

Guía técnica para audits del uso eficiente de los recursos energía y agua en la minería y la concentración de minerales en los países Andinos

elaborado dentro del proyecto:

“Cooperación regional para la gestión sustentable de los recursos mineros” (MINSUS)

en comisión de la



por

Dr. Michael Priester

Pedro Pablo Vasquez C.

Diciembre 2016

Projekt-Consult GmbH
Eulenkrogstrasse 82, 22359 Hamburg
Internet: www.projekt-consult.de

E-mail: info@projekt-consult.de

Managing Director:
Thomas Hentschel
Moritz Lörcher

Indice

Introducción 3

Minería a cielo abierto 4

 Energía 4

 Agua 7

Minería subterránea 10

 Energía 10

 Agua 16

Concentración de minerales 18

 Energía 18

 Agua 21

Literatura 24

Introducción

La “Cooperación regional para la gestión sustentable de los recursos mineros” (MINSUS) es un programa de desarrollo que aspira a mejorar la aceptación de la minería andina y su competitividad. MINSUS es financiada por el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ, Alemania Federal). Tanto la GIZ como la BGR, el Instituto Federal de Geociencia y Recursos Naturales de Alemania, tienen a su cargo dicha cooperación conjuntamente con la Comisión Económica para América Latina y el Caribe de las Naciones Unidas (CEPAL), la cual conforma la contraparte regional.

Entre otros, el programa MINSUS con apoyo de las asociaciones del sector minero en los cinco países participantes se enfoca en la sistematización, el desarrollo y la difusión de buenas prácticas en la minería. En este contexto la BGR quiere documentar y divulgar proyectos para el incremento de la eficiencia en la minería de los países andinos. Para tal fin, el programa quisiera concentrarse en la utilización eficiente de agua y energía para contribuir al aumento de la productividad y la optimización de procesos mineros. Igualmente se busca conocimiento acerca de soluciones para la reducción de costos de agua y energía.

La presente guía pretende apoyar los procesos de auditoría del uso eficiente de los recursos de agua y energía en la minería y la concentración de minerales en los países participantes. La guía se divide en tres capítulos: la minería a cielo abierto, la minería subterránea y la concentración de minerales. Cada capítulo se divide en los dos subtemas: energía y agua.

En las dos columnas a la derecha se presentan buenas prácticas para el uso eficiente y la gestión de los recursos energía y agua. La penúltima columna se enfoca en medidas de gestión interna y de cambios y adaptaciones sin la necesidad de grandes cambios tecnológicos o inversiones. La última columna agrupa las recomendaciones que requieren inversiones adicionales por cambios tecnológicos.

La presente guía ha sido desarrollada con base en la literatura actual sobre la buena gestión en minería, y ha sido enriquecida con las experiencias prácticas de tres auditorías en tres empresas pequeñas y medianas de la minería aurífera en el sur del Perú en el mes de noviembre del 2016.

Los consultores piden a todos los usuarios aportar comentarios y recomendaciones para completar el presente documento.

Michael Priester: Michael.priester@projekt-consult.de

Pedro Pablo Vasquez: vasquezpp@email.arizona.edu

Checklist para audits de eficiencia de agua y energía

Minería a cielo abierto

Diagrama de Flujo del Proceso Productivo

Plan Estratégico de la Gestión de la energía/agua.

Energía

Procesos	Etapas	Tareas	Eficiencia de energía	
			Optimización de Procesos	Investment Inversion
Rotura	Perforación		<ul style="list-style-type: none"> Optimización de la malla de perforación. Diseñar la malla de perforación de acuerdo al tipo de roca, fallas, dureza, etc. Ajustar el ratio de perforación, velocidad de rotación y peso de la broca para un óptimo uso. Affilar brocas y controlar el desgaste Mantener los bancos a perforar planos y limpios. Prever la sobre perforación para reducir el costo de perforación y voladura. Controlar la desviación de los taladros. Colección de data histórica metros perforados. 	<ul style="list-style-type: none"> Seleccionar el mejor equipo de perforación si es posible (perforadoras hidráulicas hammer),
	Carguío de explosivos		<ul style="list-style-type: none"> Optimización del uso de explosivos. Usar tapones de detritos o Tapones de aire comprimido para un mejor confinamiento. El anfo puede ser usado en todo tipo de rocas excepto en masiva roca dura. Usar explosivo denso en el fondo del taladro. Colección de data histórica consumo de explosivos. 	<ul style="list-style-type: none"> Reducción del tamaño de la fragmentación para ser procesado a través de los métodos de voladura.
Limpieza	Excavación/carguío		<ul style="list-style-type: none"> Planeamiento del carguío con el objetivo de minimizar tiempos perdidos. 	<ul style="list-style-type: none"> Las excavadoras deben ser alimentadas con energía eléctrica en lugar de diesel.

			<ul style="list-style-type: none"> • Direccionar los suficientes camiones a las zonas de carga para evitar colas (motor encendido consume combustible). • Reducir la doble manipulación. • Minimizar distancias a recorrer de las excavadoras/cargadoras 	
Transporte	Transporte en camion	Transporte	<ul style="list-style-type: none"> • Optimización de la combustion. Analizar los gases de combustion del vehículo, ajustar y realizar mantenimiento a los motores. • Adecuado manejo de vehículos. • Usar métodos de reabastecimiento rápido de combustible y cisterna de agua para reducción de tiempos muertos. • Optimizar y secuenciar las operaciones de los vehículos para reducir los tiempos de espera (i.e. mediante GPS). • Las llantas deben tener la presión necesaria para evitar un excesivo rozamiento con la carretera. • Sistema de arranque-parada en vehículos. • Colección de data histórica del material transportado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Considerar utilizar vehículos que operan con menos gases causantes del efecto invernadero así como LPG, gas natural comprimido (LNG) en vez de diesel. • Faja versus camiones eléctricos o diesel. • Reemplazo de vehículos ligeros por buses para transporte de personal.
		Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Administración adecuada de motores, eficiencia del combustible y tiempos muertos del motor, todo influye en la energía. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reemplazar vehiculos diesel con vehículos eléctricos que tienen la capacidad de regenerar energía mediante el sistema de frenos
		Mantenimiento de la infraestructura de carreteras	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento adecuado de las carreteras. • Optimización de la gradiente de la carretera, optimizará distancias innecesarias de acarreo. • Manteninimiento constante de la carretera ayuda a disminuir la resistencia a la rodadura. • Los caminos deben ser graduadas para maximizar el uso de combustible y vida útil de las llantas. 	

	Cinta transportadora		<ul style="list-style-type: none"> Reducir el uso de diesel para transporte. 	<ul style="list-style-type: none"> Considerar reemplazar camiones diesel por fajas o transporte eléctrico.
Drenaje			<ul style="list-style-type: none"> Optimización del consumo de energía dependiendo de la presión del agua. Diagrama Unifilar/Isométrico. El impulsor de las bombas debe estar en óptimas condiciones para mantener su eficiencia. 	<ul style="list-style-type: none"> Las estaciones de bombeo deben usar variadores de velocidad, los cuales permiten regular los requerimientos de flujo.
			<ul style="list-style-type: none"> El bombeo debe ejecutarse fuera de horas pico. Instalar temporizadores con indicadores de prioridades por niveles. En lugar de bombear el agua desde el fondo de la mina hasta la parte superior, el agua puede ser colocada en cisternas de agua en el fondo, los cuales pueden dispersar el agua mientras suben (usualmente hacen esta actividad cuesta abajo) 	
Provision de Energía	Diesel		<ul style="list-style-type: none"> Las estaciones de carga de combustible deben estar cerca del lugar de operación. Usar indicador eficiencia energética: Energía combustibles/Ton material movido x Km eq, Colección de data histórica consumo combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> Habilitar un camion cisterna de combustible para que los equipos sean recargados en el campo en caso de no acercarse a la estación mas cercana.
	Energía Eléctrica		<ul style="list-style-type: none"> Optimizar el uso de energía. Programar la demanda energetica para minimizar picos Usar tableros para maquinaria eléctrica para bajar picos Colección de data histórica consumo eléctrico. Diagrama Unifilar/Isométrico. Factura de energía. 	<ul style="list-style-type: none"> Conectarse a la red de energía en vez de generar energía.
			<ul style="list-style-type: none"> Disminución de la potencia de arranque. 	<ul style="list-style-type: none"> Usar variador de frecuencia para disminuir el inicio del motor.
	Explosivos		<ul style="list-style-type: none"> Manejo de Información 	

			<ul style="list-style-type: none"> • Colección de data histórica consumo de explosivos. 	
Provisión de agua				<ul style="list-style-type: none"> • Usar variadores de frecuencia en el sistema de bombeo que permita captar solamente la cantidad de agua requerida.

Agua

Procesos	Etapas	Tareas	Eficiencia de agua	
			Optimización de Procesos	Inversion
Rotura	Perforación		<ul style="list-style-type: none"> • Perforación de la malla. • Recirculación del agua. • Programa de monitoreo de la línea base inicial (calidad del agua, flujo, biológicos). 	<ul style="list-style-type: none"> • Los equipos de perforación deben usar bombas de alta presión para mayor presión en el barrido y menor flujo de agua.
	Carguío de explosivos		<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de costos por el uso de explosivos a prueba de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> • Evacuar el agua con un sistema de bombeo.
Transporte	Transporte en camión	Transporte	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar un sistema aspersor sobre la carga de los camiones. • Los materiales transportados emitirán menor polvo al ser humedecidos. • Evitar transporte hidraulico (por pipelines) de productos y reemplazar por transporte en camiones; al mismo tiempo reciclando el agua 	
		Mantenimiento de camiones	<ul style="list-style-type: none"> • El lavado de equipos de se hará con agua a presión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de un sistema de presión de agua para el lavado de equipos, • Instalación de una separación liquido-solido para recircular el agua residual.
		Mantenimiento de la infraestructura de carreteras	<ul style="list-style-type: none"> • Usar sistema alternativo como aditivos o supresores de polvo como sales, agentes tensioactivos, etc. 	
	Cinta transportadora		<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de aspersores son usados para mitigar el polvo. 	<ul style="list-style-type: none"> •

			<ul style="list-style-type: none"> • Una alternativa cambiar a sistema de espuma o nebulización del agua durante la descarga. • La faja transportadora puede ser cubierta para evitar emisión de polvo y consumo de agua. 	
Drenaje			<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de Información. Colección de data histórica agua bombeada. • Diagrama Unifilar/Isométrico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar una labor subterránea debajo del pit y comunicarlas con el pit final mediante perforaciones diamantinas para que sirvan como drenes.
Provisión de agua			<ul style="list-style-type: none"> • El transporte de agua es realizado por tuberías. • Plan de inspección de las tuberías de agua para detectar fugas. • Las tuberías de agua deben tener el diámetro adecuado para tener menos pérdidas por fricción. • Tuberías de agua en superficie enterradas o cubiertas con aislamiento térmico para evitar el congelamiento en tuberías que no tengan flujo continuo. • Utilización de reductores de caudal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reemplazar transporte de agua en cisternas por tubería y bombeo
			<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de información • Colección de data histórica agua bombeada, superficial, reciclada, mina, salada, freatica • Diagrama Unifilar/Isométrico. 	
			<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de consumo de agua mediante el uso de sistemas alternativos en los servicios higiénicos. • Sustitución de los grifos convencionales por grifos de botón. • Usar urinarios sin consumo de agua. 	
	Agua de superficie		<ul style="list-style-type: none"> • Colectar el agua de la superficie y lluvia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Captura por construcción de embalses superficiales.
	Agua freática		<ul style="list-style-type: none"> • Redireccionar el agua freática para las operaciones mina y planta. • Colección de data histórica agua bombeada 	<ul style="list-style-type: none"> • Bombear las aguas a una poza de almacenamiento para su redistribución en el circuito.

	Agua de mina			<ul style="list-style-type: none">• Almacenamiento de agua en reservorios para su redistribución en el circuito.
	Agua reciclada		<ul style="list-style-type: none">• Usar para suprimir polvo.• Redistribución en el circuito.	

Minería subterránea

Diagrama de Flujo del Proceso Productivo

Plan Estratégico de la Gestión de la energía/agua.

Energía

Procesos	Etapas	Tareas	Eficiencia de energía	
			Optimización de Procesos	Inversion
Rotura	Perforación		<ul style="list-style-type: none"> El diseño del método de minado puede conducir a una mejor eficiencia en casos como “Block caving” donde el mineral es llevado por gravedad a un punto estacionario donde puede ser retirado por vehículos eléctricos. Evaluación geomecánica para determinar el método a seguir. El lavado de la pared permitirá identificar características del terreno que son consideradas en el diseño y ejecución de la malla de perforación. Lavado de la pared antes de diseñar la malla de perforación. Colección de data histórica metros perforados. 	
	Carguío con explosivos		<ul style="list-style-type: none"> Optimización del carguío de los explosivos. Ante la presencia de agua, usar explosivo encapsulado. Completar el taconeo de los taladros con cartón u otro elemento. Colección de data histórica cantidad de explosivos. 	
			<ul style="list-style-type: none"> Cargar los explosivos con equipo de alta presión. 	<ul style="list-style-type: none"> Usos mecanizados de carguío como anfoloader u otros.
Limpieza	Excavación		<ul style="list-style-type: none"> Identificación de material a remover 	
		Minimizar dilución del mineral	<ul style="list-style-type: none"> Explotación selectiva (primero mineral, despues caja) El geólogo debe marcar con pintura o banderas las zonas de mineral y desmonte (control de caja). Regar el material a extraer para hacer una mejor clasificación del mineral y desmonte. 	

			<ul style="list-style-type: none"> • Pallaqueo del mineral (separación manual de caja / desmonte / esteril) • Usar en los tajos tela, alfombras o similar para separar mineral explotado del relleno • Aplicar sistema de muestreo y programación de la explotación 	
		Minimizar pérdida de finos	<ul style="list-style-type: none"> • Enlatado de cajones • “ore bag” en las cajores • Empedrado de puntos de embalaje 	<ul style="list-style-type: none"> • Aspiradora para colección de finos
Transporte de mineral	Transporte en carros	Transporte	<ul style="list-style-type: none"> • El transporte desde la zona de carga hacia los echaderos o zonas de almacenamiento debe ser mínimo. • Colección de data histórica material transportado 	<ul style="list-style-type: none"> • Minimizar el uso de equipos diésel en la mina para evitar el incremento de recursos en ventilación. • Usar equipos eléctricos como locomotoras o fajas de transporte.
		Mantenimiento de camiones	<ul style="list-style-type: none"> • El mantenimiento de los camiones debe realizarse lo mas rápido possible para que regresen a sus operaciones. • Realizar el mantenimiento de los camiones en un taller en interior mina para evitar traslados a superficie. 	
		Mantenimiento de la infraestructura de carreteras	<ul style="list-style-type: none"> • Limpieza de los accesos en interior mina para evitar rotura de llantas por la roca. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reemplazar las llantas de cámara de aire por llantas sin cámara. • Cubrir llantas con cadenas para evitar desgaste de llantas
	Faja transportadora		<ul style="list-style-type: none"> • Optimización uso de faja transportadora. • Tener programa de inspección y mantenimiento preventivo. • Colección de data histórica material transportado. • La faja debe estar lo suficientemente estirada para minimizar las resistencias en el rodillo, deflexión del cinturón y material. 	

	Pique		<ul style="list-style-type: none"> • Optimización del pique. • Optimización del compartimiento de piques en el diseño del tamaño y peso de la cuchara también puede reducir el consumo de energía. • Colección de data histórica material transportado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Operaciones de pique versus rampas y transporte en camiones: el factor clave que determina si la tambora o la rampa es usada, es el estudio comparativo del costo de capital entre la construcción de la tambora y quizás el alquiler de una planta móvil. • Debajo de los 600 m debería evaluarse la opción de construir un pique previa evaluación entre el uso de camiones y electricidad consumida.
Transporte de personal		Reducción de pérdida de energía humana durante la llegada al frente de trabajo		<ul style="list-style-type: none"> • Reemplazo de vehículos ligeros por buses para transporte de personal. • Transporte vertical de personal en jaulas reemplazando escaleras
Drenaje			<ul style="list-style-type: none"> • Drenar el agua de lluvia por separado del agua de la mina (ahorro de energía para el drenaje y ahorro de costos para el agua). 	
			<ul style="list-style-type: none"> • Optimización del consumo de energía dependiendo de la presión y cantidad de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las estaciones de bombeo deben usar variadores de velocidad, los cuales permiten regular los requerimientos de flujo.
			<ul style="list-style-type: none"> • El bombeo debe ejecutarse fuera de horas pico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Instalar temporizadores con indicadores de prioridades por niveles.
			<ul style="list-style-type: none"> • Cámaras de bombeo y sumideros • Cámaras de bombeo deben ser controladas de forma automática (sensores) para evitar desperdicio de energía. • Elaborar sumideros intermedios (para evitar el bombeo desde el nivel mas bajo y minimizar la contaminación del agua). 	

			<ul style="list-style-type: none"> • Optimización de bombas • Dependiendo del abastecimiento de energía, podría ser ventajoso tener una capacidad extra de bombeo para volúmenes adicionales durante los periodos pico. • Las bombas no deben ser sobredimensionadas porque bombean poco caudal con un excesivo consumo de energía. • El impulsor de las bombas debe estar en óptimas condiciones para mantener su eficiencia. • Sellos mecánicos para bombas son mas eficientes que empaquetaduras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bombas estacionarias verticales poseen mayor eficiencia y son capaces de parar y arrancar sin inconvenientes.
Soporte Techo y Piso			<ul style="list-style-type: none"> • Mejora en el tiempo de sostenimiento • Cajas de la labor recién disparada. 	<ul style="list-style-type: none"> • El shotcrete ahorra tiempo de sostenimiento en zonas donde se realizaba sostenimiento con madera o malla. • Lanzamiento de shotcrete vía húmeda rinde mayor avance que el sostenimiento vía seca (30 m³ por guardia vs 10 m³ x guardia).
Ventilación			<ul style="list-style-type: none"> • Ventiladores pueden consumir hasta el 40% de la energía usada en la mina • Los ventiladores deben operar en los momentos cruciales de la operación. Después de la voladura es necesario prender todos los ventiladores a su máxima capacidad para ventilar la mina antes que la siguiente guardia ingrese a trabajar. • La configuración de las paletas de los ventiladores debe ser la adecuada de acuerdo a los requerimientos de la mina. • Evitar ventilar con aire comprimido ; reemplazar esta práctica por ventiladores 	

			<ul style="list-style-type: none"> • Optimización de la metodología • El método mas eficiente de energía para el control del flujo es el uso del variador de velocidad y temporizadores. • Mientras más denso aire frío en la mina es más fácil de bombear hasta un 15%. En meses frios, es una oportunidad de reducir energía mientras mantenemos los niveles adecuados de ventilación • En meses calientes puede ser factible enfriar el aire que ingresa (por directa o indirecto enfriamiento por evaporación) para reducir la carga al ventilador. • Simulación de la red de ventilación con software con mediciones de campo es una ventaja para determinar los requerimientos de aire despues de la voladura, durante la operación y tiempos muertos • Cálculo del ingreso del caudal fresco en base a equipos, personal, talleres, etc. • Los diámetros inadecuados de Raiseborer, chimeneas, ventiladores pueden causar pérdidas de presión. • Reparación de las mangas de ventilación (no debe tener fugas de aire) • Los ductos de ventilación deben ser los más rectos posibles, evitando codos • Colección de data histórica aire ingresante y saliente. • Diagrama Unifilar/Isométrico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar controles (incluyendo temporizadores) de ventiladores secundarios para minimizar el consumo de energía en la operación.
Expansion				<ul style="list-style-type: none"> • Diseñar métodos de minado masivos, estos permiten dejar cavidades, las cuales deben ser rellenadas para mayor estabilidad mediante el relleno de las cámaras explotadas.
Provision de energia	Diesel		<ul style="list-style-type: none"> • El abastecimiento de combustible debe ser realizado en el lugar de operaciones para evitar traslado de equipos. • Colección de data histórica consumos. • Factura de combustibles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tener un equipo móvil para el abastecimiento de diesel.

	Energía eléctrica			<ul style="list-style-type: none"> • Conexión directa a la red eléctrica debe ser considerada. Al planificar el diseño de la mina, es conveniente prever para la extensión del sistema de distribución eléctrica subterránea.
			<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de Información. Usar indicador eficiencia energética: Energía eléctrica/Ton material extraído (sin considerar energía en ventilación) • Colección de data histórica • Diagrama Unifilar/Isométrico. • Factura de energía. 	
			<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de la potencia de arranque. • Secuenciar el arranque de maquinaria para minimizar picos 	<ul style="list-style-type: none"> • Usar variador de frecuencia para disminuir el inicio de los motores.
	Energía neumática	Generación	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar tanques de almacenamiento de aire comprimido para no bajar la presión requerida. • Los motores no deben ser antiguos, pierden su eficiencia. • Colección de data histórica 	<ul style="list-style-type: none"> • Se colocará un tanque (pulmon) al inicio del compresor y en puntos intermedios para asegurar una correcta presión para los usuarios.
		Distribución	<ul style="list-style-type: none"> • Minimizar los escapes de aire comprimido. • Tener tubería de 4" o 6" hasta el último pulmon para reducir pérdidas de presión. • Utilizar tubería de PE en vez de acero (menor fricción). • Inspección del circuito de aire comprimido e instalación de manómetros en puntos estratégicos. • No usar el aire comprimido para ventilar labores mineras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las troncales principales deben tener el suficiente diámetro que permita la distribución de aire a la presión apropiada.
			<ul style="list-style-type: none"> • El sistema de aire comprimido deberá ser purgado frecuentemente por la existencia de agua condensada 	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de válvulas de descarga en el circuito para evitar obstrucciones.

			<ul style="list-style-type: none"> • Los compresores sin carga por tiempo prolongado deben programarse para un apagado automático. • Cada nivel debe tener su válvula principal de aire comprimido (la cual esta cerca de la línea principal). • La instalación de las tuberías debe ser con gradiente negativa en el sentido del flujo. 	
	Explosivos		<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de Información. Colección de data histórica avances /explotación 	
Provisión de agua				<ul style="list-style-type: none"> • Usar variadores de frecuencia en el sistema de bombeo que permita captar solamente la cantidad de agua requerida.

Agua

Procesos	Etapas	Tareas	Eficiencia de agua	
			Optimización de Procesos	Inversion
Rotura	Perforación		<ul style="list-style-type: none"> • Recirculación del agua. • Los equipos de perforación deben usar bombas de alta presión para mayor presión en el barrido y menor flujo de agua. • Programa de monitoreo de la línea base inicial (calidad del agua, flujo, biológicos). 	
	Carguio de explosivos		<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de costos por el uso de explosivos a prueba de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> • Evacuar el agua con un sistema de bombeo.
Limpieza	Excavación/carguio de material		<ul style="list-style-type: none"> • Humedecer el material antes que sea cargado 	
Transporte	Transporte de camiones	Transporte	<ul style="list-style-type: none"> • Los materiales transportados emitirán menor polvo al ser humedecidos. 	
		Mantenimiento de camiones	<ul style="list-style-type: none"> • El lavado de equipos de se hara con agua a presión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de un sistema de presión de agua para el lavado de equipos, el agua residual será recirculada.

		Mantenimiento de la infraestructura de carreteras		<ul style="list-style-type: none"> • Usar un sistema alternativo como aditivos o supresores de polvo como sales, agentes tensioactivos, pavimentación, etc.
	Cinta transportadora		<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de aspersores son usados para mitigar el polvo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Una alternativa cambiar a sistema de espuma o nebulización del agua durante la descarga.
	Shaft transport			<ul style="list-style-type: none"> • Los piques deben impermeabilizarse para el adecuado transporte del material y personal.
Drenaje			<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de Información. Colección de data histórica agua bombeada. • Diagrama Unifilar/Isométrico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar las empaquetaduras por sellos mecánicos en las bombas para un ahorro de energía.
Soporte Techo y Piso			<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de la roca. Regar con agua las cajas de la labor recién disparadas para identificar roca fracturada o zonas de riesgo. 	
Ventilación			<ul style="list-style-type: none"> • Regar agua con aspersores en los frentes para minimizar el polvo. 	<ul style="list-style-type: none"> •
Expansion			<ul style="list-style-type: none"> • Minimiza las operaciones de relave. 	<ul style="list-style-type: none"> • El relave es ingresado como relleno en pasta a los tajos vacíos de la mina con un contenido de sólidos de 75% mediante tuberías
Provisión de agua			<ul style="list-style-type: none"> • El transporte de agua es realizado por tuberías. • Plan de inspección frecuente para la reparación de fugas. • Las gradientes de las tuberías deben ir en el sentido del flujo del agua. • Las tuberías de agua deben tener el diámetro adecuado para tener menos pérdidas por fricción. 	

			<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de información Colección de data histórica agua bombeada, superficial, reciclada, mina, salada, freatica • Diagrama Unifilar/Isométrico. 	
	Agua Superficie		<ul style="list-style-type: none"> • Evitar que el agua de supercie ingrese a la mina. • Almacenar el agua en embases superficiales • Colección de data histórica 	
	Agua freática		<ul style="list-style-type: none"> • Redireccionar el agua freática para las operaciones mina y planta. Tomar el agua freática para las operaciones mina. • Bombear el agua freatica a un punto elevado de almacenamiento, para que que luego sea un suministro de agua por gravedad al proceso. 	
	Agua de mina			<ul style="list-style-type: none"> • Almacenamiento de agua en reservorios para integrarlas al circuito.
	Agua reciclada		<ul style="list-style-type: none"> • Usar para suprimir polvo. • Redistribución en el circuito. 	
			<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de consumo de agua por el uso de sistemas alternativos en los servicios higiénicos. • Sustitución de los grifos convencionales por grifos de botón. • Urinarios sin consumo de agua. 	

Concentración de minerales

Diagrama de Flujo del Proceso Productivo

Plan Estratégico de la Gestión de la energía/agua.

Energía

Procesos	Etapas	Tareas	Eficiencia de agua	
			Optimización de Procesos	Inversion
Almacena- miento				<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar las oportunidades de pre-trituración y transporte por fajas en vez de camiones.

Reducción de tamaño	Triturado		<ul style="list-style-type: none"> • Optimización de la granulometría del material. Cribado antes de cada etapa de trituración y molienda • El circuito de chancado debe usarse en su rendimiento óptimo para el ahorro de energía. • Trituración de material en el tajo para reducir costos de transporte. • Configuración del tamaño del chancado y evitar la recirculación del material • Asegurar un continuo y uniforme alimentación de material. 	<ul style="list-style-type: none"> • Trituración Primaria: <ul style="list-style-type: none"> • Trituradora de mandíbulas: menos de 500 ton/h • Trituradora giratoria: mayor a 750 ton/h
			<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de Información. Usar indicador eficiencia energética: Energía eléctrica en chancado/Ton material chancado. • Colección de data histórica material chancado. 	
	Molienda	Optimización de la molienda.	<ul style="list-style-type: none"> • Lubricación de los rodamientos. • Optimización de los tamaños de esfera. • Optimización de los tamaños de partícula de alimentación (tan pequeñas como sea posible). • Test intermedio del circuito de molienda (rectificar el tamaño). • Evitar pérdida de finos en el proceso (como polvo), colectar estos finos, que representan un recurso con valores a recuperar ya triturado 	<ul style="list-style-type: none"> • Aspiradora para colecta de finos
Clasificación	Flotación		<ul style="list-style-type: none"> • Reemplazar los cinturones de cuña (usan fricción para transferir trabajo) por los cinturones de diente que son mas eficientes. • Oxígeno enriquecido; reduce los volúmenes de aire requerido para la separación. • Altas temperaturas; reduce la viscosidad de los fluidos para reducir los requerimientos de energía de bombeo. 	

	Lixiviación		<ul style="list-style-type: none"> • Gotear agua caliente incrementa la recuperación en un 5% y acelera el periodo sw lixiviación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Usar energía solar térmica en los procesos de lixiviación para aumentar la temperatura de la solución, lo que conduce a la mejora de la recuperación de metales.
	SX/EW		<ul style="list-style-type: none"> • Reducir la distancia entre electrodos. • Usar indicador eficiencia energética: Energía eléctrica SxEw/Ton Cu fino en catodos EO 	
Tratamiento de productos y relaves			<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de efluentes / Manejo de Información. • Aumento de la densidad de los espesadores reduce la cantidad de agua enviada de los depósitos de relave. • Colección de data histórica concentrado producido. 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar el secado de concentrados con energías residuales como energía solar y gases de escape.
Deposición de relaves			<ul style="list-style-type: none"> • Los relaves deben localizarse cerca de la planta para reducir el costo de bombeo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Usar separación liquido-sólido mediante espesadores y filtros de banda para secar los relaves (aumento de densidad en 75%)
Drenaje			<ul style="list-style-type: none"> • El bombeo debe ejecutarse fuera de horas pico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Instalar temporizadores con indicadores de prioridades por niveles.
Provisión de energía	Diesel		<ul style="list-style-type: none"> • Colección de data histórica de consumo. • Factura de combustible 	
	Energía eléctrica		<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de Información. Usar indicador eficiencia energética: Energía combustibles/Ton mineral tratado (no se considera consumo de plantas de molibdeno) • Revisar la condición de los equipos periódicamente. • Colección de data histórica consumo. • Factura de energía. • Diagrama Unifilar/Isométrico. 	
			<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de la potencia de arranque. Programar arranque de nforma secuencial para evitar picos de demanda de potencia durante el arranque o reinicio de procesos 	<ul style="list-style-type: none"> • Usar variador de frecuencia y tableros con capacitores para disminuir el consumo eléctrico al arrancar los motores.

Provisión de agua			<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de información Colección de data histórica agua bombeada, superficial, reciclada, mina, salada, freatica. • Diagrama Unifilar/Isométrico 	
	Agua de superficie		<ul style="list-style-type: none"> • Tener inventario de acuíferos. • Bombeo de agua en tuberías en vez de transporte con cisternas. • Definir un plan de gestión y medidas de mitigación. • Monitoreo sistematico del consumo y calidad. 	
	Agua de mina			<ul style="list-style-type: none"> • Recuperar agua de la mina para que ingrese al circuito de mina/planta.
	Agua marina	Salada	<ul style="list-style-type: none"> • El agua es bombeada desde el mar a la planta concentradora por tuberías. • Colocar filtros para remover los sólidos en suspensión y anadir un reactivo inhibidor de la corrosión para extender el tiempo de vida de la tubería. 	
	Agua reciclada	Desalada	<ul style="list-style-type: none"> • Formación de agua en los pits debe ser recirculada. 	

Agua

			Eficiencia de agua	
Procesos	Etapas	Tareas	Optimización de Procesos	Inversion
Almacena- miento		Minimizar la gerneracion de polvo	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema de nebulización permitirá la eliminación del polvo que es generado por la deposición de material. • Los depósitos pueden estar encapsulados en un domo para evitar el polvo y mitigación por agua. 	
Reducción de tamaño	Triturado		<ul style="list-style-type: none"> • En este proceso se utiliza aspersores de agua para mitigar el polvo producto de la trituración. Cambiar por un sistema de nebulización del agua. 	
	Molienda		<ul style="list-style-type: none"> • Moler el mineral hasta que llegue el tamanno optimo para que pueda ser separado por clasificación seca antes de entrar a flotación. 	

Clasificación	Concentración gravimétrica		<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de sólidos en los conos Reichert es del 55% - 60%, 20% -25% de mesas vibratorias, y el 7% -10% en los separadores de Bartles-Mozley. 	<ul style="list-style-type: none"> • Separación sólido- líquido. • El agua sera reciclada por existir pocos sólidos en suspension.
	Flotación			<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de espesadores de alta densidad para bombear el revale como una pasta de baja cantidad de agua.
			<ul style="list-style-type: none"> • Evitar la evaporación de agua. Se detecta evaporación de agua que puede ser reusada en la planta. • Cubrir las áreas de espesamiento para evitar el evaporamiento del agua. 	
	Lixiviación		<ul style="list-style-type: none"> • Areas donde existe evaporación de agua es asociada cuando la solución ligera de acido sulfúrico es rociada sobre mineral triturado. • Instalación de plástico impermeable para cubrir las áreas de irrigación, de esta forma se reduce la evaporación de solución y decomposición del cianuro. • La granulometría del mineral a lixiviar debe ser lo mas fino posible para que el agua pueda cubrir mas area y usar menos recursos hídricos. En PAD los finos pueden ser agglomerados/pelletizados 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar el método tradicional de riego por goteo de agua (water efficient drip irrigation). Ahorrándose mas de 40 de agua, mejorando la eficiencia de irrigación hasta un 90%. • Construcción de drenaje basico, intemerdio y tubos de drenaje.
	SX/EW		<ul style="list-style-type: none"> • Minimizar la evaporación 	<ul style="list-style-type: none"> • Una gruesa capa de bolas de plástico es mantenido en la superficie del electrolito.
Tratamiento de productos y relaves				<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la densidad de los desechos en espesadores reduce la cantidad de agua enviada a los depósitos de relaves. • Evitar transporte hidraulico de productos (especialmente en zonas con escasez del agua) y reemplazar por transporte por camión.

Deposición de relaves			<ul style="list-style-type: none"> • Minimizar la cantidad de agua en los relaves. • Aumentar la densidad de los relaves y compactar los relaves con equipos. • Construcción de drenaje que permite la recuperación de la infiltración del agua de las presas de relaves. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilización de filtros de banda para el secado de los relaves, lo cual aumentará su concentración en peso hasta 75%. • Cubrir el fondo y la pared de la presa con impermeable material tal como grava, arcilla, material de lixiviación o geomembranas.
Drenaje			<ul style="list-style-type: none"> • Captura y reciclado de filtraciones en los relaves. • Colección de data histórica agua bombeada, 	<ul style="list-style-type: none"> • Instalar drenajes debajo de los relaves. • Instalar drenajes alrededor del relavero y reciclar el agua captado.
Provision de agua			<ul style="list-style-type: none"> • Plan de inspección de las tuberías de agua para detectar fugas. • Las tuberías de agua deben tener el diámetro adecuado para tener menos pérdidas por fricción. • Colección de data histórica agua bombeada, reservorios, salada, desalada, reciclada. 	
	Agua de superficie		<ul style="list-style-type: none"> • Colectar el agua de la superficie y lluvia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de embalses superficiales y acuíferos.
	Agua freática		<ul style="list-style-type: none"> • Redireccionar el agua freática para las operaciones mina y planta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bombear las aguas a una poza de almacenamiento para su redistribución en el circuito.
	Agua marina	Salada		<ul style="list-style-type: none"> • El agua marina sera desalinizada y transportada al lugar de la operación minera en caso de no existir recurso hídrico cercano.
	Agua reciclada		<ul style="list-style-type: none"> • Las presas de relaves brindan el agua reciclada cuyas condiciones ambientales y químicas deben considerarse 	<ul style="list-style-type: none"> • Las presas de almacenamiento de agua deben cubrirse para evitar su evaporación. • El agua reciclada debe integrarse al circuito de mina y planta

Literatura

Agência Nacional de Águas (Brazil): Water resource management and the mining industry / National Water Agency, Brazilian Mining Association ; Antônio Félix Domingues, Patrícia Helena Gambogi, Boson, Suzana Allpaz, organizers. -- Brasília: ANA: IBRAM, 2013.

Bezirksregierungen Arnsberg, Detmold, Düsseldorf, Köln, Münster: Checkliste Industrieabwasser, 2014

Bezirksregierungen Arnsberg, Detmold, Düsseldorf, Köln, Münster: Checkliste vorhandener Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, 2013

Bhukya, P.: Preliminary electrical energy audit analysis of mineral based industry, International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 4, Issue 5, May 2014, ISSN 2250-3153

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU); Umweltbundesamt (UBA): Energiemanagementsysteme in der Praxis ISO 50001: Leitfaden für Unternehmen und Organisationen Berlin 2012

Buser, J.: Energiemanagementsysteme nach ISO 50001 und Energieaudits nach EN 16247-1: Optimierung der Energiebilanz und Zugang zum Spitzenausgleich für KMU; Presentation at IHK Lübeck, 31. Mai 2013

Camt Group: Report on Detected Energy Inefficient and Energy Intensive Equipment, June 2011

Canadian Industry Program for Energy Conservation (CIPEC): Energy Savings Toolbox – An Energy Audit Manual and Tool,

Centre for Renewable Energy Sources: Energy Audit Guide, Part A: Methodology And Technics, ADAPT, European Committee, Directorate General for the Employment and Social Affairs, European Social Fund, Athens, May 2000

Centre for Renewable Energy Sources: Energy Audit Guide, Part B: System Retrofits for Energy Efficiency, ADAPT, European Committee, Directorate General for the Employment and Social Affairs, European Social Fund, Athens, May 2000

Chaparro Ávila, E.: Los Procesos Mineros Y Su Vinculación Con El Uso Del Agua; Curso: Políticas para el uso sostenible del agua y prestación eficiente de servicios públicos vinculados a ella. CEPAL/ DRNI, Santiago de Chile, Abril 2009

Cochilco: Best Practices and Efficient Use of Water in the Mining Industry; Santiago de Chile, OCTOBER 2008, Registration No. 176715, ISBN: 978-956-8242-10-7

Cochilco: Construcción de Indicadores de Eficiencia Energética en Minería, Cochilco, Santiago de Chile, Noviembre 2014

Cochilco: Proyección de consumo de agua en la minería del cobre 2014-2025; Informe DE 23/2014, Santiago de Chile, 2014

Environment Australia: Energy Efficiency & Greenhouse Gas Reduction; Commonwealth of Australia, 2002; ISBN 0 642 99711 X of the series 0 642 19418 1

European Council for an Energy Efficient Economy; Industrial audits: A comprehensive and evidence-based primer for policy-makers and decision makers in the private and public sectors, eceee Stockholm, 2014

Government of Australia, Department of Resources, Energy and Tourism: Energy Efficiency Opportunities: Energy–Mass Balance: Mining, Version 1.0, Commonwealth of Australia, October 2010, ISBN 978-1-921516-85-6 (paperback)

Government of Australia, Department of Resources, Energy and Tourism: Leading Practice Sustainable Development Program for the Mining Industry: A Guide To Leading Practice Sustainable Development In Mining, Commonwealth of Australia, July 2011, ISBN 978-1-921812-49-1 (online PDF)

Government of Australia, Department of Resources, Energy and Tourism: Leading Practice Sustainable Development Program for the Mining Industry: Water Management; Commonwealth of Australia, Canberra, May 2008

Grinbergs, K.; Gusta, S.: Energy Audit Method For Industrial Plants, Energy Case; 4th International Conference CIVIL ENGINEERING`13 Proceedings Part I, Industrial Energy Efficiency, 2013

Guia de Ahorro Energético; Instalaciones Industriales, Madrid, 2006

Gunson, A.J.; Klein, B.; Veiga, M.; Dunbar, S.: Reducing mine water requirements, Journal of Cleaner Production 21 (2012) p. 71-82, Elsevier, 2012

GutCert: Leitfaden; in 18 Schritten über 3 Stufen zum effizienten Energiemanagement nach ISO 50001, Version 4.2, Berlin, 2014

Hasanbeigi, A.; Price, L.: Industrial Energy Audit Guidebook: Guidelines for Conducting an Energy Audit in Industrial Facilities; Berkeley Laboratories; China Sustainable Energy Program of the Energy Foundation through the U.S. Department of Energy, October 2010

Hernandez, S.: Recursos hídricos en laminería del cobre; Seminario“El uso sostenible del agua en la minería: los desafíos actuales y futuros”, Cochilco, Presentación

ICMM: A practical guide to catchment-based water management for the mining and metals industry, pdf-tool, 2015

ICMM: Guía práctica para la gestión del agua en áreas de captación para la industria minera y metalúrgica, pdf-tool, 2015

ICMM: Medio ambiente y cambio climático: Marco de referencia para la gestión del agua, Abril 2014

ICMM: Mining and effective water stewardship, Good Practice; The newsletter of the International Council on Mining and Metals, Vol 12 Issue 1, December 2014

ICMM: Water management in mining: a selection of case studies, May 2012

ICMM: Water stewardship framework, Abril 2014

IFC: Water, Mining and Communities: Creating Shared Value through Sustainable Water Management, Discussion paper, May 2014

Intosai Working Group on Environmental Auditing: Auditing Mining: Guidance for Supreme Audit Institutions, 2010; ISBN 978-9949-9055-9-1 (PDF)

Johnson, D.; Fourie, C.J.S.: An Overview Of Energy Efficiency In South African Hard Rock Mining; in: Van Wyk, J, Weidema, J, Fikela, N: “Digest of South African Energy Statistics 2006”, Department of Minerals and Energy, 2006, ISBN: 0-9584376-4-5

Kabanshi, A.: Energy Audit and Management: A Case study of Konkola Copper Mines plc., Nchanga Mine-Zambia, Thesis, University of Gävle, Sweden, September 2012

Lavelaine, H.; Allanore, A.: Optimized Design of an Iron Electrowinning Cell, Proceedings of the 4th Ulcos seminar, 1-2 October 2008

Levesque, M.: An improved energy management methodology for the mining industry, Thesis, Laurentian University, Sudbury, Ontario, Canada, 2015

Millennium Energy Industries: 25+MW Solar Heating Commercially Viable for Solvent Extraction Electro Winning (SX EW) and Heap Leaching, Presentation at enermin2012

Mining Association of Canada (MAC): PROTOCOLO DE EVALUACIÓN DE LA INICIATIVA HMS: Una herramienta para evaluar el desempeño de la gestión del uso energético y las emisiones de gas que contribuyen al efecto invernadero; TSM Canada, 2015

Mining Association of Canada (MAC): Towards Sustainable Mining (TSM); Water Stewardship Framework, November 2015

Mining Association of Canada (MAC): Towards Sustainable Mining (TSM); understanding the TSM assessment protocols

Mining Association of Canada (MAC): TSM ASSESSMENT PROTOCOL: A Tool for Assessing Energy Use and Greenhouse Gas Emissions Management Performance, TSM Canada, 2015

Mining Association of Canada (MAC); Towards Sustainable Mining; Energy and Greenhouse Gas Emissions Management; Reference Guide, TSM Canada June 2014

Morel, T.: Minería, Agua y Sustentabilidad, Presentación durante el Foro Chileno – Alemán de Minería, 24 de noviembre 2015

National Centre for Sustainability, Swinburne University of Technology: National Strategy for Energy Efficiency: Energy Efficiency Supplement; Sustainability Victoria 2012

Pizarro C., N.: Agua Recurso Estratégico en Minería, Presentación, Marzo 2012

Sahoo, S. L. K.: Energy efficiency in Mining Sector

Sepulveda, J.: Los 10 ‘Mandamientos’: Criterios Para La Optimizacion Operacional De Procesos De Molienda Fina De Minerales; E.T.S. De Ingenieros De Minas Y Energía, Madrid, Octubre 2015

US Department of Energy, Industrial Technologies Program: Mining Industry Energy Bandwidth, 2007

Wiechmann, E.; Aqueveque, P.: Improving Productivity and Energy Efficiency; in Copper Electrowinning Plants, Article in IEEE Transactions on Industry Applications, September 2010

Resources:

<http://eex.gov.au/industry-sectors/mining/opportunities/>

<http://www.e-mj.com/features/5036-identify-energy-efficiency-improvements-to-cut-operating-costs.html#.VvuNETFW5SA>

<https://www3.epa.gov/region9/waterinfrastructure/industry.html>