

Aspectos de diseño, operativos y de seguridad respecto a la implementación de tuberías HDPE en camiones mineros de explotación superficial



Implementación de tuberías HDPE para la reducción de daños en neumáticos OTR e incremento de su vida útil

“Implementation of HDPE Pipes to Reduce OTR Tire Damage and Increase Their Lifespan”

RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo general brindar los aspectos de diseño, operativos y de seguridad respecto a la implementación de tuberías HDPE en camiones mineros de explotación superficial (CAEX). Añadido a ello, se tienen los siguientes objetivos específicos: aplicación de una herramienta de mejora continua para la resolución de problemas relacionados con la gestión de neumáticos OTR; determinar el factor influyente para el caso de estudio; calcular el costo de daños y tasas de desgaste; proponer acciones de mejora con dicha implementación para la reducción de daños en neumáticos OTR e incremento de su vida útil; determinar la cantidad y tipos de tuberías HDPE a implementar en los diferentes modelos de flotas; evaluar el impacto de mejora en los costos y daños de la gestión de neumáticos OTR.

El método utilizado en el estudio fue la aplicación del diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de causa y efecto, o diagrama de espina de pescado. Este se empleó para identificar las causas que provocan daños en los neumáticos OTR en la industria minera. Se traza una línea central que representa el problema principal y se agregan ramas principales que representan categorías de factores o causas influyentes. Luego se agregan ramas secundarias que detallan factores más específicos dentro de cada categoría.

Para determinar el factor más influyente, se tomó como referencia una empresa minera y se aplicaron sistemas que controlan los neumáticos OTR, como sistemas de despacho, el formato de inspección en campo.

La propuesta para evitar que las rocas caigan en las zonas de carguío fue analizar en campo la utilización de accesorios adicionales en los camiones de extracción, como tubos HDPE, tubos PVC y alerones metálicos.

Se describieron las características técnicas de las tuberías HDPE, PVC y las tuberías o alerones metálicos. Las tuberías HDPE son flexibles, resistentes a la corrosión y duraderas, adecuadas para aplicaciones en la industria minera. Las tuberías de PVC son rígidas, duraderas y resistentes a la corrosión, ampliamente utilizadas en aplicaciones de plomería y drenaje. Las tuberías metálicas, fabricadas con diferentes metales, son resistentes, duraderas y capaces de soportar altas presiones y temperaturas. Los resultados (hallazgos) principales. Finalmente, en la metodología se realizó el cálculo de daños y tasas de desgaste.

Como conclusiones principales, se aplicó la herramienta de mejora continua diagrama de Ishikawa para determinar que el factor más influyente para el caso de estudio es el corte de neumáticos OTR en zonas de carguío; asimismo, se determinaron las principales características de las tuberías a emplear siendo las más adecuadas las tuberías HDPE según las dimensiones en Longitud (m): 3,76 - 4,48 m, diámetro (m): 0,26 - 0,38 m, espesor: 0,04 - 0,06 m y en las cantidades de 22 unidades para los modelos 7D, 93-3, 93-4 y 83-1 para los distintos modelos de los camiones. Finalmente, se calculó el costo total de daños y tasas de desgaste después de la implementación de 1 475 000,00 y número de desechos de 64, teniendo como ahorro promedio al año \$330 000,00 (representa el 18 %).

ABSTRACT

This article aims to provide a general overview of the design, operational, and security aspects regarding the implementation of HDPE pipes in surface mining trucks (CAEX). The specific objectives are as follows: Apply an ongoing improvement tool to problem-solving related to OTR tire management, determine the influencing factor for the case study, calculate the cost of damage and wear rates, implement improvement actions to reduce



Palabras Claves

Acarreo mina, CAEX, HDPE, OTR, Scraps

Key words

Mine hauling, CAEX, HDPE, OTR, Scraps

damage of OTR tires and increase their lifespan, determine the quantity and types of HDPE pipes to be implemented in different fleet models, and evaluate the impact of improvement on OTR tire management costs and damages.

This study applied the Ishikawa diagram, also known as the cause-and-effect or fishbone diagram. This diagram is used to identify the causes that lead to damage to OTR tires in the mining industry. A central line representing the main problem is drawn, and main branches representing categories of influencing factors or causes are added. Then, secondary branches are added, detailing more specific factors within each category.

To determine the most influential factor, a mining company was taken as a reference, and systems controlling OTR tires, such as dispatch systems, and field inspection formats were applied.

The proposal to prevent rocks from falling into loading areas involved analyzing the use of additional accessories in extraction trucks, such as HDPE pipes, PVC pipes, and metal spoilers in the field.

The technical characteristics of HDPE, PVC, and metal pipes and/or spoilers were described. HDPE pipes are flexible, corrosion-resistant, and durable, making them suitable for mining industry applications. PVC pipes are rigid, durable, corrosion-resistant, and widely used in plumbing and drainage applications. Metal pipes, made from various metals, are strong, durable, and capable of withstanding high pressures and temperatures. The main findings were presented. Finally, damage calculation and wear rates were performed in the methodology.

The main conclusions are as follows: The Ishikawa Diagram ongoing improvement tool was applied to determine that the most influential factor for the case study is OTR tire cutting in loading areas. Additionally, the main characteristics of the pipes to be used were determined, with HDPE pipes being the most suitable based on dimensions of length (m): 3.76 - 4.48 m, diameter (m): 0.26 - 0.38 m, thickness: 0.04 - 0.06 m, and quantities of 22 units for models 7D, 93-3, 93-4, and 83-1 for different truck models. Finally, the total cost of damage and wear rates was calculated after the implementation as 1,475,000.00 and the number of waste as 64, with an average annual savings of \$330,000.00 (representing 18%).

INTRODUCCIÓN

La industria minera está experimentando un constante cambio debido a la creciente demanda de nuevos proyectos mineros en todo el mundo. Este crecimiento ha llevado a un aumento significativo en las exigencias operativas de las diversas operaciones, especialmente en el acarreo mina. Uno de los principales desafíos en estas operaciones es la necesidad de reducir los costos operativos y optimizar la gestión de insumos, como los neumáticos OTR utilizados en la minería.

Los neumáticos OTR desempeñan un papel crítico en las operaciones mineras, ya que estos deben soportar cargas pesadas y enfrentarse a condiciones extremas en terrenos accidentados. Sin embargo, debido a su tamaño y especialización, la fabricación de estos neumáticos no es tarea fácil. La producción y adquisición

de neumáticos OTR conllevan costos significativos y plazos de entrega prolongados.

Ante esta situación, es crucial encontrar soluciones que permitan reducir el consumo de neumáticos OTR en las minas y prolongar su vida útil. Esto no solo contribuiría a la disminución de los costos operativos, sino que también ayudaría a superar los desafíos logísticos, económicos y ambientales asociados con la adquisición de nuevos neumáticos.

En ese sentido, es fundamental buscar soluciones innovadoras para minimizar el consumo de neumáticos OTR y aumentar su durabilidad. Una estrategia prometedora es la implementación de tuberías HDPE en las tolvas de los camiones mineros de explotación superficial. Estas se colocan en las tolvas de los camiones para evitar que las rocas caigan en áreas donde puedan dañar los neumáticos durante el proceso de carga (zonas de carguío).

Al utilizar esta práctica, se previenen cortes profundos y scraps de neumáticos, lo que conlleva una reducción significativa en los costos operativos y una mayor eficiencia en las operaciones mineras. Además, se evita la necesidad de adquirir neumáticos nuevos con tanta frecuencia, lo que implica una disminución considerable de los costos y una gestión más sostenible de los recursos.

No obstante, es importante considerar que la implementación exitosa requiere un análisis exhaustivo, pruebas rigurosas y ajustes personalizados para adaptarse a las condiciones específicas de cada mina.

Objetivo general

- Brindar los aspectos de diseño, operativos y de seguridad respecto a la implementación de tuberías HDPE en camiones mineros de explotación superficial (CAEX).

Objetivos específicos

- Aplicar una herramienta de mejora continua para la resolución de problemas relacionados con la gestión de neumáticos OTR.
- Determinar el factor influyente para el caso de estudio.
- Calcular el costo de daños y tasas de desgaste
- Proponer acciones de mejora con dicha implementación para la reducción de daños en neumáticos OTR e incremento de su vida útil.
- Determinar la cantidad y los tipos de tuberías HDPE a implementar en los diferentes modelos de flotas.
- Evaluar el impacto de mejora en los costos y daños de la gestión de neumáticos OTR.

FUNDAMENTOS

En las tesis de Leal [10], Huamán [9], Gallardo [8], Arce [1], Trujillo [22], Campos [3], y Martínez [11], en distintos contextos y con distintos parámetros acorde a cada unidad de estudio, se analiza el rendimiento de los neumáticos, ya que básicamente se refiere

a su capacidad de agarre, estabilidad y confort, así como a su resistencia a la rodadura. La vida útil de los neumáticos depende de la profundidad de la banda de rodadura, el desgaste irregular y las condiciones de conducción y mantenimiento. Mantener un buen rendimiento y alargar la vida útil requiere el cumplimiento de las recomendaciones del fabricante y la realización de un mantenimiento adecuado.

En las tesis de Chepillo Bahamondes y Jaime Alfonso [5], Paredes Sánchez [17], Mora Huaco [14], Delgado Alemán [6], Tejada Díaz [21]. Se estudian los distintos factores influyentes en el desgaste de los neumáticos. Los neumáticos OTR (*Off-The-Road*) están diseñados para vehículos y maquinaria que operan en terrenos difíciles y condiciones extremas. Algunos de los factores influyentes en el desgaste de los neumáticos OTR son los siguientes:

Superficie del terreno: El tipo de terreno en el que se utiliza el neumático OTR tiene un impacto significativo en su desgaste. Terrenos ásperos, como rocas, grava o terrenos blandos, pueden provocar un desgaste más rápido y agresivo.

Carga y presión de inflado: La carga que soportan los neumáticos OTR y la presión de inflado adecuada son factores críticos. Si la carga es excesiva o la presión de inflado es insuficiente, puede generar un desgaste desigual y un aumento en la temperatura del neumático, lo que acelera el desgaste.

Condiciones climáticas: Las condiciones climáticas adversas, como temperaturas extremas, lluvia, nieve o barro, pueden afectar el desgaste de los neumáticos OTR. Por ejemplo, la tracción en condiciones mojadas o fangosas puede generar mayor deslizamiento y desgaste.

Velocidad y estilo de conducción: La velocidad y el estilo de conducción agresivo también pueden influir en el desgaste de los neumáticos OTR. Frenados bruscos, aceleraciones rápidas y giros bruscos pueden generar un desgaste más pronunciado.

Mantenimiento y cuidado: El mantenimiento adecuado de los neumáticos OTR, como la rotación periódica, el equilibrado, la alineación y la inspección regular, es esencial para minimizar el desgaste y maximizar su vida útil.

Diseño y composición del neumático: El diseño y la composición del neumático OTR, incluyendo el tipo de compuesto utilizado y la profundidad de la banda de rodadura, también influyen en su desgaste. Los neumáticos diseñados específicamente para condiciones *off-road* suelen tener una mayor resistencia al desgaste.

Es importante tener en cuenta estos factores y tomar las medidas adecuadas para minimizar el desgaste de los neumáticos OTR. Esto incluye elegir los neumáticos adecuados para las condiciones de trabajo, mantener una presión de inflado correcta y realizar un mantenimiento regular.

En las guías bibliográficas Bridgestone [2], Michelin [12 y 13], las guías de fabricación de neumáticos OTR (*Off-The-Road*) son conjuntos de normas y recomendaciones establecidas por los fabricantes de neumáticos para garantizar la calidad y la seguridad de los productos. Estas guías definen los estándares de diseño,

construcción y fabricación de los neumáticos OTR, considerando las condiciones y exigencias a las que serán sometidos.

El trabajo de investigación está enmarcado en un contexto de estudio de seis meses, tomando como referencia los modelos expuestos en las siguientes líneas. Se toma en consideración una unidad de estudio de gran minería, ya que en estos contextos la gestión del acarreo y de los neumáticos OTR es crítica. Por otro lado, no se efectuaron cálculos de los costos propios de la instalación de las tuberías teniendo como premisa medir solo el impacto de la reducción del costo remanente de neumáticos. Al momento, el material HDPE ha sido considerado como uno de los principales materiales a emplear para esta alternativa de solución, probablemente en el futuro con el desarrollo de la ingeniería de materiales se puedan emplear otros materiales más resistentes. Dicha solución no evita directamente los cortes profundos ni daños de neumáticos, permite mantener más tiempo las rocas cerca de la tolva (por la retención de las rocas) y que estas se retiren del radio de influencia del área de carguío (lugar donde los operadores por su poca visibilidad en las posiciones 5 y 6 pueden con la operación cortar neumáticos).

METODOLOGÍA

A. Aplicación del diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de causa y efecto o diagrama de espina de pescado, es una herramienta que se utiliza para identificar los factores o causas que provocan daños en los neumáticos OTR (*Off-The-Road*). Este permite visualizar de forma organizada y estructurada las posibles causas que pueden afectar el rendimiento y la duración de los neumáticos OTR en la industria minera.

En el diagrama de Ishikawa, se parte del problema principal que son los daños en los neumáticos OTR, y se traza una línea central como eje horizontal. A lo largo de esta línea, se agregan ramas principales que representan las categorías de factores o causas influyentes que podrían afectar los neumáticos OTR.

Algunas categorías comunes consideradas en el diagrama de Ishikawa para los neumáticos OTR incluyen las condiciones del terreno, las operaciones de carga y descarga, el mantenimiento y cuidado, los factores ambientales, el diseño y la construcción del neumático, entre otros.

A partir de cada rama principal, se pueden agregar ramas secundarias que detallan factores más específicos dentro de cada categoría. Estos pueden incluir aspectos como el desgaste excesivo, los cortes y las perforaciones, la presión inadecuada de los neumáticos, la falta de capacitación del personal, la falta de control de calidad en las operaciones, entre otros.

El objetivo del diagrama de Ishikawa es visualizar de manera clara las posibles causas de los daños en los neumáticos OTR, lo cual ayuda a los equipos de trabajo a analizar y comprender mejor la situación. Esto facilita la búsqueda de soluciones adecuadas y la implementación de medidas preventivas para evitar futuros daños y prolongar la vida útil de los neumáticos OTR en el ámbito minero.

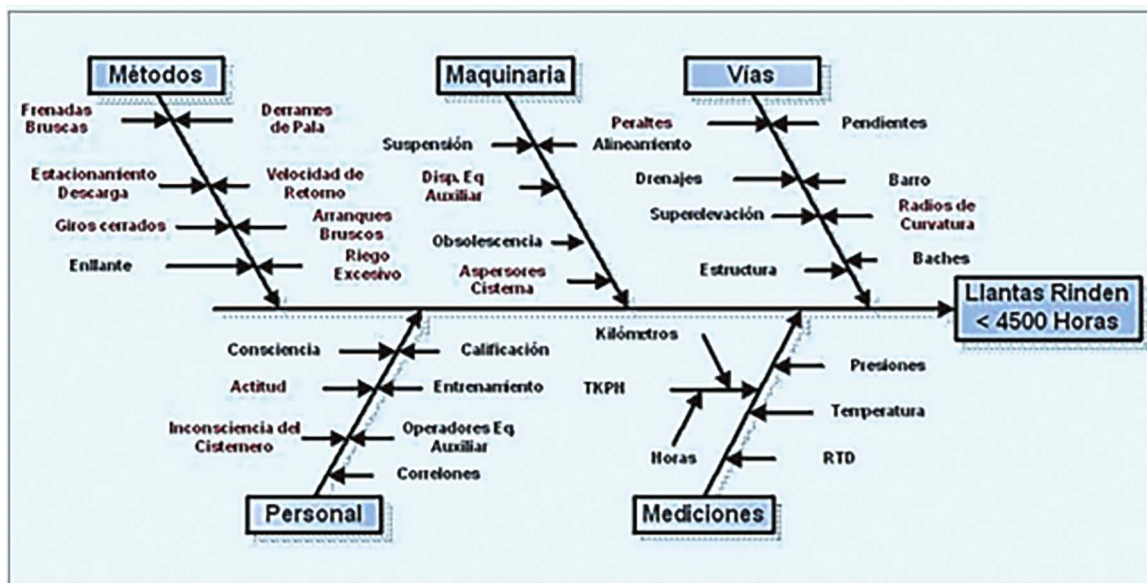


Figura 1. Diagrama de Ishikawa

Fuente: [6].

B. Determinación y descripción del factor más influyente

Para determinar el factor influyente, se tomará como referencia una empresa minera («A»), con características de operatividad, explotación a tajo abierto de cobre en pórfido de cobre y parámetros de planificación de diseño. Se considera una temporalidad de estudio: seis meses. Se debe de aplicar sistemas que anexen el control de los neumáticos OTR como los sistemas de despacho, así como algún formato de inspección en campo.

C. Definición de propuesta

Para evitar que las rocas caigan en las zonas de carguío, se analiza en campo que algunos CAEX presentan accesorios adicionales como los tubos HDPE, tubos PVC y alerones metálicos.



Figura 2. Camión con protector de tubo PVC

Fuente: [6].

D. Características técnicas de tuberías (ficha técnica)

a. Tubería HDPE

Una tubería HDPE, o tubería de polietileno de alta densidad, es un tipo de tubería fabricada con polietileno de alta densidad. El HDPE

es un material plástico conocido por su resistencia, durabilidad y versatilidad en diversas aplicaciones.

A continuación, se presenta una descripción general de las características y propiedades de una tubería HDPE:

Material: El HDPE es un polímero termoplástico, obtenido a partir

de la polimerización del etileno. Es conocido por su alta resistencia química, resistencia a la corrosión, flexibilidad y capacidad de soportar temperaturas variables.

Estructura: Una tubería HDPE consta de una estructura de paredes sólidas y homogéneas. Las tuberías pueden tener diferentes diámetros y espesores de pared, dependiendo de la aplicación específica.

Flexibilidad: Una de las principales ventajas de las tuberías HDPE es su flexibilidad. Esto permite una instalación más sencilla y versátil, especialmente en terrenos irregulares o con curvas.

Resistencia: Las tuberías HDPE tienen una alta resistencia a la tracción y a la presión. Son capaces de soportar cargas externas, impactos y variaciones de temperatura sin sufrir daños significativos.

Resistencia química: El HDPE tiene una excelente resistencia a una amplia gama de productos químicos, incluyendo ácidos, álcalis y solventes. Esto hace que las tuberías HDPE sean adecuadas para aplicaciones en la industria química y de tratamiento de agua, entre otras.

Resistencia a la corrosión: A diferencia de algunas tuberías metálicas, las tuberías HDPE son resistentes a la corrosión y no se ven afectadas por la corrosión interna o externa. Esto las convierte en ideales para aplicaciones en entornos agresivos o corrosivos.

Vida útil prolongada: Las tuberías HDPE presentan una vida útil prolongada y ofrecen una excelente resistencia a la degradación y al envejecimiento. Son resistentes a los rayos ultravioleta, lo que las hace adecuadas para instalaciones al aire libre y bajo la exposición solar directa.

Las tuberías HDPE son una opción popular en diversos sectores, incluyendo el abastecimiento de agua potable, riego agrícola, sistemas de alcantarillado, industria minera y aplicaciones industriales en general, debido a su resistencia, durabilidad y versatilidad.

b. Tubería PVC

La tubería de PVC, o tubería de cloruro de polivinilo, es un tipo de tubería fabricada con un plástico rígido y duradero llamado PVC. El PVC es ampliamente utilizado en aplicaciones de plomería, drenaje y sistemas de conducción de fluidos. A continuación, se proporciona una descripción general de las características y propiedades de la tubería de PVC:

Material: El PVC es un polímero termoplástico obtenido mediante la polimerización del cloruro de vinilo. Es un material económico y ampliamente disponible.

Estructura: La tubería de PVC tiene una estructura sólida y rígida, con paredes espesas que varían según el diámetro y la aplicación específica. Las tuberías de PVC pueden ser de diferentes tipos, como PVC-U (no plastificado), PVC-C (clorado) o PVC-O (orientado).

Resistencia y durabilidad: El PVC es conocido por su resistencia y durabilidad. Es resistente a la corrosión, la abrasión y los impactos, lo que lo hace adecuado para aplicaciones tanto en interiores como en exteriores.

Ligereza: El PVC es un material liviano en comparación con otros tipos de tuberías, lo que facilita su transporte, manejo e instalación.

Esto también reduce los costos asociados con el transporte y la instalación.

Resistencia química: Las tuberías de PVC son resistentes a una amplia gama de productos químicos comúnmente utilizados en aplicaciones de plomería y conducción de fluidos. Son adecuadas para transportar agua potable, productos químicos industriales, aguas residuales y otros líquidos.

Baja conductividad térmica: El PVC tiene una baja conductividad térmica, lo que significa que las tuberías de este material son menos propensas a la transferencia de calor. Esto puede ser beneficioso en aplicaciones donde se necesita mantener la temperatura de los fluidos transportados.

Fácil instalación: Las tuberías de PVC son fáciles de cortar, ensamblar y unir mediante adhesivos o juntas de conexión. Su naturaleza rígida permite una instalación rápida y sencilla.

Baja inflamabilidad: El PVC es un material de baja inflamabilidad y no propaga fácilmente el fuego. Además, las tuberías de PVC pueden fabricarse con aditivos retardantes de llama para mejorar aún más su resistencia al fuego.

Las tuberías de PVC son ampliamente utilizadas en aplicaciones residenciales, comerciales e industriales debido a su versatilidad, durabilidad y bajo costo. Sin embargo, es importante tener en cuenta las recomendaciones y normas específicas para su instalación y uso, así como considerar la temperatura y los productos químicos involucrados en la aplicación específica.

c. Tubería o alerón metálico

Una tubería metálica es un conducto utilizado para el transporte de fluidos, fabricado con materiales metálicos como acero, hierro fundido, cobre, aluminio u otros metales. A continuación, se proporcionará una descripción general de las características y propiedades de las tuberías metálicas:

Resistencia y durabilidad: Las tuberías metálicas son conocidas por su alta resistencia y durabilidad. Son capaces de soportar altas presiones, temperaturas extremas, impactos y cargas externas sin deformarse o romperse fácilmente.

Variedad de materiales: Las tuberías metálicas están disponibles en una amplia gama de materiales metálicos, lo que permite seleccionar el tipo adecuado para una aplicación específica. Algunos ejemplos comunes incluyen tuberías de acero al carbono, acero inoxidable, cobre y aluminio.

Resistencia a la corrosión: Los materiales metálicos utilizados en las tuberías, a menudo, tienen una buena resistencia a la corrosión. Por ejemplo, el acero inoxidable es conocido por su alta resistencia a la corrosión, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en entornos corrosivos.

Conductividad térmica: Los metales son buenos conductores térmicos, lo que significa que las tuberías metálicas permiten una transferencia eficiente de calor. Esto puede ser beneficioso en aplicaciones donde se requiere el transporte de líquidos a diferentes temperaturas.

Conductividad eléctrica: Algunos metales, como el cobre o el aluminio, son excelentes conductores eléctricos. Por lo tanto, las tuberías metálicas pueden ser utilizadas para transportar líquidos

conductores y también proporcionar una ruta para la conducción de corriente eléctrica.

Flexibilidad y adaptabilidad: Las tuberías metálicas son flexibles en términos de su capacidad para adaptarse a diferentes diseños y configuraciones. Se pueden fabricar en diferentes formas, tamaños y espesores para satisfacer las necesidades específicas de una aplicación.

Mantenimiento y reparación: En caso de daños o desgaste, las tuberías metálicas generalmente se pueden reparar o reemplazar fácilmente. Esto puede facilitar las labores de mantenimiento y prolongar la vida útil de las tuberías en comparación con otros materiales.

Es importante tener en cuenta que las tuberías metálicas pueden tener desventajas, como el riesgo de corrosión en ciertos entornos o la necesidad de protección adicional en aplicaciones específicas. Además, los costos de materiales y la instalación pueden ser más altos en comparación con otros tipos de tuberías. Por lo tanto, es esencial considerar los requisitos y condiciones particulares de cada proyecto antes de seleccionar una tubería metálica específica.

Finalmente, como síntesis a lo anterior, a continuación, se presentará una comparativa entre los tres tipos de tuberías mencionados: HDPE, PVC y tuberías metálicas.

Material y estructura

HDPE: Está fabricado con polietileno de alta densidad, lo que le confiere flexibilidad y resistencia a la corrosión. Tiene una estructura de pared sólida y homogénea.

PVC: Está fabricado con cloruro de polivinilo, un material rígido y duradero. Tiene una estructura de pared sólida y rígida.

Tuberías metálicas: Están fabricadas con diversos materiales metálicos, como acero, hierro fundido, cobre o aluminio. Tienen una estructura resistente y duradera.

Resistencia y durabilidad

HDPE: Es resistente a la corrosión, a los productos químicos y a los impactos. Puede soportar variaciones de temperatura y es duradero.

PVC: Es resistente a la corrosión y a los productos químicos. Es duradero y puede soportar condiciones adversas.

Tuberías metálicas: Son resistentes y duraderas, capaces de soportar altas presiones, temperaturas extremas y cargas externas.

Flexibilidad

HDPE: Es altamente flexible, lo que facilita su instalación en terrenos irregulares y con curvas.

PVC: Es menos flexible que el HDPE, pero aún se puede adaptar a diferentes configuraciones.

Tuberías metálicas: Tienen una flexibilidad limitada en comparación con el HDPE y PVC.

Resistencia a la corrosión

HDPE: Es resistente a la corrosión y no se ve afectado por la corrosión interna o externa.

PVC: Es resistente a la corrosión, aunque ciertos productos químicos pueden afectar con el tiempo.

Tuberías metálicas: Algunos materiales metálicos, como el acero inoxidable, tienen una alta resistencia a la corrosión, mientras que otros pueden requerir revestimientos protectores.

Instalación y mantenimiento

HDPE: Es fácil de instalar debido a su flexibilidad y peso ligero. Requiere menos mantenimiento en comparación con las tuberías metálicas.

PVC: Es fácil de instalar debido a su rigidez y peso ligero. Requiere un mantenimiento regular para prevenir la corrosión y otros problemas.

Tuberías metálicas: La instalación puede ser más compleja debido a su rigidez y peso. Requieren un mantenimiento regular y pueden requerir revestimientos protectores en ciertos casos.

Costo

HDPE: Tiene un costo moderado y es competitivo en comparación con otros materiales.

PVC: Es un material económico y tiene un costo más bajo en comparación con las tuberías metálicas.

Tuberías metálicas: Tienen un costo más alto debido a los materiales y la instalación más compleja.

En resumen, la elección entre HDPE, PVC y tuberías metálicas dependerá de las necesidades y requisitos específicos de cada proyecto. El HDPE es adecuado para aplicaciones que requieren flexibilidad y resistencia a la corrosión, el PVC es una opción económica y duradera, mientras que las tuberías metálicas son más costosas y requiere de mayor gestión en su mantenimiento.

E. Dimensiones de tuberías

Para camión 93-4, 93-3, 93-1

Longitud (m): 4,48 m

Diámetro (m): 0,38 m

Espesor: 0,06 m

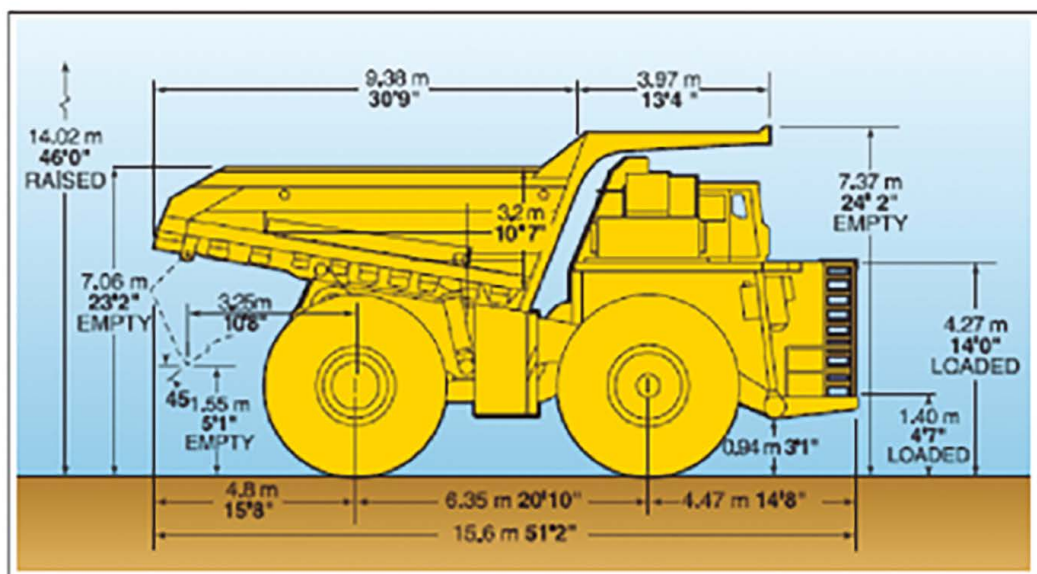


Figura 3. Camión con protector de tubo HDPE (93)

Fuente: Elaboración propia.

Para camión 7F

Longitud (m): 3,76 m

Diámetro (m): 0,26 m

Espesor: 0,04 m

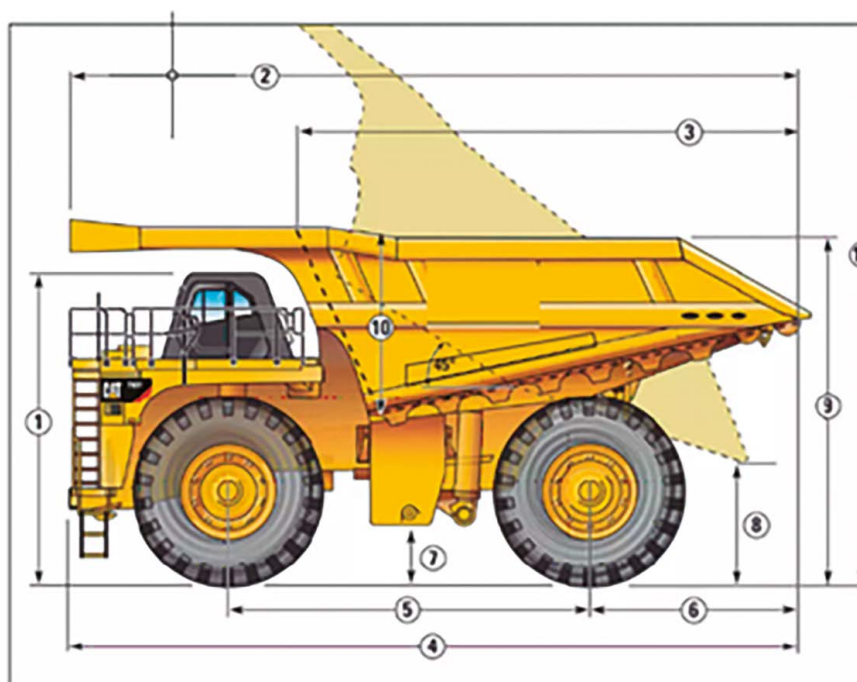


Figura 4. Camión con protector de tubo HDPE (7F)

Fuente: Elaboración propia.

Para camión 83-1, 7D y 7C

Longitud (m): 4,0 m

Diámetro (m): 0,30 m

Espesor: 0,05 m

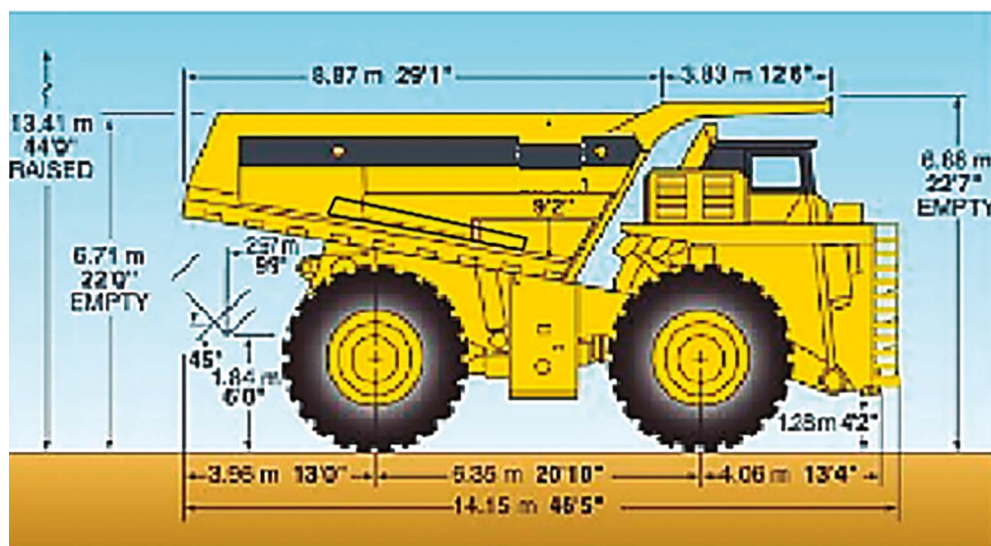


Figura 5. Camión con protector de tubo HDPE (83, 7D Y 7C)

Fuente: Elaboración propia.

F. Procedimiento de instalación y detalles

Para colocar una tubería en la parte lateral de una tolva, se puede seguir el siguiente proceso.

a. Planificación y preparación

Evaluar el diseño y las especificaciones de la tolva para determinar el punto de conexión de la tubería. Seleccionar la tubería adecuada en términos de diámetro, longitud y resistencia requerida. (por sus características se recomienda HDPE).

Revisar y seguir los protocolos de seguridad necesarios para trabajar en la tolva.

b. Preparación de la tolva

Limpiar y preparar el área de la tolva donde se instalará la tubería. Si es necesario, realizar cortes o perforaciones en la tolva para crear un orificio de entrada para la tubería. Asegurarse de que el orificio esté limpio y sin rebabas.

c. Preparación de la tubería

Medir y cortar la tubería a la longitud adecuada para alcanzar desde la tolva hasta el punto de conexión deseado. Asegurarse de que los extremos de la tubería estén limpios y sin daños.

d. Fijación de la tubería a la tolva

Aplicar un adhesivo adecuado o utilizar una junta de conexión diseñada específicamente para unir la tubería a la tolva.

Asegurarse de que la unión sea segura y hermética para evitar fugas o desprendimientos.

e. Aseguramiento y soporte de la tubería

Instalar soportes o abrazaderas en la tolva para asegurar y sostener la tubería en su lugar.

Asegurarse de que la tubería esté debidamente alineada y nivelada para facilitar el flujo adecuado del material.

f. Pruebas y verificación

Realizar pruebas de presión y fugas para asegurarse de que la tubería esté correctamente instalada y no presente problemas. Verificar que el flujo de material a través de la tubería sea el esperado y que no haya obstrucciones o restricciones.

Es importante seguir las instrucciones y pautas proporcionadas por el fabricante de la tubería de HDPE y cumplir con los estándares de seguridad establecidos durante todo el proceso de instalación. En caso de no tener experiencia o conocimientos técnicos suficientes, se recomienda contar con la ayuda de profesionales especializados en la instalación de tuberías de HDPE.

G. Costo de daños y tasas de desgaste

A continuación, se tiene los siguientes costos de daños y tasas de desgaste previo a la propuesta de implementación.

Tabla 1
Cálculo de costo total remanente y número de desechos

	(%) Costo	US\$ costo total	(%) desechos	n.º de desechos	% costo x % desechos
Camión 7F - Medida 59/80R63 Corte	27,15	490 000,00	15,66	13	0,0425
Camión 93-3 - Medida 53/80R63 Corte	34,07	615 000,00	34,94	29	0,0119
Camión 93-1 - Medida 50/90R57 Corte	14,68	265 000,00	10,84	9	0,0159
Camión 7C - Medida 46/90R57 Corte	5,54	100 000,00	6,02	5	0,0033
Camión 7C ; 83-1 Medida 40.00R57 Corte	18,56	335 000,00	32,53	27	0,0604
TOTAL		1 805 000,00		83	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior, lo señalado por remanente es el porcentaje en banda restante a usar luego de que el neumático es desechado; obviamente, este porcentaje ya no es empleable, pero se mide luego de desechar el neumático (distancia en cocada de neumático). Se toma en cuenta una cocada de 14 cm aproximadamente como el 100% y un costo de inversión de neumáticos según mercado (por ejemplo, US \$60 000). De la anterior tabla, en el periodo de estudio se han desechado los neumáticos especificados con un total de costo de remanente de cerca de US\$ 1 805 000,00 (considerando todos los neumáticos empleados en el plazo de estudio y en todas las flotas), eso significa que se pudo haber aprovechado mejor ese monto en la aplicación en campo.

Tasa promedio de desecho/mes = 14

stocks), donde es probable que los neumáticos sufran cortes en sus distintos componentes.

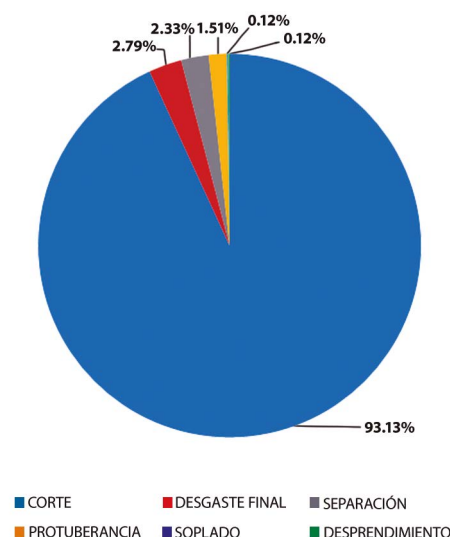


Figura 6. Incidencia (%) sobre los daños generales por cada tipo de daño

Fuente: [6].

Se tomaron en cuenta diversas formas de cortes, que incluyen corte en el flanco, corte en la banda de rodamiento, corte en el hombro, corte en el talón y corte superficial. Es importante mencionar que existen otras formas de cortes, pero estas modalidades fueron las más comunes y tuvieron una mayor incidencia en el total de estos. Para visualizar la información de manera gráfica, por favor, consultar el siguiente gráfico.

RESULTADOS

A. Determinación del factor influyente

a. Mina «A»

La información del taller enlante, que proviene de las inspecciones diarias a los neumáticos en los grifos y taller enlante, junto con las políticas del sector minero, fue utilizada para realizar el análisis. Los indicadores estadísticos relacionados con los daños y cortes de neumáticos se presentan de la siguiente manera:

Según los informes, se reportaron un total de 859 daños. Al observar los diagramas, se puede notar que la mayoría de los daños son generados por cortes, con un total de 800 casos, lo que representa el 93 % de los daños totales. Esto se debe, principalmente, a la presencia de rocas en áreas de carguío (palas), vías de acarreo y áreas de descarga (tolvas, botadero,

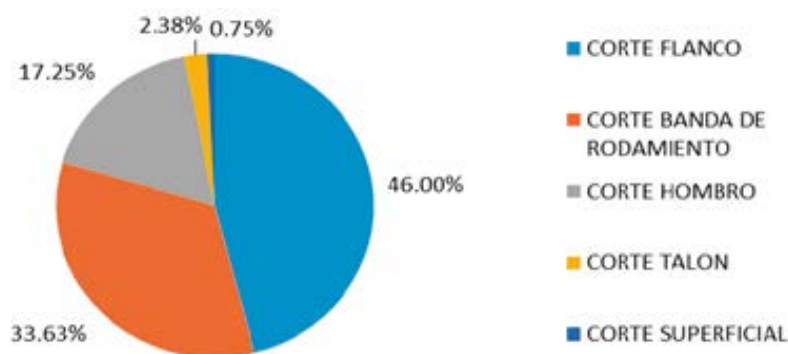


Figura 7. Incidencia (%) de neumáticos cortados

Fuente: [6].

En los gráficos anteriores, se puede observar que la mayor cantidad de cortes se produce en el componente flanco del neumático, con un total de 368 casos, lo que representa el 46 % de todos ellos. Esto se debe, principalmente, a la presencia de rocas puntiagudas que ocasionan el corte. En este caso, los neumáticos tienen más probabilidades de sufrir cortes si la presión de inflado es inapropiada o si están sometidos a sobrecarga. Además, el impacto con la berma de seguridad es otro factor a considerar, ya que puede causar cortes en el flanco.

El corte en la banda de rodamiento muestra una alta cantidad de cortes, con un total de 269 casos, lo que representa el 33,63 % de los cortes. Esto se debe a varios factores, como la presencia de obstáculos como rocas puntiagudas arrojadas en las vías debido a maniobras inadecuadas de los operadores de volquetes en curvas y rampas, especialmente cuando los equipos están

sobrecargados. Además, una mala operación de carguío por parte del palero o una ubicación inapropiada del volquete durante la carga pueden provocar la caída de material (rocas) en el suelo de la pala. Otro factor es el regado irregular de las vías, donde el agua estancada expone rocas puntiagudas en la superficie, lo que puede ocasionar este tipo de cortes (situación similar durante la lluvia).

El corte en el hombro presenta un total de 138 cortes, lo que representa el 17,25 % de los casos. Esto se debe a la falta de inflado adecuado, un asentamiento inapropiado de los neumáticos y los aros, así como la falta de rotación periódica de los neumáticos.

Además, los neumáticos dañados se clasifican según el modelo de flota de camiones.

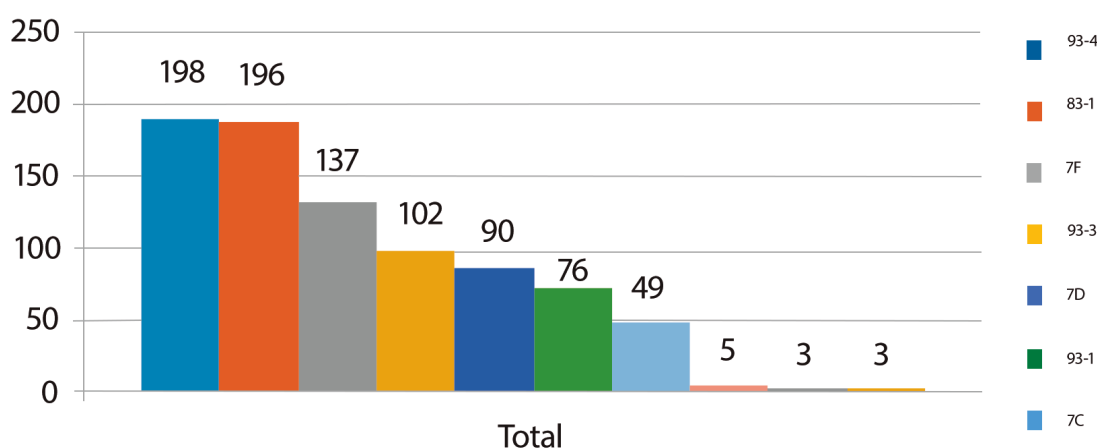


Figura 8. Número de neumáticos dañados por modelo de flota

Fuente: [6].

En los diagramas anteriores, se puede observar que la flota de CAEX 93-4 es responsable del mayor número de daños, incluyendo cortes, representando el 23,05 % de los daños totales. Estos daños se producen principalmente en la banda de rodamiento, hombro y flanco de los neumáticos. Al analizar los puntos de carga y descarga, así como las rutas de acarreo, se obtiene la siguiente conclusión:

En primer lugar, los pisos de las palas durante la fase D, donde se encuentran rocas puntiagudas, tienen un impacto significativo en los cortes y daños de los neumáticos si no se realiza la limpieza adecuada de los pisos. Además, en algunas ocasiones, el carguío inadecuado en los frentes de las palas de la fase D, que resulta en la dispersión de material alrededor de los volquetes, también genera daños y cortes en los neumáticos.

La flota 83-1 es responsable de 196 incidencias, lo que representa un porcentaje de incidencia del 22,82 %. Este alto número de incidencias se debe a los cortes en el flanco, banda de rodamiento y hombro de los neumáticos, los cuales pueden ocurrir en la ruta de acarreo de esta flota. Al analizar los puntos de carga y descarga, así como las rutas de acarreo, se obtiene la siguiente conclusión:

La presencia de rocas puntiagudas en los pisos de la pala 2 y los cargadores frontales en el fondo de la mina también influye en los cortes y daños de los neumáticos.



Figura 9. Sistema de Control para identificar - ruta de acarreo de la flota 83-1

Fuente: [6].

La flota 7D ha registrado 90 incidencias, lo que representa un porcentaje de incidencia del 10,48 %. En menor medida, también se han observado daños en las flotas 93-1 y 7C.

Además, en el análisis, también se ha considerado la posición de los neumáticos.

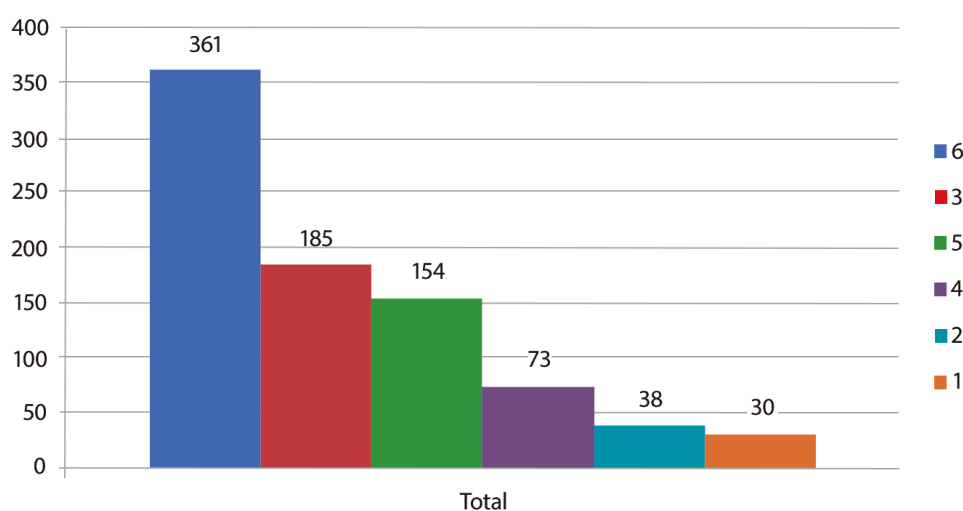


Figura 10. Nro. de neumáticos dañados por posición

Fuente: [6].

En los gráficos anteriores se puede observar que la posición 6 del camión presenta el mayor número de daños, con un total de 361, lo que representa el 42,93 % de todos los daños registrados. Esta alta incidencia se debe principalmente a que los volquetes descargan en áreas como botaderos, tolvas y stocks, donde hay presencia de rocas puntiagudas que causan cortes en los neumáticos de la posición 6.

Por otro lado, la posición 3 también presenta una cantidad significativa de daños, con un total de 185, lo que representa el 22 % de los daños totales. Al igual que en el caso anterior, la presencia de rocas en las áreas de descarga es la principal causa de estos daños. Es importante destacar que la presencia de rocas puntiagudas en el área de descarga también afecta considerablemente a las posiciones 5 y 4.

La posición 5 registra un total de 154 daños, con una incidencia del 18,31 %, mientras que la posición 4 registra 73 daños, con una incidencia del 8,68 %. Ambas posiciones se ven afectadas por la presencia de rocas puntiagudas en el área de descarga.

B. Descripción del problema

De los resultados anteriores, se tiene que los neumáticos OTR más dañados para este escenario están relacionados en corte en flanco en camiones que trabajan en zonas de alto tráfico (zonas de carguío) en mineral o desmonte; asimismo, los

reportes indican que los neumáticos de posición 5 y 6 son los más dañados debido a la falta de visión del operador para evitar maniobrar sobre las rocas caídas en dichas zonas. Esto puede ser bastante perjudicial ya que pueden darse cortes profundos que desechen los neumáticos con poca vida útil, desechando bandas de rodamiento con remanentes considerables y por lo tanto consumiendo más neumáticos en un tiempo determinado. Ello influye directamente en el incremento de costos operativos, así mismo en las gestiones medioambientales de desecho de residuos.

Los operadores de CAEX tienen la responsabilidad de comunicar la presencia de rocas caídas debajo de sus llantas o de otros compañeros, fomentando una mayor participación y colaboración. Sin embargo, como ya se mencionó antes, el factor de «visibilidad puntos ciegos» evita realizar satisfactoriamente estas responsabilidades.

Añadido a ello, en una operación minera, es importante contar con equipos auxiliares como tractores sobre ruedas de forma permanente en estas zonas para mantener el piso de la pala limpio, recogiendo así las rocas que amenazan con aquellos daños. Esto se debe al derrame de material durante el proceso de carguío realizado por las palas eléctricas. La limpieza se llevará a cabo hasta el pie de talud. En otros casos, los cargadores frontales serán responsables de mantener en buen estado la zona. Sin embargo, la carencia en cantidad de los equipos auxiliares evita que se realicen estos trabajos de la mejor manera.

HOJA DE INSPECCION(CHECK LIST)					
ZONA DE CARGUIO: <u>Fase D</u>			GUARDIA: ☒ B ☐ C ☐ D		
FECHA: <u>21</u> <u>06</u> <u>2023</u>			TURNO: ☒ N ☐		
INSPECCION		BIEN	MAL	COMENTARIOS	
1	Orden y limpieza de la zona de carguío	☒			
2	Espacio para carguío en plataforma	☒			
3	Zona de carguío sin rocas		☒		
4	Ingreso a la zona de carguío sin rocas	☒			
5	Operación de carguío	☒			
6	Operación de cuadrado	☒			
7	Velocidad de salida del camión		☒		
8	Material cargado		☒		
9	Distribución de la carga	☒			
10	Frecuencia del limpieza del equipo auxiliar	☒			
11	Participación de los operadores	☒			
INSPECCIONADO POR				HORA	FIRMA
Delgado Alemán Roberto Geancarlo				08:00	

Figura 11. Hoja de inspección de zonas de carguío

Fuente: [9].

La hoja de inspección de zonas de carguío es un documento utilizado para evaluar y registrar el estado de las áreas de carguío en una operación minera. Este formulario tiene como objetivo identificar posibles desperfectos, peligros o condiciones inseguras que puedan afectar la seguridad y eficiencia del proceso de carguío.

En la hoja de inspección de zonas de carguío, se incluyen diferentes aspectos a evaluar, como el estado del piso, presencia de rocas sueltas o puntiagudas, condiciones de iluminación, presencia de obstáculos, funcionamiento de los equipos de carguío, entre otros.

Es importante que los operadores y el personal encargado de la operación minera realicen inspecciones periódicas, utilizando esta hoja de inspección, registrando cualquier anomalía encontrada

y tomando las medidas necesarias para corregirlas. De esta manera, se busca mantener un ambiente de trabajo seguro y eficiente en las zonas de carguío.

Cabe destacar que cada empresa puede tener su propio formato de hoja de inspección de zonas de carguío, adaptado a sus necesidades y requerimientos específicos.

C. Requerimiento y tipos de tuberías

La colocación de tuberías de HDPE en las tolvas de volquetes es crucial para preservar la integridad de las llantas. En algunos casos, se utilizan alerones metálicos para proteger las llantas, mientras que, en otros, no hay ninguna forma de protección. Se adjunta una figura que ilustra la ubicación del HDPE en la tolva.



Figura 12. Tubo HDPE instalado en tolva

Fuente: [6].

En la siguiente figura, se puede observar la presencia de alerones metálicos instalados en los camiones 7C de la flota.



Figura 13. Alerón metálico en camión minero

Fuente: [6].

En la siguiente figura, no se puede observar la presencia de alerones metálicos ni tuberías HDPE en los camiones 7D de la flota.



Figura 14. Camión sin ninguna protección visible

Fuente: [6].

- Para esta flota 7D, se tiene un número de 10 camiones sin protección. Por lo tanto, se requiere implementar las tuberías HDPE.
- Para la flota de 93-1, se tiene la presencia de alerones metálicos instalados.
- Por otro lado, para la flota 93-3 y 93-4, se tiene un número de 10 camiones sin protección. Por lo tanto, se requiere implementar las tuberías HDPE.
- Para la flota de 83-1, se tiene la presencia de alerones metálicos instalados para 16 camiones, sin embargo, falta implementar 2 tuberías de HDPE para 2 camiones.
- Para la flota de 7F, se cuenta con tuberías HDPE y alerones metálicos.

D. Impacto de mejora en los costos y daños de la gestión de neumáticos OTR

A continuación, se puede tener los resultados luego de la implementación de las tuberías HDPE en las flotas que carecían de dichos accesorios.

Tabla 2
Cálculo de costo total remanente y nro. de desechos posterior a la implementación

	(%) Costo	US\$ costo total	(%) desechos	n.º de desechos	% costo x % desechos
Camión 7F - Medida 59/80R63	33,22	490 000,00	15,63	10	0,0425
Corte					
Camión 93-3 - Medida 53/80R63	27,12	400 000,00	31,25	20	0,0119
Corte					
Camión 93-1 - Medida 50/90R57	17,97	265 000,00	12,50	8	0,0159
Corte					
Camión 7C - Medida 46/90R57	6,78	100 000,00	9,38	6	0,0033
Corte					
Camión 7C ; 83-1 Medida 40.00R57	14,92	220 000,00	31,25	20	0,0604
Corte					
TOTAL		1 475 000,00		64	

Fuente: Elaboración propia.
Tasa promedio de desecho/mes = 11

La optimización de la gestión a partir de la implementación de las tuberías HDPE permitieron reducir principalmente el desecho de neumáticos OTR en las flotas 93-3, 7C y 83-1.

Tabla 3
Comparativa en costo total y nro. de desechos antes y después

	Primer semestre (antes)	Segundo semestre (después)	Ahorro/año	Ahorro (%)
US\$ costo total	1 805 000,00	1 475 000,00	330 000,00	18
n.º de desechos	83	64	19	23

Fuente: Elaboración propia.

REFERENCIAS

- [1] Arce, J. (2017). *Análisis del rendimiento y vida útil de los neumáticos OTR en una empresa minera en Perú* [Tesis de pregrado]. Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.
- [2] Bridgestone. (2010). *Data Book*.
- [3] Campos, F. (2019). *Evaluación del rendimiento y cuidado de los neumáticos OTR en una empresa minera en la región de Arequipa, Perú* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de San Agustín, Perú.
- [4] Chávez Ramírez, J. (2013). *Seminario de neumáticos: Gigantes en unidad minera de Cerro Verde*. Universidad Nacional de San Agustín.
- [5] Chepillo Bahamondes, N., y Alfonso, J. (2001). *Mejoramiento de caminos y accesos en Mina Escondida*.
- [6] Delgado Alemán, R. G. (2014). *Estudio de factores influyentes en la vida útil de neumáticos para una gestión estratégica en mina a tajo abierto de cobre* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de San Agustín.
- [7] Flores, L. (2020). *Análisis del impacto del mantenimiento preventivo en el rendimiento de los neumáticos OTR en una empresa minera en Perú* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- [8] Gallardo, F. (2017). *Análisis y evaluación del rendimiento de los neumáticos OTR en una empresa minera* [Tesis de pregrado]. Universidad de Chile, Chile.
Hernández Sampieri, R. (2010). *Metodología de la Investigación* (4.ª ed.). McGraw Hill México.
- [9] Huamán, A. (2016). *Evaluación del desgaste de los neumáticos OTR y su impacto en la operatividad de una empresa minera en Perú* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- [10] Leal, M. (2015). *Propuesta de mejoramiento del rendimiento de los neumáticos OTR en una empresa minera* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.

- [11] Martínez, J. (2019). *Estudio del desgaste y vida útil de los neumáticos OTR en una empresa de construcción* [Tesis de pregrado]. Universidad de los Andes, Colombia.
- [12] Michelin. (2014). *Análisis de TKPH*.
- [13] Michelin. (2010). *Informaciones Técnicas para Minería y Obra Civil - Manual*.
- [14] Mora Huaco, A. (2011). *Factores Influyentes en la vida útil de llantas de camiones Komatsu 930E Fuera de carretera en la mina a tajo abierto* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de San Agustín.
- [15] Neuma Perú. (2014). *Reporte Mensual junio 2014*.
- [16] R.E. Merry, M. Frei, and S. Kaszuba. (2017). Analysis of operating conditions for OTR tires in construction and mining. *Tire Science and Technology*, 45(4), 274-295.
- [17] Paredes Sánchez, C. (2008). *Eficiencia en tiempo de vida de neumáticos con relación a rotación de posiciones 01 y 02 en Volquetes Komatsu 930E4* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Ingeniería.
- [18] Parra, C. (2014). *Diseño de un plan de mantenimiento de neumáticos OTR para una empresa minera* [Tesis de pregrado]. Universidad de Antioquia, Colombia.
- [19] SPCC. (2014). *Estadística de Reporte y Daños Febrero a junio 2014*.
- [20] Tafur Portilla, R. (1995). *La tesis universitaria*. Editorial Mantaro.
- [21] Tejada Díaz, A. (2014). *Metodología del cambio de posiciones 1 y 6 de Neumáticos Gigantes 793-D, Para Incrementar la vida útil y Reducir costos en SM Cerro Verde -Arequipa* [Tesis de pregrado]. UNSA.
- [22] Trujillo, R. (2018). *Evaluación y optimización del rendimiento de los neumáticos OTR en la industria minera* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

GLOSARIO

Acarreo mina: Se refiere al transporte de materiales, como minerales o rocas, desde el área de extracción en una mina hasta el lugar de procesamiento o almacenamiento. El acarreo de la mina implica el uso de vehículos especializados, como camiones o palas, para mover grandes cantidades de material.

CAEX: La sigla CAEX se refiere a «camión de alto tonelaje para explotación», que es un tipo de vehículo de carga utilizado en la minería a cielo abierto. Estos camiones son diseñados específicamente para transportar grandes cantidades de material, como minerales, en entornos mineros y suelen tener una capacidad de carga de varias toneladas.

HDPE: Es la abreviatura de *High-Density Polyethylene* ('polietileno de alta densidad'). El HDPE es un tipo de plástico utilizado en la fabricación de tuberías y otros productos. Es conocido por su

resistencia a la corrosión, la durabilidad y la capacidad para soportar altas presiones, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en la industria minera.

OTR: Es la abreviatura de *Off-The-Road*, que se utiliza para referirse a neumáticos diseñados para aplicaciones fuera de carretera. Estos neumáticos están destinados a vehículos y maquinaria que operan en terrenos difíciles, como minas, canteras, obras de construcción y terrenos agrícolas.

Scraps: En el contexto de la conversación, *scraps* se refiere a residuos o fragmentos de materiales, como metales o plásticos, que resultan de procesos de fabricación o de desechos generados en una mina. Los scraps pueden ser recolectados y reciclados para reducir el desperdicio y recuperar materiales valiosos.

ACERCA DEL AUTOR

Ingeniero de minas por la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Miembro del Colegio de Ingenieros del Perú (CIP). Egresado de la maestría en Gestión en Seguridad, Salud y Medioambiente en Minería por la Cámara Minera del Perú. Especialista en «Entrenador certificado por STS Escuela Suiza en gestión de proyectos», especialista en «Gestión de Operaciones Mineras» y «Gestión en dirección de proyectos bajo el enfoque PMBOOK» por Tecsup. Especialista en E-Learning por IT Madrid (España). Capacitaciones especializadas en supervisión de producción mina por Factor Humano Perú, Eagle Consulting SAC, APA Chile, IGH Group, HS Escuela de Liderazgo y Adelante Consultores.

Cuenta con experiencia laboral relacionada con la supervisión de operaciones mineras a tajo abierto; supervisión en seguridad y salud en el trabajo; capacitación y entrenamiento en prevención de riesgos; gestión de proyectos de capacitación en minería; especialista en el manejo de herramientas informáticas, sistemas y *software* control mina - sistemas *dispatch*, voladura, modelamiento-diseño, geomecánica; docente principal, coordinador/*planner* para cursos de carrera y proyectos de entrenamiento para empresas mineras privadas en Tecsup sur.

Autor de artículo técnico en la edición de 2019 de la *Revista I+i. Investigación aplicada e innovación*. Becado en Ciemin (2013) organizado por IIMP y PUCP.

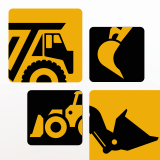
@ rdelgadoa@tecsup.edu.pe /

@ robertodelgadoaleman@gmail.com

Recibido: 30-06-23
Revisado: 03-07-23
Aceptado: 29-07-23



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons AtribuciónNoComercial 4.0 Internacional.



ESCUELA DE
OPERADORES
TECSUP



Certificando **Operadores de Maquinaria Pesada**



Instructores expertos en operación y enseñanza.



Enseñanza personalizada necesaria para un mercado de alta demanda laboral.



Prácticas con equipo real y simuladores con tecnología de última generación.



Certificado a nombre de Tecsup con respaldo de Ferreyros*

*En máquinas seleccionadas.

Sé el motor que **impulsa al país**



936 436 974



945 044 556

WWW.TECSUP.EDU.PE/ESCUELA-DE-OPERADORES

