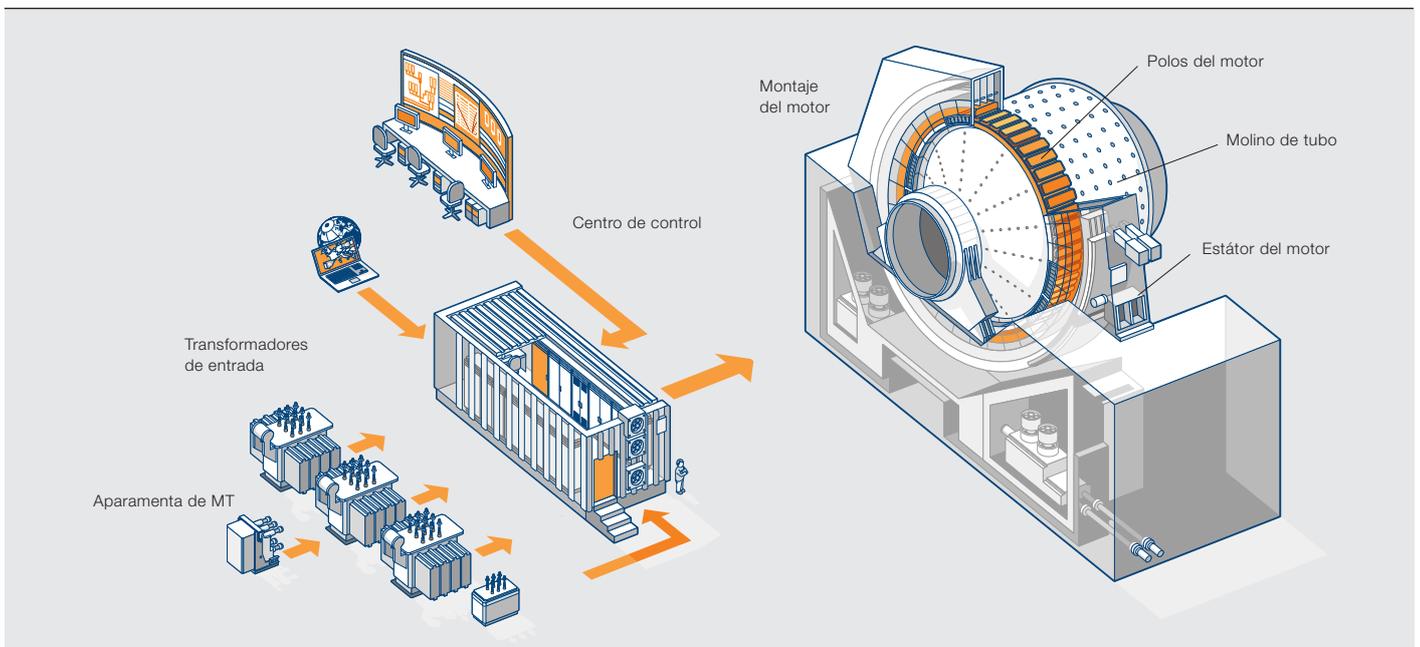
### 3 Diagrama de flujo de SABC



### 4 Soluciones de accionamiento de molino movido por corona dentada



### 5 Solución de accionamiento de transmisión directa



cementera. ABB presentó el primer GMD en la industria minera en 1985 y desde entonces se ha convertido de hecho en el equipo estándar para minas de gran producción. ABB ha vendido e instalado más de 120 unidades GMD en todo el mundo.

Las ventajas de una aplicación de GMD en el proceso de molido del mineral ha quedado bien establecida a lo largo de los pasados 40 años, y las ventajas aumentan exponencialmente con el tamaño del molino.

En la solución GMD, el tambor del molino forma el rotor del motor, con los polos de éste montados a lo largo de la circunfe-

rencia exterior del tambor → 5. El estator se monta alrededor del conjunto de los polos. La operación se realiza con gran precisión, de forma que el juego final entre los polos y el estator no es mayor de 14–16 mm, dependiendo del tamaño del molino.

Al no haber caja de engranajes (corona y piñón), se elimina la limitación mecánica asociada a los engranajes. Esto permite aumentar el diámetro del molino todo lo necesario. El GMD mayor del mundo, con un diámetro de 12,8 metros, será entregado por ABB a la mina de Conga en Perú.

La eliminación de engranajes mejora la eficiencia y la disponibilidad de los molinos y reduce el mantenimiento.

ABB proporciona soluciones de accionamientos con tecnología de vanguardia para molinos HPGR y actualmente tiene la mayor base instalada para la gama de más de 2 MW.

## 6 Impregnación en vacío total para devanados



La eliminación de engranajes mejora la eficiencia y la disponibilidad de los molinos y reduce el mantenimiento. La capacidad intrínseca de los GMD para trabajar a velocidad variable mejora la eficiencia global de la molienda en términos de energía consumida y resultado obtenido. La velocidad variable reduce asimismo las caídas de tensión durante la puesta en marcha del molino y permite características como la protección contra carga congelada, el giro inverso controlado y la colocación para operaciones de mantenimiento del molino.

### Mejoras del diseño

Desde la presentación de los GMD, ABB ha entregado soluciones personalizadas para cada una de las minas y requisitos del proceso, desde valores de potencia y tamaño hasta altitud del emplazamiento. El logro más reciente de ABB en este terreno ha sido la puesta en servicio de un sistema de 28 MW a 4.600 m sobre el nivel del mar.

ABB sigue desarrollando nuevas características y diseños para aumentar la disponibilidad y reducir el mantenimiento, especialmente para minas situadas a gran altitud y en lugares aislados.

Por ejemplo, se ha prestado especial atención al aislamiento del devanado del estator. El devanado del estator está formado por barras de cables trenzados aislados individualmente y entrelazados para aprovechar toda la sección de cobre casi por igual y reducir las pérdidas y corrientes parásitas → 6. Estos cables están

empaquetados en un aislamiento VPI de mica. Todas las barras del estator tienen un tratamiento VPI incluyendo la sección de las ranuras y el área que sobresale del devanado, lo que es importante para aplicaciones a gran altitud. Las chapas del núcleo del estator se comprimen para aumentar la rigidez total y minimizar el reapretado, necesario a lo largo de la vida del motor de anillo.

### Supervisión del estado del GMD

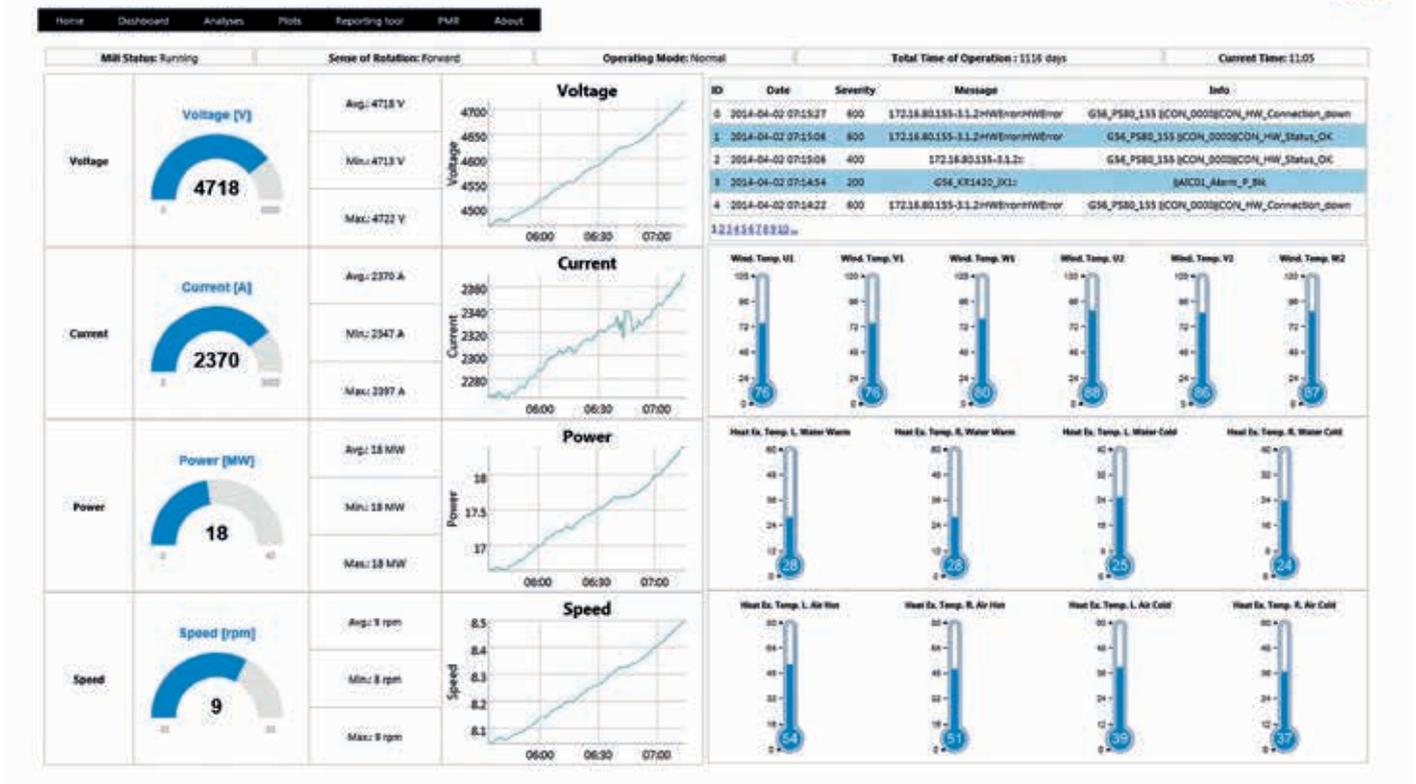
ABB ha desarrollado herramientas avanzadas de diagnóstico a distancia para investigación de averías y mantenimiento predictivo. Por ejemplo, con una información actualizada del funcionamiento del sistema, los operarios conocen cualquier posible problema mucho antes de que se active una alarma automática. Los avisos se envían por correo electrónico o por mensaje de texto a los operarios de la mina y a los técnicos de diagnóstico a distancia de ABB → 7.

Las herramientas de diagnóstico tratan gran cantidad de señales procedentes de todos los componentes fundamentales del sistema GMD incluyendo transformadores, cicloconvertidores y el motor de anillo. Esto permite un análisis continuo del estado del sistema y la posibilidad de informar al cliente de forma fiable y oportuna de cualquier problema que pudiera surgir durante el trabajo.

### Una tecnología de molido madura

La industria minera actual afronta un desafío cada día más difícil: desarrollar máquinas trituradoras mayores para

## 7 Pantalla de una consola de supervisión a distancia del estado de un GMD de ABB



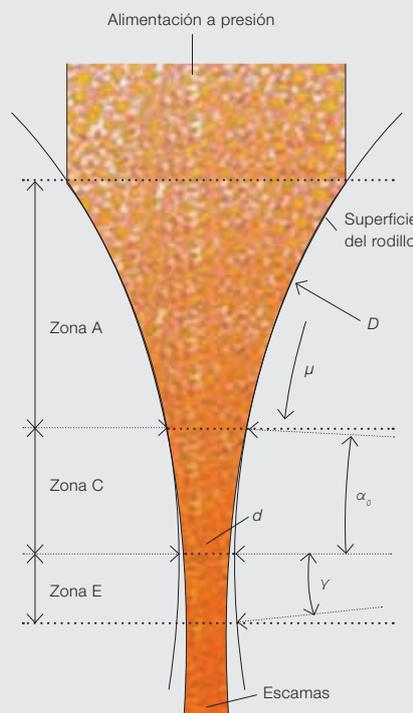
## 8 Principio de funcionamiento de un HPGR

La molienda a alta presión se realiza con un rodillo avanzado. La máquina se compone de dos rodillos que giran en sentido contrario. Uno de los rodillos está fijo y el otro es móvil en sentido horizontal. Se aplica una presión constante al rodillo móvil por medio de cilindros hidráulicos que presionan el material.

A diferencia de los rodillos machacadores clásicos, las partículas se rompen por compresión en un lecho de partículas compactadas, y no por pinzamiento directo de las partículas entre los dos rodillos. Este lecho de partículas se crea entre dos rodillos en contrarrotación alimentados a presión. Entre estos rodillos se comprime un lecho de partículas con una densidad de hasta el 85% de la densidad real del material.

Esta compresión se consigue aplicando una alta presión de hasta unos 300 MPa, que supera la resistencia a la compresión del mineral. Durante este proceso de compactación, se muele el material con una amplia distribución de tamaños de partículas con una gran proporción de finos, que se compactan en escamas.

La figura ilustra el flujo de material entre los dos rodillos. La figura también representa distintas zonas, principalmente la zona "A" en la que se empuja o acelera el material hacia la zona de compactación; la "C" en que se comprime el material que después se descarga en la zona "E".



- Zona A = Zona de aceleración
- Zona C = Zona de compactación
- Zona E = Zona de expansión
- $D$  = Diámetro de los rodillos
- $d$  = Grosor de las escamas
- $\alpha_0$  = Ángulo de la zona de compactación
- $\gamma$  = Ángulo de la zona de expansión
- $\mu$  = Velocidad tangencial

mantener la producción con leyes del mineral cada vez menores, minimizando al mismo tiempo el consumo de energía.

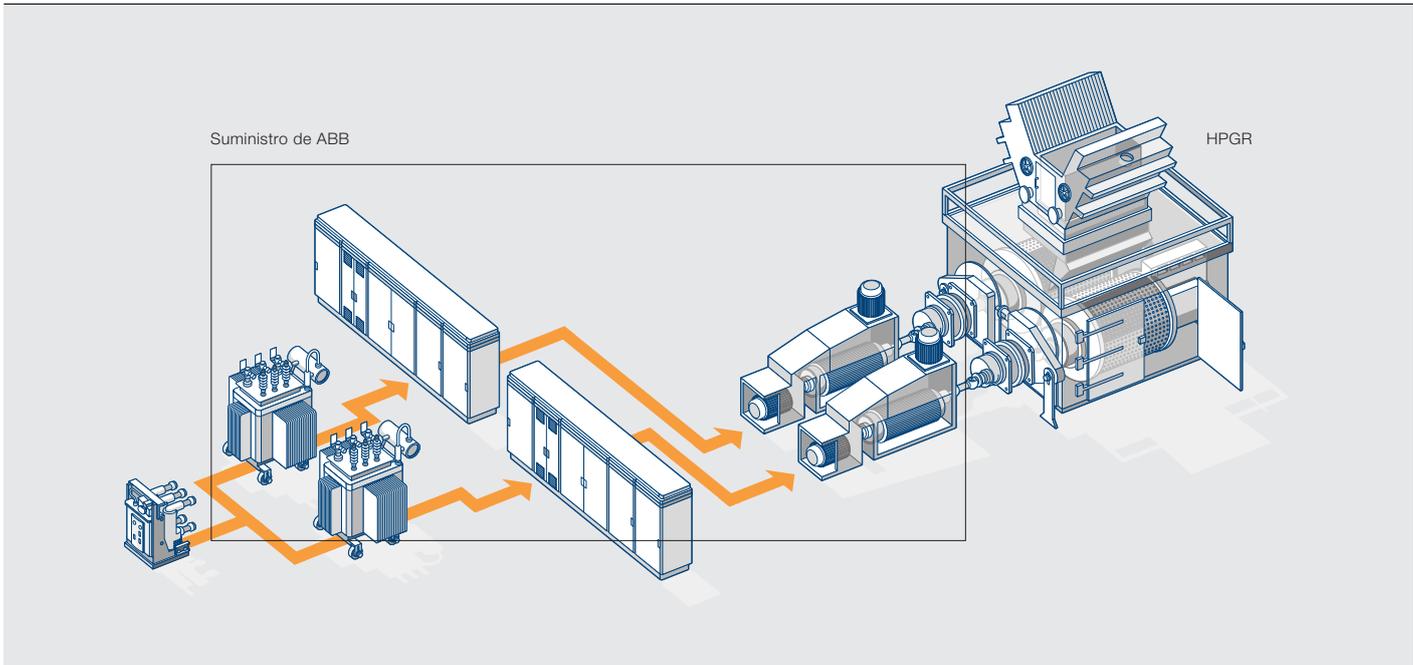
Una forma de resolver el problema es utilizar rodillos de molido de alta presión (HPGR). Los HPGR han demostrado ser extremadamente eficaces para moler materias primas minerales, especialmente desde que los fabricantes han desarrollado sistemas de protección contra el desgaste de los rodillos para un mejor tratamiento de minerales duros y abrasivos → 8.

Además, el proceso de molido con HPGR es un proceso seco, que ahorra agua, un recurso escaso en muchos yacimientos mineros, como por ejemplo en Chile.

### Circuitos de triturado con HPGR

Las múltiples ventajas de incluir un molino HPGR en los circuitos de trituración ha llevado a las empresas a combinarlos con otros tipos de molinos para optimizar el consumo total de energía de una configuración de triturado.

Existen muchas ventajas en la utilización de HPGR en circuitos de trituración en comparación con los procesos clásicos con molinos SAG. La más importante es un aumento de hasta el 20 por ciento en



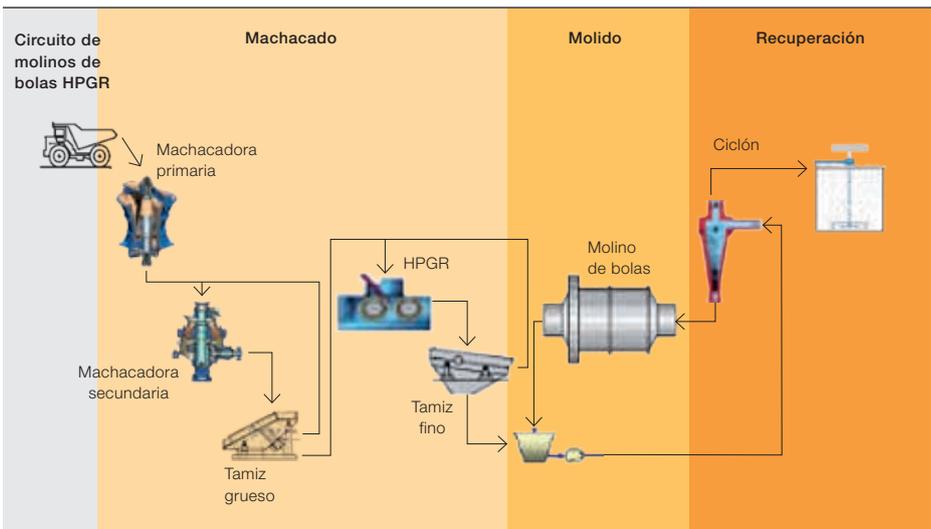
el ahorro de energía. También mejora la liberación de metal, se ha conseguido un índice de molturabilidad reducido, se han acortado los tiempos de puesta en servicio y los diseños son más compactos.

Los HPGR se han empleado con éxito en la minería durante años, y el producto está cada vez más maduro. A medida que aumentan el tamaño de los equipos y la producción y que mejoran los índices de reducción frente a las machacadoras terciarias, va siendo más frecuente la combinación de machacadoras secundarias con HPGR en lugar de molinos SAG → 10.

**Propuestas de ABB**

ABB proporciona soluciones optimizadas de accionamientos con tecnología de vanguardia para molinos HPGR y actualmente tiene la mayor base instalada para la gama de más de 2 MW → 9. La solución de accionamiento de HPGR de ABB proporciona un reparto idéntico de la carga entre ambos rodillos a la velocidad deseada. Al poder ajustar la velocidad para responder a las propiedades reales del mineral, se aligeran los esfuerzos mecánicos en la aplicación de molido. El sistema de accionamiento es capaz de compensar la reducción de la velocidad tangencial producida por el desgaste de los rodillos aumentando la velocidad del motor (rpm). De esta forma se mantiene la producción dentro de los valores optimizados a lo largo de la vida de los rodillos. La función de

**10 Una configuración de triturado que emplea HPGR en lugar de SAG en un proceso primario de molturación.**



control directo del par (DTC) proporciona la respuesta más rápida de par/velocidad del mercado, permitiendo un ajuste rápido y preciso a los frecuentes transitorios de carga, típicos en las aplicaciones de HPGR cuando entran distintos tamaños de material.

Los HPGR están preparados para desempeñar un importante papel en los circuitos de triturado para reducir los costes de energía, la necesidad de agua y el espacio ocupado, en comparación con los circuitos clásicos SABC. Aunque se trate de una solución estándar en el procesamiento de minerales, la tecnología HPGR continúa evolucionando. ABB está

a la vanguardia de esta evolución y añade muchas características nuevas para optimizar las prestaciones del sistema de accionamiento.

**Venkat Nadipuram**  
 ABB Process Automation, Industry Solutions  
 Baden-Dattwil, Suiza  
 venkat.nadipuram@ch.abb.com



# Evolución industrial

Integración eléctrica con el sistema de automatización Extended Automation System 800xA de ABB con la IEC 61850

ALAN FERNANDES TEIXEIRA, LEANDRO HENRIQUE MONACO – Los sistemas de automatización industrial han evolucionado considerablemente a lo largo de los últimos decenios, pero ahora se enfrentan a nuevos retos, especialmente de integración. Esto afecta en particular a la integración de distintos emplazamientos y sistemas para reducir costes y aumentar el rendimiento general y la seguridad de la explotación. ABB ofrece con Extended Automation System 800xA una plataforma completa integrada que emplea una integración eléctrica basada en la norma IEC 61850 para sistemas de automatización de subestaciones. Esta solución controla las tasas de producción de plantas industriales enteras combinando las ventajas de los distintos sistemas y emplazamientos en una sola plataforma y el consumo de energía de cada parte de cada proceso. En otras palabras, ABB proporciona una solución de tecnología avanzada que ayuda a los clientes a optimizar la producción aumentando al tiempo la eficiencia energética.



En un entorno industrial la demanda de una rentabilidad y un rendimiento del proceso mayores exige soluciones que aumenten la productividad con menos recursos. Incluida bajo la etiqueta de recursos está la necesidad de reducir el gasto en energía y de optimizar al mismo tiempo las tasas de producción. Para lograrlo, las soluciones de sistemas de automatización industrial tienen que centrarse en cuatro problemas principales:

- Proporcionar seguridad al personal.
- Reducir las inversiones de capital (CAPEX) para nuevas plantas.
- Conectar con emplazamientos remotos y difíciles.
- Abordar la falta de integración entre sistemas.

Para enfrentarse con estos problemas, ABB ha combinado su Extended Automation System 800xA con la norma IEC 61850 para sistemas de automatización de subestaciones de forma que se integren en una sola plataforma las ventajas de los distintos sistemas y emplaza-

#### Imagen del título

Como plataforma completa integrada, la solución System 800xA de ABB satisface los requisitos de un sistema de gestión energética real y aumenta la seguridad gracias a la intervención a distancia y la reducción de riesgos.

mientos → 1. Esta plataforma no solamente reduce los costes de instalación y mantenimiento, sino que aumenta la disponibilidad de la planta reduciendo los tiempos de inmovilización. Además, añade inteligencia mediante una sabia combinación de datos del proceso y eléctricos, permitiendo así estrategias de eficiencia energética.

#### Proporcionar seguridad al personal

La vida es el recurso más importante. Una forma de mantener esta afirmación es reducir la exposición de un equipo de mantenimiento a los peligros de la electricidad asegurando un entorno de trabajo más seguro. Los protocolos de comunicaciones empleados normalmente en las instalaciones eléctricas (por ejemplo, PROFIBUS y Mod-bus) ya permiten la supervisión y la operación a distancia de una subestación dentro de plantas industriales. No obstante, ciertas actividades, tales como configuración y parametrización, así como el acceso a los registros de perturbaciones (necesarios para analizar los incidentes eléctricos, como caídas de tensión y disparos de protección de sobreintensidades) exigen la presencia física del equipo de mantenimiento. En la mayoría de los protocolos que se utilizan actualmente, estos dos procedimientos solamente pueden

llevarse a cabo conectando localmente ordenadores portátiles a los dispositivos electrónicos inteligentes (IED)<sup>1</sup>. Una de las

En un entorno industrial la demanda de una rentabilidad y un rendimiento del proceso mayores exige soluciones que aumenten la productividad con menos recursos.

principales ventajas de emplear aparatos y sistemas que cumplen la IEC-61850 es que los protocolos propuestos por la norma permiten ejecutar estos dos procedimientos a distancia una vez que se han conectado los IED a una red Ethernet y se pueden transmitir todos los ficheros empleando esta infraestructura → 2. Por lo tanto, solamente se precisa la presencia de un equipo de mantenimiento en los casos en que existe un problema mecánico.

#### Nota a pie de página

<sup>1</sup> Un IED describe un controlador basado en microprocesadores y es un término utilizado en la industria de la automatización de sistemas de protección y energía. Realiza las funciones de protección eléctrica, inteligencia avanzada de control local y puede comunicar directamente con un sistema SCADA. Como ejemplo se pueden citar un relé de protección, controladores de interruptores automáticos y reguladores de tensión eléctrica.

### IEC 61850

La IEC 61850 proporciona un marco normalizado para la integración de subestaciones que especifica los requisitos de comunicaciones, las características funcionales, la estructura de datos de los aparatos, las convenciones para poner nombres a los datos, la forma en que las aplicaciones interactúan y controlan los aparatos y cómo debe comprobarse la conformidad con la norma.

Para más información sobre esta norma, consulte el informe especial ABB Review Special Report: IEC 61850, pp. 1– 64, agosto 2010.

### Sistema de automatización Extended Automation System 800x

System 800xA es un sistema integrado de automatización de procesos que puede diseñar, poner en servicio, controlar y operar estrategias de automatización para procesos, energía eléctrica y seguridad de un mismo sistema. Su arquitectura de integración, basada en la tecnología Aspect Object (AO), relaciona todos los datos de la planta (es decir, Aspectos) con sus recursos propios (es decir, Objetos). La navegación mediante un solo clic permite la elaboración y la presentación eficientes de la información adecuada en el contexto adecuado para el usuario adecuado.

### Reducir el CAPEX para nuevas plantas

Una de las principales preocupaciones al establecer nuevas plantas es el CAPEX (gasto de capital). La cantidad de conexiones permanentes dentro de la aparata es uno de los factores que hacen costosa una instalación. Pero es posible identificar un patrón de cómo conectar entre sí los cubículos (es decir, los IED), y este patrón suele repetirse varias veces dentro de una subestación (o en varias subestaciones de una planta). Si las conexiones entre cubículos del mismo tipo pudieran realizarse de algún modo creando un protocolo de comunicaciones entre ellos, los costes de instalación se reducirían considerablemente. Para conseguirlo, la norma IEC 61850 propone el protocolo de eventos de subestaciones orientados a objetos genéricos (GOOSE)<sup>2</sup>. Por lo tanto, para cada cubículo típico hay una configuración de IED típica que se puede volver a utilizar en todo el ejercicio de ingeniería de optimización de toda la planta. Además, debido al protocolo digital empleado por los IED, la fibra óptica sustituye a los cables de comunicaciones, y puesto que son inmunes a las interferencias electromagnéticas, pueden colocarse más cerca de las barras de distribución.

Otra ventaja es que, dada una configuración común (basada en software), sólo hay que comprobar un IED, y cualquier ajuste de configuración que se requiera en el mismo se replica fácilmente en todos los demás. También es más sencilla la prueba y puesta en servicio si se utiliza una solución con módulos de aplicación prefabricados. La prefabricación permite comprobar los cubículos mientras se encuentran aún en la fábrica de módulos eléctricos.

### Conexión a distancia

Muchas minas se están abriendo lejos de los centros económicos, son cada vez más profundas y los yacimientos se hacen más complejos. Estos factores, combinados con la escasez de trabajadores bien formados, obligan a automatizar más las plantas. Por lo que se refiere a los sistemas de subestaciones, diferentes subestaciones situadas en distintos lugares deben conectarse al mismo sistema de supervisión de forma que el control a distancia y el mantenimiento se lleve a cabo desde un punto central. La aplicación de la norma IEC 61850 al System 800xA de ABB establece un enlace de comunicación digital entre el IED y los servidores del sistema para crear dicha conexión → 2–3. Esto suministra a su vez al personal de mantenimiento la información necesaria para identificar rápidamente a distancia el problema y la solución. Esto significa que los problemas de los equipos se arreglan en el plazo más breve posible, lo que tiene la ventaja de aumentar la disponibilidad de la planta y, por consiguiente, la productividad.

### Una plataforma, muchos sistemas

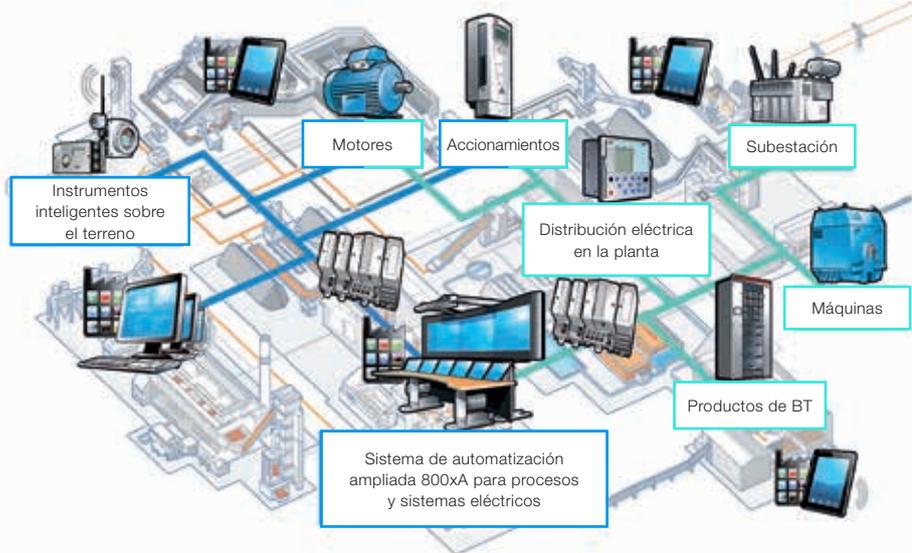
Con la evolución del cálculo digital en las aplicaciones industriales, se desarrollaron varios sistemas de información para proporcionar una base de datos más completa para las capas dentro de las plantas. Actualmente, es casi normal encontrar muchos sistemas diferentes en una planta para distintas aplicaciones (sistemas de supervisión, mantenimiento y programación de la producción), todos los cuales dependen de la misma información (por ejemplo, la posición de un interruptor automático). Sin embargo, si todas las aplicaciones dependieran de la misma información, podría presentarse una de

Una plataforma común reduce los costes de instalación y mantenimiento, aumenta la disponibilidad de la planta y proporciona mayor inteligencia basada en una sabia combinación de datos del proceso y eléctricos.

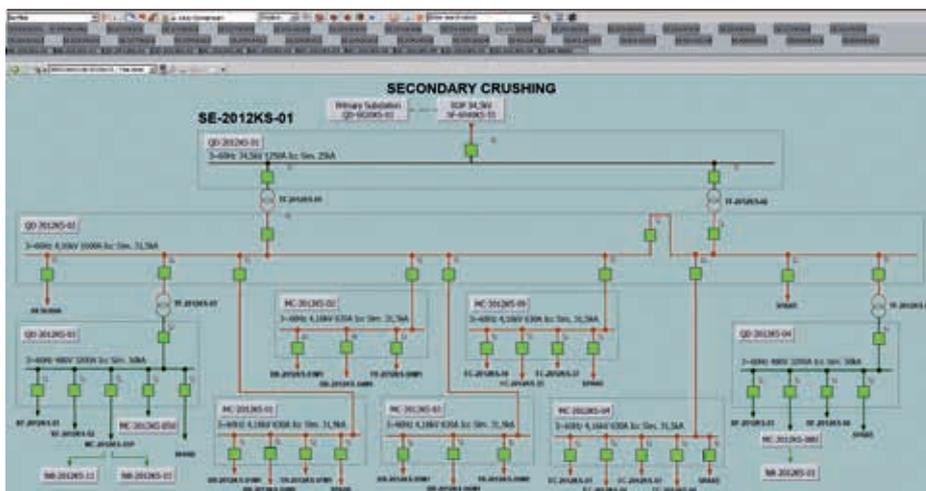
#### Nota a pie de página

- <sup>2</sup> GOOSE es el protocolo de comunicaciones definido por la norma IEC 61850. Permite que un IED envíe mensajes rápidos a otros IED, independientemente de cualquier sistema de supervisión o controlador. Esto se hace para transmitir en no más de 3 ms información importante entre dispositivos IED relativa a disparos o interbloqueo.

**3 System 800xA permite que las plantas integren su propio sistema de control del proceso de forma que exista una base de datos combinada para las partes del proceso y la eléctrica.**



**4 La integración de todos los niveles de tensión simplifica el manejo y la comunicación entre componentes.**



dos situaciones, ninguna de las cuales llevaría a una buena gestión de la planta:

- Se introduce varias veces la misma información en estos sistemas distintos.
- La “comunicación” entre los sistemas es realmente una comunicación entre las personas que manejan esos sistemas.

La plataforma integrada System 800xA elimina completamente este problema.

Normalmente, en las plantas industriales el control de las subestaciones de alta y media tensión se aplica con dos sistemas y dos equipos de personas completamente distintos. Al aplicar la IEC 61850 a ambos niveles, es posible integrar todas las subestaciones en un mismo System 800xA, simplificando así, por ejemplo, el manejo y la comunicación entre la aparatada de alta y media tensión.

Además de integrar subestaciones diferentes de distinto nivel de tensión en el mismo sistema, el System 800xA permite también que las plantas integren su sistema de control del proceso → 4. Por consiguiente, gracias a la utilización de aparatos que cumplen la IEC 61850 dentro del mismo sistema 800xA que supervisa el control del proceso, es posible disponer de una base de datos combinada tanto para la parte del proceso como para la parte eléctrica, permitiendo la identificación de los indicadores claves del rendimiento (KPI) que correspondan a la operación.

Uno de los KPI más importantes es el rendimiento del proceso, es decir, la relación entre el consumo de energía y las tasas de producción. Este indicador permite establecer comparaciones entre distintas líneas del proceso e incluso entre distin-

tos equipos del mismo paso del proceso. Esto ayuda a identificar más rápidamente problemas o discrepancias.

**Superación de dificultades**

Mientras que la evolución de los sistemas de automatización ha sido ventajosa para las operaciones, también ha introducido algunos problemas para el futuro. Por ejemplo, la escasez de recursos naturales está obligando a que las empresas exploren yacimientos muy lejanos y difíciles, lo que aumenta los gastos de explotación (opex) durante la vida útil. Por lo tanto, el mantenimiento es ahora crucial para aumentar la previsibilidad del comportamiento de los aparatos y acortar el tiempo improductivo durante la reparación.

En un sistema completamente integrado, la información desde distintas perspectivas de la planta tiene una influencia positiva sobre la toma de decisiones e inevitablemente sobre el propio proceso. Sin embargo, nuevos sistemas han creado distintas bases de datos y la falta de integración entre ellas ha resultado crítica en el mundo de la gestión de plantas industriales. La información publicada en distintos sistemas al mismo tiempo puede dificultar la presentación de informes y la toma de decisiones eficiente durante los fallos, y la comunicación deficiente entre los equipos de distintos sectores puede ocasionar un aumento de las interrupciones de la producción.

Además de proporcionar una plataforma completamente integrada, System 800xA de ABB cumple los requisitos de un verdadero sistema de gestión energética. Y lo que es más importante, esta solución aumenta la seguridad porque reduce la exposición del personal de mantenimiento a situaciones potencialmente peligrosas al suministrar diagnósticos completos en la sala de control, permitiendo la intervención a distancia y la reducción de riesgos antes de que el equipo de mantenimiento inicie su servicio.

**Alan Fernandes Teixeira**

ABB Process Automation, Industry Solutions  
São Paulo, Brasil  
alan.fernandes@br.abb.com

**Leandro Henrique Monaco**

ABB Process Automation, Control Technologies  
Vasteras, Suecia  
leandro.monaco@se.abb.com

# Explotación más eficiente

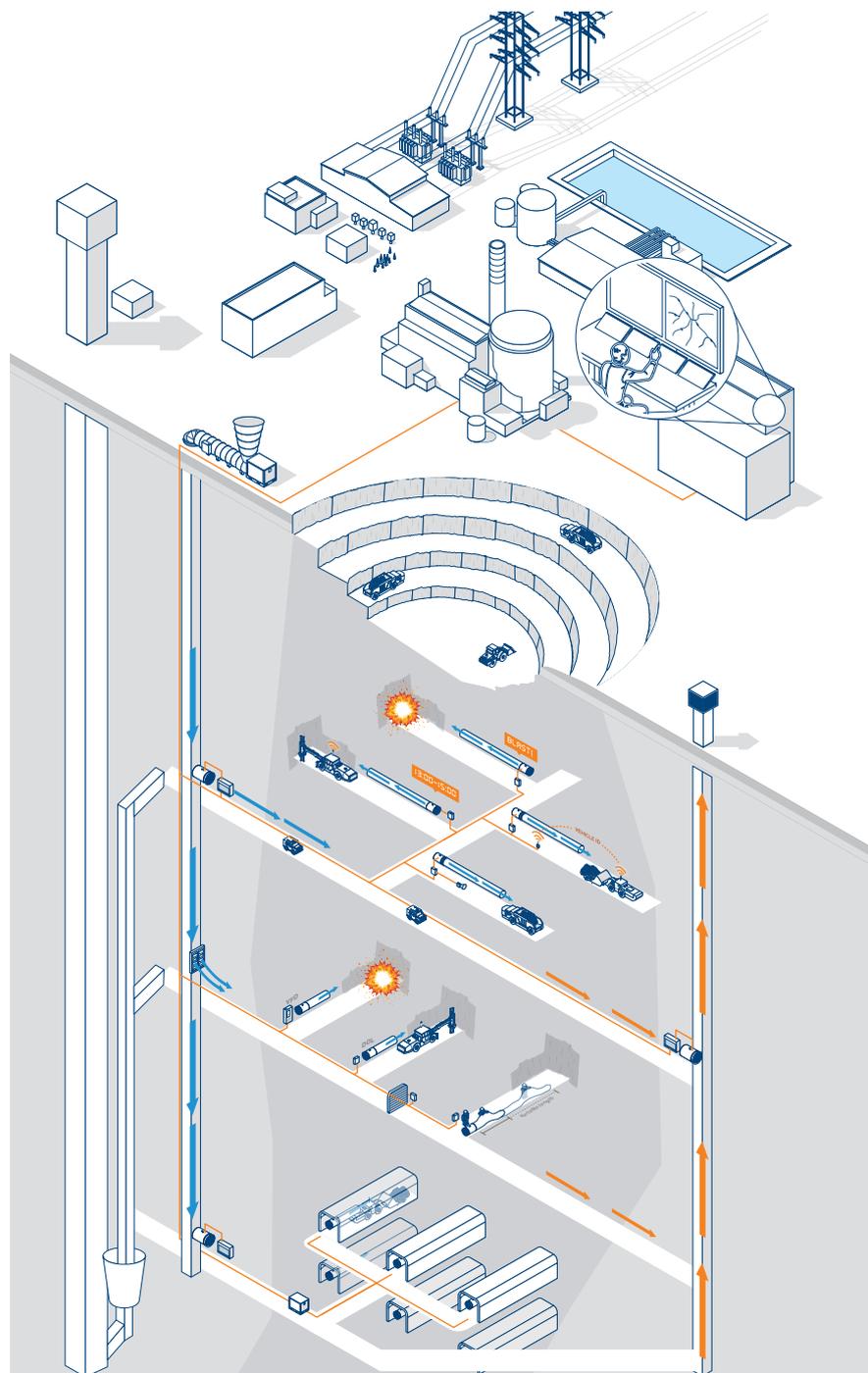
## El sistema de automatización ampliado System 800xA permite la colaboración en la explotación minera

JOHAN BJORKLUND, ANDERS BOMAN, MIKAEL STEINER – Las numerosas dificultades a las que se enfrenta el sector minero pueden superarse con la aplicación eficaz de la automatización. El sistema de automatización ampliado System 800xA de ABB ha sido uno de los líderes del mercado de las plataformas de automatización durante más de una década, y se le conoce por ofrecer productividad a partir de la consolidación de los numerosos subsistemas de los que consta cualquier explotación (TI, electricidad, seguridad, logística, datos del proceso, etc.) en un sistema integrado. Ofrece asimismo entornos operativos de alto rendimiento, una característica ideal para las soluciones relacionadas con las salas de control centralizadas. System 800xA y las explotaciones mineras forman una combinación perfecta que se ha probado en numerosas instalaciones de todo el mundo.

Los controladores lógicos programables (PLC) se utilizan desde hace muchos años en la industria minera, aunque por lo general en “islas de automatización”. De cualquier modo, la automatización en las explotaciones mineras ha sido más

### Imagen del título

La automatización es la clave para reducir costes y aumentar la productividad y la seguridad en el sector de la minería.



básica que en otros sectores y se ha limitado a menudo al simple control de motores, equipos o partes limitadas del proceso. Para superar las dificultades a las que se enfrenta hoy el sector, lo que se necesita es una solución de automatización que englobe la totalidad del proceso de la minería, desde la extracción a la entrega del producto al cliente final.

El System 800xA de ABB es una plataforma de automatización con capacidad para hacerlo. Puede integrar todo tipo de productos y soluciones en un único entorno de control: los sistemas tradicionales de control de procesos –por

ejemplo, controladores lógicos programables (PLC), sistemas de control distribuido (DCS), sistemas de seguridad, equipos eléctricos, como accionamientos y motores– y la planificación de la producción, la gestión de la energía eléctrica, el mantenimiento, la gestión de recursos, la planificación de recursos empresariales (ERP) y los sistemas de documentación.

En una mina, todos los equipos del proceso, desde máquinas móviles, vehículos de transporte, trituradoras, cintas transportadoras, sistemas de elevación, molinos de transmisión directa, ventila-

dores y bombas, hasta sensores e instrumentos, pueden integrarse en el System 800xA, lo que significa que el conjunto de operaciones pueden controlarse y optimizarse con un único sistema. Esto permite, por ejemplo, optimizar las operaciones de voladura y trituración en conjunción con el proceso de molido en el concentrador, lo que cierra cualquier hueco en la cadena de valor.

### Una nueva generación del System 800xA

Con cerca de 10 000 sistemas en funcionamiento en más de cien países, el System 800xA ha demostrado ser un sistema de control distribuido de categoría mundial, líder del mercado. System 800xA puede vigilar y controlar más de 50 millones de etiquetas, y su gran capacidad ha ayudado a que ABB sea el principal proveedor mundial de DCS durante más de un decenio.

Esta sexta generación del System 800xA, a la que suele denominarse “v6”, no está pensada solo para proyectos nuevos, sino también para actualizaciones de DCS antiguos que funcionan con sistemas operativos que ya no cuentan con soporte, como Microsoft XP. La nueva versión ofrece a los clientes un entorno de automatización más seguro que reduce el coste total de propiedad, al tiempo que facilita oportunidades de mejorar la productividad operativa.

### Protección frente a las ciberamenazas

El System 800xA v6 se une a una amplia lista de características de seguridad líderes en su campo, como el control avanzado de acceso, la elaboración de listas blancas y la capacidad de controlar y gestionar la integridad de la seguridad del sistema de control. Por ejemplo:

- Está basado en el último sistema operativo de Microsoft, con su mayor seguridad intrínseca.
- Las firmas de códigos digitales en las aplicaciones garantizan la legitimidad del software.
- Acceso más rápido e inmediato a los archivos antivirus aprobados.

### Menor coste de propiedad

La versión 6 del System 800xA ofrece la capacidad de reducir los costes de los proyectos nuevos, las remodelaciones y las actualizaciones.

- Además de la virtualización, las mejoras en el rendimiento y la tecnología de núcleo múltiple pueden reducir de forma notable el espacio que ocupa el sistema de automatización, lo que permite una disminución de los gastos de capital y de ciclo de vida.
- Hay un nuevo dispositivo de conexión, intrínsecamente seguro, Foundation Fieldbus HSE (Ethernet de alta velocidad), con capacidad para reducir aún más los costes de ingeniería e instalación, ya que puede instalarse directamente en áreas peligrosas de la zona 2, clase 1, división 2.

### Productividad

La plataforma de colaboración del System 800xA v6 y su funcionalidad incorporada permite al usuario abordar iniciativas de ahorro y aplicar soluciones de aumento de la productividad con un gasto menor que el que representaría la inclusión de software y hardware de terceros. Además de la gestión de alarmas, el control avanzado, los sistemas de vídeo, la seguridad, la integración eléctrica, la gestión de la energía eléctrica y toda una serie de funciones incorporadas, el System 800xA v6 incluye lo siguiente:

- Routers de malla inalámbricos que permiten la instalación segura de clientes de operadores de redes móviles, mantenimiento de lugares de trabajo y controladores del proceso.
- Una nueva plataforma de gestión de la información que ofrece una conectividad segura al System 800xA, de modo que el usuario puede recopilar, ver, disponer de historiales y elaborar informes en relación con los datos, más allá del nivel del sistema de control.
- Un sistema incorporado de megafonía que permite la difusión de avisos realizados por conversión de texto a voz, en múltiples lenguas.
- Se han mejorado las tendencias con la incorporación de indicación de alarma y retículas con ajuste automático de la escala y la pendiente.
- La incorporación de la mesa de colaboración del System 800xA, que ofrece una imagen en 3-D de los principales indicadores de rendimiento de la planta (KPI), permite nuevos modos de visualizar los datos.

- Mejora del rendimiento de la gestión por lotes con un nuevo entorno de ejecución de procedimientos por lotes con subprocesos múltiples.
- ABB y CGM (fabricante de mesas de control líderes del mercado) ofrecen nuevos servicios en paquete para facilitar el diseño y la construcción de salas de control avanzadas y ergonómicas que potencian la productividad e incluyen el puesto de trabajo ampliado del operador de System 800xA.

### Eliminación de barreras

En el System 800xA v6 se ha prestado una atención especial a la mejora de la experiencia de actualización, respaldada por un programa Sentinel de atención al cliente. Incluye, entre otras cosas:

- Una instalación más inteligente basada en las funciones y una herramienta de configuración que reduce los pasos manuales en más del 80 %. La herramienta de instalación y configuración puede utilizarse también para ampliar y actualizar de manera centralizada el sistema a lo largo de su ciclo de vida.
- Se ofrecen asimismo otras herramientas, como el analizador de valores de inicio, para garantizar que la actualización se realiza de forma fluida, sin que haya sorpresas al establecer los valores iniciales.

### System 800xA y la explotación minera

La nueva generación del System 800xA de ABB potencia las funciones de su plataforma de automatización líder del mercado que la convierten en una solución de automatización aún más adaptada al sector de la minería. Permitirá a las empresas mineras aumentar la productividad, reducir los costes operativos, aumentar la seguridad y responder a las múltiples dificultades a las que se enfrenta el sector en la actualidad.

Si desea más información sobre el Sistema de automatización ampliado System 800xA, visite: [www.abb.com/800xA](http://www.abb.com/800xA) o You Tube [www.youtube.com/watch?v=POqw0rJJe78](http://www.youtube.com/watch?v=POqw0rJJe78)

### Anders Boman

ABB Control Technologies  
Singapore  
[anders.boman@sg.abb.com](mailto:anders.boman@sg.abb.com)



# Comunicación ininterrumpida

Las redes inalámbricas privadas de ABB para automatización sobre el terreno mejoran la gestión del parque de vehículos de la mina a cielo abierto.

ROMAN ARUTYUNOV – La minería a cielo abierto moderna es una actividad de alta tecnología en entornos decididamente hostiles. Una operación segura y eficiente requiere la coordinación precisa de algunas de las máquinas mayores y más costosas del mundo en entornos caracterizados por extremos de calor y frío y de golpes y vibraciones. La gestión de las máquinas y el seguimiento de datos y materiales son prioridades máximas de las minas a cielo abierto que hacen

de la gestión del parque una parte crucial de su labor diaria. Afortunadamente, esto no tiene por qué constituir un asunto tedioso y que exija tiempo. Las redes de comunicaciones inalámbricas privadas patentadas Tropos de ABB mejoran la productividad y la rentabilidad de las minas a cielo abierto facilitando la gestión avanzada del parque y permitiendo así la captura y el análisis de datos en tiempo real en el centro de operaciones de la mina.

# El funcionamiento seguro y eficiente de la minería a cielo abierto exige la coordinación precisa de algunas de las máquinas mayores y más costosas del mundo en entornos muy hostiles.

La minería es un negocio que exige mucha inversión en maquinaria pesada muy costosa que debe trabajar en algunos de los entornos más hostiles del mundo → 1. La dificultad es maximizar el aprovechamiento del capital centrandolo en actividades que produzcan ingresos, es decir, transportando más material de calidad desde el suelo hasta el puerto en el menor tiempo posible.

Las aplicaciones de gestión del parque permiten que las minas alcancen sus objetivos de utilización del capital organizando las dependencias entre los distintos elementos del equipo en toda la mina asignando órdenes de trabajo en tiempo real a los operarios de los equipos. Combinadas con sistemas de guiado de precisión, las aplicaciones de gestión de parques aseguran que las palas mecánicas estén extrayendo de la tierra material de la mejor calidad y que los camiones de transporte sepan exactamente dónde

## Imagen del título

La gestión de equipos y el seguimiento de datos y materiales son prioridades máximas de las minas a cielo abierto. Las redes de comunicaciones inalámbricas privadas patentadas Tropos de ABB permiten la captura y el análisis de datos en tiempo real en el centro de operaciones de la mina y facilitan la gestión avanzada del parque.

tomar el material, minimizando los tiempos de espera entre operaciones. Además, los sistemas de gestión del parque pueden incluir supervisión en tiempo real del correcto estado de los equipos a fin de mejorar los costes del ciclo de vida y minimizar los tiempos de inmovilización.

Es imposible insistir lo suficiente en la importancia de las redes inalámbricas en la mejora de la utilización del capital. Sin embargo, las minas a cielo abierto presentan algunos de los requisitos funcionales más exigentes para las redes inalámbricas.

Ante todo, para la gestión satisfactoria del parque de vehículos, las redes inalámbricas deben admitir la movilidad en todo el territorio de la mina a cielo abierto y ser fiables, ampliables, flexibles, seguras y disponer de capacidad multiaplicación. Los parques de mina varían en tamaño desde decenas hasta centenares de vehículos, incluidos camiones de carga, palas mecánicas, excavadoras, bulldozer y dragalinas. La cobertura móvil debe ser lo suficientemente flexible para adaptarse a las condiciones cambiantes y a la topología de la mina a cielo abierto.

Las excavaciones pueden variar en tamaño y forma precisando una cobertura móvil que se adapte rápida y eficazmente sin necesidad de dedicar mucho tiempo a la planificación y la puesta en servicio.

La naturaleza de tiempo real de las aplicaciones de gestión de parques, crítica para la misión, exige un apoyo de red de baja latencia (menos de 50 ms desde la sala de control al vehículo). Además, la minería de cielo abierto precisa unas comunicaciones fiables con una mínima pérdida de paquetes para asegurar una entrega con éxito y en tiempo real de las órdenes de trabajo a los equipos por toda la mina. Se precisan velocidades de ancho de banda de varios megabites para la supervisión continua del estado y la localización de los equipos, la asignación de órdenes de trabajo y la vigilancia de la seguridad operativa en vídeo.

La seguridad es otro motivo de preocupación para las aplicaciones de gestión de parques en minas a cielo abierto, especialmente si se trata de incidentes de denegación de servicio (DoS), espionaje y escucha de intermediarios. Estos tipos de ataques, si se llevan a cabo con éxito en



la red, pueden perturbar la circulación de información entre la sala de control y el equipo de campo y provocar tiempos de inmovilización costosos, que en algunos casos se miden en millones de dólares por hora.

Las redes malladas inalámbricas Tropos de ABB soportan las aplicaciones de gestión de parques en algunos de los entornos de minas a cielo abierto más hostiles. Una ventaja exclusiva de la tecnología Tropos de ABB es su capacidad para soportar los requisitos de red inalámbrica para minas a cielo abierto.

#### El entorno de la mina a cielo abierto

La cobertura móvil es muy importante en las minas a cielo abierto. La aplicación de tecnologías inalámbricas basadas en el uso de torres, como las arquitecturas punto-a multipunto y de telefonía móvil, es difícil en términos de planificación y costes. Las torres se levantan separadas de las cortas de mina en terrenos permanentes y la cortas pueden hacer sombra en las señales de RF y dificultar la cobertura en el fondo de la excavación. La solución es construir muchas torres alrededor de la

circunferencia de la corta. No obstante, cuando la excavación se desplaza, hay que desplegar otras torres para cubrir las nuevas áreas. Ésta es una solución costosa y que exige mucho tiempo.

La tecnología inalámbrica mallada Tropos de ABB reduce considerablemente la necesidad de grandes torres y en algunos casos la elimina totalmente. Unos routers desplegados en remolques repartidos por la corta se “descubren” unos a otros de forma automática y proporcionan una cobertura omnipresente en toda la explotación. Cuando la explotación de nuevos filones hace que cambie la topología de la excavación, se trasladan los remolques y la cobertura se recupera en cuestión de minutos, en lugar de los meses que exige un diseño basado en torres → 2-3.

Para mantener instalaciones críticas de gestión de parques la disponibilidad de la red ha de ser muy elevada, del orden de cinco nueves (99,999 %). Para cumplir este requisito, las redes inalámbricas deben disponer de un mecanismo de redundancia incorporado que minimice la probabilidad de fallos de transmisión.

Para la instalación con éxito de la gestión de parques en las minas de cielo abierto, las redes inalámbricas deben ser fiables, ampliables, flexibles y seguras en toda la mina.

Una mina es un entorno móvil dinámico con vehículos y personas que precisan una movilidad sin interrupciones mientras se desplazan entre puntos de acceso de la red.

## 2 Router Tropos de energía solar de ABB



Con la solución de ABB, se consiguen elevados valores de disponibilidad y fiabilidad, pues los routers Tropos trabajan en una topología de malla con múltiples rutas por toda la red, frecuencias de operación dinámicas, múltiples radios y múltiples retransmisiones en cada paquete.

Una mina es un entorno móvil dinámico con vehículos y personas que precisan una movilidad sin interrupciones mientras se desplazan entre puntos de acceso de la red. Los retrasos y pérdidas de paquetes por itinerancia no se toleran en este entorno debido a su naturaleza crítica para la misión. Las órdenes de trabajo perdidas pueden retrasar considerablemente las operaciones y en ciertos casos interrumpir la corriente de producción, creando una sucesión de retardos en toda la mina. La mayoría de las pérdidas de paquetes y retardos se suelen producir antes de un handoff (transferencia de datos de un enlace a otro). Para superar este problema, algoritmos de encaminamiento inalámbrico predictivo tales como Tropos Predictive Routing Protocol (PWRP) mejoran considerablemente los handoff mediante la identificación de nue-

vos caminos a través de la red antes de que se produzca la degradación de las rutas actuales. Además, la movilidad sin interrupciones en la red inalámbrica Tropos se consigue mediante conectividad "make-before-break", que actúa cuando se utilizan routers móviles Tropos en los vehículos. Esta capacidad de "soft-handoff" crea una nueva ruta a través de la red mientras las rutas en uso permanecen funcionales.

### Seguridad de las redes de comunicaciones

Los ciberataques a la seguridad constituyen un motivo de preocupación muy real en minas a cielo abierto, pues las empresas mineras utilizan cada vez más las redes de comunicación para supervisar y controlar cientos de aparatos de automatización a pie de obra y en grandes instalaciones al exterior. Estas redes de automatización a pie de obra soportan un conjunto diverso de aplicaciones críticas, como la gestión de parques. En una arquitectura típica de despliegue de la red de una mina, el equipo a pie de obra se conecta a las salas de control local o a distancia mediante comunicaciones TCP/



Con las redes mallas inalámbricas Tropos, los enrutadores desplegados en remolques alrededor de la corta se “descubren” unos a otros automáticamente y proporcionan cobertura completa para toda la excavación.

IP o en serie. Esta configuración crea la posibilidad de ciberataques desde el terreno a la sala de control o viceversa. El lugar en el que se establece la seguridad en una red sobre el terreno es tan importante como lo que se protege y cómo se protege, y la mejor defensa se logra habilitando la seguridad en la periferia de la red tanto como en lugares más próximos a su centro.

En la seguridad de la mina, esto puede conseguirse aportando seguridad de categoría empresarial a las redes del yacimiento y extendiendo esa seguridad hasta la periferia. La seguridad de categoría empresarial es un modelo de seguridad multicapa, multiaplicación, que proporciona defensa en profundidad empleando varios mecanismos de seguridad superpuestos basados en normas. Estos mecanismos de seguridad dispuestos en capas deliberadamente solapadas para minimizar el impacto de un fallo en cualquier mecanismo y reducir la probabilidad de una vulneración de la seguridad.

Los requisitos funcionales claves para la seguridad y los mecanismos correspondientes son:

- Control de acceso a la red empleando 802.1x, MAC ACL y 802.11i/ WPA2 con autenticación central de servidores RADIUS para verificar que las personas y los aparatos que acceden

a la red están autorizados expresamente antes de enviar datos a través de la red.

- Protección de los recursos de la red y de endpoint mediante cortafuegos que bloquean tráfico no deseado y malicioso y limitan su propagación por la red.
- Transmisión segura de tráfico de datos punto a punto con encriptación AES empleando Virtual Private Networks (VPN) para protección frente a ataques de espionaje y escucha de intermediario.
- Segmentación y priorización del tráfico para ejecutar de forma efectiva múltiples aplicaciones sobre infraestructuras comunes mientras se aseguran altos niveles de prioridad para las aplicaciones críticas para la misión y protección contra ataques DoS.
- Configuración y gestión segura de red para la gestión y el cumplimiento de una política de seguridad flexible en toda la red.

Arquitectura distribuida de router de malla Tropos que hace posible la implantación de una funcionalidad de ese tipo en cada elemento de la red. Cuando se despliegan los routers Tropos, se ponen en servicio los mecanismos de seguridad integrados hasta la periferia y en cada vehículo y cada aparato a pie de obra, dando a la red un papel activo en la protección de aparatos del emplazamiento contra ciberataques a la seguridad.

#### Anticiparse al futuro

Las redes mallas Tropos de ABB no solamente resuelven los problemas operativos actuales de las minas a cielo abierto, sino que también aportan un valor estratégico a largo plazo para los clientes. Las aplicaciones actuales de gestión de parques forman la base del funcionamiento autónomo del futuro en que vehículos sin conductor son dirigidos y controlados desde una sala de control central. La arquitectura mallada muy fiable, ampliable y multiaplicación permite a los clientes de la mina pasar de la gestión de parques a operaciones completamente autónomas con un aumento mínimo de la inversión de capital.

#### Roman Arutyunov

ABB Power Systems,  
Wireless Communication Networks  
Sunnyvale, California, Estados Unidos  
roman.arutyunov@nam.abb.com

# Elevar el producto de la mina

## Elevadores de ABB para minería

TIM GARTNER – Con una superficie mayor que los Estados Unidos, pero con cerca de una décima parte de su población, Canadá cuenta con extensos territorios vírgenes. En un entorno como este, la industria ha procurado reducir al mínimo la perturbación del mundo natural. En el sector de la minería, por ejemplo, las empresas que explotan los recursos naturales realizan grandes esfuerzos para hacerlo de una manera sostenible, con la máxima eficiencia energética y el mínimo impacto ambiental. La elevación del producto extraído de una mina hasta la superficie es un aspecto en el que la tecnología puede desempeñar un papel importante para adecuarse a la Madre Naturaleza. ABB suministra sistemas de elevación para el sector minero que no solo pueden instalarse en las explotaciones nuevas, sino también acondicionarse a las operaciones existentes para equiparlas con la última tecnología en este tipo de maquinaria. La minería de la potasa es un ámbito en el que se aprovechan los beneficios de la maquinaria elevadora de ABB.

---

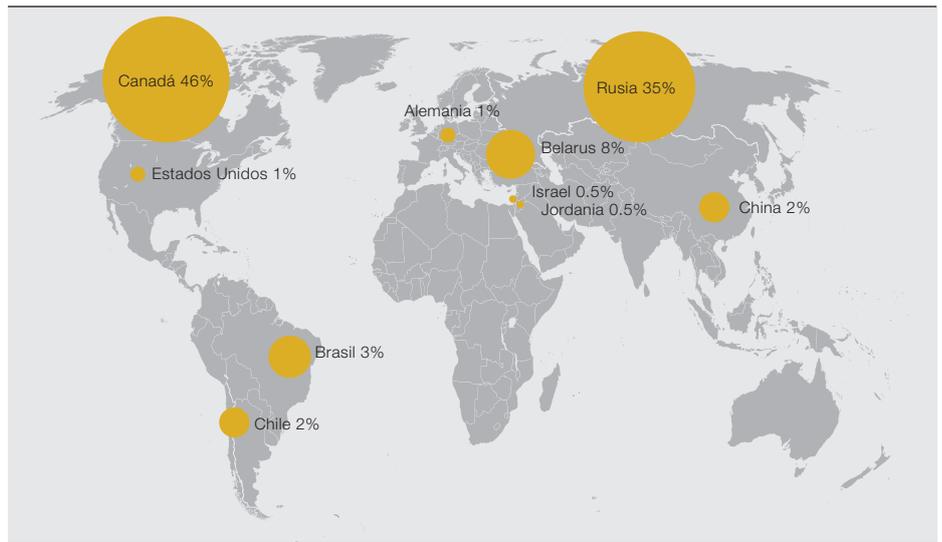
### Imagen del título

La eficiencia energética, el impacto ambiental y la sostenibilidad son factores importantes para las operaciones de minería en las que debe elegirse un sistema de elevación para trasladar el producto a la superficie. Los años que ha dedicado ABB al desarrollo de esta tecnología le han permitido disponer ahora de una serie completa de sistemas de elevación, entre los que se incluyen los elevadores de fricción avanzados.





**1 Reservas mundiales de potasa según la Encuesta Geológica de Estados Unidos (el resto de los países representan el 1%)**



La demanda de alimentos aumenta de manera inexorable con el crecimiento de la población mundial, que supera los siete mil millones de habitantes, y con la mayor difusión de la prosperidad. La agricultura habría dejado de satisfacer tal demanda hace ya tiempo de no ser por los poderes mágicos de los fertilizantes. Los tres nutrientes principales de los cultivos son la potasa, el nitrógeno y el fosfato, de los cuales el primero es el más interesante para las explotaciones mineras. Extraer el mineral de los depósitos naturales profundos formados por la evaporación de los océanos antiguos y sacar a la superficie la potasa de manera eficiente y segura, minimizando el impacto ambiental, requiere el uso de la más avanzada tecnología de elevación disponible.

La potasa se produce solo en 12 países, de los que Canadá, Rusia y Bielorrusia representan en conjunto algo más de las dos terceras partes de la capacidad mundial y, de acuerdo con el Servicio Geológico de los Estados Unidos, casi el 90% de las reservas estimadas → 1. En la provincia canadiense de Saskatchewan se encuentran casi la mitad de las reservas mundiales de potasa y el 35% de la capacidad mundial.

## Aunque los elevadores de fricción de cuatro y seis cables son los más comunes, ABB ha diseñado modelos de hasta 10 cables.

### Elevadores de fricción y elevadores de tambor

Aunque hay dos tipos principales de elevadores para la minería –los de tambor y los de fricción–, en los proyectos recientes de ABB relacionados con la potasa en Canadá se han utilizado estos últimos.

La finalidad principal de cualquier tipo de elevador (de fricción o de tambor) es hacer ascender o descender una carga por el pozo de la mina utilizando un cable de acero. La carga puede ser un gran contenedor en el que se ha depositado el mineral extraído; una jaula para transportar personas, herramientas y maquinaria o suministros, o contrapesos para ciertos tipos de elevadores. Un extremo del cable se sujeta directamente a la carga (contenedor, jaula o contrapeso). En los elevadores de fricción, el otro extremo del cable se sujeta a otra carga suspendida en el otro extremo del elevador de fricción, mientras que en los elevadores de tambor, el otro extremo del cable

se sujeta directamente al tambor. Cuando el tambor del elevador gira, hace que el cable suba o baje y, en consecuencia, que suba o baje la carga correspondiente → 2.

A diferencia de los elevadores de tambor, el cable de acero no se ata directamente al tambor del elevador de fricción, sino que pasa por él a medida que gira. El principio es el mismo que en un mecanismo de polea/correa, y se utiliza en la mayoría de los ascensores de edificios. La potencia y el par del motor se transmite desde el conjunto motor-tambor al cable de acero por el principio de fricción mecánica entre el cable y el tambor. Dado que el cable no está atado al tambor del elevador de fricción, este tipo de elevadores pueden usar varios cables para adaptarse a la carga de la mina. Aunque los elevadores de cuatro y seis cables son los más comunes, ABB ha diseñado modelos de hasta 10 cables → 3. Los elevadores de tambor suelen tener solo un cable por cada tambor; en ocasiones, en minas muy profundas o en circunstancias especiales, tienen dos.

ABB diseña y suministra elevadores de fricción, elevadores de tambor, roldanas (ruedas o poleas), contenedores y otros equipos utilizados en los sistemas de elevación de las explotaciones mineras.

Los elevadores de fricción han demostrado ser la solución perfecta para la minería de la potasa en Canadá, dado su elevado nivel de eficiencia energética y capacidad de carga.

Los elevadores de fricción utilizan cables de cola para equilibrar el peso del cable. Por tanto, la potencia del motor se emplea únicamente en mover la carga útil.

Los elevadores de fricción actuales soportan hasta 65.000 kg, lo que equivale a 13 elefantes africanos adultos.

Los mayores elevadores de fricción tienen motores de más de 10.000 kW. Serían necesarios 44 coches grandes para conseguir una potencia equivalente.

Los elevadores de fricción de alta capacidad habituales en la actualidad utilizan hasta seis cables de acero de 56 mm de diámetro, formados a su vez por centenares de cables. Su longitud total es de 5.300 km, casi la distancia que hay entre Nueva York y Londres.

Los elevadores de fricción pueden utilizarse para soportar cargas en minas de hasta 2.000 m de profundidad, seis veces la altura de la torre Eiffel.

### Mejoras de los elevadores de mina

Los responsables de las explotaciones mineras suelen aumentar la capacidad de los elevadores en sus pozos de producción, en especial si las tasas de producción aumentan. En ocasiones, esto supone la sustitución del elevador original. Puesto que el elevador es lo que permite que el producto salga de la mina, cualquier tarea de mejora del sistema de elevación interrumpe la producción, de modo que debe realizarse en el menor tiempo posible. En algunos casos no se trata de tareas triviales, puesto que puede ser necesario efectuar modificaciones estructurales en la infraestructura del castillete del pozo para adaptarla a la mayor capacidad de los elevadores.

#### Dos en uno

En una mina de Saskatchewan, el pozo de producción tenía dos elevadores de producción en un mismo eje. Se contrataron los servicios de ABB para mejorar los dos elevadores de producción existentes, pero respetando el mismo castillete y los cimientos del elevador. Por tanto, los componentes eléctricos y mecánicos de los nuevos elevadores de producción tenían que ajustarse con precisión a los cimientos del elevador. Dado que el nuevo sistema solo podía instalarse una vez retirado el elevador anterior, se elaboró un programa de instalación rigurosamente coordinado entre ABB y el cliente.

El proyecto de mejora se realizó en dos periodos consecutivos de cierre estival. En el primero, uno de los elevadores de producción antiguos se modernizó con un nuevo elevador de fricción y un sistema de accionamiento y motor de CA sincrónico, así como con un nuevo control del elevador y sistema para el operario. Mientras se efectuaba la actualización, ABB mejoró el otro elevador de producción, incluida una actualización digital de la interfaz del sistema de accionamiento de tiristor de CC de un competidor, así como un nuevo control del elevador y sistema para el operario. El segundo elevador de producción se actualizó en sus aspectos mecánicos en el siguiente cierre estival y, más tarde, se sustituyeron el motor de CC y el sistema de accionamiento del tiristor con un nuevo sistema de accionamiento y motor de CA sincrónico.

#### En lo más alto

En un segundo caso, el cliente solicitó a ABB que repitiera un proyecto anterior en otra mina, pero aquí se diseñó un armazón completamente nuevo para el elevador y se montó sobre el castillete existente. La ejecución de este planteamiento exigió un trabajo de construcción importante, pero ofrecía ciertas ventajas, entre ellas:

- El tamaño y la capacidad del elevador nuevo no estaban limitados por los

Los elevadores de fricción han demostrado ser la solución perfecta para la minería de la potasa en Canadá, dado su elevado nivel de eficiencia energética y capacidad de carga.

Los componentes eléctricos y mecánicos de los nuevos elevadores de producción mejorados tuvieron que ajustarse con precisión a los mismos cimientos del elevador. Como el nuevo equipo solo se podía instalar una vez retirado el antiguo, fue necesario un programa de instalación rigurosamente coordinado.

cimientos del elevador existente, lo que permitió al cliente seleccionar el elevador más adecuado a la infraestructura del pozo.

- La construcción del nuevo almacén del elevador, así como la instalación de otro elevador se realizarían sin interrumpir las actividades de producción de la mina. Mientras el elevador antiguo mantenía su actividad de producción normal, se pudo instalar y poner en funcionamiento el nuevo sin cables, lo que garantizó un periodo de transición breve.

El sistema elegido fue un elevador de fricción de cuatro cables por 5,95 m equipado con dos motores de CA sincrónicos y un sistema de accionamiento ACS 6000 de ABB. Al mismo tiempo se instaló y se puso en funcionamiento un control del elevador y sistema para el operador.

#### Montaje en superficie

Las mejoras no precisan de la construcción de un nuevo almacén del elevador encima del castillete existente: también pueden utilizarse elevadores montados en el suelo. En un caso reciente se fabricó un nuevo almacén del elevador en el

### 3 Características de los elevadores de fricción en comparación con los elevadores de tambor

	Elevador de fricción	Elevador de tambor
<b>Cables de transporte de la carga</b>	Normalmente 4 o 6	Normalmente 1, a veces 2
<b>Idoneidad para minas con varios niveles</b>	Apropiados para contrapesos	Muy buena
<b>Máxima profundidad del sistema de elevación</b>	2000 m (limitada por la resistencia a la fatiga del cable del elevador)	3000 m es la profundidad máxima con dos cables
<b>Potencia del motor</b>	Menor que un elevador de tambor equivalente	Mayor que un elevador de fricción equivalente
<b>Carga útil típica (sector de la potasa)</b>	45 t (hay cargas útiles mayores y menores)	30 t (hay mayores y menores)
<b>Costes relativos</b>	Menor que un elevador de tambor equivalente	Mayor que un elevador de fricción equivalente
<b>Ubicación del elevador</b>	En el suelo o en castillete	Casi siempre en superficie
<b>Castillete</b>	Estructura más pesada que la del elevador de tambor	Estructura más ligera que la del elevador de fricción equivalente

suelo, cerca del almacén existente y del pozo de producción. Se amplió la parte superior del almacén existente y allí se instalaron dos grupos de polipastos (con cuatro poleas en cada uno). Un canal pasacables completamente cerrado conectaba el nuevo elevador montado en el suelo con la ampliación del castillete. Al mismo tiempo se instaló y se puso en funcionamiento un control del elevador y sistema para el operador.

Tampoco en este caso la construcción del nuevo sistema de elevación mejorado interrumpió la producción del sistema anterior.

#### Proyectos de nueva creación

Estos proyectos suelen ser los menos complejos, dado que los sistemas de elevación nuevos no necesitan interactuar con la infraestructura anterior de producción o servicio. En un proyecto reciente se construyeron castilletes de hormigón sobre pozos nuevos, y después ABB instaló y puso en funcionamiento nuevos sistemas completos de elevación, incluidos equipos mecánicos, motores de CA sincrónicos y sistemas de accionamiento ACS 6000, así como sistemas de control del elevador y para el operario.

Los elevadores de ABB se utilizan, naturalmente, en muchas más explotaciones que las de potasa: carbón, diversos minerales, etc. ABB continuará desarrollando su tecnología de sistemas elevadores para minería en los próximos años y trabajará con los clientes para mejorar sus operaciones en este campo de la manera más sostenible posible.

Se utilizaron elevadores de cuatro cables (5 m de diámetro), cada uno de los cuales contaba con un único motor de CA de 7 MW sincrónico y un sistema de accionamiento ACS 6000. El elevador de servicio se entregó a finales de 2013 y ya se explota comercialmente. El elevador de producción se explotará comercialmente en 2015.

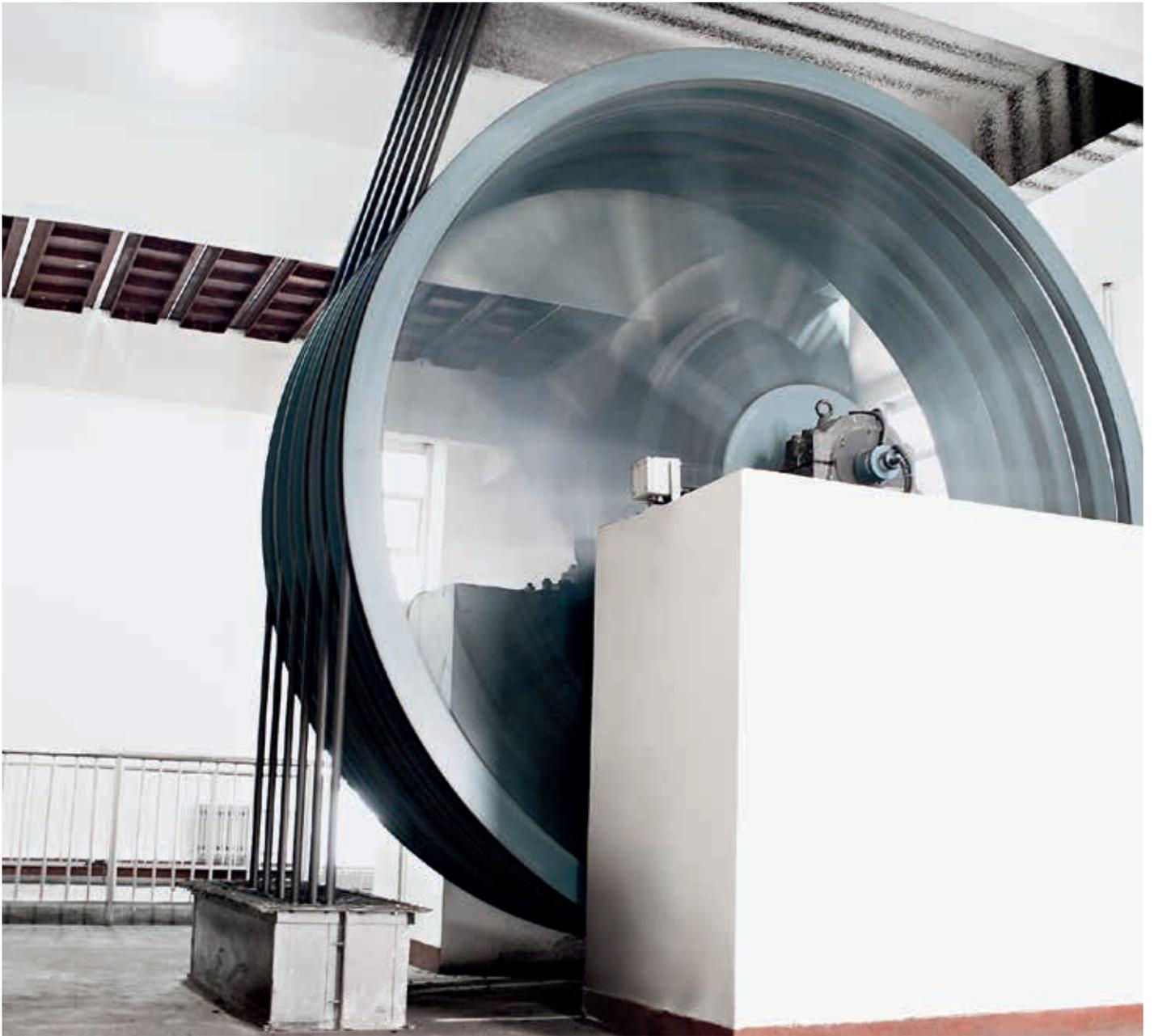
#### ABB como proveedor de sistemas de elevación

ABB trabaja en estrecha colaboración con clientes del sector de la potasa para seleccionar, planificar e instalar versiones mejoradas de elevadores de producción y de servicio de la manera más rápida y económica posible, utilizando los equipos de elevación de mina más modernos y eficientes desde el punto de vista energético. Esto permite al cliente:

- Mejorar notablemente la capacidad de elevación de mineral de potasa.
- Racionalizar los repuestos y el inventario de repuestos importantes, dado que los principales componentes de los elevadores, en la mayoría de los casos, son idénticos (accionamientos, motores, transformadores, cojinetes, etc.).
- Obtener beneficios operativos. Por ejemplo, los elevadores idénticos desde el punto de vista funcional admiten prácticas y procedimientos de mantenimiento comunes.

#### Tim Gartner

ABB Underground Mining and Mill Drive Systems  
Dollard-Des-Ormeaux, Canadá  
tim.gartner@ca.abb.com



# Transformar el mantenimiento en la minería

Soluciones de servicio avanzadas en minería y proceso de minerales

EDUARDO LIMA, JESSICA ZÖHNER, ALIREZA OLADZADEH – Como muchos otros sectores, la minería tiene que mejorar continuamente su rentabilidad a la vista de unos entornos de producción y mercados difíciles y en rápida evolución. Una forma de conseguirlo es reducir costes y mejorar la productividad con mejoras de rendimiento a largo plazo en activos de producción mediante el uso de estrategias

avanzadas de mantenimiento y servicio. Este es un enfoque que ABB ha valorado desde hace tiempo. ABB ofrece una amplia cartera, desde servicios preventivos y predictivos a largo plazo hasta respuestas reactivas como suministro de emergencia de repuestos. La cartera incluye las últimas tecnologías de mantenimiento, muchas de las cuales han sido desarrolladas por ABB.

Una estrategia de servicio y mantenimiento que preste servicios de vanguardia es fundamental para la rentabilidad a largo plazo de toda compañía minera, una realidad que ABB conoce desde hace mucho tiempo.

1 El mantenimiento de las cintas transportadoras es muy costoso. ABB trabaja actualmente en una solución de supervisión a distancia.



La productividad en una compañía minera puede maximizarse de forma muy eficaz mediante la utilización eficiente de los activos de producción. Esto puede conseguirse a través del uso de la automatización, operaciones a distancia, herramientas de diagnóstico y visibilidad de la producción, así como mediante tecnologías que proporcionan información continua en tiempo real sobre el estado de los equipos de minería. Una estrategia de servicio y mantenimiento que proporcione lo anterior es fundamental para la rentabilidad a largo plazo de toda compañía minera, una realidad de la que ABB es consciente desde hace mucho tiempo.

#### Experiencia minera

Los conocimientos de ABB en mantenimiento y servicio han evolucionado a lo largo de los muchos años en los que la empresa ha suministrado productos y sistemas para operaciones de minería. Los productos de ABB en este campo incluyen:

- Sistemas de elevación para transportar mineral, personal y equipos entre la superficie y la mina de forma rápida, segura y fiable.
- Soluciones de trituración de velocidad variable como accionamientos de transmisión directa (GMD) que mueven los enormes molinos de trituración de

mineral cumpliendo los más altos niveles de disponibilidad y eficiencia energética.

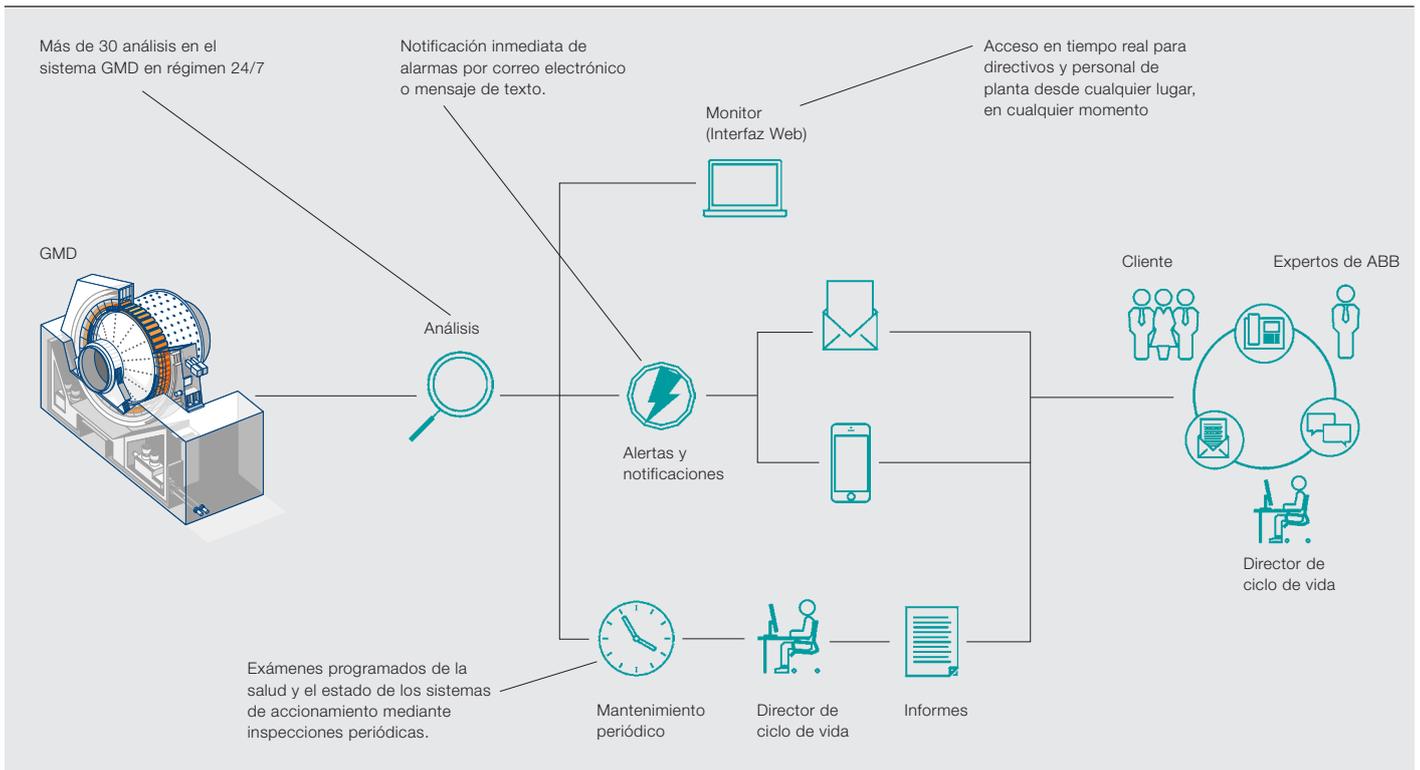
- Sistemas de accionamientos de velocidad variable que permiten que los sistemas de cintas transportadoras, dragalinas y excavadoras de cuchara trabajen con menores costes y mayor eficiencia energética.
- Soluciones de electricidad, control e instrumentación completas y totalmente integradas que alimentan, automatizan y controlan toda la mina o centro de producción.
- Productos de software que integran los sistemas de automatización, electricidad y gestión para crear un entorno de trabajo de colaboración a lo largo de toda la cadena de valor, desde la mina al mercado.

ABB tiene una enorme base instalada en minas en todo el mundo: más de 600 montacargas de mina, 125 sistemas de molinos de transmisión directa, más de 300 soluciones de cintas transportadoras y más de 80 instalaciones eléctricas, de control y de instrumentación completas → 1. Para ayudar a sus clientes a mantener estos activos en orden de trabajo, ABB ofrece una amplia cartera de servicios desde acuerdos de servicios preventivos y predictivos a largo plazo hasta res-

#### Imagen del título

Las estrategias avanzadas de mantenimiento y servicio son esenciales para los equipos de minería modernos, como la polea de la foto.

## 2 Los diagnósticos y análisis en tiempo real del sistema de accionamiento utilizan datos captados del sistema de control y del controlador de accionamientos.



puestas reactivas como suministro de emergencia de repuestos.

La cartera comprende las últimas tecnologías de mantenimiento, muchas de ellas desarrolladas por ABB. Estas incluyen vigilancia y diagnóstico a distancia; “huellas” de la planta y el equipo que señalan activos de bajo rendimiento; y servicios de optimización de activos que minimizan el coste de éstos durante su vida útil. Profundizando en algunas de estas áreas de la tecnología del servicio se adquiere un conocimiento más amplio de la contribución del servicio a la rentabilidad.

### ServicePort™

ABB ha desarrollado una plataforma de prestación de servicios segura y a distancia – ServicePort™ – que permite a los clientes y expertos de ABB ver, explorar y rastrear indicadores clave de rendimiento (KPI) para garantizar el máximo rendimiento de los equipos y procesos. Recopilando, analizando y vigilando automáticamente los indicadores clave de rendimiento, los usuarios pueden tomar decisiones informadas sobre determinados activos y procesos de producción. El objetivo es mejorar la disponibilidad, la eficiencia del proceso y la calidad del producto, reduciendo al tiempo el riesgo y los costes energéticos.

ServicePort alberga múltiples aplicaciones llamadas canales de rendimiento del servicio, que recopilan y analizan automáticamente datos específicos de los equipos o del proceso para obtener indicadores clave de rendimiento (KPI) relevantes. Los canales de rendimiento del servicio se dividen en tres categorías:

- Los servicios de rendimiento de los equipos controlan la utilización y el rendimiento de los productos fabricados por ABB, como los sistemas de control y accionamientos.
- Los equipos de rendimiento del proceso diagnostican y mejoran la producción o los procesos del negocio, tales como el rendimiento de los bucles y la ciberseguridad.
- Los servicios de rendimiento del sector diagnostican y mejoran los equipos o procesos específicos de determinados sectores, incluyendo sistemas de elevación en minería.

ServicePort es una solución única todo en uno: todos los canales trabajan conjuntamente y permiten a ABB configurar estrategias de servicio adaptadas a las necesidades del cliente.

Otro producto que ABB ha desarrollado específicamente para los sectores de la minería y el tratamiento de minerales es el

RDS (servicios de diagnóstico a distancia) para el mantenimiento, evaluación y análisis de accionamientos en sistemas de trituración (molinos de transmisión directa, molinos de engranajes y rodillos de molienda de alta presión).

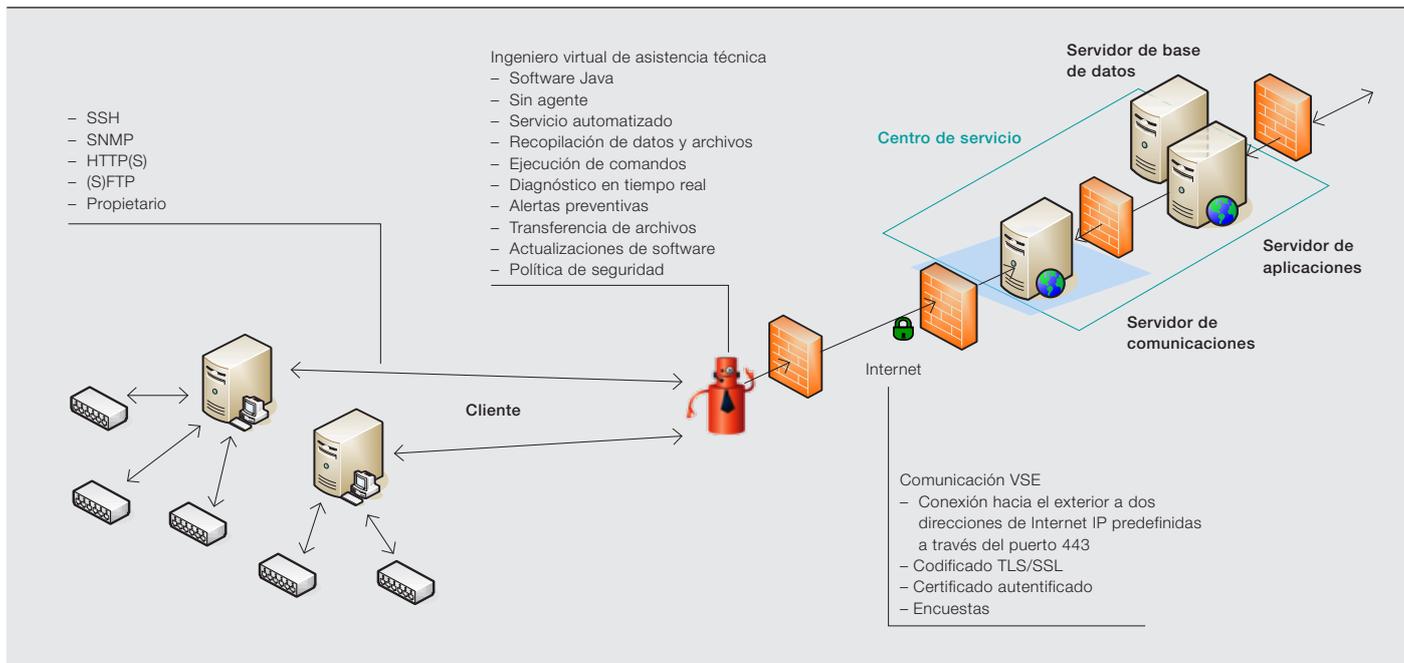
RDS consta de tres componentes.

### Diagnóstico de problemas a distancia

ABB ofrece a sus clientes desde hace mucho tiempo soporte permanente de expertos a través de SupportLine de ABB y diagnóstico de problemas a distancia. Estos dos servicios están disponibles para la mayoría de los productos de energía y automatización de ABB en el sector de la minería incluyendo sistemas de trituración y elevación en minas, sistemas de automatización de plantas, accionamientos de velocidad variable y muchos otros.

SupportLine de ABB proporciona a los clientes acceso al que probablemente es el programa de soporte más completo y avanzado para la minería. El servicio proporciona a los clientes acceso a los ingenieros de asistencia técnica de ABB, que tienen los conocimientos, experiencia y recursos necesarios para atender inmediatamente la solicitud de asistencia.

### 3 La arquitectura de RDS se ha desarrollado para garantizar los mayores niveles de seguridad para el sistema del cliente.



La resolución de problemas a distancia permite a los expertos de ABB acceder a productos ABB a través de una conexión a distancia segura y resolver el problema en cuestión.

La resolución de problemas a distancia añade una nueva dimensión a la asistencia técnica a distancia. Permite a los expertos de ABB acceder a productos ABB, como un sistema de trituración o elevación en minería, mediante una conexión a distancia segura y resolver el problema. Así se agiliza la asistencia, se eliminan viajes y se permite a especialistas en diferentes campos trabajar simultáneamente en un problema.

#### Informes periódicos de mantenimiento

Son exámenes programados de la salud y el estado de los sistemas de accionamiento mediante inspecciones periódicas. Los resultados se presentan en un informe periódico que identifica el estado del sistema.

#### Vigilancia del estado

Se ofrece un panel de control del estado que permite a los clientes y expertos de ABB acceder en tiempo real a datos operativos del sistema de accionamiento → 2.

RDS tiene también una herramienta de análisis que evalúa continua y automáticamente el estado general de funcionamiento. En el sistema de accionamiento se ejecutan continuamente más de 30 análisis para optimizar el rendimiento de los activos y reducir el mantenimiento planificado y no planificado. Se producen continuamente tendencias y pronósticos mediante métodos predictivos de vanguardia.

RDS se basa en una plataforma de acceso a distancia que permite una conexión segura con la mina. La arquitectura de la plataforma incluye un centro de servicio, una aplicación local llamada ingeniero visual de asistencia técnica (VSE), y dispositivos de campo. El centro de servicio es un servidor de aplicaciones web que funciona como núcleo del sistema y actúa como un almacén centralizado de conocimiento, centro de control y centro de comunicaciones. La aplicación local (VSE) es una aplicación de software situada en las instalaciones del cliente que controla los dispositivos y sistemas soportados. Los dispositivos de campo incluyen cualquier dispositivo físico situado en la red del cliente → 3.

Todos los usuarios de RAP están sometidos a autorizaciones estrictas, los datos están codificados y se informa sobre los escenarios de soporte. El cliente controla las sesiones de acceso a distancia.

#### Gestión y optimización de activos

Según los analistas de tecnología y del sector ARC Advisory, el mantenimiento reactivo es cinco veces más caro que el preventivo y diez veces más caro que la gestión predictiva de activos. El mantenimiento predictivo de activos está condicionado por el estado de los mismos más que por un período fijo de tiempo o por un número de ciclos de funcionamiento de los equipos. Esto lo hace mucho menos costoso [1].

#### 4 Optimizar toda una planta es posible con un acuerdo de servicio a largo plazo con ABB.



ARC Advisory define dos tipos de sistemas de gestión de activos de planta (PAM): uno para activos de producción y otro para activos de automatización. Los sistemas PAM se definen como una combinación de hardware, software y servicios que vigilan el estado de los activos para identificar problemas en potencia antes de que sean más graves.

ABB cubre ambos tipos de activos (producción y automatización) en un único producto desarrollado específicamente para la minería. Esta solución contrastada proporciona vigilancia, notificación, mantenimiento y optimización del flujo de trabajo de la automatización y equipos de planta, así como de dispositivos de campo, activos informáticos y proceso de producción, todo ello en tiempo real. Reúne en una única interfaz y en el contexto adecuado para cada categoría de usuario – operaciones, mantenimiento, ingeniería y gestión–, toda la información en los distintos sistemas de automatización y control, proporcionando así una visión completa del estado y rendimiento de cada activo.

La aplicación de control de activos de ABB analiza los datos en tiempo real. Este análisis se realiza mediante una lógica de control personalizada para cada familia de dispositivos.

La lógica tiene en cuenta variables o software de proceso, datos del fabricante nominal, parámetros y otros estándares

técnicos. Se ha desarrollado utilizando herramientas de análisis de fallos como el análisis del árbol de fallos (FTA) y un diagrama jerárquico del equipo. El FTA muestra cadenas de distintos sucesos asociados con un fallo concreto o “suceso clave”, es decir, un estado anormal del sistema. Se separa en un árbol lógico que muestra las causas de sucesos subsiguientes mediante el uso de pasarelas y ramificaciones lógicas.

El análisis de criticidad, una metodología sistemática que clasifica la criticidad de los equipos, puede mejorar en mayor medida las cosas mostrando los equipos que requieren atención.

ABB tiene una amplia cartera de productos y sistemas de energía y automatización, lo que ayuda a ofrecer una capacidad única en gestión y optimización de activos que comprende toda la gama de activos para la minería: vigilancia de instrumentación, equipos eléctricos, bucle de control, vigilancia de equipos de planta, integración de sistemas de gestión de mantenimiento informatizado (CMMS), vigilancia mecánica y de vibraciones y vigilancia personalizada de activos.

#### Huellas

Un estudio de “huella” puede evaluar rápidamente el rendimiento de los equipos, la eficacia del mantenimiento, la optimización del control de proceso y la eficacia general de los equipos de planta

(OEE). Se suele llevar a cabo solo en un par de días sobre el terreno, en contraste con las auditorías de planta clásicas que pueden tardar semanas o meses en completarse.

La huella proporciona una evaluación de la eficiencia con la que funcionan los activos de automatización y electrificación de la planta y de cómo se controlan los procesos de producción. Esta información se analiza fuera de las instalaciones, se facilitan recomendaciones de mejora y se calcula el impacto sobre el negocio de la implantación de los cambios.

Si no se requiere una revisión más amplia, también puede realizarse un estudio profundo de huella específico para los equipos, como una evaluación eléctrica y mecánica de los sistemas de elevación de mina.

#### Marcando diferencias

ABB dispone de profundos conocimientos y larga experiencia en las tecnologías que proporcionan energía y automatización a las minas y a las instalaciones de tratamiento de minerales → 4. Mediante acuerdos de servicio, estos conocimientos técnicos especializados pueden ayudar a los clientes del sector de la minería a mejorar su productividad utilizando de forma eficiente los activos de producción. ABB desarrolla continuamente nuevas tecnologías de servicios y productos que mejoran el rendimiento de los activos y la rentabilidad de las minas. Al reunir estos servicios y tecnologías en un acuerdo de servicio a largo plazo y personalizado con el cliente, ABB puede ofrecer todos sus conocimientos y actuar como socio estratégico de mantenimiento.

#### Eduardo Lima

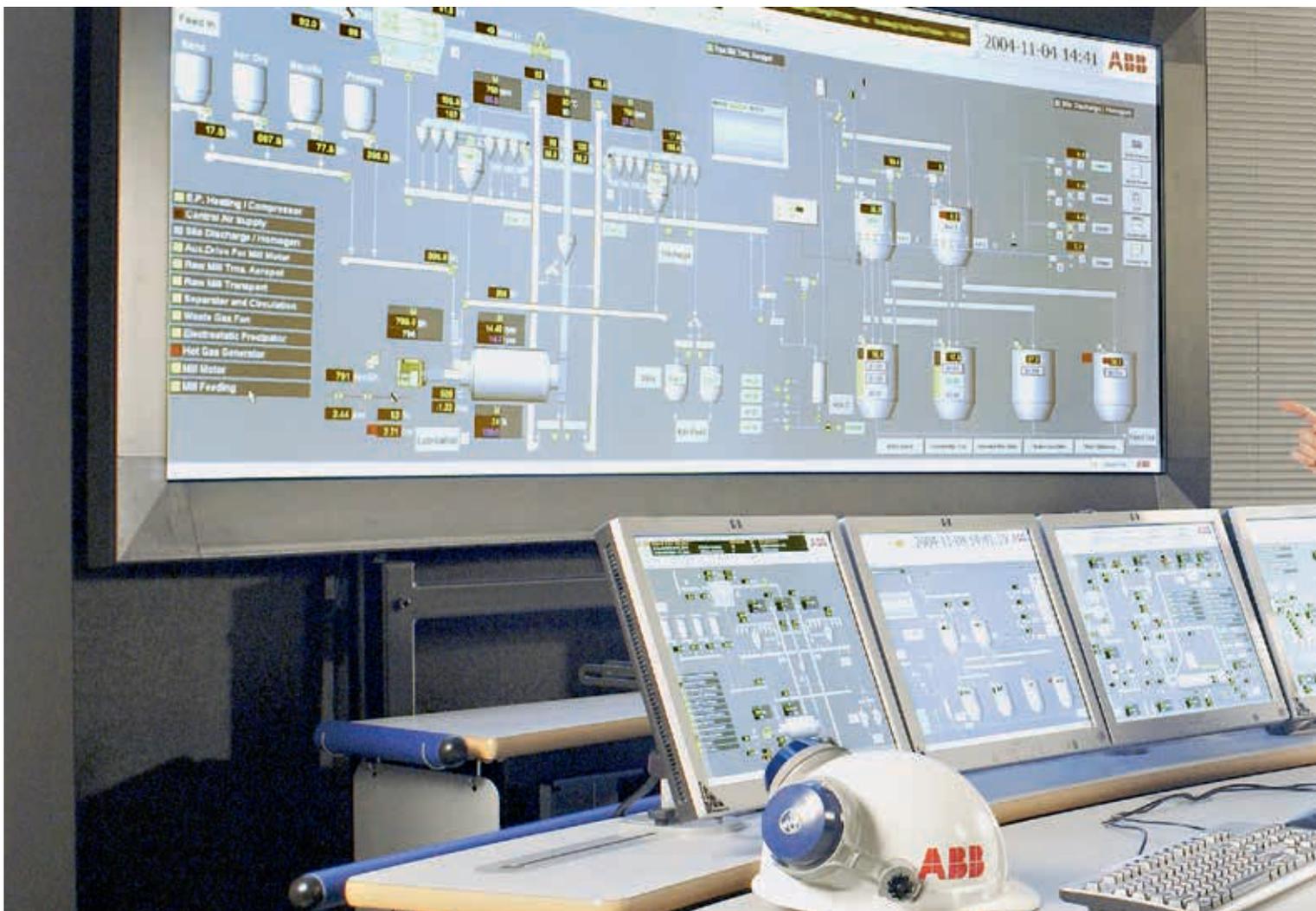
ABB Process Automation, Mining Service  
São Paulo, Brasil  
eduardo.lima@br.abb.com

#### Jessica Zöhner

Alireza Oladzadeh  
ABB Process Automation, Mining Service  
Baden-Dattwil, Suiza  
jessica.zoehner@ch.abb.com  
alireza.oladzadeh@ch.abb.com

#### Referencia

[1] “Plant Asset Management Systems – Worldwide Outlook: Market analysis and forecast through 2016,” ARC Advisory Group, diciembre de 2012.



# System 800xA avanza

Desmitificar MPC e implantarlo con el sistema ampliado de automatización System 800xA de ABB

EDUARDO GALLESTEY, MICHAEL LUNDH, TOM ALLOWAY, RICCARDO MARTINI, MICHAEL STALDER, RAMESH SATINI – El control predictivo de modelos (MPC) es una tecnología bien establecida para control avanzado de procesos (APC). Sus raíces se remontan a los años 70 del siglo pasado [1,2]. Esta tecnología tiene la capacidad demostrada de proporcionar soluciones de control utilizando limitaciones, proalimentación y retroalimentación para manejar procesos multivariable con retrasos y procesos con fuertes bucles interactivos → 1. Estos tipos de problemas de control han sido tratados con éxito en muchas aplicaciones industriales [3].



## La optimización es una capacidad intrínseca de un controlador MPC.

**E**l uso del MPC comporta numerosas ventajas. Por ejemplo: hay una menor variación en las variables de proceso (PV), lo que permite elegir puntos de consigna más cercanos a los límites de rendimiento, lo que a su vez conduce a una mayor producción y a unos mayores beneficios. El MPC proporciona un enfoque estructurado a soluciones que de otra forma consistirían en combinaciones de proalimentación y retroalimentación con controles PID (proporcional integral derivativo), posiblemente con funciones de cancelación.

Otras ventajas del MPC son:

- Aumento del conocimiento del proceso (estimación de variables ocultas).
- Mayores niveles de automatización, lo que permite a los operadores centrarse en tareas más importantes.

### Imagen del título

El MPC automatiza muchas funciones rutinarias y permite a los operadores centrarse en tareas más importantes

- Mayor alcance de la estrategia de control para la optimización de, por ejemplo, el consumo de energía.

La optimización es una capacidad intrínseca de un controlador MPC → 2. Ejemplos se encuentran con frecuencia en mezcladores, molinos, hornos, calderas y columnas de destilación.

### Tecnología MPC

Desde una perspectiva de usuario, los componentes más importantes de un MPC son:

- El modelo de planta
- Una función objetivo
- Un estimador de estado
- Un algoritmo para resolver problemas de optimización con limitaciones

Las siguientes acciones tienen lugar de forma cíclica y se repiten a intervalos equidistantes, de los que se elige el tiempo de muestreo respecto a la escala de tiempos del proceso controlado:

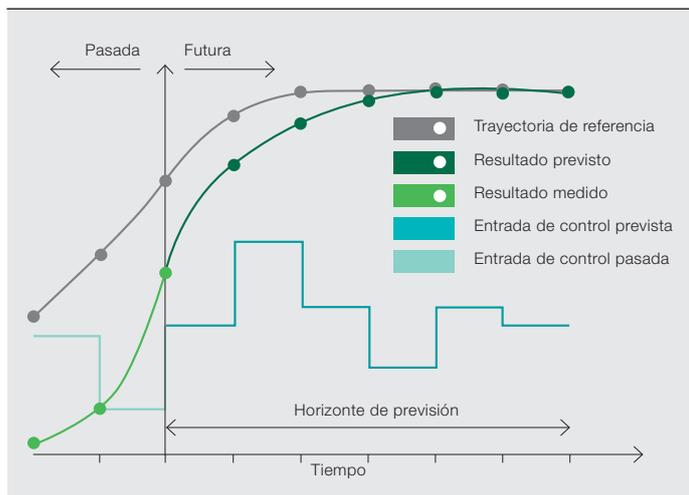
- El estado real del proceso se estima a partir de mediciones actuales y

pasadas y del estado con las muestras anteriores utilizando un estimador de estado. Los filtros Kalman y los estimadores móviles de horizontes son métodos bien establecidos. El estado estimado  $\hat{x}(k)$  se considera una aproximación exacta del a veces inconmensurable estado del proceso real. Se utiliza como punto de arranque para la optimización del siguiente paso.

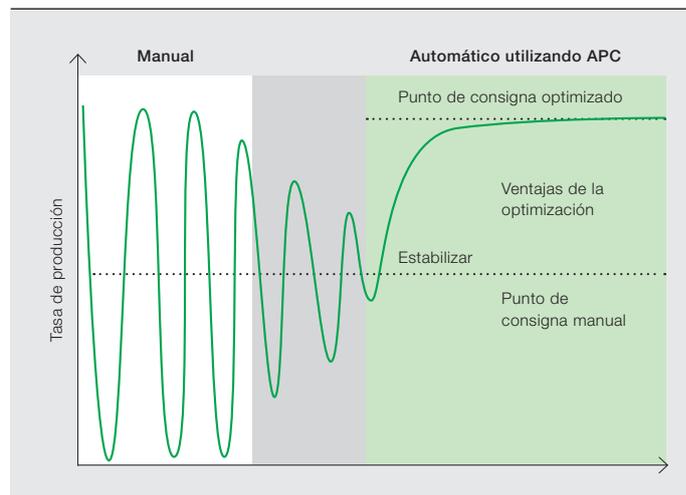
- El modelo de planta puede utilizarse para predecir las futuras trayectorias de las producciones de la planta para una determinada secuencia/trayectoria de futuras señales de control. La optimización determina la futura señal de control de forma que se minimice la función objetivo. La optimización puede justificar también limitaciones en las entradas y salidas del proceso.
- Por último, se aplica al proceso la primera instancia para cada futura señal calculada

Conviene tener en cuenta que la función objetivo es una suma ponderada de desviaciones en las producciones de planta y

## 1 Trayectorias pasadas y futuras en un MPC

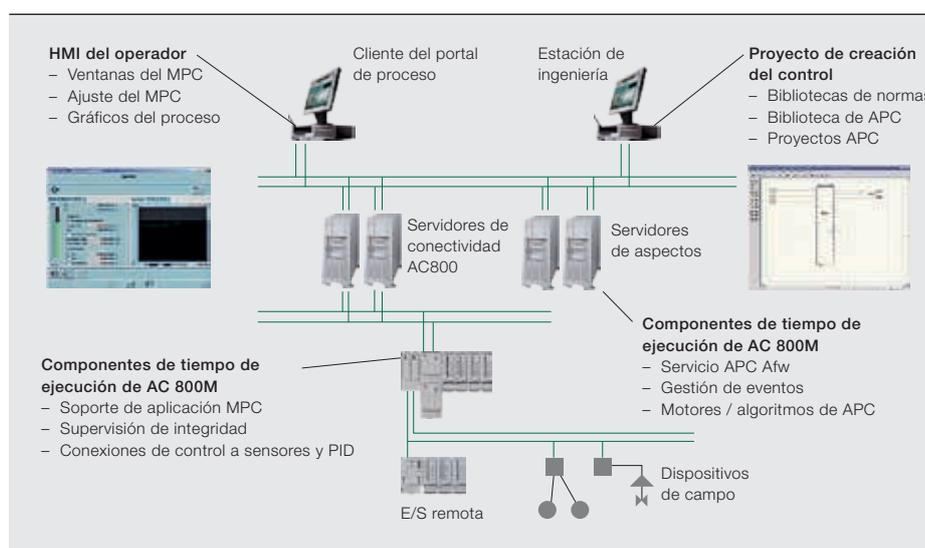


## 2 APC permite la optimización



Utilizar la forma cuadrada en la función objetivo sirve para controlar el comportamiento del problema de control y permite explicarlo en términos de teoría de control lineal.

## 3 Visión general del APC System 800xA



en los incrementos de las señales de control. También puede haber términos lineales para la maximización o minimización de determinadas variables. Utilizar la forma cuadrada en la función objetivo sirve para controlar el comportamiento del problema de control y permite explicarlo en términos de teoría de control lineal.

### Implantación tradicional de MPC

MPC ha sido utilizado para el control de procesos en ABB desde hace mucho tiempo, inicialmente con soluciones de terceros de otros proveedores. Más adelante se pusieron en práctica soluciones que utilizaban los productos de ABB Predicción y Control y Optimizador Experto. Normalmente MPC proporciona puntos de consigna para los controladores PID en cascada subyacentes. Estos enfoques tenían en común que el MPC funciona en un servidor separado que no forma parte de DCS (sistema de control distribuido).

Los datos de señal se intercambian con el DCS utilizando OPC; las mediciones, que consisten en variables PV y de alimentación hacia adelante (FF), se envían al MPC y los resultados de MPC, también denominados variables manipuladas (MV) se envían al DCS.

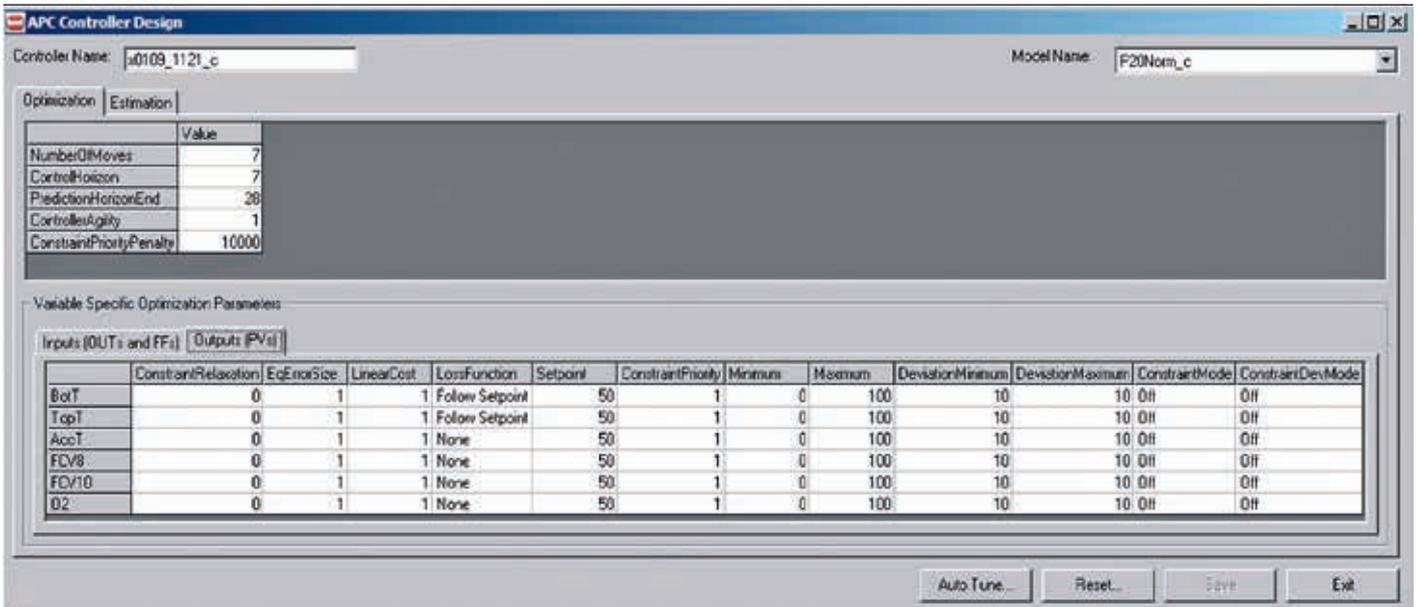
Sin embargo, para que funcionen estas soluciones, es necesario intercambiar varias señales adicionales entre el DCS y el MPC en el servidor externo. Estas contienen información, p. ej., sobre qué controladores PID de Nivel 1 aceptarán un punto de consigna desde el MPC y si la salida del PID está saturada. También es necesario mover datos entre el MPC y las pantallas de los operadores. Otra información que hay que intercambiar es el estado del MPC, en el que a menudo se utiliza una señal de "latido" para indicar que el MPC está vivo. Es necesario configurar toda esta información antes de que

el ingeniero haya siquiera comenzado a tratar el problema de control. Esto debe producirse también antes de decidir si añadir o eliminar señales del MPC. No hay duda de que el umbral de utilización del MPC ha sido sustancial.

### Control avanzado de proceso en System 800xA

El nuevo producto, System 800xA APC, es un controlador MPC totalmente integrado en el Sistema de automatización ampliado System 800xA → 3. Se comercializa como ampliación del sistema. Además hay una herramienta, el Creador de Modelos, para modelar, ajustar el controlador y simulaciones.

En System 800xA APC, en el controlador AC 800M hay un módulo de control para un controlador MPC. Utilizando este módulo de control se conecta fácilmente el controlador MPC para medir señales y



para los controladores PID subsiguientes. Una vez hecho lo anterior y descargada la aplicación al AC 800M, puede operarse manualmente el MPC utilizando pantallas y ventanas de operador pre-configuradas. Las conexiones entre el MPC y los otros objetos se establecen utilizando “conexiones de control”. Son conexiones multiseñal bidireccionales en las que no solo se transportan los valores de señal, sino también información booleana sobre modelos de operación para el PID subsiguiente.

System APC 800xA utiliza plenamente la infraestructura de System 800xA. Dado que un controlador MPC puede exigir mucha potencia de cálculo, la ejecución del servicio para el motor MPC puede distribuirse a cualquier servidor de System 800xA. Si se desea, p. ej., para mayor fiabilidad, también se puede configurar un servicio redundante. Además, la infraestructura de System 800xA proporciona toda la supervisión necesaria y todos los eventos y anomalías se registran en la funcionalidad de alarmas y eventos de 800xA.

Otras ventajas de System 800xA APC son:

- Incorpora productos ABB ya establecidos.
- Camino de migración para los controladores Predicción & Control (P&C) y Optimizador Experto.
- Se pone en marcha una estructura para la aplicación del MPC, que simplifica el mantenimiento dado que todos los aparatos relacionados se guardan en un único lugar.

Con este nuevo producto, el ingeniero de control puede ahora concentrarse en la puesta en marcha del controlador MPC.

### Configurar System 800xA APC

El controlador MPC se entrega como una extensión de System 800xA con una biblioteca y un servicio. La configuración de una instancia del controlador MPC en System APC 800xA comienza en el Creador de Control 800M. Después de conectar las PV (mediciones), MV (salidas del controlador) y las variables FF (distorsiones de medición), puede descargarse la aplicación a un controlador de System 800xA. Normalmente, las MV del MPC están conectadas a puntos de consigna externos para controladores PID nivel 1 en cascada.

Se ha conseguido lo siguiente:

- El MPC puede funcionar en modo manual desde las ventanas. Todas las señales pueden visualizarse en las ventanas. Esto es útil, por ejemplo: para pruebas de planta con objeto de obtener datos para modelos empíricos.
- Se establece supervisión para la transferencia de datos entre el módulo de control y el servicio de System 800xA con el motor del MPC.
- Utilizando conexiones de control entre el MPC y los controladores en cascada, el MPC percibirá cuándo un PID no funciona en modo automático con un punto de consigna externo, y el MPC percibirá también si se saturan las señales en el PID. El MPC podrá entonces realizar las acciones correc-

tas cuando se produzcan estas situaciones.

### Modelización y diseño del controlador

El Creador de Modelos tiene por objeto, como su nombre indica, la creación del modelo que se utilizará en el MPC. Puede crearse el modelo de tres formas diferentes.

Una forma es que puede obtenerse un modelo utilizando modelos empíricos, calculando a partir de datos almacenados un modelo discreto de tiempo-estado y espacio. Preferiblemente deben obtenerse los datos de un experimento de identificación en los que las MV se modifican hacia arriba y hacia abajo. Hay distintas formas de hacerlo. La más sencilla es hacer cambios por etapas secuenciales en cada una de las MV.

Alternativamente, puede definirse un modelo mediante un conjunto de modelos de funciones de transferencia de bajo orden, uno para cada relación entrada / salida en el modelo multivariable. Una función típica de transferencia de bajo orden se define por los parámetros de

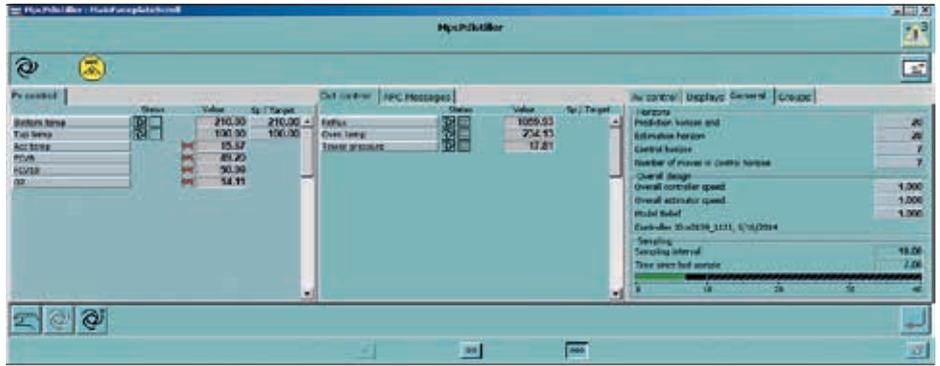
$$G(s) = \frac{K}{sT + 1} e^{-Ls}$$

pero también pueden definirse funciones de transferencia más complicadas.

Una tercera posibilidad es construir gráficamente un modelo de principios básicos utilizando bloques predefinidos. Este es el

La infraestructura de System 800xA proporciona toda la supervisión necesaria, y todos los eventos y anomalías se registran en la funcionalidad de alarmas y eventos.

## 5 Ventana principal de operador



método más general soportado en el Creador de Modelos.

Aunque se trata de enfoques completamente diferentes, puede crearse un modelo uniendo modelos más pequeños de cualquiera de los tres tipos.

El Creador de Modelos proporciona funciones para analizar modelos. Hay funciones para respuestas por etapas y también para validación de modelos en las que el modelo se introduce con datos almacenados y los resultados simulados del modelo se comparan con los resultados almacenados.

Cuando se considere que un modelo tiene la calidad suficiente para utilizarlo en el controlador, puede diseñarse un MPC. Esto se hace también en el Creador de Modelos. Los parámetros de diseño se introducen en una tabla → 4. Hay una función de ajuste automático para proporcionar parámetros iniciales para usuarios menos expertos.

La influencia de los parámetros de ajuste elegidos puede evaluarse mediante simulaciones con diferentes datos. Hay posibilidades para simulación con etapas en puntos de consigna, en alimentación hacia adelante y en distorsiones de salida. Puede evaluarse fácilmente la robustez utilizando un modelo para la simulación distinto del utilizado en el controlador del MPC.

Los parámetros de ajuste se guardan junto al modelo como archivo XML.

### Puesta en marcha del MPC en el sistema 800xA

El paso final es desplegar el MPC diseñado en System 800xA. En el Explorador de Planta de System 800xA puede seleccio-

narse un archivo XML con parámetros y modelo de ajuste para configurar en línea el algoritmo del MPC con uno de los controladores de MPC definido en el Creador de Modelos. Ahora el controlador MPC está plenamente operativo en System 800xA y puede cambiarse a modo automático para realizar su tarea.

Una vez concluida la configuración básica, el sistema genera varias ventanas a la medida → 5. Estas ventanas contienen información completa tanto para el operador como para el ingeniero de APC. En otras palabras: no solo están disponibles puntos de consigna y límites, sino que también los usuarios autorizados de 800xA pueden acceder a la parametrización interna del controlador.

La mayor parte de los parámetros de ajuste pueden verse en los paneles del operador. Esto resulta útil cuando se necesita un ajuste ulterior en línea.

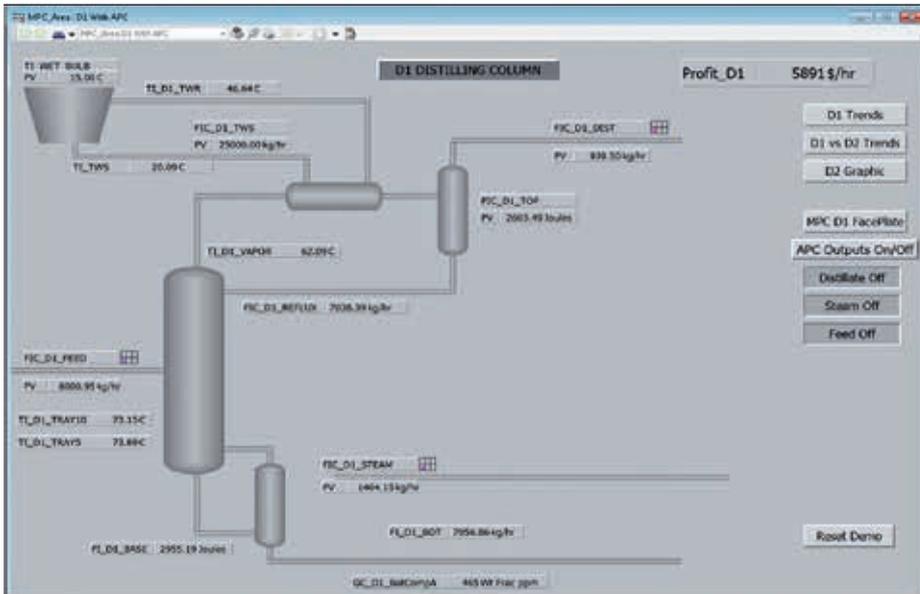
En los casos en los que se desplieguen varios controladores APC en el mismo servidor, puede ser necesario repartir la carga de la CPU. Esto se consigue utilizando la herramienta de programación proporcionada por el APC de System 800xA, en el que a cada controlador se le asigna un intervalo de tiempo para su punto óptimo de arranque.

Se puede disponer de funcionalidades adicionales debido a la integración con System 800xA. Por ejemplo, System 800xA ofrece gestión integrada de alarmas, soporte en el idioma nacional y tablas de indicadores clave de rendimiento (KPI) de APC.

### Casos típicos de uso

Hay dos tipos de uso clásicos para los controladores APC.

## 6 Columna de destilación



### Columnas de destilación de petróleo y gas

Las columnas de destilación se usan mucho en industrias de proceso. Se recomienda su uso cuando se necesita separar componentes con distintos puntos de ebullición. La idea principal es introducir la mezcla bruta de componentes, por lo general en estado líquido, en la zona intermedia de la columna de destilación. Mediante pasos sucesivos de vaporización y condensación, los componentes de bajo punto de ebullición se concentran en la parte superior de la columna y los de alto punto de ebullición se concentran en el fondo. Un ejemplo típico es la separación del crudo en componentes como gasolina, queroseno y gasóleo.

Dado que cada paso influye en los otros, el problema es, naturalmente, multivariable. Sin embargo, el proceso es muy repetitivo y por lo tanto muy adecuado para modelarlo mediante modelos empíricos o basados en datos. Variables típicas del proceso son la temperatura, presión y las composiciones a los distintos niveles de la columna, mientras que los principales actuadores son alimentación, encendido, recalentadores para el fondo de la columna, caudales bombeados, tasas de refrigeración y bypass de control de la presión de cabeza → 6.

Los proyectos de MPC en este campo proporcionan mayor estabilidad de proceso, una calidad más homogénea de los componentes extraídos en cada etapa y, dependiendo de los objetivos de negocio del cliente, más volumen de producción y

beneficios, reducción de problemas de calidad o minimización de los costes energéticos [4].

### Trituración y flotación en la industria minera

En un circuito típico de trituración en, por ejemplo, una mina de cobre, el mineral se carga en molinos donde la abrasión, el rozamiento y los impactos reducen su tamaño. Por lo general, el circuito de trituración contiene al menos dos molinos interconectados con clasificadores de materiales, por ejemplo, ciclones, que separan los materiales finos de los gruesos, que se vuelve a triturar.

El proceso consume mucha energía, con un consumo de unos 20 a 30 MW para una alimentación de mineral de 2.500 a 3.000 t/h. Las variables de proceso son la carga de los molinos, el par motor, las presiones y los caudales. El producto triturado se especifica en términos de intervalos de finura. Los resultados típicos de un controlador APC → 7 son mayor producción, calidad homogénea del producto y menores costes de mantenimiento.

Además, el APC puede utilizarse de forma útil en la planta de flotación, en la que el mineral extraído, ahora en forma de lodo, se "lava" para separar los minerales valiosos de los residuos. Siendo el objetivo la máxima producción o el máximo beneficio con una determinada calidad del concentrado, APC realiza puntualmente ajustes en los niveles de espuma, caudales de aire y reactivos, lo que conduce a la estabilización del proceso y a una mayor recuperación [5].

Cuando se considere que un modelo tiene la calidad suficiente para utilizarlo en el controlador, puede diseñarse un MPC.

### Hornos en la industria del cemento

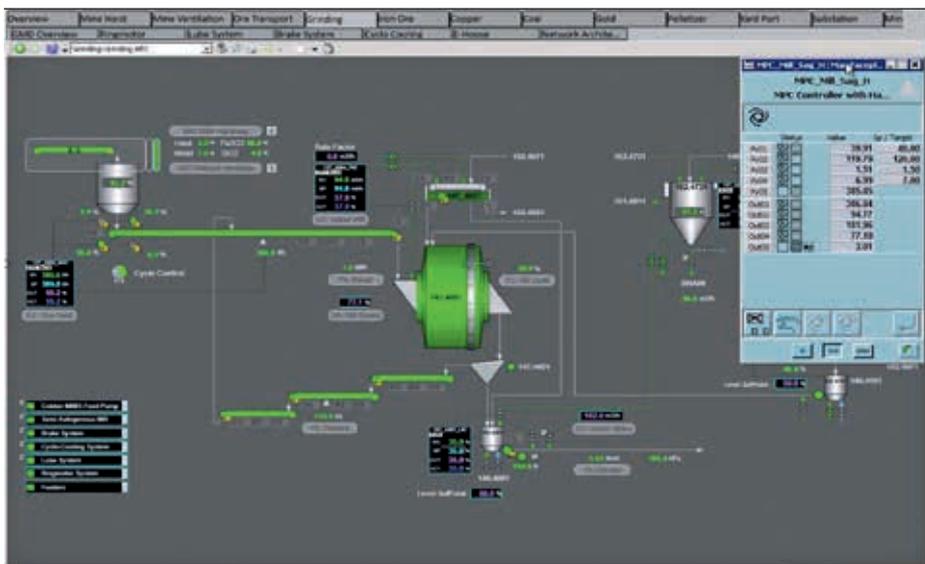
El proceso de los hornos giratorios de cemento es intrínsecamente inestable y está expuesto a grandes retrasos e importantes perturbaciones. El problema de control consiste en mantener un perfil dado de temperaturas en todo el horno además de lograr buenas condiciones de combustión. Además, la estrategia de control tiene que conseguirlo con el menor consumo de energía posible, lo que significa moverse entre limitaciones como la cantidad de aire en los gases de escape. El problema muestra retrasos relativamente grandes en relación con el lento transporte de la materia prima a lo largo de una serie de intercambiadores de calor, ciclones y finalmente el horno.

Los actuadores son la velocidad del horno, las aportaciones de energía (combustibles), aire y carga, y los parámetros que deben controlarse son la temperatura en el frente del horno (o el sensor especialmente dispuesto para ello), la temperatura en la entrada del horno y el oxígeno presente en los gases que se desplazan a través del sistema. Una complejidad añadida puede también provenir del uso de combustibles alternativos, en cuyo caso la estrategia de control tiene que calcular la mezcla óptima de combustibles para las condiciones existentes.

Las ventajas típicas que un usuario puede esperar del uso del APC de System 800xA para la optimización de hornos de cemento (denominado "Expert Optimizer") son una mayor producción, un menor consu-

Hay una función de ajuste automático para proporcionar parámetros iniciales para usuarios menos expertos.

## 7 Aplicaciones de trituración de minerales



mo de combustible, una vida más larga de las paredes refractarias y una calidad mayor y más constante [6, 7].

### Digestor continuo de pasta

El digestor continuo de pasta Kamyr es un reactor tubular complejo en el que las astillas de madera reaccionan con una solución acuosa de hidróxido sódico y sulfito sódico (llamada licor blanco) para eliminar la lignina de las fibras de celulosa. El producto que sale del digestor son fibras de celulosa o pasta. La mayoría de los digestores continuos constan de tres zonas: una zona de impregnación, una o más zonas de digestión y una zona de lavado. El licor blanco penetra y se difunde en las astillas de madera mientras fluye a través de la zona de impregnación. La mezcla se calienta hasta una temperatura objetivo a la que empieza el proceso de deslignificación y se elimina la mayor parte de la lignina. El proceso de cocción se detiene al principio de la zona de lavado reduciendo la temperatura, y la pasta cocida se lava a contracorriente con un licor de lavado inyectado en el fondo del digestor.

Producir pasta de calidad uniforme a un ritmo siempre alto es una tarea complicada para los operadores del digestor, ya que la calidad de la materia prima, como el tamaño y la humedad de las astillas, varía con las estaciones, los factores geográficos naturales y el origen de la madera. El programa cambia también entre madera de coníferas y de caducifolias, lo que complica aún más las tareas de control de proceso.

La base del proceso es un paquete avanzado de control para el digestor conocido como OPT800 Cook/C, una aplicación construida sobre la plataforma del APC de System 800xA, que estabiliza la producción de pasta, reduce el consumo de productos químicos y coordina los numerosos bucles para obtener una pasta de calidad óptima y conforme con las especificaciones con unas variaciones mínimas. La producción de pasta de calidad óptima garantiza la minimización del uso de blanqueadores químicos cuando se elaboran productos con distinto grado de blanqueo. Además, estos controles maximizan la producción, el rendimiento y el drenaje del papel en la máquina en papeles de producto blanqueado y sin blanquear. Las variables del proceso son un número Kappa de soplado, el nivel del digestor, la concentración de productos alcalinos residuales y la tasa de producción. La calidad del producto se especifica en términos de objetivo Kappa e intervalo de niveles.

Los resultados ejemplares de una instalación reciente indican una reducción del 51% del número Kappa de soplado, un indicador de calidad de la pasta con un caudal estable de soplado y una reducción del 60% en la variación del nivel de astillas de madera en el digestor. El movimiento estabilizado de las astillas produce un tiempo de permanencia estable en las distintas zonas del digestor [8].

### Planta industrial de vapor

En algunas industrias de proceso (petróleo y gas, pasta y papel, minerales, etc.) la producción requiere tanto vapor como energía eléctrica. En estos casos, muchos operadores de plantas construyen una unidad interna para satisfacer dichas necesidades. No se trata de una central eléctrica convencional como las que se utilizan normalmente para la generación. No solo se necesita vapor a presiones y temperaturas distintas y muy específicas, sino que su ritmo de consumo es también muy variable debido a la diversidad de las condiciones del proceso, las caídas y/o arranques de los consumidores de vapor, etc. Esto hace que la estabilidad de la red de vapor y la producción fiable de energía sean difíciles de conseguir. En algunos casos, el vapor se genera también recuperando energía de otras unidades, como hornos de craqueo de vapor, o utilizando gas, como en un alto horno de una planta siderúrgica. Esto introduce nuevas perturbaciones en la red de vapor, dado que la recuperación de energía y combustibles está sujeta a la disponibilidad y los ciclos de la unidad precedente.

Por lo general, el objetivo más importante es proporcionar suficiente vapor con los parámetros necesarios, mientras se produce la mayor cantidad de energía en condiciones económicas óptimas en una determinada situación del mercado. En otras configuraciones, el problema puede incluir también suministrar calor a un circuito de calefacción de distrito.





# Un salto adelante

La madurez de las TI convierte el sector de la minería de atrasado en líder

JAY JENKINS – Hasta hace poco, casi todos los sectores superaban al minero en el uso de tecnologías de la información para dar soporte y mejorar su negocio. Estudios de empresas de investigación de mercados informan constantemente de que la industria en general gastaba del 3 al 5 por ciento de sus ingresos en TI, mientras que el sector minero gastaba menos del 1 por ciento. Esto ha cambiado completamente en los cinco últimos años. El uso de la informática en la minería está permitiendo a las empresas aumentar su productividad a pesar de los múltiples desafíos que afronta el sector.



**E**l mayor nivel de complejidad del sector minero ha sido un gran estímulo para que las empresas recurran a las TI para seguir siendo competitivas, especialmente en lo que se refiere a contención de costes. En este giro hacia la informática en el sector de la minería han influido ejecutivos de alto nivel procedentes de otros sectores. Estos ejecutivos procedentes de empresas de bienes de consumo, de alta tecnología y de instituciones financieras están impulsando la filosofía de la inversión en TI. Esto ha elevado el nivel para todo el sector. Por último, grandes industriales han entrado recientemente en el sector de equipos, tecnología y servicios mineros (METS), un segmento con un valor de 90.000 millones de dólares anuales que representa, por ejemplo, el 6,5 por ciento del PIB de Australia, y están aplicando sus enfoques maduros a la informática a nivel de empresa con soluciones para las compañías mineras.

Estos factores han creado en el sector de la minería la oportunidad de aprender de los esfuerzos pioneros en otros sectores cuando se trata de implantar tecnología.

#### Imagen del título

Las tecnologías de la información están transformando el sector minero conectando sus muchas partes inconexas en un entorno operativo integrado.

Otros sectores manufactureros, tanto de fabricación discreta como de proceso, aprendieron muy pronto que la automatización y la información aisladas creaban

Desde luego, las compañías mineras han venido invirtiendo en su propia investigación y desarrollo, trabajo que crea sinergia con las tecnologías adoptadas

de otros sectores y permite avances tecnológicos a nivel de empresa.

## El mayor nivel de complejidad del sector minero ha sido un gran estímulo para que las empresas recurran a las TI para seguir siendo competitivas, especialmente en lo que se refiere a contención de costes.

problemas tanto de volumen como de calidad → 1.

### Convergencia de TI y TO: una empresa integrada

Uno de los resultados más prometedores de la influencia de otros sectores es la introducción de operaciones a distancia y autónomas. La convergencia en esta área de las TI (tecnologías de la información, como sistemas de gestión de activos y recursos de la empresa, de logística y de operación) y las TO (tecnologías de operaciones, como controladores lógicos de proceso en la maquinaria) ha conducido a procesos más eficientes.

permite explotar las minas de forma eficaz desde centros operativos a distancias de muchos cientos de kilómetros → 2.

Los elementos impulsores determinantes para conseguir una empresa minera integrada, como identificó Gartner [1], son:

- Escasez crítica de competencias en toda la escala, desde el fondo de la mina hasta el nivel corporativo.
- Capacidad para optimizar eficazmente toda la cadena de valor, no solo ciertas partes de la misma.
- Mayor visibilidad y responsabilidad pública, incluso en las áreas de

Un estudio de investigación ha concluido que una de las mayores oportunidades que tenían las empresas mineras era aprender de otros sectores y evolucionar hacia la integración con la adopción de arquitecturas normalizadas.



- sostenibilidad y de los resultados económicos.
- Constancia de la producción tanto desde una perspectiva de calidad como de la previsibilidad de los resultados.
  - Capacidad para operar en una atmósfera económica muy volátil.

Estas conclusiones están muy en línea con los resultados de la Encuesta mundial Ventyx 2012 sobre la minería [2], así como con entrevistas a ejecutivos recientemente publicadas [3]. Conscientes de estas ventajas, varias compañías mineras líderes están optando actualmente por la integración, pero están consiguiendo

implantación de operaciones integradas. La minería puede y debe seguir un camino similar, y las principales compañías ya han adoptado OAGIS, S95, B2MML y estándares como PAS55, por ejemplo. Ventyx, aprendiendo de la experiencias de otros y aplicando conocimientos detallados de minería a dichos estándares, actúa como catalizador para los clientes que están en camino de madurar de forma más rápida.

Ningún estándar sectorial por sí solo cubrirá toda la amplitud y profundidad del sector minero, pero existen varias actividades de Arquitectura de Empresa (EA) que merecen la atención y el apoyo del

sector. Entre ellas es clave el foro de Exploración, Minería, Metales y Minerales (EMMM) de The Open Group, un consorcio de proveedores de tecnologías neutrales que ha desarrollado un modelo EA

## Hay enormes oportunidades en el sector de la minería para aprender de los esfuerzos pioneros de otros sectores en el despliegue de tecnologías.

resultados subóptimos, ya que la falta de estándares de arquitectura de empresa (EA) aceptados por el sector ralentiza el esfuerzo de integración. Otros sectores, desde el automovilístico hasta el de semiconductores, han afrontado esta cuestión en el pasado, y en los últimos 15–20 años han adoptado numerosos estándares sectoriales que han hecho más fácil la

de referencia para el sector. Siendo un modelo de referencia, es lo suficientemente genérico como para servir de base para cualquier arquitectura específica para las compañías mineras, pero con ambiciones y capacidad para automatizar buena parte de la complejidad requerida para una empresa minera eficiente y autónoma.

### 3 La ubicación, calidad y cantidad del producto en tránsito puede seguirse fácilmente en un entorno operativo integrado.



Uno de los resultados más prometedores de la influencia de otros sectores es la introducción de operaciones a distancia y autónomas.

Así pues, el primer paso de una compañía minera para ir hacia un entorno operativo integrado es asegurarse de que:

- Entiende las ventajas de la integración.
- Tiene una estrategia y un enfoque para lograr la integración.
- Elige proveedores y productos compatibles con la estrategia de integración y modelos adecuados para hacerlo posible.

Comprar tecnología aislada y no integrada puede resolver un problema puntual, pero al final crea una barrera insuperable para alcanzar la competitividad que una empresa integrada puede ofrecer. Por lo tanto, Ventyx está invirtiendo en una integración sin fisuras dentro de sus propios productos, y colaborando con actores relevantes que también persiguen los resultados de una plataforma abierta.

#### El modelo integrado Ventyx de minería

Ventyx tiene una propiedad intelectual (PI) relevante que casi todas las organizaciones mineras deberían aprovechar cuando diseñen su estrategia de integración. The Open Group ha constituido un foro mundial vertical de Exploración, Minería, Metales y Minerales (EMMM), para crear normas de arquitectura de empresa y modelos de referencia para los sectores de exploración, minería, metalurgia y minerales. Las metodologías y modelos de proceso Ventyx se alinean por lo general con el modelo EMMMv. La propiedad

intelectual exclusiva de Ventyx atraviesa la complejidad de los modelos integrados de minería y ayuda a las compañías mineras a centrarse en los procesos críticos que las convierten en excelentes cuando se hacen bien.

#### Conclusiones

El sector de la minería tiene ventajas que otros no tienen. Pueden aprovecharse de los 15–20 años que la mayoría de los otros sectores han empleado en tratar de concebir una compañía integrada y después ir hacia ella. Al adoptar un modelo de integración y estándares de comunicaciones y datos que facilitan la integración, y posteriormente seleccionando e implantando soluciones que encajan en los parámetros de sus planes y en los estándares que eligen, pueden conseguir en unos pocos años lo que a otros sectores les ha llevado décadas.

#### Jay Jenkins

Ventyx, una compañía de ABB  
Brisbane, Australia  
jay.jenkins@ventyx.abb.com

#### Referencias

- [1] Ventyx (2013). "Process for Defining Architecture in an Integrated Mining Enterprise, 2020," D. Miklovic, B. Robertson, Gartner ID Number G00206261 (6 de octubre de 2010). Disponible en: <https://www.gartner.com/doc/1446018/process-defining-architecture-integrated-mining>
- [2] "Ventyx Mining Executive Insights Annual Global Survey Results I 2012." Disponible en: <http://www.ventyx.com/go/mining-survey/2012miningsurveyreport.pdf>
- [3] Ventyx (2013). "Mining 2020 - Profitably Reaching the End of this Decade in the Mining Sector." Disponible en: <http://www.ventyx.com/resources/registration?url=/resources/type/expert/ebook-mining2020>



# Una y no más

Una solución de plataforma unificada ayuda a las empresas mineras a superar las complejidades de los procesos de comercialización actuales

DAVID WESTLAKE – La gestión del proceso desde la mina hasta el mercado es un problema complicado para cualquier empresa. Los métodos manuales y las soluciones de software puntuales no pueden abordar las complejidades y la necesidad de visibilidad en tiempo real que caracterizan en la actualidad los procesos estrechamente interrelacionados de comercialización y logística de salida. La empresa Agnico Eagle ha experimentado esto de primera mano al crecer en unos pocos años desde una sola explotación a siete repartidas en tres países, y desde unos pocos productos a más de veinte distintos. Una solución de plataforma unificada para la automatización ha ayudado a Agnico Eagle a superar la complejidad de los procesos de comercialización de los mercados actuales y a reducir costes y mejorar los resultados comerciales.



La principal ventaja de la automatización mediante software es que los datos se introducen una sola vez, y a partir de ese momento se encargan de ellos las normas empresariales del sistema.

**A**gnico Eagle es una destacada empresa internacional productora de oro, con minas y propiedades para exploración en Canadá, Finlandia, México y Estados Unidos → 1. No hace mucho tiempo, y al igual que otras muchas empresas, gestionaban sus procesos de comercialización casi por entero con hojas de cálculo Excel y documentos en Word. Pero, al extender sus operaciones a varias minas, países e idiomas, necesitaron medios más potentes para manejar estos procesos. En la actualidad, Agnico confía en una plataforma unificada de software para dirigir y racionalizar sus procesos de

la mina al mercado. La visibilidad en tiempo real resultante y los elevados niveles de coordinación han reducido los costes administrativos, han permitido ajustar más estrictamente la gestión de existencias y los controles de calidad y han mejorado los resultados comerciales.

Esta estrategia de la plataforma para automatización se ha utilizado para mejorar procesos en cinco de las áreas más complejas de operaciones comerciales y logísticas: contratos, cumplimiento de normativa, logística, facturación y gestión de riesgos.

#### **Gestión ágil de contratos complejos**

Los contratos comerciales han pasado a ser muy complejos y difíciles de manejar. En Agnico, el enorme número de tipos distintos de contratos para numerosos productos (oro, plata, cobre, zinc y plomo) comenzaba a constituir una pesada carga que obligaba a los administradores

a luchar con varios contratos para un solo producto, especificaciones concretas de calidad y condiciones de pago y programación de entregas complicadas. Mientras las operaciones continuaban creciendo, estaba claro que el tratamiento manual pronto sería demasiado gravoso y muy caro en términos de personal.

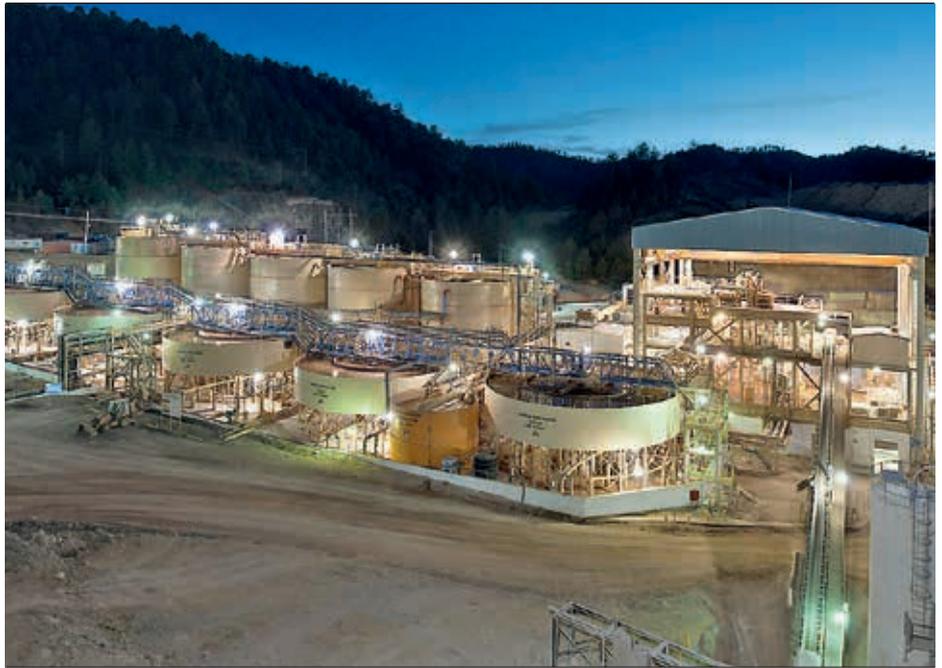
Al cambiar a una plataforma de software, Agnico tenía especial interés en mejorar la administración de contratos. La principal ventaja de la automatización mediante software es que los datos se introducen una sola vez, y a partir de ese momento se encargan de ellos las normas empresariales del sistema. Esencialmente, los datos del contrato pasan al sistema donde se comprueba automáticamente su precisión e integridad y se asegura el cálculo correcto del contrato. Una vez eliminada la caza de documentos, el personal puede dedicar más tiempo a tareas más constructivas. Y, sobre todo, ahora se

#### **Imagen del título**

La materia prima extraída de la mina es solo el principio del largo y complicado camino que conduce hasta su uso final. Para llevar la cuenta de todos los procesos empresariales de este recorrido lo mejor es usar una plataforma de software unificada. En la imagen, camiones de una mina de oro a cielo abierto de Agnico en Canadá.

La plataforma de software unificada gestiona y racionaliza los procesos de la mina al mercado. La visibilidad en tiempo real ha reducido los costes administrativos y ha permitido ajustar las existencias y los controles de calidad.

1 Planta de proceso Pinos Altos de Agnico en la falla del Santo Niño, en el norte de México.



pueden emitir facturas precisas inmediatamente después del cierre del mes en lugar de varias semanas más tarde.

#### **Reunión de cumplimiento de normativa, auditoría y requisitos de presentación de informes**

En la minería, el cumplimiento de la normativa es un requisito absoluto → 2. Una empresa que no cumpla la normativa no trabaja. Una sólida capacidad de auditar es fundamental para asegurar y demostrar el cumplimiento con la ley Sarbanes-Oxley y otras disposiciones, así como conciliar lo que se ha enviado a un cliente comparado con lo que una empresa cree que ha producido.

El software permite a una empresa alcanzar un control total sobre su información. Con una plataforma de software, se comprueban y auditan los datos para asegurar que los contratos han entrado en el sistema correctamente, y el acceso a los datos comerciales y de facturación (privilegios de acceso, histórico de cambios, etc.) se controla estrictamente y se supervisa continuamente. Este bloqueo de la información no solamente ahorra tiempo y esfuerzo a la empresa, y regulariza el proceso de auditoría, sino que también obliga a la separación de labores que se precisa frecuentemente para el cumplimiento. Como empresa que cotiza en bolsa, Agnico se ha beneficiado considerablemente con estas capacidades.

El software permite asimismo una conciliación más fácil de la producción y la entrega a los clientes. En Agnico, se potencia el software para conseguir visibilidad sobre las catas reales de los envíos por camión y para seguir cada camión hasta el cliente final.

Además, la visibilidad de los pesos a la descarga y las catas pueden también ayudar a una empresa a ajustar sus plantas mineras y su planificación (por ejemplo, el seguimiento de los aspectos de calidad hasta su origen para facilitar las reparaciones) y trabajar con más rentabilidad mediante un mejor conocimiento de la concentración del mineral. En Agnico, esta vital visibilidad forma parte de un bucle de realimentación que impulsa continuamente la mejora del proceso.

#### **Control de logística compleja**

Otro problema común para todas las empresas mineras es la gestión de entornos de transporte complicado y su programación. Esto incluye el control de múltiples formas de transporte así como de capacidades que cambian rápidamente, cuotas contractuales y programas de entregas variables. Esto es más que una simple cuestión de llevar minerales y metales al mercado. Se trata también de una cuestión de visibilidad: conocimiento de qué materiales fueron en qué camiones y vagones de tren y dónde acabaron por fin los materiales.

2 En todos los tipos de minería, como en el de mina a cielo abierto que se muestra, el cumplimiento de la normativa es una obligación absoluta.



Como para los contratos y el cumplimiento, el software ha aportado a Agnico visibilidad y control sobre las operaciones logísticas. El personal de logística puede visualizar lo que va en cada camión en términos de metal que contiene y su valor, y puede ver qué carga de qué camión se asigna a qué vagón de tren. Y pueden utilizar el software para “mover” las cargas de los camiones entre los vagones a fin de impul-

visualizar y valorar en cualquier momento dado (especialmente a finales de mes o de trimestre) la totalidad de su inventario y conocer con precisión lo que está en tránsito y/o pendiente de cobro. Éste es un importante avance desde simplemente “ver” una masa de inventario sin un claro manejo de su composición y valor hasta que se pueda hacer una conciliación formal.

Otra importante enseñanza ha sido comprometer activamente a todas las personas clave y mantenerlas comprometidas con la labor a lo largo de todo el ciclo de aplicación.

sar una logística óptima, como si cada carga de camión fuera un bloque impreso con información. Por ejemplo, ciertos bloques pueden ser retenidos en caso de que se descubra que una de las líneas férreas tenga un problema, mientras que otros bloques pueden sustituirse según se precise para cumplir el pedido del cliente.

Esta visibilidad tiene un importante beneficio añadido, uno que se desprende de varios procesos complejos. Gracias a la plataforma de software, Agnico puede

visualizar y valorar en cualquier momento dado (especialmente a finales de mes o de trimestre) la totalidad de su inventario y conocer con precisión lo que está en tránsito y/o pendiente de cobro. Éste es un importante avance desde simplemente “ver” una masa de inventario sin un claro manejo de su composición y valor hasta que se pueda hacer una conciliación formal.

Los empleados ya no tienen que tratar de recordar con angustia si se ha incluido en una factura una penalización o una

El software ha proporcionado a Agnico visibilidad sobre las operaciones logísticas y control sobre ellas. El personal de logística puede visualizar lo que va en cada camión en términos de metal que contiene y su valor, y puede ver qué carga de qué camión se asigna a qué vagón de tren.

#### **Aceleración de procesos de facturación complejos**

Como pasa con los contratos, las facturas aumentan en número y se hacen más complejas al crecer la empresa minera. Como se indicó anteriormente,

**3 Una plataforma unificada de software integra toda la información empresarial precisa, como los datos de la sala de control del molino de trituración que se muestra aquí.**



condición comercial determinada, porque su inclusión ya ha sido verificada por el software. Asimismo, las reglas empresariales del software pueden incorporar automáticamente los precios de Metals Bulletin o Metals Week, de forma que también se libera al personal de esta tarea repetitiva.

En Agnico, esto ha acelerado espectacularmente el proceso de la facturación.

**Simplificación de la compleja gestión de riesgos**

Las fluctuaciones de los precios al cierre de cada periodo contable son un mal endémico del sector minero. Para que no haya sorpresas es crítico disponer de un cuadro completo y preciso de los inventarios a fin de mes en acopios, en tránsito y en almacén, y de sus tasaciones. En Agnico, esta capacidad la habilita la misma plataforma de software que agiliza contratos, impulsa cumplimientos, controla la logística y acelera la facturación.

Por ello, Agnico puede crear una factura de fin de mes para cualquier facturación pendiente, estrictamente para uso interno, empleando una evaluación precisa de fin de mes de los inventarios. Esto permite la creación de un cálculo total inmediato con vistas a una contabilidad de valoración a precios de mercado, y así se conoce el valor total actual de lo que la empresa tiene en tránsito, en inventario y en facturas impagadas.

Como importante beneficio añadido, esta misma característica potencia la capacidad de Agnico para emitir facturas provi-

datos, visibilidad, reglas comerciales y otras funciones con muchos procesos. Por esta y por otras razones, una solu-

**El software permite introducir y comprobar los datos contractuales una sola vez, de forma que el personal pueda centrarse en verificar que los datos de base son correctos y la facturación se hace a tiempo.**

sionales, que son seguidas posteriormente por una factura final. De nuevo, esto ayuda a evitar sorpresas, como la devolución de facturas por el cliente, y también mejora el cash-flow.

**Requisitos para una solución de software satisfactoria**

Las soluciones de software puntuales son tan incapaces como las manuales para abordar la complejidad y las necesidades de visibilidad en tiempo real de los procesos logísticos actuales comerciales y de salidas, estrechamente interrelacionados. Como se ve en las cinco complejidades indicadas anteriormente, la palabra clave es "interrelacionados". Las soluciones de software puntuales no "hacen" procesos interrelacionados igual que una plataforma de software, que comparte

datos, visibilidad, reglas comerciales y otras funciones con muchos procesos. Por esta y por otras razones, una solución de plataforma integral ocupaba un lugar destacado en el impulso de Agnico para automatizar sus procesos de comercialización.

Otras consideraciones fundamentales incluían el apoyo a operaciones complejas con

un amplio espacio para el crecimiento, junto con la funcionalidad para aplicar prácticas empresariales normalizadas en operaciones multinacionales, de múltiples zonas horarias y en varios idiomas (por ejemplo, emitiendo facturas de formato estándar y centralizando la consolidación de los resultados / cifras / previsiones comerciales de fin de mes para todas las operaciones). Igualmente importante era la capacidad de proporcionar una visibilidad global del proceso de comercialización de mercados, proporcionando en tiempo real la información cuantitativa y cualitativa del producto en todos los puntos de la cadena comercial y logística.

---

# Los datos se comprueban y auditan para asegurar que son correctos. El acceso a los datos se controla estrictamente. Esto ahorra esfuerzos, facilita la auditoría e impone la segregación de labores que exige el cumplimiento.

## Resultados de Agnico Eagle hasta la fecha

La solución de plataforma que Agnico ha incorporado, Ventyx MineMarket, se preparó expresamente para controlar todo el proceso “de la mina al mercado”. Las ventajas conseguidas por la empresa hasta la fecha son:

- Ciclos más cortos de pedido a factura y tiempo hasta el pago, lo que lleva a una mejora de las posiciones de efectivo.
- Menor riesgo e incidencia de errores, lo que contribuye a la satisfacción del cliente y a unos mejores resultados comerciales.
- Datos contables más controlados que permiten un mejor cumplimiento de los procesos y un menor riesgo financiero.
- Auditorías financieras más simplificadas y menos consumidoras de papel, lo que reduce los costes de auditoría por terceros.
- Menor carga administrativa, lo que permite al personal dedicarse a tareas más estratégicas.
- Homogeneidad en la facturación y los demás procesos comerciales, lo que reduce las cargas de trabajo de cuentas pendientes de cobro y otros departamentos que afectan a diversos procesos comerciales.
- Informe financiero acelerado, con informes más rápidos a precios de mercado.
- Mejor capacidad de análisis y predicción, lo que impulsa la mejora del conocimiento y la planificación empresariales, asegura la calidad del producto y optimiza el ajuste de la producción a la demanda.

## Lecciones aprendidas

La automatización integral de las operaciones “de la mina al mercado” representa una evolución importante y las empresas pueden esperar aprender mucho en el proceso. En Agnico, las lecciones más

importantes fueron la necesidad de preguntarse no solo lo que el software puede hacer por la empresa, sino también lo que la empresa precisa hacer con el software. En otras palabras: decidir lo que debe realizar el software y después adaptarlo al caso concreto (por ejemplo, si el software debe apoyar los procesos ya existentes o si debe usarse para renovar completamente y mejorar los procesos actuales). Para ello, es prioritario que la plataforma sea flexible. Pero también la empresa tiene que ser flexible.

Otra importante enseñanza es comprometer activamente a todas las personas clave y mantenerlas comprometidas con la labor a lo largo de todo el ciclo de aplicación. Un cambio radical de este cariz no puede introducirse únicamente por decreto: requiere el compromiso y la colaboración de los diversos participantes en el proceso, los propietarios de los datos y los usuarios cotidianos. Por ejemplo, los responsables deben determinar por anticipado qué informes, tipos de contratos, etc. se necesitan para la adecuada configuración del software. De esa forma, asumen la propiedad.

Es igualmente importante seleccionar un proveedor que conozca a fondo la minería y la automatización de procesos y que vaya a mantener su actividad a largo plazo.

Finalmente, la ampliación del negocio debe tener preferencia: en una plataforma de software se puede admitir un número limitado de procesos y operaciones ampliable a medida que sea necesario. De esta forma, se puede ir aumentando la experiencia en el uso del software y la empresa estará preparada para actuar rápidamente cuando las previsiones de crecimiento se hagan realidad. Es más fácil construir desde cero que remodelar a posteriori.

## Uno para todos

Las cinco áreas de complejidad descritas son solo algunas de las formas en que Agnico Eagle se ha beneficiado del salto desde la gestión de sus procesos comerciales con hojas de cálculo hasta una plataforma de software unificada → 3. Otros usos incluyen la realización de situaciones “qué pasaría si” para ir por delante de las condiciones comerciales cambiantes y planificar la demanda con más exactitud. La belleza de la solución de la plataforma reside en que la misma plataforma puede automatizar (y conectar) diversos procesos empresariales, eliminar depósitos de información y proporcionar información completa y actualizada en todas las operaciones “de la mina al mercado”.

No son solamente las empresas mineras de metales preciosos como Agnico las que pueden beneficiarse de la automatización y el acceso a la información en tiempo real en toda la cadena comercial y logística. Los metales corrientes, el carbón, el mineral de hierro, prácticamente cualquier operación minera, puede beneficiarse también. Las operaciones “de la mina al mercado” van a ser cada vez más complejas y a verse sometidas a auditorías con el paso del tiempo. Las montañas de hojas de cálculo, las soluciones puntuales y los procesos inconexos sólo contribuyen a la complejidad, pero una solución de plataforma permite a las compañías mineras controlarla.

## David Westlake

Agnico Eagle Mines Limited  
Toronto, Canadá  
dwestlake@agnico-eagle.com

Para obtener información de ABB, póngase en contacto con [emmanuel.chabut@ch.abb.com](mailto:emmanuel.chabut@ch.abb.com)

# Ciborgs modernos

Adentrarse donde sólo la ciencia ficción se ha atrevido a penetrar

MARKUS ALEKSY, ELINA VARTIAINEN, MARTIN NAEDELE – Los seres humanos con aptitudes potenciadas por el uso de ordenadores y electrónica implantados –los llamados ciborgs– han sido durante mucho tiempo habitantes habituales de las películas y novelas de ficción científica. La idea ya no se limita a las mentes creativas de Hollywood, sino que se va abriendo camino en industrias donde está demostrando ser muy eficaz para el mantenimiento de las plantas y la seguridad de las personas. Basándose en recientes avances de la tecnología de sensores y ordenadores móviles, la idea de dispositivos que se pueden llevar puestos ha creado aparatos invisibles de detección capaces de suministrar información precisa acerca del medio muy complejo en el que operan. ABB ha examinado la forma en que los entornos industriales, y en particular la industria de servicios, puede beneficiarse de soluciones informáticas portables y combinadas con realidad aumentada. La ciencia ficción de ayer se ha convertido en la tecnología de hoy.

---

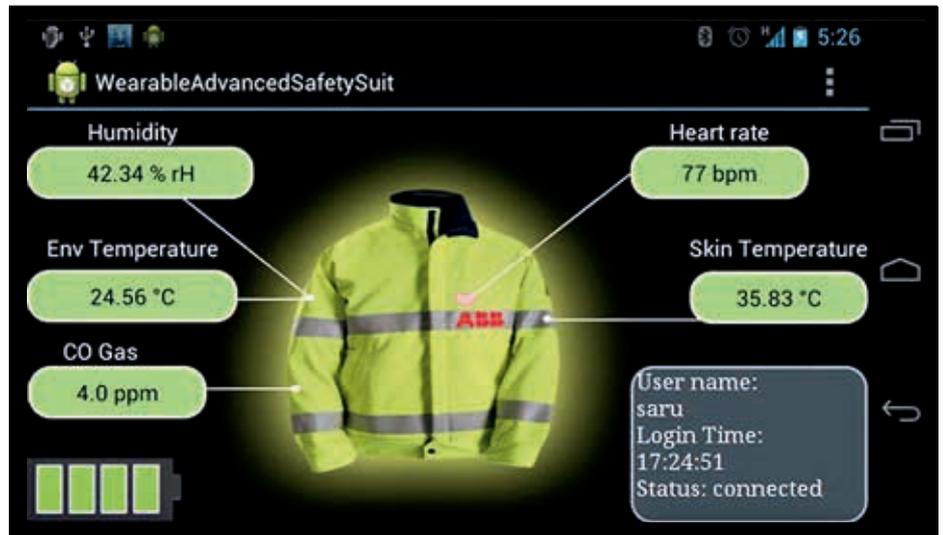
#### Imagen del título

Los entornos industriales se están beneficiando de las soluciones de informática portable y realidad aumentada para mejorar el mantenimiento de las plantas y garantizar la seguridad de las personas.





[www.abb.de](http://www.abb.de)



da (AR) montada en la cabeza (HMD) y un sistema de interacción basado en gestos de las manos era muy costosa. No obstante, la popularidad de las aplicaciones

te se podrá resolver el problema. Por lo tanto, la disponibilidad inmediata de información actualizada es hoy un requisito vital en todo entorno de la empresa.

Los recientes avances en tecnologías de informática y comunicaciones móviles han permitido soluciones innovadoras en forma de aplicaciones para móviles e informática portable. Los aparatos móviles, como smartphones y tablets, permiten que la información sea consultada, procesada y comunicada de forma rápida y económica sin tener que estar confinado en un solo lugar. Las tecnologías de sensores pueden medir la información en un determinado entorno y transmitir los datos a un aparato móvil para una inspección más detallada. Unos aparatos móviles, modernos y robustos, equipados con distintos tipos de sensores (por ejemplo, sensores de luz, giróscopos, GPS, WiFi y acelerómetros) y funcionalidad ampliada están demostrando su utilidad en entornos industriales.

La informática portable lleva la combinación de aparatos móviles y sensores a niveles más altos haciendo invisible el ordenador (incrustado en la ropa o en artículos de uso cotidiano) y siempre encendido [1]. Aunque no sea un concepto completamente nuevo, en el pasado los costes y la fiabilidad técnica constituían obstáculos importantes para la implantación práctica generalizada de la informática portable [2]. Una solución a escala real de informática portable formada por una pantalla de realidad aumentada

## La disponibilidad inmediata de información actualizada es un requisito vital en todo entorno de la empresa para la resolver problemas y reducir el impacto sobre el resto de la planta.

móviles y la disponibilidad de tecnologías móviles avanzadas han permitido ahora el desarrollo de aplicaciones más asequibles que proporcionan al personal de campo información oportuna, precisa y detallada mientras se desplaza.

### Apoyo a la eficiencia del servicio

Un servicio adecuado es vital para asegurar que las plantas industriales sean seguras para trabajar y para que funcionen sin paradas inesperadas. Si bien el servicio de un determinado aparato o área de sistema puede ser rutinario para técnicos de servicio experimentados, hay casos complejos que suelen exigir más información actualizada, como productos del cliente, dominios de aplicación, historia de los equipos instalados y procedimientos y procesos de servicio necesarios para ayudar en la resolución del problema y reducir el impacto sobre el resto de la planta. Cuanto más rápido sea el acceso a la información, más rápidamente

En empresas que operan globalmente, esta información se guarda en muchas bases de datos de la infraestructura de tecnologías de la información. ServIS, sistema de información de base instalada, es un

ejemplo de sistema de información de empresa de ese tipo que guarda el seguimiento efectuado de todos los productos y sistemas de ABB en el emplazamiento de un cliente, incluyendo detalles técnicos y del proyecto. Se integra con otros sistemas de información de ABB, tales como ABB Product, ABB People y el sistema global de identificación de clientes.

Utilizando sistemas móviles y portables, tales como HMD, gafas o lentes de contacto para acceder a la información de base instalada, proporciona una oportunidad para una prestación y ejecución del servicio más eficiente. Se podrían utilizar estos sistemas para:

- Localizar equipos industriales en grandes plantas. La AR se puede utilizar para superponer una vista del mundo real de la planta con información relacionada con la localización del equipo. La localización actual del trabajador puede obtenerse por medio

---

## La popularidad de las aplicaciones móviles y la disponibilidad de tecnologías móviles avanzadas han permitido el desarrollo de aplicaciones que proporcionan al personal de campo información oportuna, precisa y detallada mientras se desplaza.

de un sensor de GPS incorporado en un aparato móvil, mientras que la posición GPS del equipo puede cargarse desde un sistema de gestión de base instalada tal como ServIS.

- Identificar equipos industriales. Se pueden usar técnicas avanzadas de identificación y etiquetado, tales como códigos de barras y etiquetas basadas en NFC o RFID (comunicación de campo próximo e identificación por radiofrecuencia). Los datos leídos del código de barras o la etiqueta se

instrucciones de trabajo, equipos o seguridad [3].

- Conocimiento de la situación: se pueden pasar directamente al trabajador de servicio las modificaciones o actualizaciones recientes del entorno que afecten a la ejecución del servicio por medio de aparatos que se pueden llevar encima (por ejemplo, visualización en el reloj de pulsera y relojes inteligentes) de forma no intrusiva.
- Supervisar la calidad y la documentación del trabajo: se podrían usar

cámaras y micrófonos para recoger información de forma continua (por ejemplo, grabaciones de sonido o películas) para análisis y auditoría de las plantas. Las grabaciones de video de demostraciones de trabajo pueden ayudar a mejorar la calidad del trabajo [4, 5].

---

## Utilizando componentes comerciales, ABB ha desarrollado nuevas herramientas de apoyo a tareas de servicio sobre el terreno que proporcionan instantáneamente información importante ambiental, de salud y del proceso.

pueden usar para pedir más información de sistemas backend, como ServIS.

- Acceso a distintos tipos de información: Además de poder acceder a información como en anteriores informes de servicio, planos técnicos, manuales y listas de comprobación, los trabajadores de servicio de campo podrían acceder al sistema de control del proceso de una planta para ver los valores en tiempo real de distintos aparatos del proceso sin necesidad de estar confinados en un solo lugar. Además, se pueden usar las funciones de AR para superponer imágenes del mundo real con información de

- Integrar plenamente al trabajador: las soluciones móviles y portables permitirían la integración total de los trabajadores de servicio sobre el terreno en los procesos de servicio mediante la recuperación y actualización inmediatas de información sobre los recursos. Además, podrían permitir que los trabajadores de servicio se conectaran a aplicaciones de diagnóstico y optimización a distancia o a sistemas expertos residentes en sistemas de backend o en la nube.

### Aumentar la seguridad

En los entornos de trabajo industrial, los técnicos de servicio sobre el terreno se

La informática portable combina la tecnología de sensores y la informática para crear dispositivos de detección invisibles que proporcionan información precisa sobre el complejo entorno en el que están trabajando.

2 El prototipo para mostrar los valores de un depósito en una vista de cámara de un dispositivo móvil.



enfrentan con distintos tipos de peligros. Un sistema portable que pueda detectar, recoger información y emitir avisos relativos al entorno inmediato, como temperatura,

encaminarles hacia rutas de escape seguras, incluso si no se dispone de indicadores de salida o están rotos o son invisibles debido al humo o al fuego. Además,

los equipos de salvamento pueden utilizar la función de localización de dichos dispositivos para localizar a las personas que estén todavía en la planta.

El sistema ServIS de ABB es un sistema de información de la empresa que se integra con otros sistemas de información de ABB, como ABB Product, ABB People y el sistema global de identificación de clientes.

**Soluciones de ABB**  
ABB proporciona diversas soluciones que se pueden utilizar en aparatos móviles:

humedad, nivel de oxígeno, gases tóxicos, ruido o radiación, y las constantes vitales del portador, como frecuencia cardíaca o pulso, fatiga, grado de consciencia y cognitivo o estrés, aumentaría la seguridad del personal de mantenimiento y servicio [6]. Los dispositivos existentes para llevar en la muñeca, como Basis B1 y Neumitra Bandu, pueden ya medir la resistencia de la piel, las pulsaciones y la temperatura e incluso el nivel de estrés del trabajador.

- Ventyx Service Suite permite a los operarios que trabajan sobre el terreno mantener recursos y reducir costes.
- El sistema Ventyx Shift Operations Management System (eSOMS) asegura el funcionamiento y el mantenimiento seguros, eficientes y fiables de los recursos de la instalación.
- El sistema Ventyx Advanced Work Management (AWM) Mobile Inspector recoge y gestiona datos de todos los recursos físicos.

Los sistemas portables pueden ayudar en las operaciones de salvamento y autosalvamento. Pueden avisar al personal sobre peligros inminentes, como incendios, agua, o falta de atmósfera respirable, y

Además de éstos, se han desarrollado con éxito varios prototipos en la búsqueda de nuevos métodos de aplicar informática móvil y portable. En un prototipo, los sen-

### 3 Prototipo para demostrar cómo se pueden localizar aparatos dentro de una planta o fábrica para obtener más información



sores se cosieron a un chaleco de gran visibilidad para manejarlos con un smartphone. Los sensores recogían condiciones ambientales (nivel de monóxido de carbono, temperatura y humedad) así como las constantes vitales del trabajador (frecuencia cardíaca y temperatura de la piel) → 1. Se complementaban con dispositivos de realimentación, como un vibrador y un altavoz y un botón de pánico/emergencia. Todos los componentes estaban conectados en una red de área corporal (BAN) a un microcontrolador<sup>1</sup>. El traje de seguridad podía conectarse mediante Bluetooth al smartphone, que ejecuta una app de control para recoger los datos de los sensores, presentar alertas y enviar notificaciones a un centro remoto de control y/o a un supervisor cuando se detecten condiciones anómalas. Los correspondientes mensajes contenían las coordenadas GPS de la última posición del trabajador de servicio sobre el terreno, lo que permite su rápida localización.

Otro proyecto investigaba la posibilidad de utilizar la AR para sistemas de control en entornos industriales. En la AR, se muestran imágenes recogidas por la cámara de, por ejemplo, un dispositivo móvil, y a esta vista se superpone contenido generado por ordenador (por ejemplo, gráficos). Se han creado varios proto-

tipos, incluyendo uno en que un técnico de mantenimiento apunta un aparato móvil hacia un depósito de agua. Tras identificar el depósito, se amplía la imagen presentada en la pantalla de la cámara con valores del estado real → 2.

En otro prototipo, se combinaban la AR y las tecnologías de sensores añadiendo un sensor para medir la temperatura de un objeto. Cuando la vista de la cámara del aparato móvil se dirige hacia el objeto, la pantalla muestra la tendencia de la temperatura del objeto a lo largo del tiempo. La capacidad para examinar datos históricos permite que los técnicos realicen investigación y pruebas de fallos durante su trabajo de mantenimiento.

Un tercer prototipo demostró cómo se pueden encontrar e identificar equipos dentro de plantas y fábricas. Los aparatos móviles con sensores pueden determinar la localización de un técnico de trabajo sobre el terreno y a partir de ahí identificar inmediatamente y proporcionar información acerca de los dispositivos próximos → 3.

La disponibilidad de diversas personas y tecnologías de informática móvil ha permitido la creación de nuevas herramientas de apoyo para las tareas de servicio sobre el terreno. Con componentes comerciales se puede obtener de forma instantánea importante información medioambiental, de salud y del proceso, y compartirla con terceros mientras el técnico se desplaza.

#### Markus Aleksy

ABB Corporate Research  
Ladenburg, Alemania  
markus.aleksy@de.abb.com

#### Elina Vartiainen

ABB Corporate Research  
Vasteras, Suecia  
elina.vartiainen@se.abb.com

#### Martin Naedele

ABB Power Systems, Network Management  
Baden, Suiza  
martin.naedele@ch.abb.com

#### Referencias

- [1] T. Kieffner. (Consultado el 19 de junio de 2013). Wearable Computers: An Overview [Online]. Disponible [http://misnt.indstate.edu/harper/Wearable\\_Computers.html](http://misnt.indstate.edu/harper/Wearable_Computers.html)
- [2] V. Stanford, "Wearable computing goes live in industry," IEEE Pervasive Computing vol.1, issue 4, pp.14–19, 2002.
- [3] S. Henderson and S. Feiner, "Exploring the Benefits of Augmented Reality Documentation for Maintenance and Repair," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 17, issue 10, pp. 1355–1368, 2011.
- [4] D. Roggen et al., (2013): "Opportunistic Human Activity and Context Recognition," IEEE Computer vol. 46, issue 2, pp. 36–45, 2013.
- [5] F. Naya et al., "Workers' Routine Activity Recognition using Body Movement and Location Information," Proceedings of the 10th IEEE International Symposium on Wearable Computers, Montreux, Suiza, 2006.
- [6] A. Pantelopoulos y N. G. Bourbakis, "A Survey on Wearable Sensor-Based Systems for Health Monitoring and Prognosis," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part C: Applications and Reviews, vol. 40, issue 1, pp. 1–12, 2010.

#### Notas a pie de página

<sup>1</sup> Los investigadores utilizaron tecnología e-textil para integrar los sensores y el microcontrolador dentro del traje de seguridad.



# Aire limpio en los muelles

Los incentivos fiscales pueden mejorar la calidad del aire en los puertos

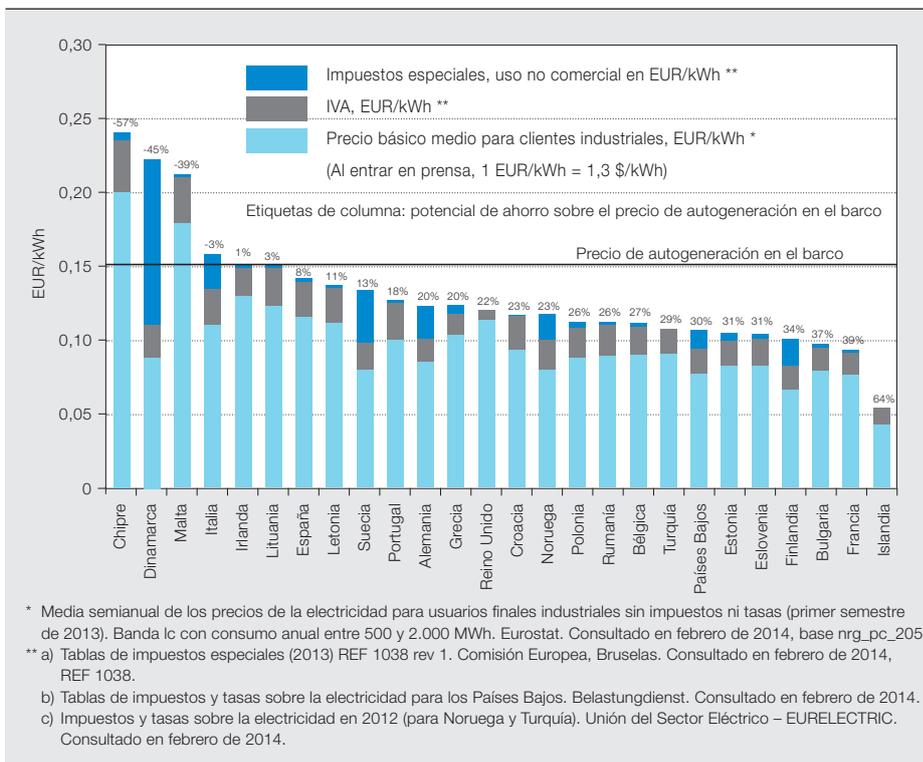
PETR GURYEV – El transporte marítimo es la espina dorsal del comercio mundial, y los puertos en los que se cargan y descargan las mercancías son activos vitales para garantizar la viabilidad de las economías regionales.

No obstante, la gran cantidad de buques grandes y pesados que atracan en los puertos puede producir niveles inaceptables de contaminación local. Aunque un buque atracado no necesita energía para mover sus hélices, los motores diésel se suelen dejar en funcionamiento para atender las necesidades de energía auxiliar del barco. Estas necesidades pueden ir desde el alojamiento de la tripulación hasta la refrigeración y otras necesidades de la manipulación de la

carga. Una alternativa a los motores diésel del barco es conectar la red de electricidad de éste a un suministro eléctrico del puerto. La tecnología que subyace a estas conexiones se ha tratado en números anteriores de *ABB Review*.<sup>1</sup> Aunque hay distintas tecnologías en el mercado para la reducción de emisiones, como depuradoras, combustible purificado y GNL, solo la electricidad del puerto al barco asegura la limitación absoluta de emisiones procedentes de los buques atracados en el puerto. Pero el grado de adopción de esta solución no depende solo de argumentos técnicos y medioambientales, sino también de incentivos normativos y fiscales.

Algunos países europeos ya han adoptado o aplicado la exención de impuestos especiales para la electricidad del puerto.

## 1 Estructura de precios de la electricidad en 2013 antes de exenciones de impuestos especiales



Una legislación local, nacional y regional más estricta sobre emisiones en los puertos ha provocado el crecimiento del mercado de conexión eléctrica desde el muelle al buque en los cinco últimos años desde unos pocos proyectos a docenas de ellos al año. Los dos principales elementos impulsores del mercado son:

- El beneficio ambiental de la reducción de emisiones.
- La reducción de los gastos de explotación por el ahorro de la diferencia entre el precio de la autogeneración y el de la energía de la red.

Como incentivo para este desarrollo, la Administración suele conceder subsidios para inversiones de capital o exenciones sobre los impuestos especiales para la electricidad del puerto. Aunque Norteamérica y Asia prefieren actualmente la ayuda en forma de subsidios, Europa ha utilizado ambas opciones. Algunos países europeos ya han adoptado o aplicado la exención de impuestos especiales para la electricidad del puerto. Aunque en los medios de comunicación se han publicado novedades sobre este asunto, sigue faltando una imagen clara de las ventajas económicas reales. El precio de la electricidad en Europa y la exención de impuestos especiales han tenido un efecto acusado sobre el plazo de amortización de la

conexión eléctrica entre el muelle y el buque en distintos países europeos.

A mediados de 2011 Alemania y Suecia recibieron la aprobación de la Unión Europea para reducir los impuestos especiales sobre la electricidad de la conexión eléctrica desde el muelle al buque. Las exenciones permitieron unas reducciones de los impuestos especiales del 97 al 99 por ciento durante tres años, con derecho a prolongar este plazo. En 2014 el Consejo de la UE prorrogó otros 6 años las autorizaciones de exención para ambos países: (directivas COM/2014/0538 y COM/2014/0497). En 2013, la Asociación Portuaria Finlandesa y la Asociación Danesa de la Energía propusieron también a sus respectivos gobiernos exenciones sobre los impuestos especiales. El 27 de mayo de 2014, el Parlamento danés votó a favor de una exención de los impuestos especiales de más del 99 por ciento (Ley L 171), mientras que todavía no se ha tomado una decisión final en Finlandia.

La estructura actual de precios de la electricidad con tasas, IVA (Impuesto sobre el Valor Añadido) e impuestos especiales (incluyendo impuestos medioambientales) pero sin exenciones sobre la energía del puerto se compara en → 1 con el potencial de ahorro respecto a la autogeneración del buque utilizando combustible MDO/MGO<sup>3</sup>.

Los países considerados pueden clasificarse en dos grupos principales: aquellos en los que el precio total de la electricidad es mayor que el de autogeneración en el

### Imagen del título

La imagen del título muestra el puerto de Ystad en Suecia. Suecia es uno de los primeros países en dar incentivos fiscales para fomentar el uso del suministro eléctrico del puerto.

### Notas a pie de página

- 1 Ver K. Marquart "Puertos de corriente; Las soluciones de ABB de conexión eléctrica desde el muelle reducen el ruido y las emisiones de gases de efecto invernadero suministrando electricidad a los barcos atracados", *ABB Review* 2/2010, págs. 82–83.  
K. Marquart, T. Haasdijk, G. Ferrari, R. Schmidhalter, "Conexión eléctrica desde el muelle al buque; Una solución de ABB llave en mano que reduce de forma eficaz las emisiones en los puertos" *ABB Review* 4/2010 págs. 56–60, y  
L. Thurm, I. Fazlagic, T. Harder, K. Marquart "En tierra y a bordo; Examen de las tecnologías de muelle y embarcadas y de la normalización del suministro eléctrico a los buques amarrados" *ABB Review* 1/2011 págs. 36–40.
- 2 GNl: Gas natural licuado
- 3 MDO y MGO son combustibles marinos típicos que los buques utilizan en el puerto. MDO es gasóleo para motores marinos, y MGO es gasolina para motores marinos. El precio de la autogeneración se calcula en la herramienta de caso de negocio de energía de muelle a buque utilizando un precio de MDO/MGO de 950 \$/MT y un consumo de combustible de 210 g/kWh. Tipo de cambio EUR/USD = 1,2982.



#### 4 Fórmulas que expresan el potencial de ahorro

##### 4a Mejora del plazo de amortización

$$\text{Mejora del plazo de amortización (a.)} = \frac{\text{plazo de a. 1} - \text{plazo de a. 2}}{\text{plazo de a. 1}} \cdot 100\%$$

##### 4b Modelo para expresar el periodo de amortización simplificado – no descontado – utilizado en → 4a.

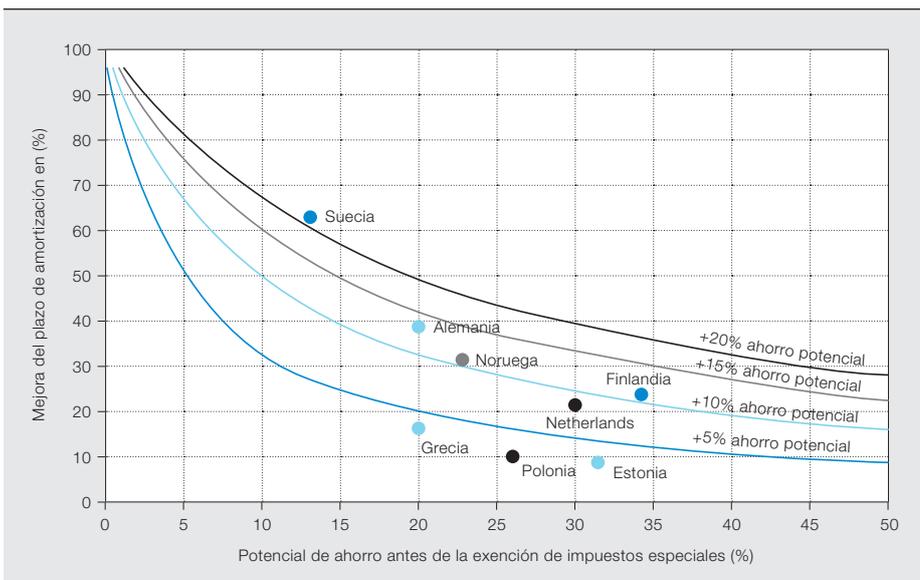
$$\text{Plazo de amortización (a.), años} = \frac{\text{Capex [EUR]}}{\left( \text{precio de autogeneración} \left[ \frac{\text{EUR}}{\text{kWh}} \right] - \text{precio de la red} \left[ \frac{\text{EUR}}{\text{kWh}} \right] \right) \cdot \text{Consumo anual [kWh]}}$$

##### 4c Mejora del periodo de amortización para conexión eléctrica desde el muelle al buque después de la exención de impuestos especiales

$$\text{Mejora del plazo de amortización} = \frac{\text{Potencial de ahorro 2} - \text{potencial de ahorro 1}}{\text{potencial de ahorro 2}} \cdot 100\%$$

donde potencial de ahorro 1 es el potencial de ahorro sin exenciones y potencial de ahorro 2 es el potencial de ahorro con exenciones.

#### 5 Mejora del plazo de amortización para proyectos de puerto a buque dependiendo del ahorro inicial y su variación tras la exención de impuestos especiales



ción puede evaluarse mediante la fórmula → 4a donde se estima el plazo de amortización mediante el modelo simplificado – no descontado – expresado en → 4b.

La fórmula final de la mejora del plazo de amortización para electricidad de puerto a barco después de la exención de impuestos especiales es → 4c.

La mejora del plazo de amortización se muestra en → 5 (Dinamarca e Italia no figuran aquí porque el potencial de ahorro antes de la exención de impuestos especiales era negativo).

Este gráfico puede utilizarse además para medir la influencia de otros elementos del precio de la electricidad (tarifas básicas e IVA) en el plazo de amortización.

#### Los incentivos pueden reducir las emisiones

La mayoría de los países europeos tienen unos precios atractivos de la energía que permiten ahorros en comparación con la autogeneración en el buque en un intervalo del 1 al 30 por ciento. La exención de impuestos especiales para la electricidad puerto - buque es un instrumento atractivo para países en los que los impuestos

La mayoría de los países europeos tienen unos precios atractivos de la energía que permiten ahorros en comparación con la autogeneración en el buque en un intervalo del 1 al 30 por ciento.

especiales constituyen un alto porcentaje del precio total. Cuanto menor sea el potencial de ahorro inicial respecto al precio de autogeneración, mayor será el efecto de la exención de impuestos especiales sobre el plazo de amortización. Suecia y Alemania ya han adoptado dichas medidas y en una reciente votación en el parlamento, Dinamarca decidió hacer lo mismo. Finlandia está desarrollando actualmente una propuesta de exención de impuestos especiales sobre la electricidad utilizada para alimentación del buque desde el puerto.

Al poner en práctica dichas exenciones en los 10 países europeos en los que los impuestos especiales suponen una mayor proporción sobre el precio total de la electricidad, el caso de negocio mejorará en un 10 a un 60 por ciento dependiendo del precio total inicial de la electricidad y de la proporción que suponen los impuestos especiales. Así pues, Dinamarca debe obtener la aprobación del Consejo de la UE para la exención de los impuestos especiales, mientras que Finlandia, Italia, Noruega, Países Bajos, Polonia, Grecia y Estonia deben adoptar antes esta medida a nivel nacional.

#### Petr Guryev

Consultor independiente  
Anteriormente en ABB, Smart Grids  
petr.guryev@gmail.com

Para información sobre ABB, pónganse en contacto con: shore-to-ship@ch.abb.com

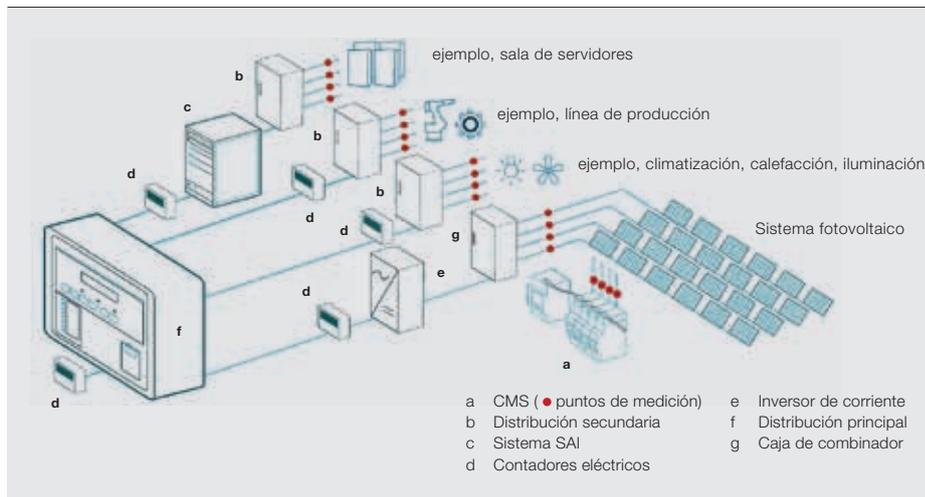


# Cuenta corriente

Modbus hace posible un nuevo sistema de medición de la intensidad eléctrica

PAWEŁ LUDOWSKI, HARM DEROO, FILIPPO APUZZO, ROLAND PRÜGEL – Las empresas comerciales e industriales son muy dependientes del funcionamiento fiable de sus sistemas eléctricos. Además, hay una clara tendencia general hacia un uso más eficiente de la energía, una tendencia impulsada por consideraciones tanto ambientales como económicas. Si bien el uso de la energía o la intensidad se supervisa con relativa facilidad al nivel

más elevado, la visibilidad más próxima a los aparatos es más difícil de conseguir y los sistemas disponibles en el mercado no cumplen los requisitos de ABB en varias áreas. Hace falta un método completamente nuevo para supervisar la intensidad cerca de la carga. Este nuevo método se llama ABB Current Measurement System y su protocolo de comunicaciones basado en Modbus es un elemento fundamental de su funcionalidad.



**A**BB inició el desarrollo del Current Measurement System (CMS) en 2009. El CMS se compone de varios sensores de intensidad conectados por un bus serie a una unidad de control. La unidad de control y los módulos de medición de la intensidad se desarrollaron en estrecha colaboración con socios externos. El protocolo de comunicaciones, que es una parte importante de la funcionalidad del CMS, está basado en un protocolo desarrollado por ABB en un proyecto anterior.

El CMS abre posibilidades completamente nuevas para supervisar el estado de las unidades de distribución eléctrica (PDU) y sus ramas separadas → 1. El CMS no sólo permite detectar posibles fallos, sino también predecir sobrecargas y el consiguiente riesgo de disparo de interruptores automáticos.

### Protocolo de comunicaciones

Como ya se ha indicado, una parte importante de la funcionalidad del CMS es el protocolo de comunicaciones, que define la comunicación del usuario, la asignación de direcciones y la gestión de senso-

res. Este protocolo dirige las comunicaciones entre la unidad de control y los aparatos externos, así como las comunicaciones internas entre la unidad de control y los sensores, y se basa en una conocida línea serie de Modbus. La experiencia recogida durante un proyecto anterior ha ayudado a ABB y a sus socios externos a preparar una especificación detallada del protocolo (interfaz de hardware, formato de datos, etc.).

Un cable plano de cuatro hilos conecta la unidad de control a los sensores. Dos de los hilos suministran alimentación a los sensores y los otros dos se utilizan para la transmisión de datos. Se ha seleccionado la interfaz física RS-485 para la conexión de los aparatos externos → 2.

Modbus utiliza un protocolo maestro-esclavo. En él, sólo se conectará un maestro al bus serie, pero pueden conectarse hasta 247 esclavos. En el caso del CMS, la unidad de control es el dispositivo maestro y los sensores de corriente son los esclavos.

La comunicación del Modbus la inicia siempre el maestro y sólo es posible una transacción a la vez. Modbus tiene dos modos de petición: unicast y broadcast. En el modo unicast, el dispositivo maestro se dirige a un esclavo, que a su vez devuelve un mensaje de respuesta tras

procesar la petición. En el modo broadcast el maestro envía una petición a todos los esclavos, que no devuelven ninguna respuesta.

El tamaño máximo del marco de un Modbus/RTU (unidad terminal remota) es de 256 bytes y debe transmitirse como una

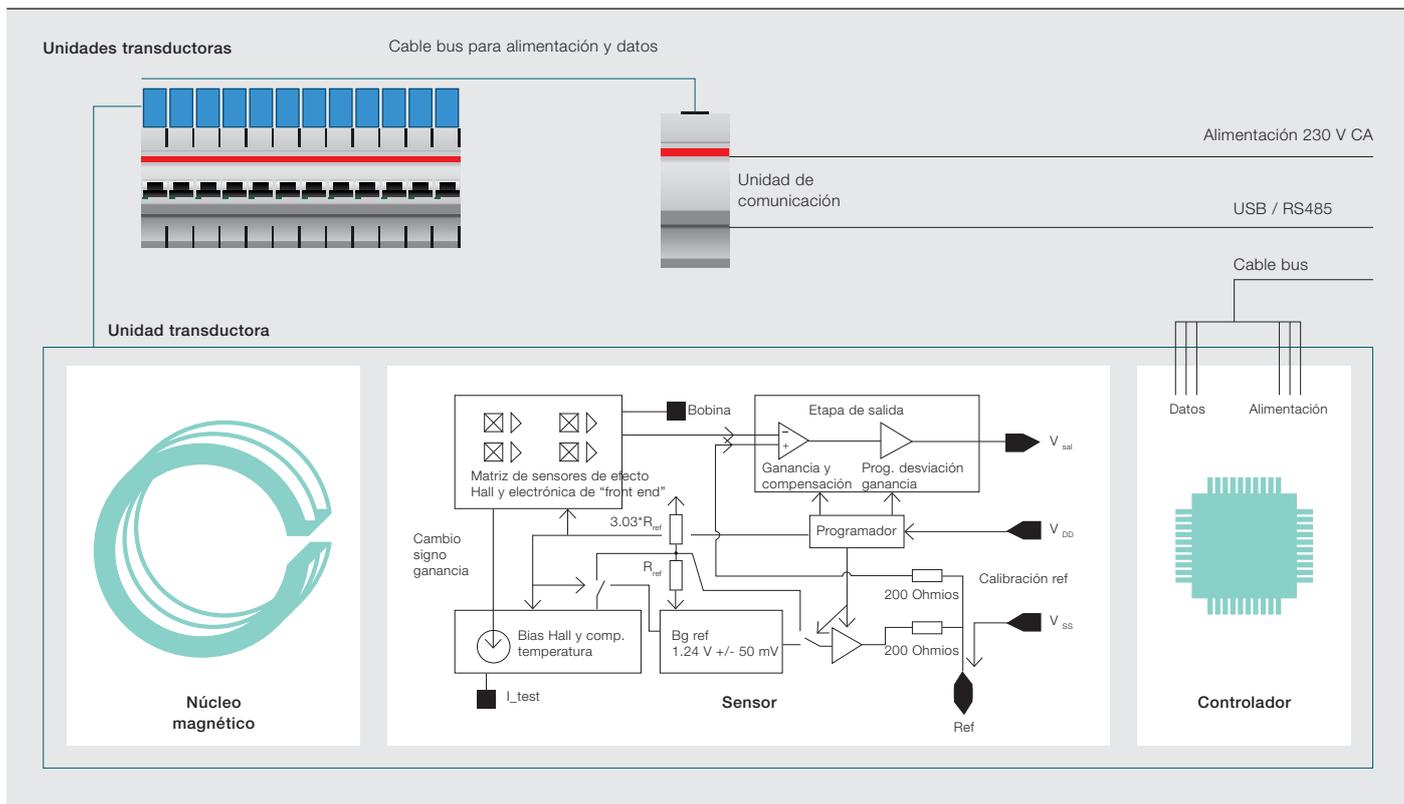
## El CMS abre posibilidades completamente nuevas para supervisar el estado de las unidades de distribución de alimentación (PDU) y sus ramas separadas.

corriente de caracteres continua. Si se produce un intervalo de silencio de más de 1,5 periodos de caracteres entre dos caracteres, se declara incompleto el marco del mensaje y el receptor lo descarta. Los mensajes deben estar separados por un intervalo de silencio de al menos 3,5 periodos de caracteres.

Modbus emplea una representación "big-endian" para direcciones y elementos de datos. Esto quiere decir que cuando se transmite una cantidad numérica mayor que un solo byte, el byte más significativo se envía primero. Por ejemplo, el valor hexadecimal de 16 bits (dos bytes) 1A3B se envía como los dos valores hexadecimales de 8 bits (un byte) 1A seguido de 3B.

### Imagen del título

¿Cómo hace visible el consumo de corriente en aparatos industriales el protocolo de comunicaciones de ABB del CMS, basado en Modbus?



El CMS no sólo permite detectar posibles fallos sino también predecir sobrecargas y el consiguiente riesgo de disparo de interruptores automáticos.

El modelo de datos de Modbus se basa en una serie de tablas, con las cuatro tablas primarias siguientes: entrada discreta de solo lectura, bobinas lectura-escritura, registros de entrada de solo lectura y registros de almacenamiento de lectura escritura. Una bobina es una variable booleana (bit) y un registro es una variable entera (palabra). Hay también tres categorías de códigos de función de Modbus: códigos de función pública (validados por la comunidad MODBUS-IDA.org), códigos de función definidos por el usuario y

(registros de entrada) y registros de lectura-escritura (registros de almacenamiento), el módulo de sensores de corriente del CMS solamente admite registros de almacenamiento.

En el CMS se ha ampliado el protocolo Modbus con algunas funciones más. Se encargan de inicializar la red asignando direcciones Modbus ID a los sensores y conectándolos con registros apropiados de la unidad de control. Por defecto, todos los sensores tienen la misma dirección

(247), por lo que es necesario asignar una nueva dirección ID a cada uno de ellos durante la fase de instalación. Como un sensor del CMS no dispone de un interruptor de hardware para fijar la dirección ID, fue necesario desarrollar un procedimiento de software para

## Una parte importante de la funcionalidad CMS es el protocolo de comunicaciones, que define la comunicación del usuario, la asignación de direcciones y la gestión de sensores.

códigos de función reservados. Los registros del CMS son siempre de dos bytes (16 bits). Mientras que el protocolo de la aplicación Modbus define áreas de memoria para registros de solo lectura

asignación de la ID. Este procedimiento se basa en las funciones específicas de Modbus para direccionamiento de broadcast. Dependiendo de los requisitos de instalación, son posibles varios procedi-

### 3 El CMS es compacto y fácil de instalar.



mientos de configuración: En la forma más general, el módulo maestro emite un mensaje con un código personalizado que contiene una ID serie única del sensor (SID) y una nueva ID Modbus. Cuando se emite este marco, se informa a todos los aparatos del bus de la nueva asignación de ID a cualquier otro aparato. Para evitar conflictos, cada aparato que ha recibido una trama de asignación de ID por broadcast tiene que comparar su propio SID con el SID del sensor de destino de la trama emitida y, si concuerdan, cambiar su ID por el del mensaje de asignación. En los demás casos, la petición no se tiene en cuenta.

Este protocolo cumple una norma global, que permite utilizar el CMS en una amplia gama de aplicaciones de usuarios. El sistema es muy flexible y puede adaptarse y ampliarse con nuevos aparatos, independientemente de su fabricante.

El protocolo de comunicaciones estaba completamente documentado en 2010. En 2011, el CMS pasó a la fase de desarrollo del producto y a finales de ese año se disponía de los primeros prototipos de la unidad de control y de sensores, momento en el que se inició un trabajo a fondo con el firmware de aparatos.

#### Pruebas y producción

Se ha escrito un software especial de pruebas en el lenguaje de programación Perl del CMS. Se ha creado un nuevo módulo Perl para apoyar el protocolo Modbus/RTU que se ha ampliado con las funciones adaptadas de Modbus especialmente para el CMS. Incluido en este

### 4 Aplicaciones típicas

#### Centro de datos

Los centros de datos consumen mucha electricidad, por lo que hay la posibilidad de grandes ahorros de costes si se puede recortar ese consumo, incluso en un porcentaje reducido.

El consumo eléctrico de un centro de datos se conoce al nivel superior, pero es complicado conocerlo a nivel de cada aparato, pero es en este nivel donde se pueden incorporar de forma efectiva medidas de uso eficiente de la energía.

Es aquí donde entra en escena el CMS. En combinación con un PLC (controlador lógico programable) AC500 y un contador de energía, el CMS puede hacer visible el uso de la energía. Hay en marcha varios proyectos como el CMS, y el interés del mercado va aumentando.

#### Hospital

Los sistemas de soporte vital de los hospitales, como dice su nombre, vitales. Estos sistemas deben trabajar sin ninguna interrupción.

Se está utilizando el CMS en combinación con el SMISLINE TP para asegurarlo estableciendo una supervisión de la corriente eléctrica de cada rama del sistema eléctrico y dando a los operarios la posibilidad de detectar unos parámetros anormales del sistema antes de que se traduzcan en problemas.

ABB ha ayudado a muchos hospitales a aumentar así la fiabilidad de sus equipos.

módulo se encuentra un conjunto de funciones que se pueden usar para una rápida y fácil creación de cualquier situación de prueba tanto para la unidad de control como para los sensores de corriente. Estas funciones permiten la prueba de todos los registros de aparatos y la operación de las funciones adaptadas de Modbus.

Asimismo se ha escrito un conjunto de funciones de configuración que permite configurar y preparar para la prueba fácilmente el CMS. Un fichero de registro guarda información acerca de todas las operaciones realizadas por el software así como las tramas Modbus que se enviaron al CMS y desde éste. Para facilitar la preparación del software, los datos de configuración del sistema se guardan en formato XML.

#### Ventajas del CMS

La primera versión de producción del CMS se presentó a mediados de 2012. La presentación del producto tuvo lugar en la feria "Light + Building" de Frankfurt en julio de 2012, donde se expuso el tamaño compacto, la tecnología, los resultados de mediciones, la facilidad de manejo y la flexibilidad del CMS.

El CMS abre una multitud de posibilidades de supervisión para muchas aplicaciones industriales → 3-4. No obstante, no hay por qué limitar las capacidades del sistema únicamente a la medición de intensidades, y se están ya investigando más aplicaciones innovadoras.

## La comunicación se basa en el conocido protocolo de línea en serie Modbus.

#### Paweł Ludowski

ABB Corporate Research  
Cracovia, Polonia  
pawel.ludowski@pl.abb.com

#### Harm deRoo

Filippo Apuzzo  
Roland Prügel  
ABB Low Voltage Products  
Schaffhausen, Suiza  
harm.deroo@ch.abb.com  
filippo.apuzzo@ch.abb.com  
roland-heinrich.pruegel@ch.abb.com



# Generaciones de semiconductores

ABB repasa 60 años de progreso en semiconductores

CHRISTOPH HOLTSMANN, SVEN KLAKA, MUNAF RAHIMO ANDREAS MOGLESTUE – Muchas de las grandes transformaciones de la historia de la humanidad han sido impulsadas por descubrimientos tecnológicos cuya influencia ha llegado mucho más allá de la tecnología. El progreso de la navegación marítima en el siglo XV abrió rutas comerciales entre continentes. Las mejoras de la ingeniería mecánica permitieron la industrialización en los siglos XVIII y XIX. Los últimos decenios se han destacado por cambios de similares dimensiones atribuidos a los progresos en la informática y las comunicaciones, y en último término al progreso de los semiconductores. Pero, al mismo tiempo, los semiconductores han impulsado otra revolución, una que posiblemente sea menos visible pero igualmente significativa: desde la simple carga de los teléfonos móviles hasta el transporte de electricidad a miles de kilómetros, la electrónica de potencia se ha convertido en un auxiliar vital del estilo de vida moderna. A lo largo de los últimos 60 años, ABB ha desempeñado un papel crucial en el desarrollo de los semiconductores de potencia y sus aplicaciones.



Las dos empresas predecesoras de ABB –ASEA y BBC– comenzaron el desarrollo de los semiconductores a principios de la década 1950.

**A**l igual que hubo grandes barcos antes de Enrique el Navegante y motores de vapor antes de James Watt, la base de las aplicaciones de semiconductores actuales precede a los semiconductores que utilizan. Los primeros ordenadores utilizaban relés, las radios tubos de vacío y los convertidores de energía válvulas de arco de mercurio<sup>1</sup> o interruptores mecánicos. Las topologías de los circuitos básicos en el núcleo de estos ejemplos no eran muy diferentes de las que se siguen usando actualmente. Pero, puesto que los semiconductores han llevado a diseños más compactos, de mayor fiabilidad, menores pérdidas, costes más reducidos y mayor facilidad de uso, han abierto la tecnología a nuevas aplicaciones al tiempo que la desarrollan con niveles de prestaciones y sofisticación varios órdenes de magnitud por encima de lo que hubiera sido posible en otro caso.

#### Imagen del título

Tiristores de 300 V / 800 A fabricados por BBC a principios de los 1970.

#### Conceptos básicos de los semiconductores

Un semiconductor se llama así porque presenta un nivel intermedio de conductividad entre un conductor y un no conductor. Su comportamiento eléctrico puede además verse influido por factores, como la presencia de impurezas, los campos eléctricos, la luz y la temperatura. Muchos de estos fenómenos ya habían sido reconocidos en el siglo XIX → 1, pero hasta los primeros 1930 no surgió una explicación aplicable en forma de la teoría de bandas de conducción, que utiliza conceptos de la física cuántica.

En la electrónica de potencia se utilizan las propiedades de los semiconductores para crear dispositivos que pueden alternar entre estar “on” es decir, conduciendo grandes corrientes eléctricas con una tensión en estado de encendido tan pequeña como sea posible, y “off”, esto es, bloqueando una tensión tan grande como se precise con una mínima fuga de corriente. La fase de transición entre los dos estados debe ser lo más breve posi-

ble. La presencia simultánea de una tensión y una intensidad no nulas causa pérdidas para el aparato, que no sólo representan una energía desperdiciada sino que también amenazan con daños térmicos para el dispositivo.

#### El diodo

El diodo es el dispositivo semiconductor de potencia más sencillo. Simplemente conduce corriente en una dirección y la bloquea en la otra. Por ello es adecuado para aplicaciones de rectificación simple (conversión de CA a CC).

Las dos empresas predecesoras de ABB –ASEA y BBC– comenzaron el desarrollo de los semiconductores a principios de la década 1950. Las actividades de BBC se centraban en Baden, Suiza, y las de ASEA en Ludvika, Suecia. BBC creó su

#### Nota a pie de página

<sup>1</sup> Véase también A. Moglestue, “Del arco de mercurio al interruptor híbrido: 100 años de electrónica de potencia” en *ABB Review* 2/2013, págs. 70–78.

En las aplicaciones como rectificador, los tiristores presentan la ventaja sobre los diodos de que se puede controlar el ángulo de fase y, en consecuencia, regular el flujo de energía.

## 1 Primeros hitos de la historia de los semiconductores

1787	Antoine Lavoisier propone la existencia del elemento químico silicio
1824	Jöns Jacob Berzelius aísla silicio puro
1833	Michael Faraday observa una dependencia con la temperatura de la resistividad del sulfuro de plata, no conforme con la de un metal
1839	Alexandre-Edmond Becquerel observa el efecto fotovoltaico
1874	Karl Ferdinand Braun observa la rectificación en los sulfuros metálicos
1886	Clemens Winkler descubre el elemento germanio
1897	Joseph John Thomson descubre el electrón
1906	Jagadish Chandra Bose, Greenleaf Whittier Pickard y otros desarrollan el "detector de bigote de gato", un primitivo rectificador de semiconductor para receptores de radio
1907	Henry Joseph Round inventa el diodo emisor de luz
Decenio de 1920	Aparecen los primeros rectificadores comerciales basados en diodos para aplicaciones de baja potencia
1926	Julius Edgar Lilienfeld propone el principio del transistor de efecto de campo
1932	Alan Herries Wilson explica las bandas de energía
1939	Russell Ohl descubre la unión p-n
1947	William Shockley, John Bardeen, Walter Brattain y otros fabrican el primer transistor en Bell Labs
1950	William Shockley describe el principio del tiristor (el primer tiristor lo fabricó General Electric en 1956 y lo comercializó en 1958; BBC presenta su primer tiristor en 1960)
1954	BBC y ASEA comienzan de forma independiente el desarrollo de semiconductores de potencia

primer semiconductor en 1954 → 2. Le siguió el primer diodo comercial (100 V / 100 A), destinado a la rectificación para la electrolisis en 1956. Los primeros diseños de diodos de BBC empleaban germanio, pero debido a las limitaciones térmicas y de bloqueo de tensión del material, fue sustituido pronto por silicio.

### El tiristor

Para ir más allá de las aplicaciones de rectificación simple, se precisaba un dispositivo que pudiera ser encendido en un momento arbitrario. El diseño más adecuado para ello fue el tiristor, un aparato cuyo principio había sido propuesto por William Shockley en 1950. Un tiristor tiene dos contactos principales, como un diodo (el ánodo y el cátodo), pero ade-

## 2 Primer diodo semiconductor de BBC (germanio, 1954)



más un contacto auxiliar (la puerta). Una corriente aplicada en la puerta hace que el tiristor empiece a conducir (si existe una tensión positiva entre el ánodo y el cátodo). Una vez que ha comenzado la conducción, se puede eliminar la corriente iniciadora, y la conducción no se interrumpe hasta que la corriente principal no cae por debajo de un valor umbral (normalmente en el pase por cero de la corriente). No se puede provocar el apagado arbitrariamente a menos que se utilicen circuitos auxiliares para forzar artificialmente el paso por cero).

Por eso los tiristores son muy adecuados para aplicaciones de inversores (conversión de CC a CA) en las que la red receptora es lo bastante fuerte (por ejemplo, mediante el soporte de generación local) para permitir una conmutación forzada del inversor. También están bien adaptados para actuar como rectificadores, pues presentan la ventaja sobre los diodos de que se puede controlar el ángulo de fase y, por tanto, regular el flujo de energía. BBC fabricó su primer tiristor en 1961 → 3.

### Aplicaciones de tracción logradas

Una primera aplicación de tracción conseguida con diodos fue la locomotora de tipo Re4/4 (4.980 kW) fabricada por la compañía de ferrocarriles BLS (Suiza) a partir de 1964 → 4. Estas locomotoras, que siguen incorporando sus circuitos rectificadores originales, continúan en servicio.

Al no disponer de medios para controlar directamente un rectificador de diodos, la tracción era controlada por un conmuta-

3 En 1961, BBC presentó su primer tiristor /1.200 V / 100 A). La gama de diodos llegó a 650 V / 200 A.



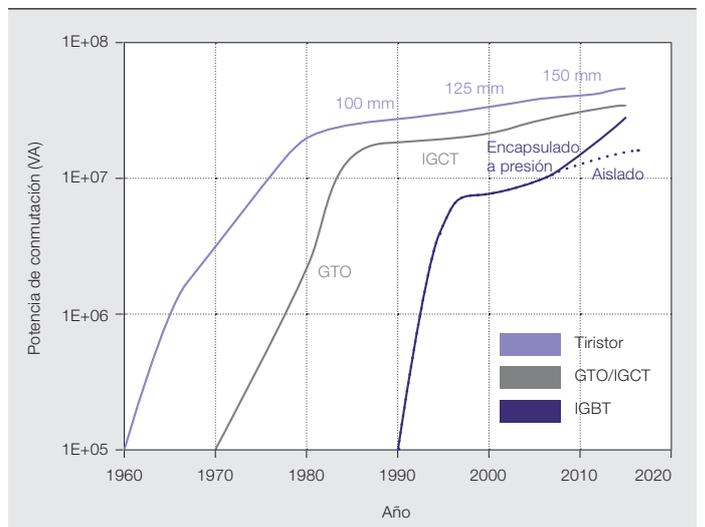
4 La locomotora Re 4/4 (1964) de BLS (Suiza) utiliza diodos de BBC.



5 La locomotora Rc (1967) de SJ (Suecia) utiliza tiristores de ASEA.



6 Evolución de la potencia de conmutación



dor de tomas del transformador. No obstante, tan rápido era el avance que en 1967 ASEA comenzó a fabricar una locomotora controlada con tiristores. Esta fue la del tipo Rc de 3.600 kW para SJ (Ferrocarriles Suecos) → 5. También siguen en servicio muchas de estas máquinas.

### Mejoras en los semiconductores

Desde 1960 hasta 1980, las tensiones de bloqueo y las potencias que se podían manejar en cada dispositivo creció de forma prácticamente lineal → 6-7. En 1976, BBC se convirtió en el primer fabricante europeo en introducir el dopado por transmutación de neutrones (como alternativa al dopado con átomos de fósforo, se irradiarían neutrones en el silicio, convirtiendo algunos de sus átomos en fósforo). Esto condujo a una concentración muy homogénea de dopante y permitió que las tensiones de bloqueo aumentaran a 4 kV.

En 1969, BBC adquirió Secheron y trató de consolidar las actividades de semiconductores de esta empresa con las suyas propias. Los planes para construir una planta de fabricación conjunta en unos terrenos propiedad de Secheron en Gland, Suiza, se vinieron abajo. No obstante, se abrió una instalación moderna y bien equipada en Lampertheim, Alemania, en 1969. El año siguiente se tomó la decisión de concentrar allí todas las actividades de fabricación. A pesar de ello, algunas de las actividades de Ennetbaden se trasladaron a Birr, Suiza. Las actividades se centraron allí principalmente en desarrollo y producción piloto pero también se produjeron pequeñas cantidades de fabricación comercial.

### HVDC

A lo largo de la era del arco de mercurio, ASEA había mantenido una posición como

líder indiscutible de la tecnología de HVDC debido a los altos voltajes de bloqueo de sus válvulas. Sin embargo, la empresa reconoció que los semiconductores eran el camino a seguir. El primer enlace comercial de HVDC del mundo, fechado en 1954, entre la isla sueca de Gotland y el territorio continental fue complementado con una válvula experimental de semiconductores en 1967. La primera aplicación comercial de semiconductores para HVDC continuó en el mismo sitio en 1970.<sup>2</sup>

La innovación rupturista producida por la adopción de semiconductores para HVDC abrió el mercado a la competencia

### Nota a pie de página

<sup>2</sup> Véase también A. Moglestue, "60 años de HVDC: El camino recorrido por ABB desde pionero a líder del mercado", *ABB Review* 2/2014, págs. 33-41.

## 7 Hitos de los 60 años de ABB con los semiconductores

1954	Comienza el desarrollo de semiconductores en Ludvika (ASEA) y Baden (BBC).
1956	BBC presenta su primer diodo (100 V / 100 A). BBC presenta su primer tiristor (1.200 V / 100 A).
1961	Los diodos alcanzan 650 V / 200 A.
1969	Se abre una nueva planta en Lampertheim (BBC).
1970	Los tiristores alcanzan 3.000 V / 800 A.
1976	Se comienza el dopado por transmutación de neutrones (BBC).
1977	Se abre una nueva planta en Lenzburg (BBC).
1980	Los tiristores alcanzan 5 kV / 2 kA.
1988	En 1988, ASEA y BBC se unen para formar ABB.
1990	Se vende la planta de Lampertheim a IXYS.
1991	Se concentran en Lenzburg las actividades de semiconductores.
1992	Se presenta un prototipo de IGBT de 4,5 kV / 600 A.
1995	Se presentan los primeros prototipos de IGCT de 4,5 kV / 3 kA. La oferta de GTO y diodos alcanza 4,5 kV / 4 kA.
1996	Se presenta el módulo de IGBT para tracción de 3,3 kV / 1,2 kA. Se presenta el tiristor bidireccional controlado.
1997	ABB lanza una línea completa de IGCT desde 500 kW a 9 MW. Se presenta el módulo IGBT de 4,5 kV / 1,2 kA para tracción con sumidero de calor integrado. Se presenta el IGBT de 2,5 kV / 700 A para HVDC light®.
1998	Abre en Lenzburg la fábrica de obleas de IGBT de 5 pulgadas.
2000	Se presentan los módulos StakPak de 2,5 kV para HVDC light.
2001	Se presenta la plataforma de perforación suave (SPT) de obleas delgadas de 1,2 kV – 1,7 kV para IGBT.
2003	Se presenta la plataforma de SPT de alta tensión IGBT/diodos (con área de trabajo seguro que bate records).
2005	Se presenta la plataforma de módulo HiPak SPT-IGBT de 2,5 kV – 3,3 kV. Lenzburg moderniza la fábrica de obleas IGBT a 6 pulgadas.
2006	Se presenta la plataforma de módulo HV-HiPak SPT-IGBT de 3,3 kV – 6,5 kV.
2007	Se presenta la plataforma SPT+ IGBT de 1,2 kV – 6,5 kV de bajas pérdidas.
2009	Se presenta la plataforma IGCT de tecnología de alta potencia (HPT). Se presenta el tiristor de 8,5 kV / 8 kA. Se presenta la tecnología BIGT de alta tensión.
2010	Se añade una ampliación de capacidad en Lenzburg y se adquiere Polovodice. Se presentan los módulos StakPak de 4,5 kV para HVDC light. Se hace una demostración de la tecnología IGCT de 10 kV.
2011	Se hace una demostración de BIGT para interruptor de HVDC.
2013	Comienzan las obras del laboratorio de WBG en Baden-Dättwil. Se presenta el HiPak 2013 mejorado.
2014	Se presenta la tecnología BGCT (IGCT con diodo de conducción inversa en la misma oblea). Se presenta la tecnología IGBT de canal mejorado. 60 años de semiconductores en ABB.

## 8 El proyecto de HVDC de Cahora Bassa (Mozambique) de 1977



de otros participantes. Un consorcio formado por AEG, Siemens y BBC entregó el proyecto de Cahora Bassa en Mozambique en 1977 (1.920 MW, 1.450 km) → 8 y el de Nelson River en Canadá en 1978 (900 MW, 940 km en 1985). La fabricación de tiristores para estos proyectos se dividió por igual entre los tres socios, siendo fabricada la parte de BBC en Birr (Lampertheim no estaba preparada para los procesos necesarios). Esta actividad se trasladó a una nueva planta en Lenzburg, Suiza, en 1979.

En respuesta a los nuevos competidores, ASEA buscó consolidar su liderazgo intensificando sus actividades de desarrollo de tiristores. En 1984, la empresa entregó el enlace de Itaipú en Brasil que también rompía records (780 km, 500 kV / 6.300 MW).

### El GTO

El mayor inconveniente del tiristor es su necesidad de circuitos auxiliares para soportar la conmutación cuando la red de CA receptora es débil, o en una conversión de CC a CC. Esta dificultad fue afrontada por el tiristor de apagado por puerta (GTO). Un GTO es similar a un tiristor, pero puede apagarse utilizando una corriente negativa en la puerta. Los GTO se hicieron especialmente populares en las aplicaciones accionadas por motor. Aunque los GTO ya estaban disponibles en 1960, tanto BBC como ASEA entraron tarde en este mercado. BBC presentó su primer GTO en 1980 (1.400 V). Sin embargo, fue un acuerdo de transferencia de tecnología con Toshiba en

1985 lo que finalmente permitió a la compañía engancharse al carro.

A pesar de este inicio tardío, ABB iba en los últimos años a convertirse en un líder mundial de la fabricación de GTO, especialmente porque muchos competidores habían pensado erróneamente que la tecnología se encaminaba hacia la obsolescencia (debido a los desarrollos de IGBT) y habían cerrado sus actividades.

### La fusión

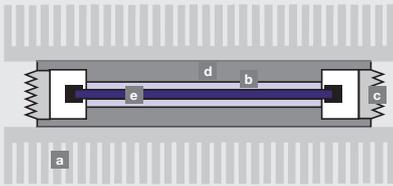
Siguiendo a la fusión de ASEA y BBC para formar ABB en 1998, se decidió concentrar todas las actividades en Lenzburg. Se vendieron a IXYS las instalaciones de Lampertheim y se cerraron las de Vasteras en 1991.

Las actividades de fabricación de semiconductores de ABB fueron cedidas a una empresa subsidiaria, ABB Semiconductors Ltd. Anteriormente, ABB había considerado los semiconductores como una actividad principalmente interna, con aparatos que se desarrollaban y fabricaban ante todo para cumplir los requisitos de otras partes de la empresa. ABB Semiconductors rompió este paradigma y amplió el mercado de semiconductores de ABB vendiendo activamente semiconductores a fabricantes externos de sistemas.

El Consejero Delegado de ABB Semiconductors, Anders Nilarp, se ganó pronto una reputación como director carismático, buscando constantemente motivar y dar autoridad a los empleados. Su esfuer-

## 9 Sección transversal de un dispositivo de contacto a presión

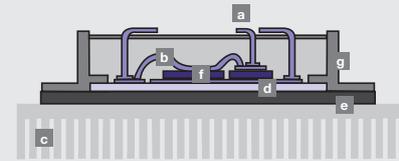
En los módulos de contacto por presión, la corriente de carga entra a través de (d) una superficie d y sale por la superficie opuesta. La baja resistencia eléctrica y térmica de los contactos queda asegurada por la elevada presión mecánica sobre esas superficies.



- |                          |                 |
|--------------------------|-----------------|
| a Sumidero de calor      | d Cobre         |
| b Compensación CTE (Mo)  | e Semiconductor |
| c Encapsulado (cerámico) |                 |

## 10 Sección transversal de un módulo HiPak IGBT.

En los módulos de encapsulado aislado, el semiconductor (f) está aislado galvánicamente del sumidero de calor (c). Los contactos eléctricos internos del módulo se establecen por medio de hilos de unión.



- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| a Conexiones de alimentación y control | d Cerámica (normalmente AlN)        |
| b Hilo de unión                        | e Placa de base (normalmente AlSiC) |
| c Sumidero de calor                    | f Semiconductor                     |
|  | g Encapsulado                       |

## 11 Módulo HiPak de 3,3 kV presentado en 2003



zo continuo para conseguir una mejor calidad tanto en productos como en procesos hizo a ABB Semiconductors finalista del premio European Quality Award de 1995. En 1996 fue designado "Supplier of the Year" por General Electric.

Nilarp también encabezó el negocio de los semiconductores en el Grupo ABB en un momento en que el Grupo vio sus prioridades en otros sitios. Su mayor logro a este respecto fue conseguir fondos y aprobación para la nueva fábrica de BiMOS (IGBT y diodo), que abrió en Lenzburg en 1998.

### IGBT

Un IGBT (transistor bipolar de puerta aislada) es un dispositivo de conmutación que se puede controlar aplicando a la puerta una tensión en lugar de una intensidad, lo cual simplifica el diseño del control de puerta. Otra propiedad ventajosa se encuentra en la capacidad de cortocircuito del IGBT. Cuando la tensión de estado activado sube por encima de un nivel crítico, el dispositivo limitará intrínsecamente la intensidad. De esta manera, un IGBT sobrevive a condiciones de funcionamiento excepcionales sin precisar de circuitos de protección adicionales. Todos estos factores permiten tener diseños de convertidores más sencillos.

Otra ventaja de los IGBT se encuentra en su instalación mecánica. Los GTO y los tiristores de calificaciones más altas son dispositivos de contactos a presión → 9, lo que significa que la corriente circula "verticalmente" de una superficie del paquete a otra. Para asegurar una conductividad eléctrica y térmica fiable, se montan los

dispositivos en pilas sometidos a una presión especificada. El personal de mantenimiento no puede sustituir uno que haya fallado sin tener que desmontar toda la pila. En los módulos IGBT aislados, la corriente circula a través de los terminales externos del módulo, que están todos ellos colocados en el mismo lado del módulo → 10. El contacto eléctrico interno con los dispositivos se asegura mediante hilos de unión, mientras que la conductividad térmica se hace a través de la placa de base no conductora → 11. Ambas conexiones, mecánica y eléctrica utilizan pernos. Por tanto, cada uno de los dispositivos se puede sustituir con mucha más facilidad. No obstante, hay aplicaciones que precisan módulos encapsulados a presión (por ejemplo, hay requisitos de redundancia que pueden depender de módulos con fallos que caigan en cortocircuito y permanezcan en esa situación). Los módulos de IGBT StakPak de ABB consideran estas aplicaciones → 12.

Puesto que las instalaciones de fabricación de ABB no se prepararon inicialmente para la complejidad del proceso de fabricación de los IGBT, la producción inicial de la empresa dependía de partes del proceso que se llevaban a cabo en instalaciones exteriores. La terminación en 1998 de la fábrica de BiMOS en Lenzburg permitió a ABB hacerse cargo al fin de todo el proceso de producción de IGBT internamente.

En los años siguientes, con más mejoras tecnológicas en términos de menores pérdidas y mayor solidez, los IGBT se introdujeron en muchos mercados dominados anteriormente por los GTO, tales como los

Un GTO es similar a un tiristor, pero puede apagarse utilizando una corriente negativa en la puerta.



de motores marinos y ferrocarriles, pero también de nuevas aplicaciones tales como convertidores para energía eólica, transformadores basados en electrónica de potencia y el interruptor híbrido revolucionario para HVDC que ABB lanzó en 2013.<sup>3</sup>

#### Los tiristores y los GTO se defienden

Aunque parecía razonable suponer que el rápido avance de los IGBT implicaría un fin igual de rápido de la era de los GTO, la demanda de estos dispositivos sigue siendo fuerte en la actualidad. De hecho, el desarrollo continúa.

En 1997, ABB presentó un nuevo dispositivo basado en GTO: el IGCT (tiristor conmutado de puerta integrada). Un IGCT es esencialmente un GTO con una unidad de puerta integrada. El perfil de dopado asegura menores pérdidas mientras que un pulso de corriente, intenso pero breve, asegura un apagado rápido → 13.

El mercado de los tiristores sigue también creciendo, pues el dispositivo sigue siendo el semiconductor de elección para los enlaces HVDC de alta potencia. En 2009, ABB presentó un tiristor de 150 mm, 8,5 kV para esos proyectos.

Para mejorar aún más su presencia en el mercado bipolar, ABB adquirió en 2010 la empresa Polovodice, con sede en Praga.

#### Nota a pie de página

<sup>3</sup> Véase también M. Callavik et al., "Innovación revolucionaria El interruptor HVDC híbrido de ABB es una innovación revolucionaria que abre el camino a las redes HVDC fiables." *ABB Review* 2/2013, págs. 7–13.

## Un IGBT es un dispositivo de conmutación que se puede controlar mediante la aplicación de una tensión a la puerta en vez de una intensidad, lo que simplifica mucho la fabricación de los mecanismos de las puertas.

En la actualidad, la producción bipolar se lleva a cabo en Praga y Lenzburg. El mismo año se completó en Lenzburg una mejora más de la capacidad para la producción de BiMOS y bipolar. ABB tiene así una fuerte posición y capacidad de fabricación en ambos mercados.

#### Carburo de silicio

Mirando al futuro, en 2013 se iniciaron las obras en el ABB Corporate Research Center de Baden-Dättwil, Suiza, para un laboratorio de investigación dedicado a material de electrónica de potencia para banda prohibida ancha. Los semiconductores de SiC (carburo de silicio), por ejemplo, presentan menos pérdidas que los

de silicio y mejor tolerancia al calor. Las compañías predecesoras de ABB habían investigado ya el SiC en los años 1960 y 1990, pero desde entonces el conocimiento de las técnicas de fabricación ha avanzado hasta el punto de que esos dispositivos han pasado a ser realizables.

#### Listos para el futuro

La cadena de suministro de potencia eléctrica, que cubre transporte, conversión y entrega, está embarcada en una era de cambios apasionantes. El lado de la demanda está siendo animado por el crecimiento y la integración de energías renovables y un mayor énfasis en la eficiencia. Pero estas demandas seguirían siendo una ilusión si no fuera por el progreso de los semiconductores que está haciendo posible esta revolución.

#### Christoph Holtmann

Sven Klaka

Munaf Rahimo

ABB Semiconductors Ltd.

Lenzburg, Suiza

christoph.holtmann@ch.abb.com

sven.klaka@ch.abb.com

munaf.rahimo@ch.abb.com

#### Andreas Moglestue

ABB Review

Zurich, Suiza

andreas.moglestue@ch.abb.com

#### Lecturas recomendadas

H. Zeller, "Los chips ganadores: Historia de los semiconductores de potencia de ABB." *Revista ABB* 3/2008; págs. 72–78.

## Consejo de redacción

### Claes Ryttoft

Director de Tecnología  
I+D y tecnología del Grupo

### Ron Popper

Jefe de Responsabilidad empresarial

### Eero Jaaskela

Jefe de gestión de cuentas del grupo

### Andreas Moglestue

Jefe de redacción de la *Revista ABB*

### Editorial

La *Revista ABB* es una publicación de I+D y tecnología del Grupo ABB.

ABB Technology Ltd.  
*ABB Review*  
Affolternstrasse 44  
CH-8050 Zurich  
Suiza  
abb.review@ch.abb.com

*ABB Review* se publica cuatro veces al año en inglés, francés, alemán y español. *ABB Review* es una publicación gratuita para todos los interesados en la tecnología y los objetivos de ABB. Si desea suscribirse, póngase en contacto con el representante de ABB más cercano o suscríbese en línea en [www.abb.com/abbreview](http://www.abb.com/abbreview)

La reproducción o reimpresión parcial está permitida a condición de citar la fuente.  
La reimpresión completa precisa del acuerdo por escrito del editor.

Editorial y copyright © 2014  
ABB Technology Ltd.  
Zurich, Suiza

### Impresión

Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH  
AT-6850 Dornbirn/Austria

### Diseño

DAVILLA AG  
Zurich, Suiza

### Cláusula de exención de responsabilidad

Las informaciones contenidas en esta revista refleja el punto de vista de sus autores y tiene una finalidad puramente informativa. El lector no deberá actuar sobre la base de las afirmaciones contenidas en esta revista sin contar con asesoramiento profesional. Nuestras publicaciones están a disposición de los lectores sobre la base de que no implican asesoramiento técnico o profesional de ningún tipo por parte de los autores, ni opiniones sobre materias o hechos específicos, y no asumimos responsabilidad alguna en relación con el uso de las mismas. Las empresas del Grupo ABB no garantizan ni aseguran, ni expresa ni implícitamente, el contenido o la exactitud de los puntos de vista expresados en esta revista.



ISSN: 1013-3119

[www.abb.com/abbreview](http://www.abb.com/abbreview)



Avance 4114

# El sistema eléctrico de mañana

La visión que tiene ABB del sistema eléctrico del futuro es una estructura autorregulada, basada en normas sectoriales que conforma una red estable, segura, eficiente y sostenible. El sistema cruzará fronteras nacionales e internacionales y admitirá el comercio de energía al por mayor.

Hay una convergencia entre la realidad comercial del sector de los servicios de suministro, la demanda energética de la sociedad moderna y los requisitos de sostenibilidad del medio en que vivimos. El sistema eléctrico del futuro utilizará la misma infraestructura básica que ya conocemos, pero también se apoyará en una nueva generación de tecnologías avanzadas de vigilancia, control y comunicaciones.

El resultado será una red esencialmente automatizada que utilizará más inteligencia para funcionar, supervisar e incluso autorrepararse. Esta "red inteligente" será más flexible, más fiable y más capaz de atender las necesidades de una economía digital.

## *ABB Review* en tablets

Ya hay una versión de *ABB Review* para tablets. La encontrará en <http://www.abb.com/abbreview>

## Manténgase informado

¿Alguna vez se ha perdido un número de *ABB Review*? Ahora le proponemos una forma sencilla de recibir un aviso cada vez que se publique un nuevo número (o un informe especial) de *ABB Review*. Puede suscribirse a los avisos por correo electrónico en [www.abb.com/abbreview](http://www.abb.com/abbreview)





¿Mantener su producción en marcha día y noche?

Por supuesto.

La experiencia de ABB en los sectores de la minería, el procesamiento de minerales y el cemento empezó hacia más de cincuenta años. Desde entonces hemos instalado más de 250 soluciones completas eléctricas, de control e infraestructuras en más de 45 países. La modernización de una planta con arreglo a las normas y los grados de producción y eficiencia más recientes sin interrumpir el funcionamiento exige conocimientos y competencias distintos de la construcción desde cero. Nuestros expertos tienen un conocimiento detallado de todos los procesos de extracción y procesamiento de minerales y están capacitados para ejecutar proyectos complejos, siempre con el objetivo de mantener su producción en marcha día y noche.

Si desea más información, visítenos en [www.abb.com/mining](http://www.abb.com/mining)