

Mecanización del Desmonte en Compañía Minera Antamina
Propuesta para capturar el valor tangible e intangible de la mecanización

Néstor Deza¹, Kim Montes²

¹ Compañía Minera Antamina, Lima Perú, Néstor Deza, ndeza@antamina.com

² Compañía Minera Antamina, Lima Perú, Kim Montes, kmontes@antamina.com

Descargo de Responsabilidad:

La información vertida en el presente documento solo revela estudios en marcha por parte de Antamina y en ningún caso suponen un compromiso de inversión; y, por tanto, no puede emplearse como una guía para tomar decisiones de inversión presentes o futuras.

RESUMEN

En los últimos 20 años la operación minera en Antamina ha profundizado su tajo, el *stripping ratio* y la distancia de acarreo de desmonte, se han seguido incrementando para mantener la producción metálica. Tal como ocurre en las todas operaciones mineras de tajo abierto, se espera en los próximos años un incremento sustancial de la cantidad de desmonte a remover conforme se avance las siguientes extensiones de vida. En adición a esta situación, los recientes compromisos globales de reducción de emisiones de carbono exigen reducir progresivamente hasta eliminar el 100% la emisión de carbono, opuesto a lo requerido para seguir operando con métodos convencionales. Estos dos factores afectan la sustentabilidad en el largo plazo en todas las empresas mineras maduras como en el futuro de Antamina.

El equipo de desarrollo de negocios de Antamina empezó desde el 2018 a analizar diferentes alternativas de solución que pudieran resolver estos retos y que permitan transformar la operación, asegurando su sostenibilidad y la creación el valor sus diferentes grupos de interés.

El resultado de estos estudios fue la propuesta de un sistema de remoción del desmonte usando sistemas mecanizados de fajas en conjunto con camiones. Como parte de los resultados del estudio de mecanización se desprenden tres mensajes claves: Primero, Hay un largo camino a recorrer para transformar una mina convencional en operación en una en una altamente mecanizada. Segundo, la mecanización del desmonte crea la posibilidad de usarlo en mezcla con relaves deshidratados como una

fuerza para eliminar presas de relaves y con ello potencialmente transformar la industria minera mundial y; tercero, el uso de sistemas mecanizados agrega un valor superior.

Aún queda un largo camino por recorrer y están pendientes resolver varias incertidumbres, sin embargo, el objetivo principal de este escrito es PROPONER un enfoque de solución, compartir la experiencia y resultados del análisis del caso Antamina para influenciar a la industria mineral nacional y también mundial a enfrentar los retos comunes que se nos presentan en los siguientes años.

1. Introducción

1.1. Contexto en la Minería

El *stripping ratio* representa la relación volumétrica entre la cantidad de desmonte que hay que retirar para acceder a una unidad de mineral con valor económico. Típicamente se le representa como A:1 que significa que se requiere retirar "A" unidades de desmonte para acceder a una unidad de mineral. Una mina de baja ley de pórfidos de cobre puede considerarse como buena si tiene un *stripping ratio* de 3:1 mientras que minas en operación por encima de 10:1 son extremadamente rara a menos que posean una extraordinaria ley.

En minería de tajo abierto, este factor es determinante en el valor económico de producción y por lo tanto en la decisión de inversión en un proyecto nuevo cuando a este factor se le evalúa junto con la ley del recurso mineral.

Terminada la fase de inversión inicial, las sucesivas extensiones de vida de una operación minera requieren acceder al mineral que está en las capas más profundas del depósito, para ello requieren normalmente

remover una mayor proporción de desmonte, los botaderos de desmonte cercanos se agotan por lo que la distancia de acarreo es mayor y potencialmente el recurso mineral tiende a tener menor ley o a ser más escaso. Todos estos factores determinarán finalmente la vida del yacimiento y con ello el fin de la operación rentable. A menos que los recursos minerales sean los suficientes y con una ley aceptable, la siguiente alternativa antes del cierre es la conversión parcial y luego total de método de operación Open Pit a una operación subterránea.

Por lo tanto, extender la vida de una mina a tajo abierto implica remover más desmonte y transportarlo a mayor distancia con el uso de una mayor flota de acarreo y con ello un incremento en los costos y la huella ambiental proveniente del mayor uso de combustible, equipos, y espacio físico. La extensión de vida de una mina para que sea rentable puede o venir acompañada de un incremento en la tasa de procesamiento de la planta para asegurar un retorno atractivo para los inversionistas.

Por otro lado, al igual que muchos de los países del mundo, el Perú ha firmado el pacto de París en la COP21 el 12 de diciembre del 2015 en donde se han asumido compromisos para lograr la condición de Carbono- Neutral. Esto implica la reducción de carbono en no menos de 30% al 2030 y de una 100% al 2050.

1.2. Reto de Antamina

Antamina desarrolló los estudios conceptuales y de prefactibilidad sobre posible mecanización del desmonte entre el 2018 y el 2020 e ingeniería de factibilidad desde el 2021. El objetivo de los estudios fue la garantizar la sostenibilidad de la operación con la eliminación de cuellos de botella en mina, la mantención de bajos costos a lo largo de la vida de la operación, la aplicación tecnología como una forma de asegurar la generación de valor para todos sus grupos de interés.

Entre los retos principales de seguir operando de manera convencional son:

- a. El incremento del *stripping ratio* que al inicio del proyecto fueron menores al 1:1 y en las sucesivas extensiones de vida se incrementarán por encima del 4:1 y en algunas fases futuras pudiera superarse este valor
- b. El incremento de la distancia de acarreo en hasta cuatro veces
- c. El incremento del costo operativo
- d. El incremento de las huellas ambientales y la falta de depósito de desmonte cercanos

- e. El incremento de la congestión de camiones en las intersecciones y vías principales
- f. Incremento potencial incremento de las emisiones de carbono, del polvo y del ruido provenientes del incremento de flota requerido
- g. Restricciones de espacio para presas de relaves
- h. La necesidad de reubicar impostergable de reubicar infraestructura
- i. La operación convencional llevada exitosamente de la misma manera los últimos veinte años de operación

1.3. Consecuencias de no mecanizar

No mecanizar significa condenar relativamente temprano la operación al cierre por los siguientes motivos:

- a. La operación con las sucesivas extensiones de vida pierde competitividad frente a otros yacimientos más jóvenes
- b. Mala posición económica ante una caída cíclica de precios
- c. Pérdida del atractivo como empresa por parte de los accionistas frente a subsiguientes extensiones de vida
- d. No logro en la reducción de compromisos ambientales y las correspondientes multas y pérdidas de reputación y hasta el cierre
- e. Destrucción del valor para todos los grupos de interés

2. Primer Mensaje: Hay un largo camino a recorrer para transformar una mina convencional en operación en una en una altamente mecanizada

Transformar una operación *brownfield* tradicional a una altamente mecanizada es un reto complejo debido a factores que condicionan el cambio. Se requiere transformar la infraestructura operativa, introducir nuevos procesos, instalar nuevos sistemas, adquirir nuevos conocimientos, gestionar la voluntad de cambio y ajustar la organización.

2.1. Análisis Conceptual de Soluciones

Como parte de los estudios conceptuales y de selección de alternativas se evaluaron múltiples opciones que describimos brevemente

2.1.1. Movilidad de Sistemas mecanizados

Se evaluó la conveniencia de tener estaciones fijas, semimóviles y totalmente móviles para el chancado tanto de mineral como de desmonte con diferentes planes de minado.

- 2.1.2. Ubicación InPit vs ExPit de los equipos de chancado
Se evaluó los planes mineros en relación con las ubicaciones y reubicaciones de las estaciones a lo largo de los diferentes planes de extensión de vida
- 2.1.3. Comparación entre tecnologías de chancado
Se hizo un trade-off de Sizer vs Giro-cónica para evaluar la capacidad, confiabilidad y costo de equipo e infraestructura relacionada
- 2.1.4. Uso de grizzly
Se evaluó el beneficio del uso de una parrilla para separación de material fino y grueso, sus costos, confiabilidad y caso de valor
- 2.1.5. Uso de faja overland versus uso de túnel
Se evaluó los tiempos de construcción, capex, opex y confiabilidad del sistema
- 2.1.6. Grado de mecanización entre full mecanizado
Se analizó el uso equipos full móviles e híbrido con el uso de camiones
- 2.1.7. Grado de Autonomía
Se evaluó el valor de caso full camiones autónomos
- 2.1.8. Pilas de almacenamiento
Se analizó el uso o no de pilas de almacenamiento y su impacto en la confiabilidad de los sistemas
- 2.1.9. Ubicación
Se comparó las ubicaciones con relación al tajo para evaluar el valor de los sistemas de ubicación comparado múltiples casos de negocios y planes mineros

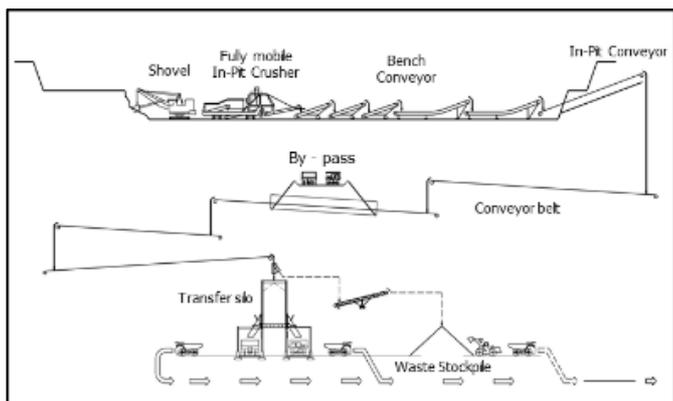


Figura 1 - Vista de sistema Full Mobile InPit evaluados

2.2. Resultado de las evaluaciones individuales

A continuación, se resumen los principales resultados para las opciones evaluadas que formaron parte de los casos mencionados:

- a. Las opciones de chancado fijas aportaron mejor valor si la extensión de vida superaba el periodo de *payback*. Para los casos de

estaciones semimóviles, se requieren por lo menos de una o hasta dos reubicaciones de no más de tres semanas cada una para que superen al valor de las estaciones fijas. Por otro lado, las estaciones móviles mostraron una alta relación *Capex /Tn* para la capacidad que ofrecían y no fueron atractivas económicamente.

- b. Los chancadores con una ubicación *ExPit* crearon mejor valor para los planes de extensión de vida propuestos por el costo y la indisponibilidad de los sistemas durante la mudanza requeridas en operaciones con chancado *InPit*
- c. Las chancadoras giro-cónicas mostraron una mejor confiabilidad, y potencia para procesar materiales duros y mayor capacidad para el desmote que se requiere procesar en nuestra mina
- d. El uso de *grizzly* en conjunto con una chancadora giro-cónica aumentaba la inversión capital en el edificio, disminuía la confiabilidad del sistema y no recuperaba la inversión de la funcionalidad extra
- e. La construcción de un corredor para la construcción de una faja *overland* superó en tiempo la construcción de un túnel y restaba valor al caso de negocio. Adicionalmente, una sola faja dentro de un túnel podía reemplazar cuatro fajas *overland*, con menor CapEx, Opex y mejora de la confiabilidad por lo que la opción de túnel fue la seleccionada.

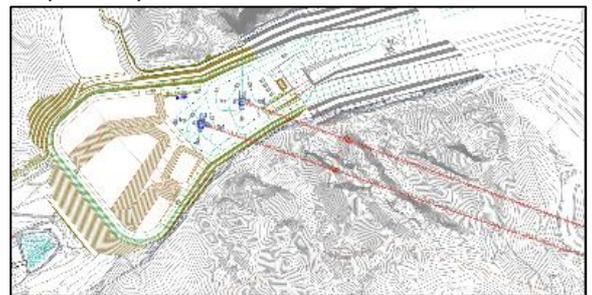


Figura 2 – Layout de opciones de fajas con túnel en Quebrada Antamina

- f. La opción de usar camiones en la mina mostró mejor flexibilidad debido a la variabilidad del *skarn* de Antamina. Lo mismo para zonas específicas en la disposición de desmote en la geografía montañosa en la que se encuentran los depósitos de desmote. Por lo que la configuración híbrida se ajustó mejor a las necesidades de Antamina
- g. El uso de la autonomía genera valor en cualquier caso ya sea sobre convencional o

en híbrido, sin embargo, no es una transición paulatina y requiere de mayor estudio.

- h. La inserción de pilas de almacenamiento fue simulada y mostraron una mejora sustancial de la confiabilidad del sistema y uso de la capacidad de las fajas aguas debajo de las mismas
- i. Las ubicaciones de las estaciones de chancado con mayor diferencia de altura entre el punto de chancado y de descarga reemplazaron más eficientemente los camiones mineros



Figura 3 - Diferentes ubicaciones de las estaciones de chancado

2.3. Influencia de las condiciones de Sitio en los resultados

Algunos de los resultados obtenidos en nuestro estudio pueden parecer contraintuitivos si los comparamos contra los principios que postulan los sistemas de IPCCS (*In Pit Crushing Conveying Systems*). No por eso hay pocas minas que usan los IPCCS en la actualidad, en especial si son *brownfield*, hay varios estudios, pero muy pocos han superado la etapa de factibilidad. En el caso de Antamina esto no ha sido diferente. Los sistemas mecanizados tal como están concebidos en el IPCCS compiten con los sistemas convencionales en los siguientes puntos:

- a. Los sistemas mecanizados requieren alta inversión inicial y por lo tanto requieren un tiempo de recuperación que debe ser mucho menor que el tiempo de extensión de la mina
- b. Los capex de camiones y equipos de carguío se pueden repartir en el tiempo y su inversión se pueden hacer paulatinamente. Esa condición compite financieramente mejor a pesar de los bajos costos operativos de los sistemas de faja

- c. Los sistemas de camiones pueden ser más confiables porque su unidad de reemplazo si falla un camión es tener un camión de stand-by mientras que si falla el sistema mecanizado para toda la línea de producción.
- d. Los sistemas de camiones son más flexibles para cambios de la planificación minera de corto plazo, esto obliga a mejorar sustancialmente la planificación de largo y costo plazo si se usan sistemas mecanizados

2.3.1. Reemplazo de camiones y su relación con el valor

Se evaluaron múltiples ubicaciones de los sistemas de chancado con el objetivo de maximizar la cantidad de sistemas mecanizados y de poder compararlos para obtener el máximo valor. Para ello se hicieron varios planes mineros y simulaciones dinámicas del tajo.

La mayor diferencia de cota entre el punto de carga al sistema de chancado y la cota de descarga del desmonte mostró un mayor valor medido mediante el número de camiones reemplazados. Ver la tabla de abajo.

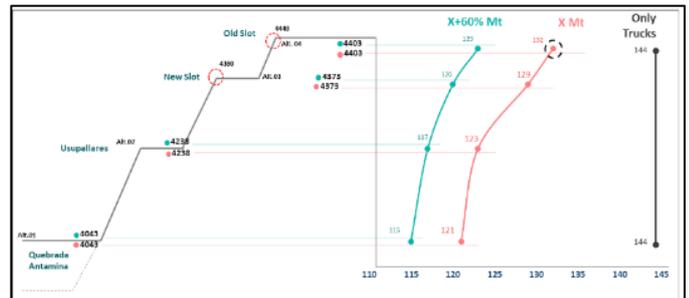


Figura 4 - Diferentes ubicaciones de las estaciones de chancado

Esto se explica porque los camiones en subida cargados tienen menor eficiencia y productividad comparado con los sistemas de fajas de alta capacidad. Por lo que los casos de estudio futuros de Antamina y de cualquier mina deberían considerar las estaciones de chancado en los puntos más bajos posibles en el tajo, así como la maximización del transporte de camiones cargados en rampa de bajada y vacíos en rampa de subida para un mejor uso energético incluso con el potencial uso futuro de camiones operados a batería.

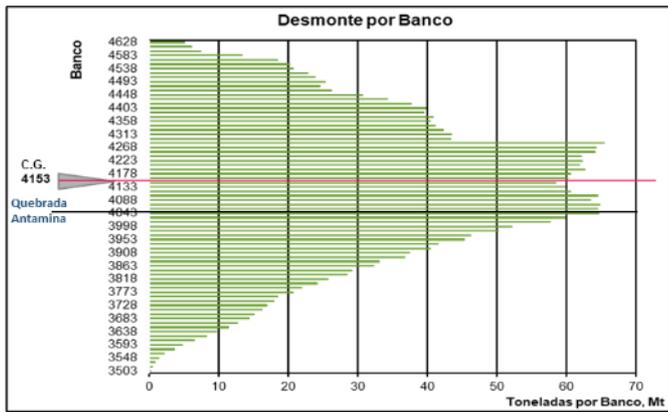


Figura 5 – Posición del C.G del minado de desmorte en relación con la cota la estación de chancado

2.3.2. La confiabilidad y flexibilidad como fuente de valor

El estudio a nivel de conceptual y prefactibilidad hizo el uso intensivo de la modelación RAM (*Reliability, Availability & Maintainability*) y los modelos estocásticos como input al diseño. Como parte del análisis destacan los siguientes hallazgos:

- El uso de pilas de almacenamiento intermedios incrementa la disponibilidad del sistema en especial aguas arriba de fajas en serie.
- El uso de menor cantidad de componentes como los accionamientos *gearless drives* mejoran no solo el consumo de energía sino la confiabilidad de los sistemas

- Existe una buena oportunidad en mejora de confiabilidad con un menor número de fajas y con fajas de mayor longitud que tienen una mayor vida útil en comparación con fajas más cortas
- Los componentes y equipos estandarizados permitan intercambiar funciones entre mineral y desmorte para mejor confiabilidad en los casos de una falla mayor en los equipos.

2.4. Layout Propuesto

La configuración para Antamina presento la siguiente configuración:

- Un sistema de chancado fijo en Quebrada Antamina para mineral CCS con alimentación directa a la planta
- Dos sistemas de chancado de desmorte uno fijo en Quebrada Antamina y uno Semi-Mobil en el *New Slot*
- Uso potencial del sistema de desmorte semimóvil de *New Slot* como chancadora de mineral
- Evaluación de uso de sistema *trolley* en el tajo como una opción de mediano plazo para suplir cualquier retraso en la llegada de camiones con accionamiento sin generación de carbono.

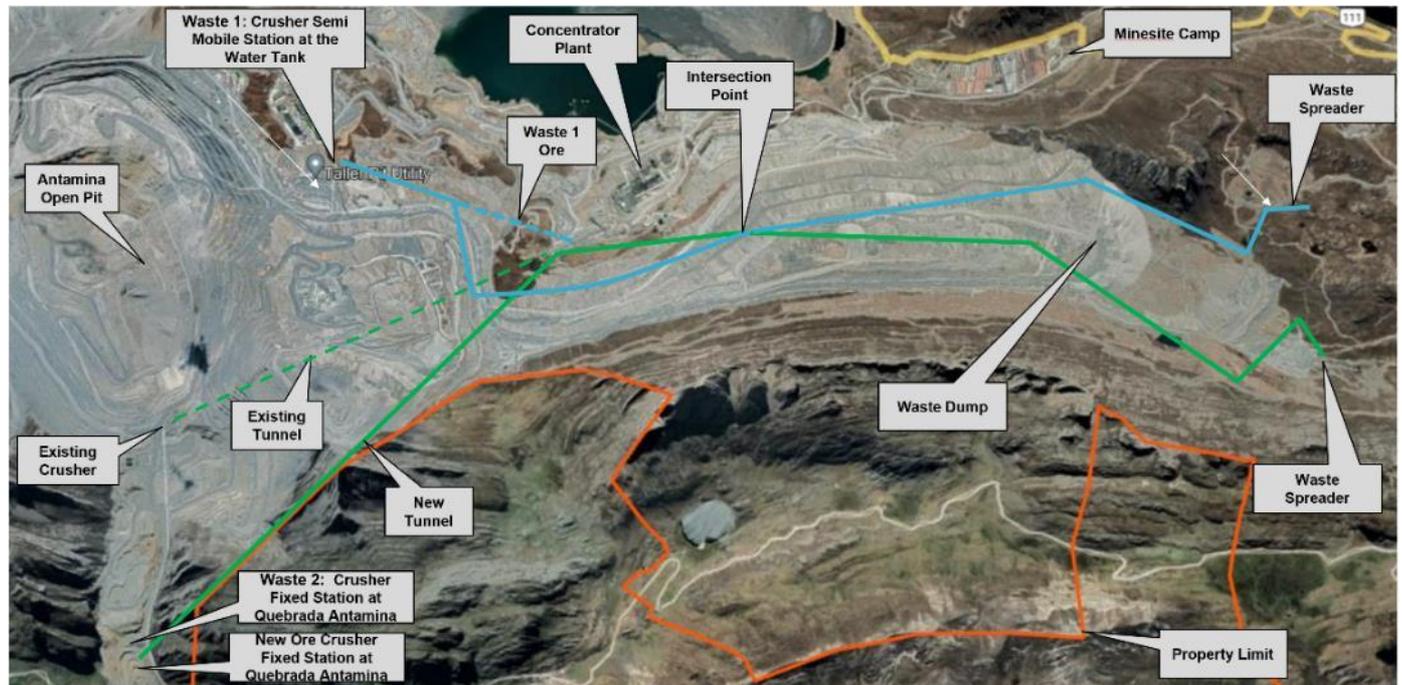


Figura 6 – Layout final propuesto por los estudios de Prefactibilidad

2.5. Principales Hallazgos de los estudios

La mecanización de los sistemas de desmorte compete con sistemas de camiones si se presentan las siguientes condiciones:

- a. Implementación oportuna y con suficiente tiempo de periodo de recuperación de la inversión
- b. La configuración de la mina permite maximizar el número de camiones reemplazados por cada uno de los sistemas propuestos
- c. Se maneja efectivamente el rechazo al riesgo por parte de los grupos de interés del proyecto en especial de los inversionistas
- d. Se maneja adecuadamente la gestión de cambio para transformar una operación en marcha
- e. Se hace impostergable la reducción de la generación de carbono comprometido y las tecnologías verdes (hidrógeno, baterías, celda de hidrógeno) para camiones gigantes que requieren las mega operaciones no están maduras

Adicionalmente se identificaron una serie de tecnologías que pueden mejorar el valor de la mecanización si son integradas al proceso usando la sinergia esta son:

- a. Uso de le tecnología *Co-Disposal* o *Commingling* para reducir la necesidad de espacio de presas de relaves
- b. Uso de tecnología de *Ore Sensing* para desviar el mineral y el desmonte a su lugar adecuado
- c. Uso de tecnología *Surge Loader* como un medio para destrabar en siguiente cuello de botella de la mina

2.6. Evaluación del Sistema Trolley para camiones

El uso de la energía eléctrica en reemplazo de los combustibles fósiles puede ser ejecutada también con el uso de sistemas eléctricos tipo *Trolley* que en comparación con los sistemas a batería y otros está más desarrollada. Al momento se iniciará una evaluación inicial pero ya se identifican los siguientes retos para Antamina y otras empresas mineras:

- a. Se requiere vías al interior de mina con mayor ancho, modificación de rampas que toman varios años y no son de implementación inmediata y de difícil aplicación para un tajo como el de Antamina
- b. Requiere una alto CapEx para la implementación de las subestaciones eléctricas
- c. Muy pocos o ningún OEM garantizan la conversión de los camiones existentes a

Trolley por lo que se requiere la compra de camiones nuevos

- d. No disminuye la congestión de mina en especial para los casos en los que se requiere minimizar la cantidad de camiones
- e. El aumento de la velocidad en las rampas de subida viene acompañado de mayor consumo de llantas y mantenimiento de vías.



Figura 7 – Vista de la vía adicional requerida para el sistema Trolley

Sin embargo, al momento se aprecia como una oportunidad en el camino a el logro de los objetivos ambientales.



Figura 8 – Operación minera y el uso de sistema Trolley

2.7. Evaluación de Camiones Autónomos

Los camiones por sí mismos no ayudan a la disminución de los gases de efecto invernadero y en cualquier caso solo aportan en sustantivo un incremento de la productividad.

Para los fines de nuestro estudio se considera como una oportunidad adicional a ser evaluadas una vez que

las futuras extensiones de vidas sean resueltas de manera sustentable

3. Segundo Mensaje Clave: La mecanización del desmonte crea la posibilidad de usarlo en mezcla con relaves deshidratados como una fuente para eliminar presas de relaves y con ello potencialmente transformar la industria minera mundial

Como parte de las fuentes de mejora de valor de los sistemas mecanizados se identificó la oportunidad la posibilidad de disponer relaves juntos con el desmonte chancado como una forma ambientalmente segura de disponer relaves y posponer inversiones en el crecimiento de la presa de relaves o la creación de una nueva presa de relaves. Con ello mejorar el valor que genera la mecanización del desmonte

3.1. ¿Qué pasa si mezclamos desmonte con relaves deshidratados?

El proceso *Commingling* está siendo investigado por varias empresas mineras y su objetivo es disponer de manera segura los relaves junto con el desmonte con la finalidad de eliminar la necesidad de presas de relaves.

El concepto busca llenar los espacios vacíos dentro del contacto de las rocas de desmonte para llenarlo con el material fino proveniente del relave deshidratado con la idea de crear una mezcla diseñada ingenierilmente que logre lo siguiente:

- Aumentar la densidad de la mezcla de tal manera de recibir todo el relave dentro del desmonte.
- Eliminar la eveción del oxígeno dentro la matriz de la mezcla y así disminuir o eliminar la oxidación de los desmontes y con ello eliminar la formación de aguas ácidas de los depósitos de material estéril.
- Asegurar el comportamiento geotécnico para garantizar la estabilidad local y global del depósito de la mezcla.
- Asegurar el comportamiento geoquímico para lograr la combinación ideal que elimine la formación de aguas ácidas. Se prevé que en ningún escenario la mezcla va a generar una condición inferior a la que se tiene actualmente en los botaderos.
- Entender el proceso de segregación, así como del uso potencial de diferentes mezclas durante la construcción de depósitos versus las coberturas de cierre son puntos clave a entender para garantizar el éxito del proyecto

En la actualidad Antamina tiene operando una planta piloto que buscar replicar a una escala mayor y a condiciones de sitio los resultados favorables obtenidos preliminarmente a nivel de pruebas de laboratorio

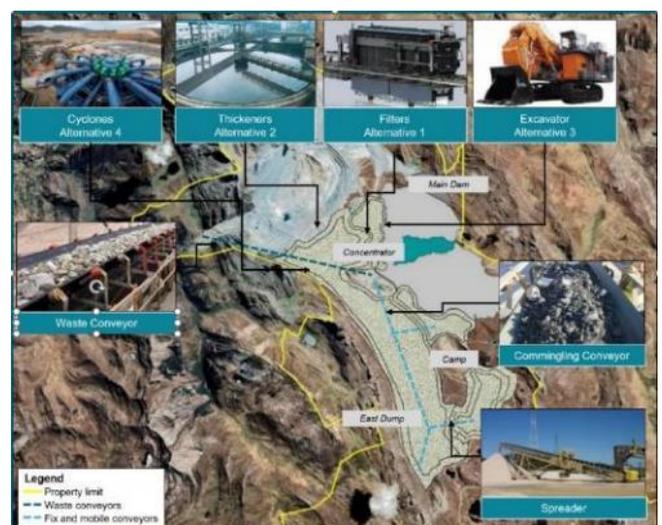
3.2. Descripción del proceso de Commingling

Antamina produce 50 M-tons de relave por año, por lo que el tamaño de la operación propuesta no tiene precedentes en la minería mundial.

A continuación, listamos los nueve pasos del proceso con una breve descripción de cada etapa:

El proceso:

- Colección de Relaves; toma del cajón de relaves y bombeo hasta la nueva planta de deshidratación
- Transporte de Relaves; transporte mediante tuberías de la mezcla
- Deshidratado de relaves: aquí me están evaluando tres opciones: el uso de ciclones para la obtención de las arenas, el filtrado y el uso de espesadores.
- Almacenamiento de relaves deshidratados; almacenamiento para controlar la calidad y proporción a alimentar a los sistemas de desmonte
- Transporte de relaves deshidratados; uso de sistemas de transporte de relaves deshidratados a los puntos de mezcla
- Mezcla de relaves y desmonte; uso de chutes de transferencia y potencial uso de chutes modificados para favorecer la mezcla
- Transporte de material mezclado; uso de los sistemas de fajas de desmonte para llevar a los puntos de disposición final
- Disposición de la mezcla; uso de *Spreader* en los puntos finales
- Consolidación de la mezcla: evaluación y seguramiento de la consolidación de la



mezcla

Figura 9 – Vista del Proceso Commingling

3.3. Principales hallazgos del estudio conceptual Commingling y su sinergia con los estudios de mecanización de desmonte

El estudio confirma que la sinergia agrega valor al liberar recursos minerales dependientes de una nueva inversión en presas de relaves. Adicionalmente cumple con las recomendaciones del GTS (*Global Tailing Standard*)

3.3.1. Agrega valor permitiendo la extensión de vida de la mina

Dependiendo si se logra deshidratar un 50% ó un 100% de los relaves puede duplicar la vida del depósito de relaves existente o incluso eliminar la necesidad de invertir en una presa de relaves adicional. El valor no sólo es financieramente atractivo pues difiere y/o elimina inversión de capital, sino social y ambientalmente muy favorable.

3.3.2. El uso de pilas de relave y desmonte permite manejar la variabilidad

El uso del sistema de desmonte y sus pilas de almacenamiento, así como las propias pilas del sistema de deshidratación del relave le dan suficiente flexibilidad para poder alcanzar la mezcla óptima requerida. En adición los a los objetivos del GTS la mecanización con el uso de fajas cumple con los objetivos de disminución del uso de carbono.

3.3.3. Se requiere eliminar las incertidumbres técnicas provenientes del escalamiento del tamaño de la operación

La estrategia consiste en completar las etapas de pre-pilotaje, pilotaje y prueba a escala industrial para asegurar el adecuado y oportuno escalamiento del proyecto.

Las principales fuentes de incertidumbre son:

- El tamaño de la planta y proceso requeridos no tiene precedentes en la minería mundial
- El conocimiento de la geotecnia en especial de la segregación en la pila final
- La confirmación del comportamiento geoquímico puede tomar algunos años en afinarse

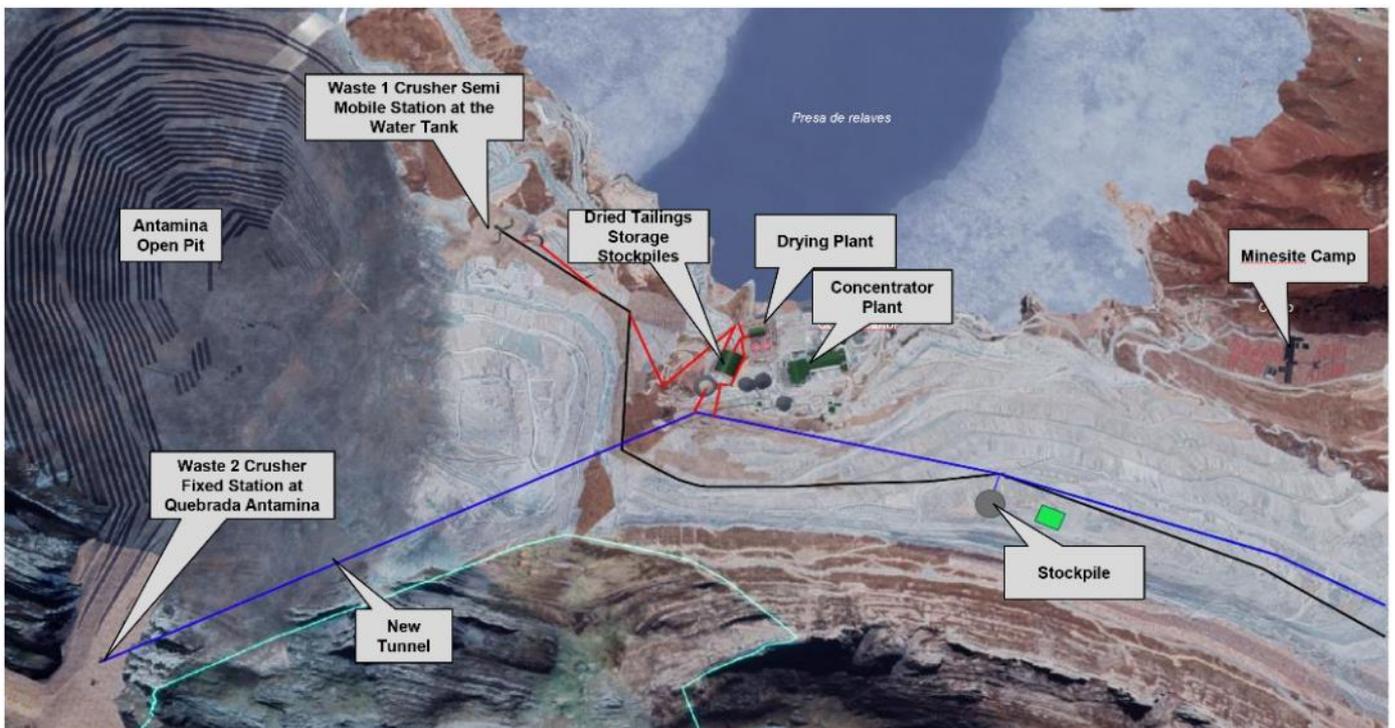


Figura 10 – Layout mostrando la sinergia entre los sistemas de mecanización de fajas y el Commingling

3.4. Camino a seguir y los próximos pasos

El proyecto tiene todavía varios retos que superar:

- El escalamiento desde la prueba industrial hasta la capacidad total requerida no tiene comparación
- El control del agua de lluvia superficial y control de erosiones

- c. El entendimiento de la segregación y su impacto en la eveción y mejora en las coberturas de los depósitos de desmonte en el cierre
- d. El impacto en la confiabilidad de los sistemas de fajas al manejar material fino

Si se demuestra el concepto, el proyecto propuesto se convierte en un proyecto de clase mundial pues transformaría la forma de manejar los relaves y desmontes de la minería global.

4. Tercer mensaje: El uso de sistemas mecanizados agrega un valor superior

Se compararon los beneficios y los perjuicios de los sistemas mineros convencionales de acarreo de desmonte con camiones versus los sistemas mecanizados de desmonte para el caso de una extensión de vida con incremento del *stripping ratio* y se encontraron las siguientes diferencias:

4.1. Perjuicios de los sistemas de acarreo con camiones

Se identificaron los siguientes perjuicios:

- Genera una mayor congestión de camiones de acarreo
- Tiene una menor productividad
- Menor sostenibilidad del negocio por la mayor emisión de gases de efecto invernadero
- Mayor riesgo de accidentes serios
- Costos operativos más elevados en el largo plazo
- Sensible a las condiciones de visibilidad, clima y tráfico, así como al ausentismo

4.2. Beneficios de los sistemas de acarreo con camiones

4.3. Se identificaron los siguientes beneficios:

- Menor inversión de capital en el corto plazo
- Mejor flexibilidad operacional en algunas zonas de disposición de desmonte
- Operación conocida y fácil de implementar
- Fuente de mano de obra directa

4.4. Perjuicios de los sistemas de mecanizados de desmonte

Se identificaron los siguientes perjuicios:

- Gran inversión de capital inicial
- Curva de aprendizaje en la operación y gestión de cambio
- Menor Flexibilidad operacional
- Mayor requerimiento de planificación operativa

4.5. Beneficios de los sistemas mecanizados de desmonte

Se identificaron los siguientes beneficios:

- Menor costo unitario de operación
- Operación con menor riesgo de accidentes
- Tecnología madura y conocida en la industria
- Menor o nulo incremento del tráfico a pesar de manejar mayor tonelaje
- Menor impacto ambiental por mejor control de ruido y polvo
- Menor requerimiento de mano de obra y menos sensible al natural cansancio y fatiga
- Ofrece mejor condición para desarrollar sinergia con proyectos que usan el Commingling
- Posibilidad de implementar el *bulk ore sorting* en fajas

4.6. Detalle de los principales beneficios

a. Menor huella de Carbono

Un sistema mecanizado puede reemplazar entre 25 y 40 camiones de acarreo dependiendo su ubicación. Las fajas transportadoras pueden usar energía eléctrica de fuentes renovables. Una posibilidad dependiendo de la geografía es generar energía eléctrica cuando la carga se transporta aguas abajo.

b. Menor congestión de la flota de camiones

Menor cantidad de camiones genera inmediatamente menor tráfico en especial en las intersecciones de los caminos mineros dentro del tajo.

c. Mejor nivel de control de Polvo

Los sistemas de fajas tienen sistemas probados de supresión del polvo y coberturas que son independientes del estado de las vías, las condiciones climáticas, dirección del viento y la disponibilidad de los sistemas de riego.

d. Mejor control de ruido

Los sistemas de fajas tienen fuentes fijas de generación de ruido que son más fáciles de controlar con el uso de la ingeniería acústica.

e. Amigable con tecnología de *Bulk Ore Sorting*

El desarrollo de la tecnología de *Ore Sensing* reciente en fajas permite la medición del grado de mineral en línea y su desvío en caso de mezcla con el desmonte. Esta crea la posibilidad de segregar el mineral de baja ley en botaderos y optimizar los controles

ambientales para el cierre de los depósitos de desmonte

f. Eliminación de Presas de Relave

El potencial uso del Commingling con relaves filtrados permitiría prescindir del uso de presas de relaves y disponer los relaves junto con el desmonte.

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

Los casos de negocios para los sistemas mecanizados de desmonte muestran que la mecanización agrega valor tangible e intangible, sin embargo, el valor económico es marginal. Los nuevos requerimientos de descarbonización pueden impulsar la implementación de esta tecnología como parte del cumplimiento ambiental.

La combinación camiones dentro del tajo (*Inpit*) y sistemas de fajas transportadoras (*ExPit*) muestra ser la mejor combinación para el caso de Antamina. Así mismo, cualquier incremento en la producción por las el elevado *stripping* ratio pasa por una solución con sistemas altamente mecanizados.

La conversión de una operación *Brownfield* de acarreo convencional a mecanizados es compleja y debe ser implementada oportunamente y en alineamiento con las extensiones de vida para lograr el retorno de inversión requerido. Si las extensiones de vida son muy cortas es posible que no se logre capturar el valor de los nuevos sistemas por el alto CapEx inicial.

Los sistemas mecanizados agregan un valor superior alineados con los menores costos operativos y beneficios ambientales. Su implementación en sinergia con las tecnologías Commingling podría transformar la forma de disponer los relaves en la minería

La flexibilidad y confiabilidad son características que deben ser incorporados en los proyectos de mecanización. Ambas agregan valor a la inversión y facilitan la operación de los nuevos sistemas.

El uso intermedio de pilas de almacenamiento generar valor contrarrestando las paradas no programadas de poca duración en especial en sectores en donde se tienen varias fajas dispuestas en serie.

5.2. Recomendaciones

Basado en el avance de los estudios para el caso de Antamina se recomienda seguir eliminando las incertidumbres identificadas:

- Completar los estudios de mecanización y Commingling como un solo proyecto para garantizar la sinergia
- Completar las pruebas piloto de la tecnología Commingling
- Incorporar el valor económico tangible de la descarbonización
- Investigar oportunidades para disminuir el CapEx y el OpEx de las fajas transportadoras
- Investigar y evaluar las tecnologías más recientes de deshidratación de relaves

Agradecimientos

A todas las áreas que participaron en la conceptualización de los estudios, la VP de desarrollo de negocios, Largo Plazo su contribución al desarrollo de los casos mineros, Estudios Mina, Planeamiento Ambiental, Finanzas, Geología, Geotecnia, Operaciones, Mantenimiento, Legal, Riesgos, y Permisos, y a los líderes de la organización

Referencias

- Gerencia de Estudios Mineros Antamina, 2018. Estudio de Trade Off Gate 2A CCS & DBN – Tradeoff. Gate 2A.
- Gerencia de Estudios Mineros Antamina, 2019. Estudio de Prefactibilidad CCS & DBN.
- Gerencia de Estudios Mineros Antamina, 2020. FS Interim Gate CCS & DBN, 2020
- Gerencia de Estudios Mineros Antamina, 2021. Estudio Conceptual Commingling.
- Deza N, 2022, An IPCC Concept for sustainable mine, IPCC 2022 Conference, International Mining, Cancún México

Tabla de Contenidos

RESUMEN.....	1	3.3. Principales hallazgos del estudio conceptual Commingling y su sinergia con los estudios de mecanización de desmote	8
1. Introducción.....	1	3.4. Camino a seguir y los próximos pasos	8
1.1. Contexto en la Minería.....	1	4. Tercer mensaje: El uso de sistemas mecanizados agrega un valor superior	9
1.2. Reto de Antamina	2	4.1. Perjuicios de los sistemas de acarreo con camiones	9
1.3. Consecuencias de no mecanizar	2	Se identificaron los siguientes perjuicios:.....	9
2. Primer Mensaje: Hay un largo camino a recorrer para transformar una mina convencional en operación en una en una altamente mecanizada	2	4.2. Beneficios de los sistemas de acarreo con camiones.....	9
2.1. Análisis Conceptual de Soluciones	2	Se identificaron los siguientes beneficios:.....	9
2.1.1. Movilidad de Sistemas mecanizados	2	4.3. Perjuicios de los sistemas de mecanizados de desmote.....	9
2.1.2. Ubicación InPit vs ExPit de los equipos de chancado3	3	Se identificaron los siguientes perjuicios:.....	9
2.1.3. Comparación entre tecnologías de chancado3	3	4.4. Beneficios de los sistemas mecanizados de desmote	9
2.1.4. Uso de grizzly	3	Se identificaron los siguientes beneficios:.....	9
2.1.5. Uso de faja overland versus uso de túnel..	3	4.5. Detalle de los principales beneficios	9
2.1.6. Grado de mecanización entre full mecanizado	3	5. Conclusiones y Recomendaciones	10
2.1.7. Grado de Autonomía	3	5.1. Conclusiones	10
2.1.8. Pilas de almacenamiento.....	3	5.2. Recomendaciones	10
2.1.9. Ubicación	3	Agradecimientos	10
2.2. Resultado de las evaluaciones individuales	3	Referencias.....	10
2.3. Influencia de las condiciones de Sitio en los resultados.....	4	Perfil Profesional	12
2.3.1. Reemplazo de camiones y su relación con el valor	4	Figuras	
2.3.2. La confiabilidad y flexibilidad como fuente de valor	5	Figura 1 - Vista de sistema Full Mobile InPit evaluados.	3
2.4. Layout Propuesto	5	Figura 2 – Layout de opciones de fajas con túnel en Quebrada Antamina.....	3
2.5. Principales Hallazgos de los estudios	5	Figura 3 - Diferentes ubicaciones de las estaciones de chancado	4
2.6. Evaluación del Sistema Trolley para camiones ..	6	Figura 4 - Diferentes ubicaciones de las estaciones de chancado	4
2.7. Evaluación de Camiones Autónomos.....	6	Figura 5 – Posición del C.G del minado de desmote en relación con la cota la estación de chancado.....	5
3. Segundo Mensaje Clave: La mecanización del desmote crea la posibilidad de usarlo en mezcla con relaves deshidratados como una fuente para eliminar presas de relaves y con ello potencialmente transformar la industria minera mundial	7	Figura 6 – Layout final propuesto por los estudios de Prefactibilidad	5
3.1. ¿Qué pasa si mezclamos desmote con relaves deshidratados?	7	Figura 7 – Vista de la vía adicional requerida para el sistema Trolley	6
3.2. Descripción del proceso de Commingling	7	Figura 8 – Operación minera y el uso de sistema Trolley	6
		Figura 9 – Vista del Proceso Commingling	8
		Figura 10 – Layout mostrando la sinergia entre los sistemas de mecanización de fajas y el Commingling....	8

Perfil Profesional

Ingeniero Mecánico de la PUPC, Candidato CMBA UP, con más de 28 años de experiencia en mantenimiento, gestión de activos, gerencia de ingeniería y proyectos, Comisionamiento, Pilotos de Innovación y Tecnología, Planeamiento de Negocios y Estudios Mineros, solucionando los más difíciles retos de la minería peruana y mundial. Reciente experiencia en el desarrollo de estudios de mecanización de desmonte con fajas, disposición de relaves con el uso de Commingling, *ore sensing*, y el despliegue de un *roadmap* de innovación y tecnología

Néstor Deza

Gerente de Estudios e Innovación

Compañía Minera Antamina

ndeza@antamina.com

+51 939 294 051

Av. 7, Urb. El Sauce de La Rinconada, La Molina

Ingeniero Mecánico con más de 23 años de experiencia en operación y proyectos para la industria minera a nivel global. Su carrera profesional se ha enriquecido con su paso exitoso en empresas de gran minería como Doe Run, Southern Copper y Antamina; asimismo, su experiencia en proyectos se fortaleció por su paso como Consultor para la empresa de ingeniería Hatch, que le permitió desarrollar proyectos de ingeniería o asistencia en resolución de problemas para operaciones mineras en diferentes partes del mundo, como Canadá, Estados Unidos, Zambia, Argentina e Indonesia.

Kim Montes

Superintendente de Ingeniería Estudios Mineros

Compañía Minera Antamina

kmontes@antamina.com

+51 1 217 3078 / +51 938 919 146