



Revista CIM



ISSN: (Impresión) (Online) Página de inicio de la Revista: <https://www.tandfonline.com/loi/ucim20>

Beneficios económicos del escaneo de volumen de carga en camiones de minería subterránea

P. Knights & M. Reuter

Citar este artículo: P.Knights & M. Reuter (2023): Beneficios económicos del escaneo de volumen de carga en camiones de minería subterránea, Revista CIM, DOI:[10.1080/19236026.2023.2186642](https://doi.org/10.1080/19236026.2023.2186642)

Enlace a este artículo: <https://doi.org/10.1080/19236026.2023.2186642>

Términos y condiciones completos de acceso y uso disponibles en
<https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=ucim20>

Beneficios económicos del escaneo de volumen de carga en camiones de minería subterránea

P. Knights y M. Reuter

Escuela de Ingeniería Mecánica y Minería, Universidad de Queensland, Brisbane, Australia

RESUMEN

Este artículo examina los beneficios económicos al emplear un sistema de escáner de volumen de carga (LVS) montado en un pórtico para gestionar la carga útil y optimizar el consumo de combustible de los camiones de transporte (acarreo). Lo hace a través del análisis del LVS y los datos de transacciones de combustible recopilados durante un período de siete meses en una mina de oro en el Centro de Queensland. Se detectó una alta incidencia de arrastre (62% de todos los ciclos) en los camiones que ingresan al pórtico de la mina. El arrastre medio fue de 0,24 m³ o aproximadamente 0,4 toneladas (t) por ciclo. Posiblemente como resultado del arrastre, los volúmenes de carga de los camiones se distorsionaron hacia el costado de mayor altura: el 9,4 % de las cargas superó el +10 % de la media. El arrastre total se estimó en 1.780 t de mineral con un valor de \$ 370k (dólares australianos). Suponiendo una ley de oro de 2,5 g/t y un costo total de extracción de \$1400/oz, esto equivale a un costo de oportunidad que supera ligeramente los \$300k/año: \$290k en producción perdida más \$12k en costos adicionales de combustible.

PALABRAS CLAVE

Arrastre, carga útil, camión minero subterráneo, escáner volumétrico

INTRODUCCIÓN

Los camiones de transporte articulados de bajo perfil se utilizan comúnmente en diversas minas subterráneas para movilizar el mineral de producción y estériles de los frentes de explotación. Aunque las versiones asistidas por carros y baterías están emergiendo como opciones comerciales, la mayoría de las flotas de camiones existentes funcionan con motores diésel de combustión interna. El transporte de material en camión no sólo representa un costo significativo para las operaciones de minería subterránea, también constituye una fuente importante de consumo de energía y es un factor en lo que respecta a las emisiones de gases de efecto invernadero. Con miras a migrar hacia la descarbonización en el transporte con camiones, resulta esencial asegurar que este tipo de operaciones se lleven a cabo con la máxima eficiencia.

La productividad de los sistemas de transporte en camiones se mide por la carga útil promedio dividida por el tiempo del ciclo. Los tiempos de los ciclos se calculan a partir de la suma acumulada de los tiempos implicados en una secuencia de acciones. Primero, el camión descargado ingresa al pórtico y desciende por el declive hasta la zona de carga. El material tronado se retira del caserón mediante un vehículo de carga, transporte y descarga, y luego se carga en la tolva del camión en una serie de volteos o traspasos. Finalmente, el camión cargado sube por el declive, abandonando el pórtico para descargar el material en la pila de acopio de la playa de minerales (Figura 1). Para optimizar la productividad, la carga útil de los camiones no debe superar un 10% recomendado sobre la carga útil nominal. Las tolvas sobrecargadas hacen que los camiones se desplacen más lento en descenso, ampliando los tiempos de ciclo e incrementando el consumo de

combustible. Los camiones con carga subóptima están asociados con un costo de oportunidad por no transportar la carga adecuada y aumentarán las emisiones de CO₂ por tonelada(t). El arrastre (también conocido como remanente) corresponde al material que se adhiere a la tolva después del volteo y es llevado de vuelta a una mina durante un ciclo de retorno. Este eleva el consumo de combustible del camión y provoca un desgaste acelerado de los neumáticos y la posibilidad de que los frenos retardadores hidráulicos se sobrecalienten.

Loadscan es una pequeña a mediana empresa establecida en Nueva Zelanda que fabrica equipos de escaneo láser de volumen. La tecnología tiene aplicaciones en operaciones mineras, construcción civil, canteras, graveras y pozos de arena, así como también en la producción de corteza y mantillo. La división Mine Payload Technologies de Loadscan utiliza The Mine Payload Scanner™ para identificar la carga subóptima, el arrastre y la carga descentrada para aumentar la productividad, mejorar la responsabilidad y maximizar las ganancias comerciales.

El objetivo de este artículo es examinar las ventajas económicas de emplear un sistema de escáner de volumen de carga (LVS) montado en un pórtico para gestionar la carga útil y optimizar el consumo de combustible. A su vez, presenta un análisis del LVS y los datos de transacciones de combustible recopilados durante un período de siete meses en una mina de oro en el Centro de Queensland. El alcance no persigue cuantificar los beneficios adicionales del tiempo de operación de la flota como resultado de posibles mejoras en la vida útil de los neumáticos, componentes, motor y freno retardador debido a gestión de carga útil.

CONTACTO Peter Knights p.knights@uq.edu.au

REVISTA CIM <https://doi.org/10.1080/19236026.2023.2186642>

© 2023 El Autor. Publicado con licencia por Taylor & Francis Group, LLC.

Este es un artículo de acceso abierto y distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución/Reconocimiento No Comercial–Sin-Derivados, (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>), que permite la reutilización, distribución y reproducción no comercial en cualquier medio, siempre que la obra original se cite correctamente y no se altere, transforme o reconstruya de ninguna manera. Los términos en que este artículo ha sido publicado permiten la publicación del Manuscrito Aceptado en un repositorio por parte del autor(es) o con su consentimiento.



Figura 1. Fotografía del camión cargado saliendo del pórtico y escáner de volumen de carga montado en el pórtico

SISTEMAS DE MEDICIÓN DE CARGA ÚTIL VOLUMÉTRICA Y MASA

Existen diversos enfoques alternativos para medir el volumen y la masa de la carga útil en el piso de la tolva del camión de transporte subterráneo. Los sistemas de medición de carga útil disponibles en el mercado se pueden dividir en dos clases: (1) aquéllos que requieren contacto físico para medir cargas (básculas puente y sistemas de monitoreo de carga útil a bordo) y (2) sin contacto (basados en visión y láser).

Básculas puente

Quizás el método más antiguo para pesar cargas útiles es el empleo de básculas puentes para camiones. Las básculas se pueden instalar de manera temporal o permanente en algún tramo de la ruta de transporte fuera del pórtico. Miden el peso bruto del vehículo y luego restan el peso del vehículo vacío para obtener la masa de la carga útil. La medición requiere contacto físico entre el camión y la báscula. Los pesos se derivan mediante la medición de la presión del fluido hidráulico o la desviación del haz (esta última con medidores de tensión). Los sistemas son muy hábiles para medir la variación en la distribución de la carga útil. No obstante, los camiones deben detenerse para medir la carga del camión, lo que puede sumar hasta 30s a los tiempos de ciclo. Este retraso es un desincentivo adicional para monitorear el arrastre residual en el espacio interior de la tolva a medida que los camiones vacíos regresan a la mina. Los medidores de tensión y la

instrumentación de medición de presión también requieren una calibración recurrente. Un inconveniente conclusivo es la sobrecarga asociada con el mantenimiento de piezas mecánicas móviles.

Vaziri, Haas, Rothenburg y Haas (2013) desarrollaron una báscula de pesaje en movimiento para uso en la industria de la construcción, utilizando losas de hormigón armado y celdas de carga con medidores de tensión. El sistema consiste en un “conjunto de sensores e instrumentos que miden la fuerza dinámica del neumático, el espacio entre ejes, velocidad, tiempo y distancia entre ejes, que luego procesa y despliega los datos sin interrumpir el flujo de tráfico regular”.

Sistemas de monitoreo de carga útil a bordo

Los sistemas de monitoreo de carga útil a bordo generalmente miden presiones hidráulicas puntales. Sin embargo, el diseño de los camiones es tal que la tolva descansa sobre topes físicos durante las fases de carga y transporte. La presión del cilindro de elevación sólo refleja la carga útil en la etapa de volteo del ciclo. Esto ofrece una ventana de tiempo relativamente breve para efectuar mediciones y también requiere filtrar presiones transitorias para contabilizar la dinámica de elevación. La empresa canadiense, Newtrax, adquirida recientemente por Sandvik Mining and Rock Technologies, comercializa un sistema de Telemetría Móvil para Equipos capaz de integrarse con un sistema de gestión de carga útil personalizado para vehículos de carga-transporte-descarga y camiones subterráneos. El sistema se ha instalado en cinco camiones en la mina Matagami de Glencore, en Quebec, Canadá (Gleeson, 2019). Las distancias de transporte son relativamente extensas, a aproximadamente 8 kilómetros. Es esencial

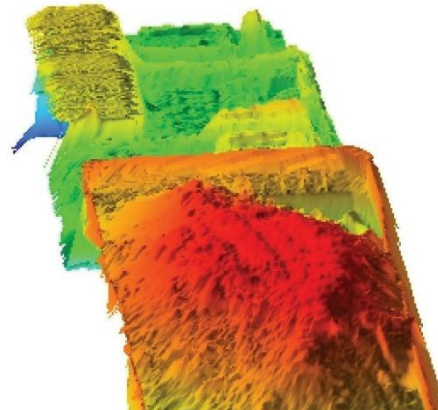


Figura 2. Imagen de Loadscan de un camión subterráneo totalmente cargado; el área roja corresponde al área más elevada de roca dentro de la tolva; el color naranja delinea el contorno de la tolva

optimizar la carga útil a las 60 t nominales a objeto de maximizar la productividad. Gleeson (2019) informa que la mina ha experimentado un:

- Aumento del 4% al 6% de aprovechamiento en el transporte de mineral,
- Aumento del 4% en la efectividad general de los equipos, y
- Aumento del 5% de cargas por ciclo.

Sistemas basados en visión

Los sistemas de medición volumétrica basados en imágenes de cámaras estereográficas son menos precisos que los sistemas basados en LIDAR (detección y medición de la luz). Un gran inconveniente es la presencia de polvo, lo que degrada las imágenes.

Sistemas basados en láser

Los métodos de escaneo volumétrico basados en láser ofrecen un medio rentable y sin contacto para monitorear las cargas útiles. Se asocian a costos de suministro, instalación y mantenimiento relativamente bajos. El LVS de Loadscan es un instrumento de medición para camiones sin contacto y drive-through (pasada en pórtico sin detenerse) para la medición volumétrica de materiales a granel (International Mining, 2016). Una de sus ventajas es que no requiere mantenimiento ni calibración periódica. Además, no es necesario equipar toda una flota de camiones con sistemas de pesaje a bordo ni instalar una báscula de camiones fija. Puede ser una única instalación sin movimientos de tierra significativos, ni tampoco calibración. Los bajos costos de operación, la automatización total y los escasos requerimientos de mantenimiento aumentan el atractivo del sistema LVS (International Mining, 2016).

Los sensores LIDAR miden el volumen de carga de los volteadores en una sola pasada sin necesidad de que el vehículo se detenga. El modelo tridimensional creado a partir de los datos recopilados (Figura 2) sirve de base para calcular el volumen de la carga. Conocer la densidad suelta del material cargado ex-situ permite estimar la carga útil. Las discrepancias entre las mediciones de masa y volumen pueden utilizarse para efectuar correcciones específicas.

Tabla 1. Flota de equipos mineros de una mina de oro en el Centro de Queensland, Australia

Equipo	Modelo	No.	Cap nominal (t)
Camiones	Epiroc MT6020	3	60
	Epiroc MT65	1	65
Jumbos	Sandvik DD420–60	1	–
	Sandvik 422i Dual Control	1	–
Cargadores	Cat R2900G	2	17,2
	Cat R1700G	1	12,5
	Sandvik LH517i	2	17,0
Perforadoras	Epiroc H1257	2	–
	Epiroc S7D	1	–

Los guiones indican datos de perforación en unidades de m/h (no disponible).

El escáner de carga útil para minería de Loadscan ofrece datos en tiempo real, transmitiendo imágenes tridimensionales de cada carga para controlar los factores de llenado y de carga incorrecta. "Proporciona una imagen con una precisión de $\pm 1\%$ de la cantidad de material que se extrae o transporta, y el escaneado de los camiones en su ruta de regreso permitirá a las minas controlar y gestionar oportunamente los ciclos ineficientes de transporte y arrastre" (International Mining, 2016).

ESTUDIO DE CASO

Detalles de la mina subterránea

La mina de oro subterránea que proporcionó datos para este estudio se encuentra en el Centro de Queensland, Australia. Se trata de una explotación de vetas angostas con varios yacimientos satélites, donde algunos de los cuales se encuentran a una distancia de hasta 7 km del pórtico. La mina emplea un método de explotación subterránea por caseroneo abierto según el método Avoca modificado. La mina debe producir aproximadamente 1.600 t/día para alimentar la planta de carbón en pulpa de 600 kt/año, que produce entre 50 y 75 koz/año de oro (en función de la ley). La flota de explotación incluye cuatro camiones: tres Epiroc MT6020 de 60 t de capacidad y un Epiroc MT65 de 65 t (Tabla 1).

La mina instaló un LVS de Loadscan en 2021.

Tabla 2. Resumen de los datos de "entrada" del escáner de volumen de carga recopilados de cuatro camiones de transporte Epiroc durante un período de siete meses

Variables	MT6020 1	MT6020 2	MT6020 3	MT65	Total ^a
Período de tiempo (días)	212	216	217	214	859
Total lecturas entrada escáner	1.417	1.974	1.478	1.746	6.615
Total mediciones escáner	1.117	1.684	1.216	1.373	5.390
Total errores escáner	300	290	262	373	1.225
No. ciclos arrastre	729	1.259	1.010	1.126	4.124
Ciclos con arrastre (%)	51	64	68	64	62

^aEl valor es el promedio para ciclos con arrastre.

Tabla 3. Producción promedio ex-mina para cuatro camiones de transporte Epiroc durante un período de siete meses

Variables de prod.	MT6020 1	MT6020 2	MT6020 3	MT65	Promedio
Volumen promedio (m ³)	27,36	27,27	24,65	29,64	27,23
Tons promedio	49,80	49,63	44,86	53,94	49,56

Tabla 4. Producción total ex-mina para cuatro camiones de transporte Epiroc durante un período de siete meses

Variables de prod.	MT6020 1	MT6020 2	MT6020 3	MT65	Total
Total volumen (m ³)	39.432	53.777	36.727	53.524	183.460
Total tons	71.766	97.874	66.843	97.413	333.896
Total combustible consumido (L)	156.467	183.980	140.374	173.237	654.058

Se encuentra montado en la pared del área de corte directamente por encima del pórtico principal a la mina (Figura 1). Un tablero con un mensaje digital informa a los conductores que el LVS está "listo para escanear". El conductor debe reducir la marcha hasta alcanzar la velocidad al caminar a fin de asegurar un escaneo exitoso. Otro tablero digital informa al conductor si el escaneo fue o no exitoso. Los datos de Loadscan se integran con la base de datos de Underground Digital Terrain, donde los escaneos pueden relacionarse con camiones, operadores o cuadrillas.

Datos proporcionados

La mina proporcionó los siguientes datos correspondientes a un período de siete meses:

- 14.531 registros LVS para todos los camiones desde el 21 de dic., 2021 al 22 de ago., 2022
- 2.133 transacciones de combustible para camiones desde el 21 de dic., 2021 al 22 de jul., 2022.

La mina cuenta con una báscula puente instalada; sin embargo, no se encontraba en servicio durante el período de estudio. Por lo tanto, no fue posible determinar directamente las densidades del material suelto. Para superar este problema, la mina proporcionó una serie de densidades de material para la segunda mitad de 2021. Sobre la base de

estos datos, se asumió, para todo el material transportado, una densidad de 1,82 t por metro cúbico suelto.

Procesamiento de los datos

El resumen preliminar de los datos "de entrada" del LVS en la Tabla 2 indica que los errores del escáner correspondieron al 18,5% de todas las lecturas y fueron causados por camiones que se movían demasiado rápido o a una velocidad desigual (es decir, se encontraban fuera del área objetivo o se movían en diagonal a través de ésta).

El análisis de la diferencia entre los tiempos de entrada y salida permite calcular los tiempos de ciclo de los camiones. Por ende, la combinación de los datos del LVS y del consumo de combustible permite calcular los siguientes parámetros:

- Volumen de material en la tolva del camión que sale del pórtico
- Volumen de material en la tolva del camión que ingresa al pórtico
- Volumen de material entregado a la playa de mineral
- Tiempo de ciclo del camión que ingresa y sale del pórtico
- Consumo semanal de combustible
- Consumo semanal de combustible por

(tonelada × hora de funcionamiento) por ciclo

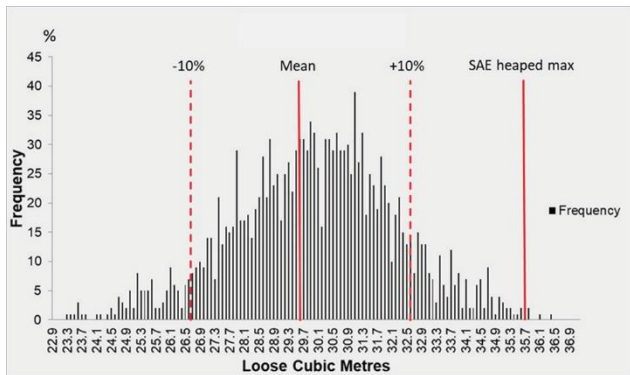


Figura 3. Distribución volumétrica para el camión de transporte (acarreo) Epiroc MT65 de 65 toneladas

RESULTADOS

Producción de material de los camiones subterráneos

En las Tablas 3 y 4 se muestran las métricas de producción de los camiones durante el período de siete meses. Los errores de escáner en los datos se sustituyeron con promedios de producción de volumen. Cabe señalar que el modelo de camión MT65 posee un mayor volumen de tolva que el modelo MT6020. El consumo total de diésel de la flota de camiones para un período de un año se estimó en $1,1 \times 10^6$ lt.

Distribución de la carga útil

El volumen medio de carga del MT65, el camión categoría 65 t, fue de $29,6 \text{ m}^3$, lo que corresponde a 54 t (Figura 3). Esta cifra es un 17% inferior a la capacidad de carga máxima según SAE International de $35,7 \text{ m}^3$, que corresponde a la carga nominal máxima de 65 t. La carga en tres pasadas con los cargadores Cat 2900 G o Sandvik LH517i de mayor tamaño lograría cargas útiles de 51-51,6 t, respectivamente, lo que se corresponde de mejor manera con los camiones MT6020 de 60 t. Es probable que los cargadores tuvieran que hacer una pasada de carga parcial para llenar el MT65 de 65 t. En la Figura 3 también se aprecia que el 7,5% de los volúmenes de carga se encontraban por debajo del -10% de la media, mientras que el 9,4% superó el +10% de la media. Los volúmenes de carga estaban inclinados hacia el costado derecho, posiblemente como resultado de la alta incidencia del arrastre.

Existe la oportunidad de utilizar mejor la

capacidad del camión MT65 al aumentar la carga media. Se calcula que un aumento del 10% en el volumen de carga medio equivale aproximadamente a \$0,9 millones anuales (todos los valores presentados se encuentran expresados en dólares australianos) en aumento de utilidades antes de impuestos. No obstante, para lograrlo, es necesario mejorar el control de la variación de la carga. Ésta, a su vez, está controlada por la distribución granulométrica de la pila de roca volada. Por lo tanto, se recomienda que se realice un estudio para cuantificar la distribución granulométrica de la pila de roca volada, y de ser necesario, investigar mecanismos para mejorarla. Una de esas mejoras podría ser una revisión de los parámetros de perforación y voladura para controlar de mejor manera las características de fragmentación de la roca volada.

Arrastre en camión

Un LVS montado en un pórtico tiene la ventaja de poder escanear las tolvas vacías de los camiones cuando ingresan a la mina. Éste puede utilizarse para detectar la presencia de algún arrastre ocasionado por la compresión y adherencia del material en el espacio interior de la tolva (véase ejemplo en la Figura 4).

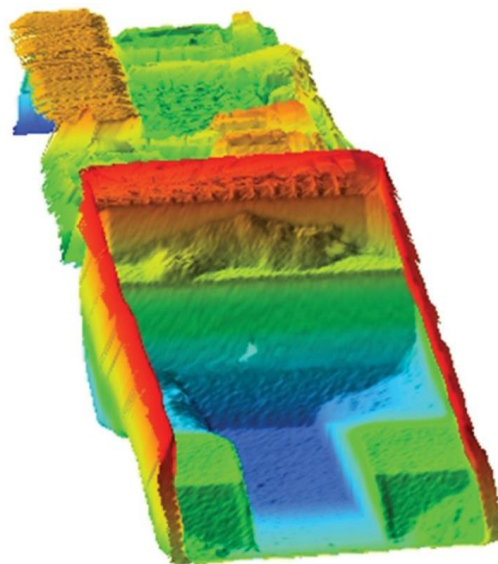


Figura 4. Imagen de Loadscan de arrastre en el espacio interior de la tolva.

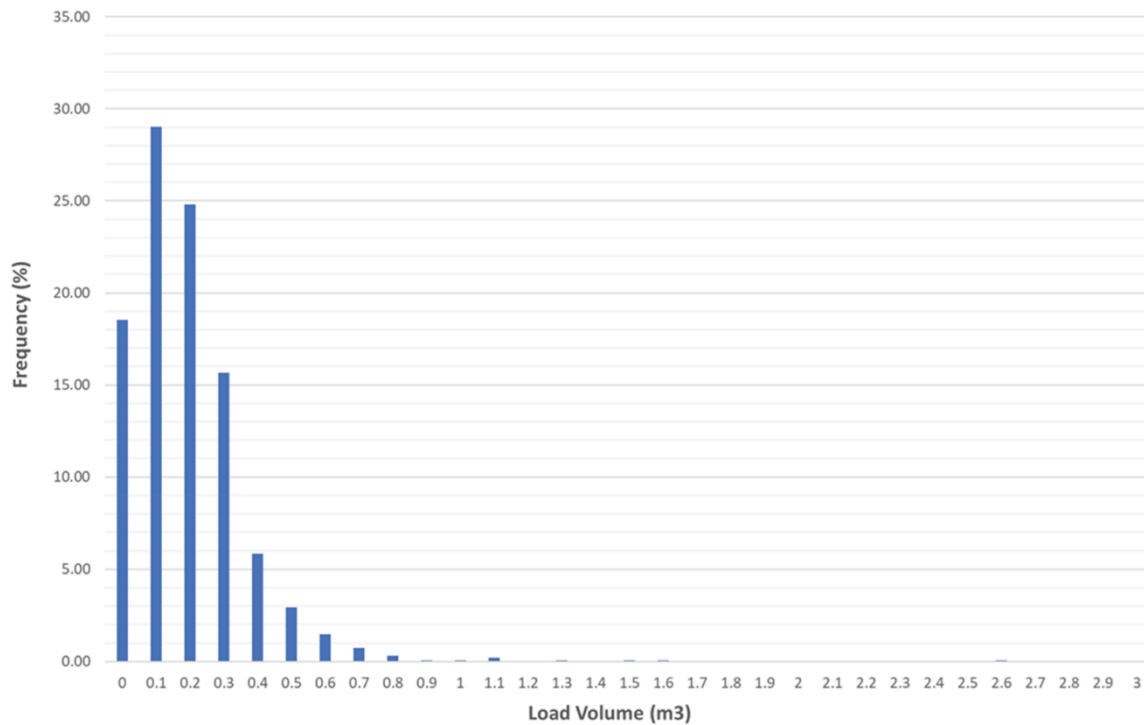


Figura 5. Frecuencia de las cantidades de carga que ingresan al pórtico para el camión de transporte Epiroc MT65

Tabla 5. Métricas de arrastre para cuatro camiones de transporte Epiroc durante un período de siete meses

Variables arrastre	MT6020 1	MT6020 2	MT6020 3	MT65	Total ^a
Arrastre (m ³)	0,27	0,22	0,18	0,29	0,24
Total volumen (m ³)	199,43	276,07	181,16	323,36	980,01
Tonelaje	362,96	502,45	329,71	588,51	1.783,63
Oro @2,5 g/t	0,91	1,26	0,82	1,47	4,46
Pérdida utilidades (AUD)	75.315	104.258	68.414	122.116	370.103

^aMedia para arrastre.

Tabla 6. Consumo de combustible para material de arrastre en cuatro camiones de transporte Epiroc durante un período de siete meses

Ineficiencia	MT6020 1	MT6020 2	MT6020 3	MT65	Total
Combustible consumido por arrastre (L)	791	944	692	1.047	3.475
Costo combustible (AUD)	\$1.583	\$1.889	\$1.385	\$2.093	\$6.950

El arrastre se detectó en el 62% de todos los ciclos de transporte (Tabla 2). En los descensos prolongados, esto puede contribuir al sobrecalentamiento de los frenos con retardador hidráulico. La Figura 5 muestra la alta incidencia de arrastre registrada en los datos de "entrada" del camión MT65. En los demás camiones se observaron tendencias similares. La cantidad de material entregado al molino también se ve afectada por la presencia de arrastre. De las 333.898 t transportadas

desde la mina durante los siete meses de estudio (Tabla 4), 1.784 t (0,54%) se recircularon como arrastre. Ésta es una fuente de error entre las toneladas extraídas y las procesadas en el molino. Todas las lecturas de carga recirculada superiores a 3 m³ se consideraron como cargas útiles intencionales relacionadas con mantenimiento de la ruta de transporte de la mina o relleno. Éstas se excluyeron del análisis.

Se aplicó un factor de densidad de 1,82 t/m³

a los volúmenes para obtener un tonelaje. Suponiendo una ley media de oro de 2,5 g/t y un precio del oro de \$2.580 por onza troy (\$83k/t), la pérdida de ingresos a lo largo del período de siete meses se estimó en \$370k (Tabla 5). En un año, la pérdida de ingresos por concepto de arrastre se estima en algo más de \$634k. Si se asume una estimación conservadora del costo de producción "todo incluido" de \$1.400\$/onza troy, entonces el costo de oportunidad anual por arrastre fue de \$290k en utilidades perdidas antes de impuestos.

Consumo excesivo de combustible debido al arrastre

Utilizando estimaciones del consumo promedio de combustible por metro cúbico suelto, se calculó el combustible consumido para el arrastre y se estimaron los costos totales de combustible a un precio de diésel de \$2/litro. A prorrata, el arrastre contabilizó aproximadamente 5.400 litros/año de combustible, un costo aproximado de \$11.800 (Tabla 6). Esto representa algo más del 0,53% del consumo total de diésel de la flota.

Optimización de la carga útil para el consumo de combustible

Para intentar obtener un punto de ajuste de la carga útil que optimice el consumo de combustible, se registró el consumo semanal de combustible expresado en litros por (metros cúbicos sueltos × duración promedio del ciclo) carga útil media. En este caso, los (metros cúbicos sueltos × hora de funcionamiento por ciclo) se utilizaron como indicador para t-km, o el volumen de trabajo realizado por el camión sobre una base de ciclo a ciclo. Se eligieron semanas como intervalos de datos para minimizar las variaciones en las condiciones de carga subterránea, las densidades de material y las distancias de desplazamiento. Se excluyeron la

primera y la última semana de registros porque el número de cargas resultó ser insuficiente para obtener datos precisos.

No hubo relación entre el consumo semanal de combustible expresado en litros por (metros cúbicos sueltos × duración media del ciclo) y la carga útil media (Figura 6). El consumo medio de combustible se mantuvo prácticamente invariable, debido probablemente a las grandes distancias de transporte (es decir, distancias con ciclos de ida y vuelta de hasta 14 km), donde las diferencias de velocidad debidas a la variación de la carga útil tuvieron escasa repercusión en términos globales. También se observaron variaciones considerables en el consumo semanal de combustible, probablemente debido a la densidad variable del material suelto.

CONCLUSIONES

Se detectó una elevada incidencia de arrastre (62% de todos los ciclos) en los camiones que ingresaban al pórtico de la mina. Este arrastre promedió 0,24 m³ o aproximadamente 0,4 t/ciclo. Lo anterior puede haber provocado que los volúmenes de carga de los camiones se inclinen hacia el costado elevado, con un 9,4% de las cargas que superaron el +10% de la media. El total de arrastre se estimó en 1.780 t de mineral con un valor de \$370k. Suponiendo una ley de oro de 2,5 g/t y un costo de extracción de \$1.400/oz, esto equivale a un costo de oportunidad que supera ligeramente los \$300k al año, lo que supone unos \$290k en producción perdida, más \$12k por costos adicionales de combustible. Se estimó que el arrastre proporciona un error de conciliación de 0,54% entre las toneladas extraídas y las procesadas en el molino.

No fue posible establecer una relación entre el consumo de combustible y el volumen de carga útil. Disponer de datos confiables sobre la carga útil a través de una báscula puente funcional resultaría

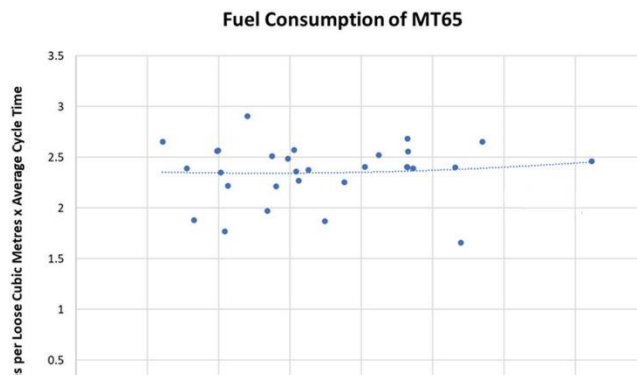


Figura 6. Consumo semanal de combustible del camión de acarreo Epiroc MT65 en litros/(metros cúbicos sueltos × tiempo de ciclo promedio) versus volumen de carga útil

beneficioso para reducir la variación del volumen de carga y determinar si existe un mínimo local en lo que respecta a eficiencia en el consumo de combustible.

El aumento de la carga útil media brindaría la oportunidad de utilizar de mejor manera la capacidad del camión MT65. Sin embargo, para lograrlo es necesario mejorar el control de la variación de la carga. Se recomienda realizar un estudio para cuantificar la distribución granulométrica actual de la roca volada y, de ser necesario, investigar los mecanismos para mejorarla.

Se recomienda que la mina investigue la factibilidad de utilizar los datos de Loadscan para alertar en tiempo real la presencia de arrastres significativos ($> 0,3 \text{ m}^3$). La instalación de un sistema de rociado de agua a alta presión o similar podría utilizarse para soltar el material de arrastre al final de un turno, o según se requiera.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al Superintendente de Ingeniería en Minas y al Ingeniero de Minas de la mina de oro subterránea del Centro de Queensland por facilitar datos para este estudio.

DECLARACIÓN DE DIVULGACIÓN

Los autores no han declarado ningún posible conflicto de intereses.

FINANCIAMIENTO

Este estudio se realizó con el apoyo financiero de Loadscan Ltd, con sede en Hamilton, Nueva Zelanda.

NOTAS SOBRE LOS COLABORADORES

Peter Knights es Catedrático y Jefe de la Disciplina de Minería de la Escuela de Ingeniería Mecánica y Minera de la Universidad de Queensland, Brisbane, Australia. Posee un BE (Mech) de la Universidad de Melbourne, un MEng (Sistemas) del Royal Melbourne Institute of Technology de Melbourne, y es Doctor en Minería de la Universidad McGill, Canadá. Sus investigaciones se centran en los sistemas mecánico-mineros, con énfasis en la seguridad de los sistemas, mantenimiento y confiabilidad. Actualmente dirige un proyecto para determinar experimentalmente los factores de seguridad asociados al movimiento de los neumáticos en los camiones de transporte de gran tonelaje con equipos para la manipulación de neumáticos.

Maximillian Reuter se graduó con un BE

(Mech) de la Universidad de Queensland en 2022. Actualmente trabaja como ingeniero de proyectos en la empresa minera (contratista) Byrnegut Services Pty Ltd. Este proyecto forma parte de su tesis de fin de carrera en ingeniería.

DECLARACIÓN DE REVISIÓN

Documento revisado y aprobado para su publicación por la Sociedad de Minería Subterránea del Instituto Canadiense de Minería, Metalurgia y Petróleo.

REFERENCIAS

Gleeson, D. (2019). Canadian technology: Tapping the Tech. *International Mining*, 14(4), 77–85.
International Mining. (2016). *Loadscan*. Extraído el 25 de enero de 2023, de <https://im-mining.com/2016/09/14/loadscan-at-minexpo/>
Vaziri, S. H., Haas, C. T., Rothenburg, L., & Haas, R. C. (2013). Investigation of the effect of weight factor on performance of piezoelectric weigh-in-motion sensors. *Journal of Transportation Engineering*, 139(9), 913–922. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000561](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000561)

