

Nuevos equipos y tecnologías para el procesamiento de minerales

Los principales fabricantes incorporan innovadoras aplicaciones para competir en este exigente mercado de la minería nacional.

Para la obtención del cobre, la extracción y el procesamiento de los minerales exigen continuos y considerables incrementos en la capacidad de los sistemas, con objeto de mantener las ganancias de una planta. Cambios rápidos en los tipos de mineral y las leyes, aumentos significativos de los minerales refractarios, de las mezclas de minerales y de la biolixiviación de los sulfuros de cobre, son algunas de las razones que explican la necesidad de un aprovechamiento más eficiente de la energía, a través de tecnologías de tratamiento de altos tonelajes en la cominución, a fin de compensar efectos adversos.

Para dar eficientes respuestas a este tipo de necesidades, es que los

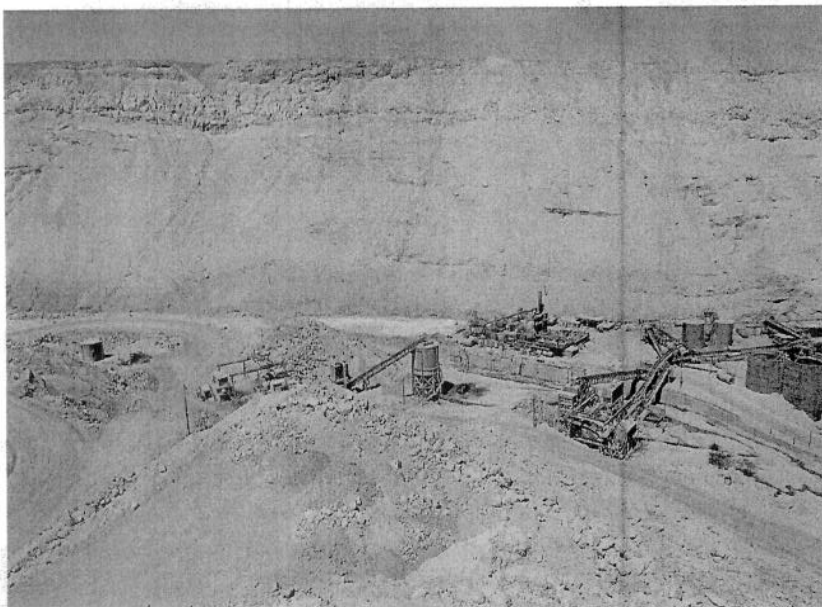
fabricantes de chancadores y molinos desarrollan tecnologías del mejor nivel, no sólo para cubrir el mercado a través de equipos con grandes capacidades, sino que ofreciendo a la vez mejores rendimientos en aplicaciones específicas que respondan, por ejemplo, a ahorros en el consumo de energía, al menor desgaste de las piezas más fundamentales, y a la calidad y tamaño del mineral que entrega el proceso.

Una panorámica estadística sobre el rubro de chancadores en Chile, dice que el 58,9% de las máquinas (166 unidades) se encuentra operando en el sector privado, mientras que el 31,2% (88 unidades), lo hace en las empresas mineras del sector estatal. Las tres

marcas más importantes, según cantidad de equipos en operación, son Symons (72), Nordberg (64), y Allis Chalmers (47). La mayor cantidad de chancadores trabajando está en División Chuquicamata y Enami (21), El Teniente (18), Salvador, Andina y Quebrada Blanca.

En el área de los molinos, éstos tienen gran demanda en los procesos de flotación. El más utilizado en molienda es el de bolas y el denominado semiautógeno (SAG). De menor aplicación son los molinos de barras. En la industria nacional, el 42,5% de ellos (147 unidades) se encuentra en manos del sector privado y el 55,8% (193 unidades) opera en el sector estatal. La marca más reconocida es Marcy (173), y lejos le siguen Allis Chalmers (48), Hardinge (20), MPSI (15) y Fuller Traylor (11).

Para dar cuenta de cómo es el crecimiento mostrado en el último tiempo por esta industria nacional, a la que se han sumado nuevas compañías extranjeras con probados rendimientos en proyectos mineros del resto del mundo, ha sido preparado el siguiente informe técnico que da a conocer en qué trabajos y con qué productos se encuentran operando los principales proveedores y empresas de servicios de molinos y chancadores. Entre ellos, Siemens, que muestra el buen resultado conseguido durante 10



Vista panorámica de una planta de chancado.

años con el sistema de accionamiento de motor Gearless Drive; Symtec, empresa de ingeniería que da a conocer el plan de trabajo realizado con la mina Disputada de Las Condes para el control del desgaste en chancadores y molinos. Además de Krupp, empresa

alemana que ingresa al mercado minero con el soporte que le entrega la fabricación de sus molinos cementeros; Atom que acaba de entregar una planta completa para la producción de áridos compuesta por chancadores, harneros y alimentadores; FFE Minerals

Fuller, compañía que entregó recientemente dos molinos de bolas con diseño soportado en el casco a minera Collahuasi; y Svedala, que con el más reciente modelo de su serie de chancadores de cono, acaba de estrenar el H-8000 en El Teniente. ■

SVEDALA DESARROLLO EL CHANCADOR DE CONO MAS GRANDE EN CHILE

Hydrocone 8000: Un demoledor llegó a El Teniente

El equipo de 800 HP (600 kW) con capacidad de 1.200 ton /hora, es uno de los diseños más importantes incorporados a la industria minera durante este año.

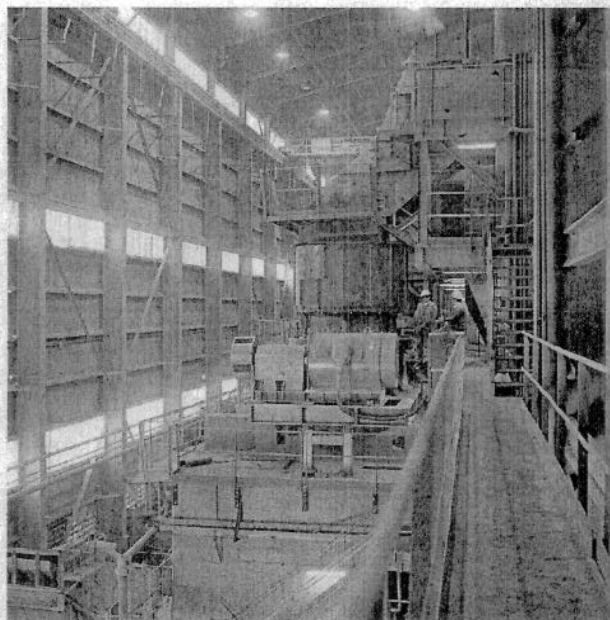
Fue una de las atracciones que Svedala presentó con vitores en Expomin'98. Para dar importancia al evento, trajo a Chile a Christian Ottergren, Gerente Mundial Minería de Svedala-Suecia, quien dio a conocer la reciente incorporación del Hydrocone 8000, el chancador de mayor tamaño de la nueva generación de Chancadores de Cono de la serie 1000 Svedala, para la producción de la División El Teniente de Codelco-Chile.

Alguna de las tecnologías aplicadas al diseño del H-8000, es un sistema automático de control sobre la abertura de descarga que permite mantener automáticamente una compensación continua en el desgaste de la cámara de trituración, optimizando la potencia instalada. Con el llamado sistema ASR Plus, el chancador permite una mayor producción, aumentando el grado de trituración, ofreciendo mejor forma del grano y mejor utilización de las piezas de desgaste, reduciendo significativamente las necesidades de control y aumentando la protección contra descargas.

El H-8000 posee, además, un sistema de alivio, que permite la evacuación automática de elementos inchan cables, a través de una válvula hidráulica de alta seguridad que no requiere la utilización de acumuladores de nitrógeno.

Está preparado para sustituir equipos de 7' y mayores, sin obligar a grandes cambios en las instalaciones ya existentes, pues trabaja sobre una sub-base apoyada en soportes flotantes de goma, con los que las cargas dinámicas horizontales son hasta un 75% menores que en los equipos indicados.

Al igual que el resto de los equipos de la serie 1000, el H-8000 tiene un amplio campo de aplicaciones.



Hydrocone 8000 en El Teniente.

Existen varias cámaras de trituración disponibles. Los trituradores pueden ser fácilmente adaptados a los cambios de producción a través de una adecuada selección de la cámara de trituración y de la carrera excéntrica. Estos equipos permiten realizar la mantención y cambio de todos sus componentes internos desde su parte superior, dando la

posibilidad de realizar instalaciones a menor altura, con los importantes ahorros económicos que esto significa.

Interés del Mercado

El primer H-8000 se encuentra en operación desde agosto de 1996 en una mina de cobre en México, trabajando 24 horas diarias, superando el 91% de disponi-

bilidad y con más de 10.000 horas de operación a la fecha. Recientemente, la misma empresa ordenó la compra de un segundo equipo de idénticas características, el que entró en operaciones en noviembre de 1997, entregando resultados de eficiencia similares.

Mientras que en Chile, fue instalado el primer Hydrocone

8000 en El Teniente a fines de marzo pasado, para una línea de chancado secundario. El equipo vino a reemplazar un cono de 7' que ofrecía capacidad promedio de 900 ton/hora, entregando ahora un rendimiento que alcanza cifras de 1.200 a 1.400 ton/hora, con un peso total de 66.500 kg con cámara de trituración fina. ■

OFRECE VENTAJAS EN LA ETAPA DE ACCIONAMIENTO DEL MOTOR

Gearless: molienda con alto rendimiento

La principal característica incorporada en su diseño es que no tiene cojinetes porque el rotor forma parte del cuerpo del molino.

Muy novedoso resultó para el público que visitó Expomin '98, la retransmisión en directo que efectuó Siemens con la minera Candelaria, en la III Región, para el monitoreo de los parámetros básicos de operación —como velocidad, corrientes, torques y temperaturas—, de uno de sus molinos SAG.

La tecnología empleada para esa comunicación telefónica permitió, entre otras cosas, conocer cómo ha trabajado este molino con la aplicación del sistema "Gearless Drive", una tecnología con la que Siemens ha obtenido importantes resultados desde que la incorporó por primera vez en Chile en 1986.

El corazón de toda sección de molienda son los grandes molinos. Para responder a las necesidades de máxima productividad y disponibilidad, circuitos de trituración perfeccionados y optimización del consumo de energía, se desarrolló este sistema eléctrico de gran rendimiento que conduce al área de la

molienda hacia la automatización de sus procesos más complejos.

Gearless, también llamado Ringmotor, es un tipo de accionamiento que ofrece considerables ventajas respecto del sistema piñón-corona; sus partes básicas son el motor sincrónico y el cicloconvertidor, que es el que alimenta el motor. Permite mover el molino sin pérdidas mecánicas, optimizando la potencia del motor y disminuyendo la cantidad de paradas de planta para su mantenimiento. La posibilidad de partida suave permite menores solicitudes al sistema eléctrico de planta, lo que impone menores requerimientos a su capacidad. Por otra parte, la disponibilidad de velocidad variable del accionamiento, permite optimizar el proceso de molienda, según el tipo de material que se requiere procesar.

El diseño de los motores para molinos trituradores Gearless es

muy parecido al de los generadores hidroeléctricos de potencia similares la diferencia está en que éste accionamiento como tal no tiene cojinetes porque el rotor forma parte del cuerpo del molino. Los segmentos polares del campo rotatorio van aprenados al cuerpo del molino el que, a su vez, descansa en sus dos cojinetes. Por otro lado, Gearless es, por su comportamiento eléctrico general, un motor sincrónico estándar de baja velocidad con polos de campo salientes y excitación estática.

En cuanto a la alimentación, ésta es realizada a través de un cicloconvertidor (CCV) que transforma el sistema trifásico de frecuencia y voltajes fijos, en un sistema con frecuencia y voltajes variables. Algunas medidas tomadas en el sistema de control de lazo cerrado —que viene a ser el corazón del sistema de accionamiento— permiten utilizar un cicloconvertidor de configuración muy simple y alcanzar

Ventajas que ofrece Gearless Drive

- No existe conexión mecánica entre el motor y el molino, lo que significa la eliminación de componentes mecánicos tales como engranajes y embrague.
- Aceleración, desaceleración y detención del molino suave y controlada.
- Capacidad de "inching" incluido.
- Sin corrientes de partidas significativas.
- Configuración de 12 pulsos, lo que facilita compatibilidad con la alimentación de energía.
- Capacidad para operar sobre y bajo la velocidad nominal.
- La eficiencia que permiten de todos los accionamientos de velocidad variable.
- Bajo costo de mantenimiento y de repuestos.
- Alta disponibilidad y ahorro de energía.

excelentes variaciones del torque, con un contenido armónico despreciable, que dependiendo de la red, hace innecesario un sistema de filtros.

En Chile

En la minería nacional, las principales empresas mineras que han probado los beneficios de los Accionamientos de Molinos sin Reductor "Gearless Drive", son:

- Chuquicamata, en 2 molinos SAG de 32 pies, con motor de 8.200 kW y 10,2 rpm, transformador de 13.600 kVa, 13.800/6x1.160 V y cicloconvertidor de 12 pulsos.
- El Teniente, en un molino SAG de 36 pies, con motor de 11.200 kW y 9,8 rpm, transformador de 3x6.000 kVa, 13.800/6x1.160

V y cicloconvertidor de 12 pulsos.

- Candelaria, en 2 molinos SAG de 36 pies, con motor de 12.000 kW y 9,52 rpm, transformador de 3x6.840 kVa, 22.000/6x1.220 V y cicloconvertidor de 12 pulsos.
- Andina, en un molino SAG de 36 pies, con motor de 12.000 kW y 9,52 rpm, transformador de 3x6.760 kVa, 13.200/6x1.208 V y cicloconvertidor de 12 pulsos.
- Los Pelambres, en 2 molinos SAG de 36 pies, con motor de 12.600 kW y 6,55 rpm, transformador de 3x6.866 kVa, 23.000/6x1.200 V y cicloconvertidor de 12 pulsos. (En el caso de las dos últimas compañías mineras, aún los sistemas no se han puesto en servicio).

Siemens anunció que ya se encuentra desarrollado el diseño para la siguiente generación de sistemas de accionamiento Gearless para molinos SAG de 40 o 47 pies con potencias nominales de 22.000 kW ó 26.000 kW y un peso total de más de 500 toneladas métricas. Una muestra de tales capacidades, es el accionamiento Gearless recientemente suministrado en Australia, para un molino de 40 pies y 20.000 kW.

Asimismo, la empresa espera que la industria minera también utilice con más frecuencia este tipo de accionamiento en aplicaciones con molinos de bolas, en razón de las más altas potencias que está requiriendo de éstos. ■

DESTACAN POR SU DISEÑO SOPORTADO EN EL CASCO

Molinos de bolas con diseños especiales recibió Collahuasi

Fuller anunció que los equipos ya fueron instalados y se encuentran próximos a su puesta en marcha.

Spider con perímetro anular de 75°, spider de diseño tipo viga radial, eficientes diseños de los diferentes sistemas de sello y diseño de tres componentes del contraje principal (manto), son algunas de las principales características de los equipos con que FFE Minerals

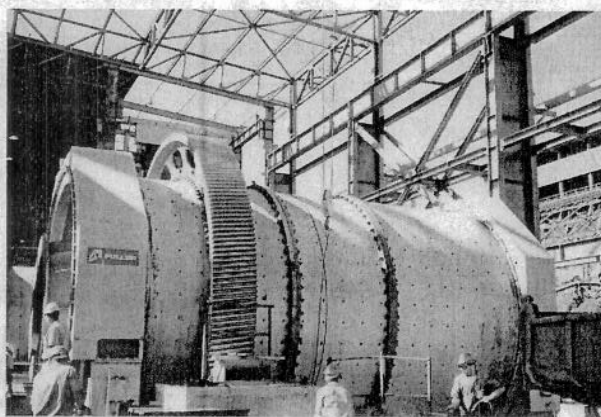
(Fuller) ha provisto de tecnología a la minería nacional.

La selección de sus equipos en proyectos de molienda destaca por su inclusión en inversiones mineras de Cía. Minera Doña Inés de Collahuasi y Cía. Minera Los Pelambres, además de instalacio-

nes de molinos de bolas de distintos tamaños en plantas de división Andina y El Teniente, La Coipa y Los Pelambres.

En Collahuasi el fabricante hizo la reciente instalación de dos equipos, los que se encuentran próximos a su puesta en marcha. Estos

son dos molinos semiautógenos (SAG) de 32' x 15' de 10.500 HP c/u y dos molinos de bolas de 22' x 36' de 12.500 HP c/u. Los últimos se destacan por su diseño soportado en el casco, característica de diseño exclusivo para este tamaño de equipos, que ofrecen importantes ventajas en aspectos de inversión, layout, fabricación y esfuerzos asociados a áreas críticas, respecto a los soportados en muñones, alternativa también disponible en su línea de equipos estándar.



Molinos de bolas, soportados en el casco, en Proyecto Collahuasi.

Mientras que en Los Pelambres, la empresa proveedora se encuentra trabajando en la fabricación de molinos, con entrega programada

para el próximo año. Se trata de dos molinos SAG de 36' x 19,25' con motor Gearless de 17.000 HP y 4 molinos de bolas de 20' x 34' de 9.000 HP.

Chancado Primario

Las etapas de reducción de tamaño en general, de vital importancia en la industria minera, constituyen junto a los procesos pirometalúrgicos una de

las principales áreas de suministros, ingeniería y servicios requeridos para la operación al ciento por ciento de cualquier planta.

La presencia en Chile de FFE Minerals (Fuller), país desde el cual la empresa administra sus actividades en Latinoamérica, representa el apoyo necesario para las funciones de diseño, montaje, puesta en marcha, operación y mantenimiento.

Sus ejecutivos destacan que dentro de las actividades desarrolladas, merecen especial mención los proyectos de Chancado Primario, donde Fuller desde 1985 ha estado presente en prácticamente todos los proyectos de Plantas de Chancado Primarias que ha requerido la mediana y gran minería del país. ■

CHANCADORES PRIMARIOS FULLER DE 60" FABRICADOS DESDE 1985

FECHA	Nº	CLIENTE	TAMAÑO	HP
1997	1	Los Pelambres	60" x 110" TC	1000
1996	1	Escondida	60" x 89" TC	800
1996	2	Doña Inés de Collahuasi	60" x 89" TC	800
1996	1	Radomiro Tomic	60" x 110" TC	1000
1994	1	El Abra	60" x 110" TC	900
1994	1	Escondida	60" X 89" TC	800
1992	1	Candelaria	60" x 89" TC	700
1995	1	Andina	54" x 74" TC	600
1989	1	Disp. de Las Condes (Los Bronces)	54" x 74" TC	600
1994	1	Mantos Blancos (Manto Verde)	42" x 70" TBC	400
1992	1	Cerro Colorado	42" x 70" TBC	400
1988	1	La Coipa	42" x 66" TC	400

PLANTA EQUIPADA POR ATOM PARA SOCIEDAD DE ARIDOS EL RINCON

Instalan equipos en chasis móviles para proyecto de producción de áridos

Chancadores, alimentadores y harneros, además de un innovador sistema de setting hidráulico, forman parte de los productos implementados.

En la implementación de una planta para el proyecto de producción de áridos que desarrolla la

Sociedad de Aridos El Rincón, participó Atom Industrial y Comercial. Esta se encuentra trabajando a

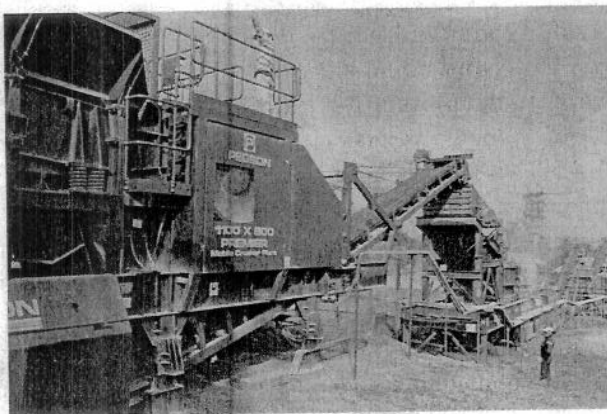
plena capacidad desde el 15 de mayo pasado. La planta es capaz de producir en circuito cerrado de tres

productos 350 ton/hora y en dos productos 270 ton/hora.

El proyecto consideró la explotación de una parcela en la ribera del Río Mapocho, en la que se encontró material de canto con alto contenido de sílice y piedras de hasta 29".

Para la ejecución de este trabajo fueron adquiridos los siguientes equipos:

- Un chasis móvil primario Pegson 1.100 x 800. Está compuesto por una tolva de recepción fuertemente reforzada y diseñada tanto para cargas laterales como posteriores. Un alimentador Grizzly de 1.060 x 4.600 mm, ejes rotatorios, carrera y propulsión de velocidad variable con separación de barras en 50 mm de dos etapas. Cinta de evacuación con disposición desplegable, de 3,96 metros de altura de descarga, ancho de cinta de 1.000 mm, detector de metales, en chasis montado en tres ejes para ser transportado en quinta rueda y altura máxima de transporte de 4 metros. Y un chancador de mandíbula 1.100 x 800, que con un setting de 75 mm produce un ciento por ciento de material bajo 110 mm. El setting se



Equipos instalados en la Planta de Sociedad de Aridos El Rincón.

realiza con una bomba hidráulica manual.

- Un chasis móvil secundario, Pegson Autocone 1300, posee un harnero de scalping en 40 mm. Este chancador cuenta entre sus características más relevantes con un sistema de setting hidráulico ajustado a través de un panel con lector digital y botonera abrir-cerrar, aun con el equipo operando. Cuenta además con un sistema de seguridad para material inchan cable, que se abre cuando es superada una determinada presión en la cámara de chancado, lo que hace liberar la pieza. El cierre se produce automáticamente manteniendo el setting original.

- La planta además posee un chasis móvil terciario con un chancador

de eje vertical Ore Sizer MKIII. Este equipo puede ser alimentado hasta con material de 90 mm; de él destaca el diseño de cámara y rotor. Este último puede con tres, cuatro, cinco o seis puertas, dependiendo de la condición de trabajo, volúmenes de producción y tamaño de alimentación requerido. Con su diseño es posible conseguir materiales de mayor cubicidad, una

vida útil de sus elementos superior a la de sus similares, con mejoras en los módulos de finura y volúmenes de producción.

Clasificación y Lavado

Los sistemas de clasificación y lavado de esta planta son Powerscreen. En esta parte del proyecto se consideró un harnero de 20 x 6 pies y un desaguador y lavador de arenas Trident, una máquina móvil capaz de ofrecer una amplia gama en cuanto a separación de arenas de acuerdo a su granulometría hasta en dos productos, si fuese necesario. Además posee un sistema de ajuste manual, especialmente diseñado para la retención de finos. ■

EXPERIENCIA DE EMPRESA DE INGENIERIA EN MINA DISPUTADA

Diagnóstico del desgaste en molinos y chancadores

Preparado por Héctor Moraga, Gerente de Operaciones de Symtec Ltda.

Durante la década de los '80, los molinos semiautógenos incorporaron nuevas tecnologías al procesamiento de molienda en las faenas

mineras de nuestro país. Este tipo de molino debía cambiar totalmente el concepto de la molienda tradicional, eliminando varios equipos

intermedios, para así disminuir el costo de producción por tonelada de mineral procesado y de paso plantear un nuevo desafío a la inge-

niería nacional para sacarle el máximo provecho a estos equipos.

Cada planta debía adaptar estos molinos a las características propias de su faena, por lo que se exigió realizar estudios que analizaran su comportamiento con diferentes variables y condiciones de trabajo, para llegar a un nivel de trabajo más eficiente, seguro y de fácil mantenimiento.

Una de las razones que motivó la formación de Symtec, en 1989, fue la de participar activamente en uno de estos estudios: el Control de Desgaste en los Revestimientos de los Molinos SAG para los equipos de la empresa minera Disputada de Las Condes, pionera en este sistema de molienda.

El plan de trabajo que se realiza comienza con el estudio de los planos de los revestimientos, con los que se definen los puntos que se controlarán. Se desarrolla un procedimiento que incorpora la metodología, dispositivos de control, procesamiento de la información y recomendaciones sobre control de riesgos para el trabajo de nuestro personal en terreno.

Para efectuar las inspecciones, se aprovecha uno de los días de detención del molino para mantenencias programadas y después de cada chequeo se emite el informe, que principalmente contiene lo siguiente:

1. Informe con el estado de cada tipo de revestimiento, incluyendo tonelajes parciales procesados a la fecha, desgastes promedios, proveedores, fechas de colocación de las piezas y otra información que se requiera.
2. Gráficos de desgaste por cada tipo de revestimiento.
3. Perfil del revestimiento mostrando el desgaste actual.
4. Ubicación de los revestimientos según proveedor, dureza, tratamiento térmico.

5. Anexo fotográfico que muestre el estado general de las piezas y algunas particularidades específicas.

6. Pronóstico de cambio y acciones inmediatas recomendables.

Los beneficios que se obtienen son:

- Mejor aprovechamiento de los revestimientos
- Programación de mantenencias más eficientes.
- Programación de pedido de revestimientos con stock mínimo.
- Desarrollar modificaciones y evaluarlas durante el proceso.

Chancadores

En los últimos años los chancadores nuevamente se han convertido en un equipo de gran importancia en la minería chilena. Los actuales sistemas por electro-obtención de los óxidos de cobre no requieren de la tradicional molienda, dejando la importancia que habían acaparado los grandes molinos semiautógenos, a grandes y eficientes chancadores.

Estos equipos se ubican normalmente en una zona más cercana de la extracción, generalmente en la parte más alta y lejana del resto de la faena, en condiciones climáticas extremas, con abundante polvo e

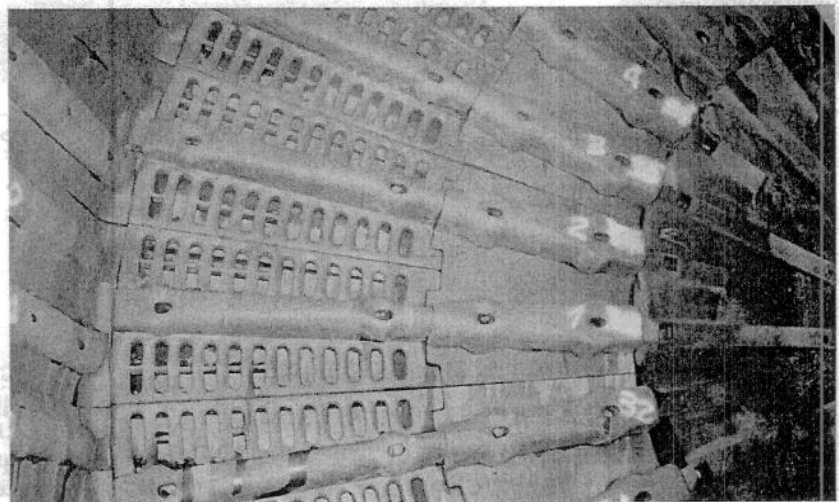
incluso en algunas faenas con nieve durante varios meses del año.

Afortunadamente estos equipos disponen de varios sistemas de seguridad, que les permiten funcionar con una mínima mantención. Una de las reparaciones que no puede evitarse es el cambio de las piezas de desgaste (pera y placas cóncavas). Su reemplazo requiere de varias horas con el equipo detenido, por lo que debe programarse su detención en un momento muy oportuno para no afectar la producción.

A objeto de ayudar en la programación del reemplazo de las piezas de desgaste, Symtec realiza en Disputada un "Programa de Control Periódico del Desgaste en las Placas y Pera" de los chancadores giratorios Fuller y Allis Chalmer que ellos disponen.

En base a estos controles, se emite un informe con el desgaste encontrado en las piezas, se determina la tasa de desgaste en los puntos más importantes, se establece la abertura o granulometría con que se trabaja, mostrando una proyección del Setting con que se podrá trabajar en los próximos meses y finalmente se adjuntan fotos representativas del estado de las piezas.

Con esta información se puede pronosticar el reemplazo de las



placas o peras, aprovechando al máximo su vida útil y disminuyendo por consiguiente el cambio anticipado de los revestimientos.

El éxito de toda faena minera moderna depende del costo de su producto final. A esto apunta especialmente el trabajo de ingeniería que realizamos en los chancadores,

ya que a través de pocos controles se puede aprovechar al máximo la vida útil de los revestimientos, sin poner en riesgo el equipo y manteniendo su alto rendimiento. ■

ENCUENTRO REALIZADO POR LA UNIV. FEDERICO SANTA MARIA EN VIÑA DEL MAR

Rediseño y optimización operativa eleva rendimiento en plantas SAG

Dos divisiones de Codelco dieron a conocer avances para hacer más eficientes sus plantas de molienda.

Incrementos relevantes en el tratamiento de mineral y una mayor productividad general por la optimización de equipos, procesos y su control, dieron a conocer dos divisiones de Codelco en el último encuentro sobre molienda semiautógena realizado en Viña del Mar por la Universidad Técnica Federico Santa María.

Las experiencias corresponden a las divisiones Chuquicamata y El Teniente, y aluden a logros en la optimización de sus plantas de molienda y concentración mediante modificaciones al diseño, cambios operativos y nuevas tecnologías de mantenimiento y control.

En el caso de Chuquicamata, Edgardo Chiappa informó que en la concentradora A-2 fue preciso aumentar la incorporación de fino bajo media pulgada (o 65 mallas) pues la dureza del mineral virtualmente ha eliminado dicho rango de medidas en el material que llega al molino. Incrementando la malla de tronadura, explicó, y recirculando material del chancado secundario y terciario, aumentó el aporte de fino, lo que desde mediados de 1996 incrementó en un 10% su tratamiento; como por cada tonelada de

material fino hay un arrastre equivalente de mineral fino que no evacuaban las parrillas del molino, la adición del material produjo el incremento de tratamiento, declaró.

Como consecuencia, al cabo de un año la utilización subió del 88% al 93%, y la recuperación creció casi cuatro puntos, pasando de 84,5 a 88%. El 10% de ganancia en tonelaje no considera el fino adicionado, precisó Chiappa. La media de tratamiento subió de 57 mil a 63 mil toneladas diarias, el aumento fue absorbido por la capacidad ociosa de la molienda secundaria, que operaba al 70% de la potencia instalada.

Al aumentar el tonelaje y emplear más porcentaje de potencia en esta fase, creció el delta de granulometría, permitiendo mantener un nivel de recuperación bueno para el negocio: "El beneficio neto fueron 6 mil toneladas extra de cobre fino al año", informó Chiappa.

Junto a lo anterior, la planta A-2 dio a conocer otros avances en la optimización de su línea de molienda SAG, destacando los siguientes: eliminación de harneros de seguridad en molienda

secundaria para aumentar disponibilidad de la planta; rediseño de buzones de alimentación a "feeders" bajo la pila de almacenamiento de mineral, para mejor disponibilidad; reducción del "grind-out" para controlar el nivel de llenado de bolas, para mayor duración de revestimientos; cambios al diseño y reemplazo de revestimientos, incorporando máquina manipuladora dual; ajuste permanente de los set point de operación del control experto Super SAG; aumento del volumen de llenado de bolas desde el rango de 9-10% hasta 10-12%; desarrollo con el Cimm del Analizador de Tamaño de Partículas Petra ADG-21, que mediante procesamiento de imágenes permite inferir la distribución granulométrica del mineral alimentado; desarrollo con el Cimm del instrumento ELAC para estimación en línea del ángulo de carga y nivel total de llenado del molino; desarrollo con el Cimm de un Simulador Dinámico del Proceso, para uso en línea con la operación; algoritmo de control de consumo de acero en molienda SAG y secundaria, corregido por potencia; estudios para optimizar y

robotizar el carguío de bolas; instalación de segundo harnero vibratorio en la descarga para aumentar disponibilidad del circuito; desarrollo de sensores virtuales para controlar tamaño de las partículas que van a flotación; y desarrollo de un Sistema de Control Supervisor que optimice la operación usando los sistemas Petra ADG-21 y ELAC.

La planta Concentradora A-2 constituye la segunda expansión de la planta de molienda de Chuquicamata y opera desde 1989. Está formada por dos secciones de molinos SAG que reciben mineral de los chancadores primarios de los niveles K-1 y/o F-3 del yacimiento. Su disponibilidad alcanza al 92% y procesa una media diaria de 60.000 th/d, entregando a flotación un producto cuya granulometría va de 28 a 30% por sobre las 65 mallas.

Cada sección tiene un molino Semiautógeno Dominion de 32 por 15 pies con motor de anillo Siemens de 11.000 HP y velocidad variable. La molienda secundaria se hace en 4 molinos de bolas Marcy de 18' por 26', en circuito cerrado inverso con ciclones cónicos Krebs D26.

Rediseño en El Teniente

En el caso de El Teniente, la principal optimización dada a conocer consistió en la modificación del diseño de los lifters, lo que sumado a avances en control, permitió a su planta SAG obtener incrementos de 18% en el procesamiento y de un 12% en la utilización del molino, sobre las tasas de diseño.

Fernando Cartes, de la Superintendencia Concentradora de El Teniente, explicó que la modificación al diseño original de linternas del molino se emprendió a raíz de la frecuente rotura del revestimiento y paro obligado del equipo, con pérdidas importantes

pues su utilización cayó por debajo del 90%. El diseño original de las placas lifter era de 6 pulgadas medidas desde la base, y fue elevado a 10 y 1/4. La modificación consistió en separar las placas de los levantadores, eliminando así los puntos críticos de acumulación de tensiones; al aumentar en 9" la altura del lifter, su vida útil creció lográndose una duración promedio de 5,5 millones de toneladas (5 millones antes del cambio); el retirarse, aún mantienen un espesor de 3 pulgadas, lo que mantiene el nivel de procesamiento y protege la placa base del desgaste.

El óptimo control de la concentradora permitió sacar más potencia al molino por mejor aprovechamiento de la potencia eléctrica; se elevó el rango de tonelaje y bajó la presión de aceite en los descansos.

Tras muchas pruebas, se concluyó que el ancho del lifter no es lo más importante para su duración, sino la altura y el diseño del ángulo de ataque. "Eso incide fuertemente en su duración", explicó. Se incorporaron lifters de 2 corridas en lugar de 3 en el shell, y en la tapa alimentadora los 4 anillos se redujeron a 3, incorporando linternas de goma por primera vez; asimismo, para mantener el peso del revestimiento, se los diseñó con una curva inversa al desgaste, para un desgaste parejo.

Estos cambios redujeron los tiempos del mantenimiento, según ciclos de 33 millones de toneladas, ya que por ejemplo, la reparación de la tapa alimentadora bajó de

290 a 208 horas, con un menor costo de 38%. Como corolario del rediseño, se obtuvo una operación más estable y segura, y un aumento del 18% en el procesamiento, y de un 12% en la utilización del molino, cuya disponibilidad subió al 94%.

Otras innovaciones aplicadas en la planta, son el control distribuido Honeywell TDC-3000, que permite controlar tonelaje de alimentación, porcentaje de sólido de alimentación, densidad de la pulpa de alimentación a hidrociclones, nivel del cajón de descarga del molino, nivel de los cajones de descarga de molinos de bolas, pH de la pulpa a flotación y dosificación de reactivos. También se implementó un control supervisor, integrado por un control experto en tiempo real denominado Super-SAG de Control International, para en cada momento optimizar la operación conciliando la máxima capacidad y el menor consumo energético.

El óptimo control de la concentradora permitió sacar más potencia al molino por mejor aprovechamiento de la potencia eléctrica; se elevó el rango de tonelaje y bajó la presión de aceite en los descansos. Asimismo, se incorporó el monitoreo de torque, tecnología desarrollada con un proyecto Fondef por la USM (MN-06), y que permite una mejor medición del llenado del molino por su relación con la potencia, en vez de la usual medición del peso en los descansos. "Este instrumento resultó muy bueno y efectivamente mide el torque del molino, y mediante una ecuación de potencia, podemos calcular el volumen de llenado y optimizar la operación", dijo Cartes.

La planta SAG de El Teniente posee un molino de 36' por 15' y es alimentada por un chancador primario de 54 por 74 pulgadas. ■