



INFLUENCIA DEL IMPACTO DEL TKPH EN LA PRODUCCIÓN DIARIA EN UNA UNIDAD MINERA

Eugenio Basilio Davila Paca^{1*}, Christ Jesus Barriga Paria², Almendra Anahis Silva Arotaype³, Luis Enrique Fernando Rivera Juarez⁴, Lizbeth Nayeli Sanga Catare⁵, Renato Luis Tumba Flores⁶, Romina Mae Ripas Lanza⁷, Aaron Oscar Tumba Flores⁸, Mary Nicol Rios Chalco⁹.

ABSTRACT.

“Influence of the impact of TKPH on daily production in a Mining Unit.” Introduction: Mining covers a set of operations for the extraction of minerals. Objectives: Evaluate the influence that the impact of TKPH has on the daily production of a Mining Unit. Methods: The different processes involved in the search for opportunities that allow the work to be carried out optimally with a reduction in costs, maintaining a positive impact within the mining system, were considered. Taking into consideration the aforementioned, we will see the applicability and viability of cost minimization and what are the consequences that this would generate within the mine system, considering a balance between the budget and the optimization of the service in the route of 3 routes of a Mining Unit. Results: With this study, a 33% reduction in tire removal was obtained, minimizing unit hauling costs per ton. Conclusion: The study showed positive results regarding cost optimization and tire life extension.

Keywords: Optimization, costs, routes, tire, life.

RESUMEN

“Influencia del impacto del TKPH en la producción diaria en una Unidad Minera”. Introducción: La minería abarca un conjunto de operaciones para la extracción de minerales. Objetivos: Evaluar la influencia que tiene el impacto del TKPH dentro de la producción diaria de una Unidad Minera. Métodos: Se consideraron los distintos procesos que intervienen dentro de la búsqueda de oportunidades que permiten realizar el trabajo de manera óptima con una reducción de los costos, manteniendo un impacto positivo dentro del sistema minero. Teniendo en consideración lo mencionado anteriormente veremos la aplicabilidad y la viabilidad de la minimización de costos y cuáles son las consecuencias que generaría esto dentro del sistema de mina, considerando un equilibrio entre el presupuesto y la optimización del servicio en el recorrido de 3 rutas de una Unidad Minera. Resultados: Con el presente estudio se obtuvo la reducción del 33% en el retiro de neumáticos minimizando los costos unitarios de acarreo por tonelada. Conclusión: El estudio arrojó resultados positivos con respecto a la optimización de costos y alargamiento de vida de los neumáticos.

Palabras clave: Optimización, costos, rutas, neumático, vida.

¹ *Universidad Nacional de Moquegua, R348+WV7, Prolongación Av., Ancash, Moquegua, Perú; 2015103034@unam.edu.pe, <https://orcid.org/0009-0000-3745-5621>;

² cjbarriaga_87@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7130-9297>;

³ 2017103085@unam.edu.pe, <https://orcid.org/0009-0003-6519-0837>;

⁴ 2017103025@unam.edu.pe, <https://orcid.org/0009-0004-0986-5374>;

⁵ 2019103148@unam.edu.pe, <https://orcid.org/0009-0008-1690-3200>;

⁶ 2019103150@unam.edu.pe, <https://orcid.org/0009-0005-8232-9831>;

⁷ 2020103036@unam.edu.pe, <https://orcid.org/0009-0008-4601-1748>;

⁸ 2019103149@unam.edu.pe, <https://orcid.org/0009-0004-2252-5040>;

⁹ 2019103131@unam.edu.pe, <https://orcid.org/0009-0003-5907-256X>;

***Corresponding Author:** - Eugenio Basilio Davila Paca

*Universidad Nacional de Moquegua, R348+WV7, Prolongación Av., Ancash, Moquegua, Perú; 2015103034@unam.edu.pe, <https://orcid.org/0009-0000-3745-5621>;

DOI: 10.53555/ecb/2023.12.Si13.233

INTRODUCCIÓN

La minería es un pilar importante en el Perú, los ingresos proporcionados mediante los pagos de impuestos son fundamentales para el financiamiento de obras, estabilidad económica del país, entre otras. En el sector minero, optimizar los costos y gestionar de manera eficiente los recursos es de suma importancia, debido a que son factores críticos que afectan directamente a la rentabilidad y sostenibilidad de las operaciones mineras (Esan, 2016).

El aumento de producción de una Unidad Minera es significativo para el crecimiento y desarrollo. En las empresas mineras, la demanda de altos niveles de producción provoca necesidad de neumáticos que sean de buena calidad y duraderos (Rizki, Ashari & Nasrudin, 2021). Por ende, el estudio de la optimización de costos de las operaciones unitarias del ciclo de minado es importante, se asumen parámetros a ser evaluados con la finalidad de generar mayores ingresos.

Los neumáticos todoterreno también desempeñan un papel fundamental facilitando la carga y operaciones de acarreo, en minería industria (Walpita, Priyancara, Wickrama & Jayawardena, 2014). La utilización de los neumáticos es tan importante en la minería que resulta necesario llevar una gestión adecuada de ellos (Abner I., 2018). La temperatura de los neumáticos y la operatividad de los equipos, estos detalles son muy importantes en la vida útil de los neumáticos (Minaya, 2021)

El acarreo y transporte en mina, es una de las etapas que mas depende de costos e inversión, dentro de este mismo, el área de transporte y acarreo de mineral y desmonte genera el incremento de costos unitarios, considerando la distancia de transporte, la que incide directamente en el incremento de costos. (Johan T. & Carlos L., 2020).

El uso de neumáticos son parte vital para el acarreo del mineral y el desmonte, por ende, es necesario optimizar su rendimiento, Los neumáticos deben resistir todas las formas de agresión y uso del suelo. (Agung & Zaenal, 2020). Por lo que un parámetro clave para lograrlo son las Toneladas Kilómetros por Hora (TKPH). TKPH es una medida de la acumulación de calor en un neumático debido a la carga que debe transportar y la velocidad a la que viaja (Lidenque, 2016).

El presente estudio se llevó a cabo en una Unidad Minera ubicada en la región de Moquegua, en Perú, país que ocupa un prestigioso puesto como productor de cobre a nivel mundial, segundo lugar por debajo de Chile. La Unidad Minera es de explotación a tajo abierto, por lo que emplean equipos de grandes dimensiones, siendo el rendimiento y durabilidad de los neumáticos de

estos equipos fundamentales para una producción continua y rentable.

El TKPH, al ser un parámetro que representa la carga de un neumático en relación con la generación de calor, permite garantizar un rendimiento óptimo para las operaciones (Academia, 2023). Con la finalidad de alargar la vida útil de estos se propone evaluar el TKPH con diferentes variables en la Unidad Minera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Generalidades: La investigación consistió en un estudio de optimización de costos con referencia al manejo de variables para el alargamiento de la vida útil de los neumáticos de los camiones usados para las operaciones unitarias en minería. La información obtenida será de forma documental.

Características del estudio: El estudio se realizó en un periodo de dos meses, controlando el ciclo de camiones y ciclo de horas operativas de los volquetes el cual comprende tiempos de: volquete vacío, viaje de ida vacío, de espera, de estacionamiento, carga de mineral o desmonte, acarreo, espera en cola, retroceso y descarga de mineral o desmonte, reiterando el proceso. Las variables a documentar se registrarán según cada ruta, tres rutas, que transitan.

Procedimientos evaluados: Se utilizaron distintos softwares posteriormente mencionados, así como también la flota de 24 camiones mineros, 16 camiones Komatsu980E y 18 volquetes Caterpillar797F, ambos modelos de 360 Ton. Así mismo, se consideraron 144 neumáticos de la flota de volquetes, siendo estas las que brindaron datos de velocidad, distancia y tonelaje.

Los puntos considerados para la correcta recolección de datos son los siguientes: distancias equivalentes de rutas de acarreo, tonelaje acarreado, velocidades máximas y tiempos de ciclo. Las distancias de las distintas rutas evaluadas son medidas que se usarán para la comparación de rutas óptimas de acarreo y se determinaron mediante la siguiente ecuación (1):

$$EFH = \text{Distancia de la ruta}(km) * \text{factor EFH} \quad (1)$$

Donde:

EFH = distancia equivalente

Para el cálculo del factor nos basaremos en la Ecuación (2) siguiente:

$$\text{Factor EFH} = \frac{\text{velocidad en plano} \left(\frac{km}{hr} \right)}{\text{velocidad en pendiente} (km/hr)} \quad (2)$$

Cada volquete utilizado cuenta con un sensor de balanza incorporada, de esta forma el cálculo de

tonelaje en tiempo real fue posible. Se utilizó una técnica llamada distribución de cargas (IGME, s.f.) para conseguir el tonelaje acarreado por cada neumático. En la Tabla 1 se visualiza la optimización de costos de acarreo y transporte de mineral.

Tabla 1: Factor de distribución de peso de acuerdo con la posición del neumático.

| Flota de volquete | POSICIÓN DE NEUMÁTICO | | | | | |
|-------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| CAT – 797 F | 0.16 | 0.16 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| KOM – 980E | 0.16 | 0.16 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |

Estos factores fueron utilizados en dos momentos, el primer momento fue la distribución de pesos mientras el volquete se encuentra vacío, y el segundo momento es el cálculo mientras el volquete se encuentra cargado.

Para nombrar posiciones de neumáticos en los camiones volquete comienzan desde el neumático delantero izquierdo, de la misma manera, por el contrario, para el neumático trasero también se parte de la izquierda. Para mayor claridad la ubicación de neumáticos del CAT-797 F (Caterpillar, 2023) y del KOM-980E (Komatsu, s.f.) como se muestra en la figura 1.

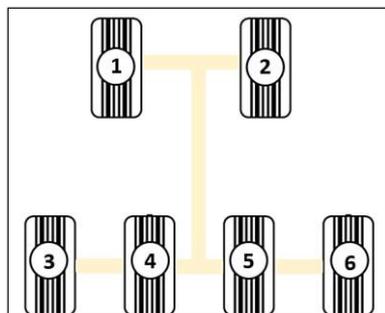


Figura 1. Ubicación de neumáticos en ambos modelos de volquetes

Para el control de datos de las velocidades de nuestros equipos se utilizó el software de

monitoreo y control Mems Evolution 4 que realiza el cálculo mediante el sistema de posicionamiento por GPS a los sensores instalados al interior de los neumáticos tomando ubicaciones cada 5 segundos de manera continua (Taquima, 2017).

Se obtiene los tiempos de acarreo de forma similar que la velocidad, estos datos son enviados al sistema de administración de flota Hexagon Mine Operation. Se utilizó el software Hexagon Mine Operation, con el cual se analizó los datos de: rutas de acarreo, tonelaje movido por cada volquete, tiempo de ciclo o velocidades.

El software Klinge se usó para que brinde la información de ubicación de los neumáticos y sus respectivas posiciones de rotación en el volquete, así como también el número de horas en cada posición.

Toda la información fue analizada en una base de datos con el fin de calcular: toneladas movidas por cada posición de neumático, velocidades medias por ruta de acarreo, análisis unitario de costos operativos en operaciones unitarias, análisis de productividad según posición de neumático, cálculo de tiempos de acarreo, cálculo de distancias equivalentes por rutas y evaluación de resultados de años anteriores en números de horas referentes al tiempo de vida del neumático.

RESULTADOS

TKPH RUTAS DE ACARREO. Se tomaron en cuenta las distancias en kilómetros, rutas y destinos. Se pudieron identificar 3 rutas clasificadas por un ID, inicio de partida, fin y nivel. Para cada una se realizó el calculo nominal del TKPH, siendo un total de 1 379 ciclos para el estudio en un total de 7 semanas en las rutas R-01 y R-03, y un total de 6 semanas en la ruta R-02.

Las variables para considerar fueron la distancia (km), ciclo de acarreo, tiempos (mediante el uso del GPS) y tonelajes, en la Tabla 2 se visualizan las rutas de acarreo de mineral y desmonte como cuadro resumen.

TABLA 2: Rutas de acarreo de mineral y desmonte con referencia al TKPH nominal según cada ruta

| ID-RUTA | INICIO | FIN | NIVEL | SEMANA | DIST (Km) | DIST . Eq (Km) | TIEMPO CICLO CARGADO (Min) | TON. NOMINAL (Ton) | VELOCIDAD (Km/h) | TKP (Pos 1 y 2) | TKP (Pos 3 - 6) |
|---------|--------|------------|-------|--------|-----------|----------------|----------------------------|--------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| R - 01 | P-01 | Chancadora | 3295 | S1 | 1.09 | 1.37 | 4.7 | 360 | 17.6 | 1 015 | 1 079 |
| | | | | S2 | 1.18 | 1.43 | 4.7 | 360 | 18.4 | 1 | 1 |
| | | | | S3 | 1.37 | 1.63 | 5.3 | 360 | 18.4 | 061 | 127 |
| | | | | | | | | | | 1 | 1 |
| | | | | | | | | | | 057 | 123 |
| | | | | S4 | 1.28 | 1.54 | 5.7 | 360 | 16.4 | 9 43 | 1 |
| | | | | S5 | | | 4.5 5.0 | 360 | 20.8 23.3 | | 001 |

| | | | | | | | | | | | |
|--------|--------|------------|---------------|----|------|-------|-----------|-----|-----------|------|------|
| | | | | S6 | 1.35 | 1.57 | 4.7 | 360 | 24.1 | 1 | 1 |
| | | | | S7 | 1.69 | 1.94 | | 360 | | 198 | 273 |
| | | | | | 1.63 | 1.88 | | | | 1 | 1 |
| | | | | | | | | | | 342 | 426 |
| | | | | | | | | | | 1 | 1 |
| | | | | | | | | | | 387 | 474 |
| R - 02 | P - 04 | Chancadora | 3280/ 3295 | S1 | 1 | 1.65 | 4.8 | 360 | 20.5 | 1 | 1 |
| | | | | | | | | | | 180 | 254 |
| | | | | S2 | 1 | 1.58 | 4.9 6.6 | 360 | 19.3 20.2 | 1 | 1 |
| | | | | S3 | 2 | 2.23 | | 360 | | 112 | 181 |
| | | | | | | | | | | 1 | 1 |
| | | | | | | | | | | 166 | 238 |
| | | | | S4 | 2 | 2.39 | 6.3 | 360 | 22.7 | 1 | 1 |
| | | | | | | | | | | 309 | 391 |
| | | | | S5 | 2 | 2.44 | 5.7 | 360 | 25.6 | 1 | 1 |
| | | | | | | | | | | 472 | 564 |
| | | | | S6 | 2 | 2.11 | 5.8 | 360 | 21.8 | 1 | 1 |
| | | | | | | | | | | 254 | 333 |
| R - 03 | P - 05 | Chancadora | 3025/ 3040 | S1 | 4.07 | 9.66 | 17.9 | 360 | 32.4 | 1 | 1 |
| | | | | | | | | | | 865 | 981 |
| | | | | S2 | 3.93 | 6.78 | 18.6 | 360 | 21.9 | 1 | 1 |
| | | | | | | | | | | 261 | 339 |
| | | | | S3 | 4.07 | 9.34 | 18.9 | 360 | 29.7 | 1 | 1 |
| | | | | | | | | | | 712 | 819 |
| | | | | | | | | S4 | 3.86 | 9.09 | 18.6 |
| | | | | | | | | | 686 | 792 | |
| | | | | S5 | 3.31 | 6.66 | 16.2 18.4 | 360 | 24.7 31.4 | 1 | 1 |
| | | | | S6 | 3.81 | 9.61 | | 360 | | 423 | 512 |
| | | | | | | | | | | 1 | 1 |
| | | | | | | | | | | 807 | 920 |
| | | | | S7 | 4.10 | 10.23 | 19.3 | 360 | 31.8 | 1 | 1 |
| | | | | | | | | | | 832 | 946 |

TKPH OPERATIVO. El proyecto se centra en la implementación del TKPH operativo utilizando tecnología de sistema de administración de flotas. Se ha considerado la aplicación de este enfoque en dos flotas de volquetes específicos, a saber, los modelos Komatsu 980E y Cat 797F. Los análisis y resultados obtenidos se evalúan de forma independiente para cada ruta de acarreo contemplada en el proyecto.

Para la ruta de acarreo flota R-01 Komatsu 980E, Se analizaron 374 viajes de la flota Komatsu 980E durante seis semanas, recopilando datos de tiempos, distancias y tonelajes. Se calcularon tres tipos de TKPH: el de la ruta, el de fábrica y el operativo, monitoreado en tiempo real. Solo se encontró un evento que superó el TKPH nominal del neumático, representando el 0.0027% de los ciclos totales, y se reasignó a una ruta con menor TKPH para optimizar la operación.

Ruta de acarreo flota Cat 797F, se recopilaron datos de 795 ciclos de acarreo en siete semanas para la flota Cat 797F, con 18 volquetes de capacidad nominal de 360 toneladas cada uno. El 1% de los ciclos superó el TKPH nominal del neumático, con un máximo de 2 442, lo que llevó a la reasignación inmediata de 6 ciclos. El 94% restante se mantuvo dentro de los límites establecidos para la ruta.

La ruta R-02 flota Komatsu 980E, la ruta R-02, que abarca los niveles 3 280 y 3 295 de la fase 07, está asociada con la Pala Bucyrus 495HR (P05) y 6 volquetes Komatsu 980E. Durante 5 semanas, se realizaron 355 ciclos de acarreo de mineral.

Ruta de acarreo R-02 flota Cat 797F: Se realizó un análisis del TKPH operativo de la segunda ruta con respecto a la flota Cat 797F, y se logró determinar que 3% de los viajes que realizó la flota superó el TKPH del neumático.

Ruta de acarreo R-03 flota Komatsu 980E: Se realizó un análisis del TKPH operativo de la tercera ruta con respecto a la flota Komatsu 980E, y se logró determinar que 11% de los viajes que realizó la flota superó el TKPH del neumático.

Ruta de acarreo R-03 flota Cat 797F: Se realizó un análisis del TKPH operativo de la tercera ruta con respecto a la flota Cat 797, y se logró determinar que el 25% de los viajes que realizó la flota superó el TKPH del neumático.

COSTOS DE ACARREO. Los costos operativos arrojados no son precisos, por lo tanto, se calcula un promedio de los mismos, que se distribuye de la siguiente manera: el área de perforación representa un 5% del total, la voladura un 9%, el carguío un 13% y otros constituyen un total del 20%.

Los costos asociados al acarreo y transporte son uno de los elementos con mayor influencia, representando un 50% del total en promedio. Se observa que el costo por tonelada de acarreo es de

0.60 USD/TON para la flota Cat 797F y de 0.61 USD/TON para la flota Komatsu 980E. En la Figura 2 se presenta una representación gráfica de la distribución de estos costos por acarreo.

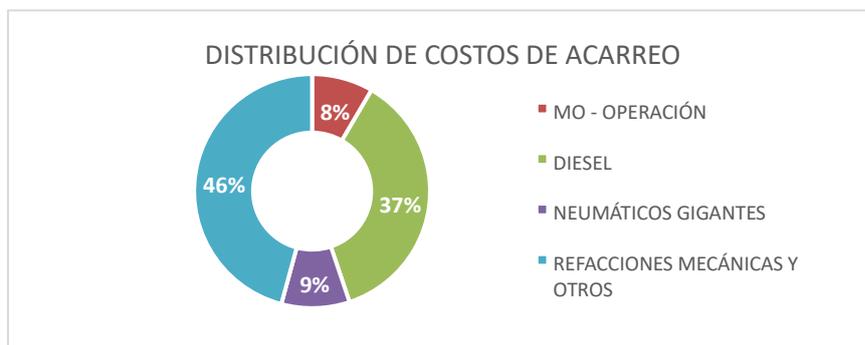


Figura 2. Distribución porcentual de costos operativos.

Para los volquetes Komatsu 980E, el costo promedio es de 0.47 USD/TON para el primer mes y de 0.57 USD/TON para el mes siguiente. Además, el 10% de los neumáticos retirados representa un promedio de 2 neumáticos por mes, los cuales son extraídos mediante el proceso de separación por calor. El costo mensual de los neumáticos por cada tonelada acarreada, tomando en cuenta exclusivamente los neumáticos de tamaño 59/80R63 en relación al promedio previsto. Para la flota Cat 797F, el costo de acarreo para el primer mes es de 0.73 USD/TON y para el siguiente mes es de 0.65 USD/TON. Asimismo, para los costos de neumáticos se representa un costo unitario de acarreo del 10%. Para el primer mes tiene un costo de 0.0076 USD por cada tonelada acarreada que corresponde a neumáticos que salen por separación producto del exceso de TKPH, de la misma manera para el siguiente mes se tiene un costo de 0.0068 USD por tonelada.

VELOCIDAD VS TKPH. La velocidad de un camión volquete es un indicador muy importante a la hora de medir TKPH, analizamos el comportamiento de la velocidad en relación al TKPH y su influencia, los viajes analizados para este segmento se consideran solo los viajes que han superado el límite de 2 036 TKPH según el máximo del neumático.

En la ruta R-01 con la flota 980E, según el análisis anterior solo hubo un evento que superó el límite de TKPH, este valor fue de 2 253 para alcanzar una velocidad de 58 km/h. Para la flota de volquetes Cat 797F en la misma ruta, se registraron 6 viajes sobre el TKPH y además alcanzó un TKPH máximo de 2 442, 20% superior al máximo establecido, con una velocidad máxima de 42 km/h cambio de velocidad y TKPH.

En la ruta R-02 para el análisis del chancador P04, solo se consideraron viajes que excedieron el límite de TKPH para la flota de volquetes Cat 797F, de los cuales 25 volquetes excedieron el límite, alcanzando así un máximo de 2 341, o 15% superior. El objetivo de TKPH del neumático también alcanza una velocidad máxima de 39 km/h, analizando TKPH versus velocidad.

En la ruta R-03 desde P05 hasta la trituradora existe un tramo con alto TKPH por lo que existen muchos eventos que exceden el límite máximo de TKPH del neumático, por lo tanto, para la flota K980E existen 33 eventos, registrando un máximo de TKPH de 2 300 o un 13% por encima del límite establecido, de la misma manera logramos una velocidad máxima de 38 km/h, analizando TKPH en relación a la velocidad.

Para esta misma ruta R-03 con la flota Cat 797F, el mayor número de eventos ocurrió en 7 semanas, con un total de 146 eventos excediendo el límite, lo que se considera un valor máximo de TKPH alcanzando 2 415 con un 20% superior al TKPH del neumático.

ANÁLISIS NEUMÁTICOS. Se retiran en promedio 3 neumáticos 59/80R63 al mes mediante separación térmica, y mediante la aplicabilidad de TKPH por ruta se obtienen los siguientes resultados:

Se calculó un promedio de 5 511 horas de vida para los neumáticos retirados debido al desgaste natural. Sin embargo, al ocurrir la separación térmica debido a un exceso de TKPH, se observó que los neumáticos tenían diferentes duraciones en la primera semana de 344 horas y 4675 horas y en el segundo mes de 4 534 y 4 955 horas, para el neumático uno y dos respectivamente. Estas diferencias resultaron en pérdidas totales de 49 301

USD solo para los neumáticos con exceso de TKPH.

DISCUSIÓN

El artículo presenta varios resultados relacionados con el TKPH de las rutas de transporte, el TKPH operativo, los costos de transporte, la velocidad frente al TKPH y la vida útil de los neumáticos. El TKPH de las tres rutas de acarreo estudiadas varía debido a los movimientos de los frentes mineros, pero es claro que la ruta R-01 tiene un TKPH menor debido a su menor distancia, mientras que la ruta R-03 tiene el TKPH más alto debido a su distancia más larga.

El conocimiento del TKPH de las rutas permite tomar decisiones rápidas a la hora de asignar un camión volquete que ha superado el TKPH de su neumático, asignándolo a una ruta menos penalizadora para reducir la temperatura de los neumáticos y evitar separaciones térmicas de la estructura interna.

El análisis operativo de TKPH muestra que el índice promedio de superación del TKPH nominal de la flota Komatsu 980E es de 1,89 por camión volquete y por ruta, mientras que el índice promedio de la flota Cat 797F es de 3,28 veces por camión volquete y por ruta. La ruta R-01 tiene menos excesos de TKPH debido a su corta distancia, mientras que la ruta R-03 tiene más excesos de TKPH.

La distribución de los costos de operación está representada mayoritariamente por los costos de transporte, subdivididos en repuestos mecánicos y costos de mantenimiento, diesel, neumáticos y mano de obra. El estudio sólo considera neumáticos 59/80R63 que son desgastados debido a las altas temperaturas provocadas por excesos de TKPH.

La distribución mensual de chatarra de neumáticos es del 87% por desgaste natural, 11% por separación térmica y 2% por cortes. La aplicación de TKPH reduce en un 33% el promedio mensual de desecho de neumáticos para rutas minerales, generando un ahorro de 60 560.00 USD.

La velocidad de los volquetes es una de las variables para calcular el TKPH, y analizando solo las velocidades de aquellos que exceden el límite de TKPH del neumático se observa que la ruta R01 tiene el índice TKPH más bajo, mientras que la ruta R-03 tiene el más alto.

Los volquetes en la ruta R-03 tienen mayor velocidad y un mayor número de eventos donde se excede el límite TKPH del neumático, poniéndolos en riesgo sus características estructurales.

Finalmente, el estudio muestra que los neumáticos retirados por separación térmica no alcanzan su vida útil promedio de 5 511 horas, y durante los dos meses del estudio, solo se aprovecha en promedio

el 80% de la vida útil del neumático, considerándose el 20% como pérdida por jubilación provocada por alta temperatura.

EXPRESIONES DE GRATITUD

Se agradece a la Universidad Nacional de Moquegua por los conocimientos proporcionados como estudiantes de Ingeniería de Minas, por su compromiso con la excelencia académica y la difusión del conocimiento es verdaderamente inspirador. Este logro no habría sido posible sin su inestimable ayuda. A la Unidad Minera por permitirnos la realizar la investigación descrita.

ÉTICA, CONFLICTO DE INTERESES Y DECLARACIÓN DE FINANCIAMIENTO

Los autores declaran haber cumplido con todos los requisitos éticos y legales, tanto durante el estudio como en la producción del presente manuscrito; que no existen conflictos de intereses de ningún tipo, y estar de acuerdo con la versión final editada. Un documento firmado ha sido archivado en los archivos de la revista. El aporte de cada autor al manuscrito es la siguiente: EBDP, CJPB, AASA, LEFRJ, LNSC, RLTF, RMRL, AOTF y MNRC: instrucción del artículo, materiales y métodos, los resultados del impacto del TKPH, Discusión de resultados, expresiones de gratitud, ética y referencias bibliográficas.

REFERENCIAS

- 1 Academia (2023) TKPH y compuesto de los neumáticos OTR. <https://magnatyres.com/es/academia/tkph-neumaticos-otr/>
- 2 Asilio J. (2022) Optimización de costos operativos en neumáticos reduciendo las prácticas penalizantes de operación de los equipos 785C y HD 1500 [Informe de examen profesional, Universidad Nacional de Moquegua]. Repositorio del UNAM. <https://repositorio.unam.edu.pe/items/4d8f465b-08fd-48a3-84e2-a67cb2bfd3f9>
- 3 Carrion A. (2021) Estudio sobre la importancia de la gestion de neumáticos en los volquetes mercedes benz modelo actros
- 4 3344k en la u.m. quenuales – contonga [Trabajo de suficiencia profesional, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de la PUCP <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456>
- 5 CAT (2023) Camiones para minería 797F. https://www.cat.com/es_US/products/new/equipment/off-highwaytrucks/mining-trucks/18093014.html
- 6 Esan (2016) La reducción de costos en la actividad minera.

- <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/reduccion-costosactividad-minera>
- 7 Idrogo A. (2018) Optimización del carguío y acarreo mediante la mejora de eficiencia del tiempo de vida de los neumáticos de los equipos empleados en la empresa S.M.R.L. divina revelación, Cajamarca, 2018 [Tesis para título profesional, Universidad Alas Peruanas]. <https://repositorio.uap.edu.pe/handle/20.500.12990/4837>
 - 8 Instituto Tecnológico GeoMinero de España. (s.f.) Manual de arranque, carga y transporte en minería a cielo abierto. https://info.igme.es/SidPDF%5C066000%5C874%5C66874_0001.pdf
 - 9 Komatsu (s.f.) Camión eléctrico 980E-5. <https://komatsu.pe/images/komatsu/mineria/camiones-electricos/CatalogoCamion-Electrico-980E-5-esp-digital.pdf>
 - 10 Lidenque GC, (2016). A critical investigation into tyre life on an ore haulage system. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 116(4), 317 – 322. <http://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/2016/v116n4a3>
 - 11 Minaya, M. Implementación de la metodología six sigma para mejorar la vida útil de neumáticos de camiones mineros en el proyecto mina justa [Tesis para título profesional, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio de la UNSA <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/26fa53a6-bb50-4de49f8b-c38e1f5d7cff/content>
 - 12 Rizki, M., Ashari, Y., & Nasrudin, D. (2021). Kajian Teknis Kondisi Jalan Angkut Untuk Meningkatkan Lifetime dan Dump Truck pada Pengangkutan Penambangan Bantan Andesit di CV Panghegar, Desa Cilalawi, Kecamatan Sukatani, kabupaten Purwakarta. *Prosiding Teknik Pertambangan*, 7(1), 252-257. <http://dx.doi.org/10.29313/pertambangan.v7i1.26377>
 - 13 Taquima, M. Eficiencia en el rendimiento de neumáticos de camiones gigantes mediante el sistema de administración de movimiento de tierra Michelin (M.E.M.S. evolución 2) Mina Antapaccay [Informe para título profesional, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio de la UNSA <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5072>
 - 15 Tomás J. & León C. (2020). Optimización de costos unitarios en el transporte de mineral y desmonte en la zona Esperanza de la Compañía Minera Raura [Tesis para título profesional, Universidad Continental]. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8516>
 - 16 Walpita, S., Priyankara, I., Wickrama, M., & Jayawardena, C. (2014). Investigation into off-the-road tire performance at Aruwakkalu quarry. In P.V.A. Hemalal (Ed.), Proceedings of the 8th National Conference on Earth Resources Management (pp. 12-16). Department of Earth Resources Engineering, University of Moratuwa. <http://dl.lib.uom.lk/handle/123/18448>
 - 18 Yudiono, A. H. P., Zaenal, Z., & Sriyanti, S. (2020). Evaluasi Performa Ban Dump Truck pada Pengangkutan Penambangan
 - 19 Batu Andesit. Prosiding Teknik Pertambangan, 6(2), 435-442. <http://dx.doi.org/10.29313/pertambangan.v6i2.22756>