UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS

"MEJORAMIENTO DEL CARGUÍO Y ACARREO MEDIANTE CONTROLES DIGITALES DE CAMIONES AUTÓNOMOS EN UNA UNIDAD MINERA A CIELO ABIERTO"

PRESENTADO POR:

Bach. KYARA NICOLE AGUILAR SOLIS

Bach. CARLOS ARTURO ARANGO SANCHEZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA - PERÚ

2025

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA UNAM FEDATARIO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

Folio N° 045

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]

Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]

Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:

RESOLUCIÓN DE FACULTAD N° 259 - 2024 - FACIA - UNAM

Fecha: 27/12/2024

III. El Jurado ha dictaminado la (el) TESIS, TITULADO:

"MEJORAMIENTO DEL CARGUIO Y ACARREO MEDIANTE CONTROLES DIGITALES DE CAMIONES AUTÓNOMOS EN UNA UNIDAD MINERA A CIELO ABIERTO"

Bachiller: KYARA NICOLE AGUILAR SOLIS Y CARLOS ARTURO ARANGO SANCHEZ

Asesor Principal: MGR. JORGE LUIS TOMAS FLOREZ SALAS

Co-Asesor: DRA. BERTHA SILVANA VERA BARRIOS

IV. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: QUINCE (15) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 12.00 horas, del 07 de ENERO del año 2025 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente
MGR. JUAN ELIAS ROJAS CONDORI
(Nombres y Apellidos)

Primer Miembro
MSc AGAPITO FLORES JUSTO
(Nombres y Apellidos)

Segundo Miembro
Dr. ARQUIMEDES L. VARGAS LUQUE
(Nombres y Apellidos)

KYARA NICOLE AGUILAR SOLIS Bachiller
(Nombres y Apellidos)

Carlos Arturo Arango Sánchez

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

MEJORAMIENTO DEL CARGUÍO Y ACARREO MEDIANTE CONTROLES DIGITALES DE CAMIONES AUTÓNOMOS EN UNA UNIDAD MINERA A CIELO ABIERTO

Tesis sustentada y aprobada el 07 de enero del 2025, estando integrado el jurado dictaminador y asesores por:

PRESIDENTE : .....
Mgr. JUAN ELIAS ROJAS CONDORI

PRIMER MIEMBRO : .....
MSc. AGAPITO FLORES JUSTO

SEGUNDO MIEMBRO : .....
Dr. ARQUÍMEDES LEON VARGAS LUQUE

ASESOR PRINCIPAL : .....
Mgr. JORGE LUIS TOMAS FLOREZ SALAS

COASESOR : .....
Dra. BERTHA SILVANA VERA BARRIOS

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y fortaleza en todo momento.

A mis padres y hermanos, por su amor, apoyo incondicional y motivación constante.

A mi compañero de tesis, por su dedicación y esfuerzo compartido en este desafío.

A todos ustedes, con gratitud y cariño.

Kyara Nicole Aguilar Solis

A Dios, fuente de mi fuerza y guía en todo momento.

A mis padres, por su amor infinito y sacrificios que me han llevado hasta aquí. A mis hermanas, por su apoyo incondicional y su fe en mí.

A mi compañera de tesis, por su paciencia, dedicación y amistad durante este camino.

Y a mis amigos, por llenar este viaje de alegría y motivación.

Carlos Arturo Arango Sanchez

AGRADECIMIENTOS

A Dios, fuente de mi fortaleza y guía en cada paso de este proceso. Gracias por iluminar mi camino, darme sabiduría en los momentos de incertidumbre y renovar mi esperanza en los días más difíciles.

A mis padres, cuyo amor incondicional y sacrificio incansable han sido el cimiento sobre el cual construí este logro. Gracias por su apoyo constante, por creer en mí y por ser siempre mi refugio y motivación.

A mis hermanos, por ser mis compañeros de vida, mi soporte en los momentos de duda y mi inspiración para seguir adelante. Su presencia ha sido fundamental durante todo este camino.

A mi compañero, por su esfuerzo, dedicación y compañerismo a lo largo de este complejo proceso. Gracias por compartir conmigo cada desafío, por el trabajo en equipo y por contribuir de manera significativa a este logro conjunto.

A mi asesor, por su valiosa orientación, paciencia y compromiso durante todo este proceso. Sus aportes fueron fundamentales para el desarrollo de esta tesis.

A mi casa de estudios y docentes por brindarme las herramientas, el conocimiento y el entorno necesario para mi formación profesional.

A todos, mi más sincero agradecimiento por formar parte de este importante logro.

Kyara Nicole Aguilar Solis

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios por haberme dado la fuerza, perseverancia y salud para culminar esta etapa.

A mis padres, por su amor infinito, su esfuerzo inquebrantable y sus enseñanzas que me han guiado en todo momento. A mis hermanas, por ser mi inspiración constante y brindarme apoyo en cada desafío.

A mi compañera de tesis, por su entrega, trabajo en equipo y por compartir conmigo este proceso de aprendizaje y crecimiento.

A mi asesor, por su guía invaluable, dedicación y paciencia a lo largo de este proceso. Su contribución fue clave para el desarrollo de esta tesis.

A mi casa de estudios y a los docentes, por proporcionarme los recursos, conocimientos y el ambiente adecuado para mi crecimiento profesional.

Finalmente, a mis amigos, por creer en mí, ofrecerme palabras de aliento y acompañarme en esta travesía, demostrando el valor de la verdadera amistad.

Este logro es también de ustedes.

Carlos Arturo Arango Sanchez

Índice

Índice de Tablas xi
Índice de Figuras xiii
Índice de Ecuaciones xv
Lista de Abreviaturas y Nomenclaturas xvi
Resumen xviii
Abstract xix
Introducción 1
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 5
1.1. Descripción y Formulación del Problema 5
1.2. Objetivos 9
1.2.1. Objetivo General 9
1.2.2. Objetivos Específicos 9
1.3. Justificación e Importancia 10
1.3.1. Justificación Económica 10
1.3.2. Justificación Ambiental 10
1.3.3. Justificación Social 11
1.3.4. Justificación Científica 11
1.4. Hipótesis de la Investigación 11
1.4.1. Hipótesis General 11
1.4.2. Hipótesis Específicas 11
1.5. Variables 12
1.5.1. Variables Independiente 12
1.5.2. Variable Dependiente 12
1.5.3. Operacionalización de Variables 13
II. MARCO TEÓRICO 14
2.1. Antecedentes 14
2.1.1. Ámbito Internacional 14
2.1.2. Ámbito Nacional 15
2.2. Bases Teóricas 16
2.2.1. Gestión de Carguío y Acarreo con Camiones Autónomos 16
2.2.1.1. Modelo de Uso de Tiempo 19
2.2.1.2. Controles Digitales 21
2.2.1.3. Costos de las Operaciones de Carguío y Acarreo 24

2.2.2. Ciclo Productivo de Camiones Mineros en Minería a Cielo Abierto..... 27
2.2.2.1. Proceso de Minado..... 27
2.2.2.2. Ciclo de Carguío..... 29
2.2.2.3. Ciclo de los camiones CAT 794 AC..... 31
2.2.2.4. Camiones Autónomos Caterpillar 794 AC..... 33
2.2.2.5. Indicadores Claves de Productividad (KPI) de Carguío y Acarreo en Minería 36
2.2.2.6. Sistema Sideboard..... 39
2.3. Definición de Términos..... 40

III. MÉTODOLOGÍA..... 42
3.1. Tipo y Nivel de Investigación..... 42
3.2. Ámbito Temporal y Espacial..... 42
3.3. Población y muestra..... 43
3.3.1. Población:..... 43
3.3.2. Muestra..... 43
3.3.2.1. Población total..... 45
3.3.2.2. Nivel de Confianza..... 45
3.3.2.3. Probabilidad..... 45
3.3.2.4. Margen de Error..... 45
3.3.2.5. Tamaño de la muestra..... 45
3.3.2.6. Muestreo..... 46
3.4. Instrumentos..... 48
3.4.1. Técnica de Recolección de Datos..... 48
3.4.1.1. Observación directa..... 48
3.4.1.2. Registro documental..... 48
3.4.2. Materiales..... 48
3.5. Procedimientos..... 49
3.6. Análisis de Datos..... 50
3.6.1. Recolección de Datos en la Etapa de Gabinete..... 50
3.6.2. Recolección de Datos en la Etapa de Campo..... 51
3.6.3. Análisis Descriptivo..... 51
3.6.4. Análisis Estadístico..... 52

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 53
4.1. Resultados 53
4.1.1. Control de Cúspides y Mejora del Carguío 53
4.1.1.1. Análisis Estadístico del Control de Cúspides 53
4.1.1.2. Resultados del Control de Cúspides 55
4.1.1.3. Comprobación de hipótesis para el objetivo específico 1 58
4.1.2. Sistema Sideboard y Mejora del Acarreo 61
4.1.2.1. Análisis Estadístico del Sistema Sideboard y Eventos de Sobrecargas 61
4.1.2.2. Resultados del Control de Camiones con Sistema Sideboard 67
4.1.2.3. Comprobación de hipótesis para el objetivo específico 2 71
4.1.3. Gestión de Eventos TKPH y Mejora de las Operaciones de Carguío y Acarreo 74
4.1.3.1. Análisis Estadístico de los Eventos TKPH 74
4.1.3.2. Resultados de Controles de TKPH y Mejora del Carguío y Acarreo ... 80
4.1.3.3. Comprobación de hipótesis para el objetivo específico 3 86
4.1.4. Reducción de costos mediante controles digitales de camiones autónomos 794 AC 89
4.1.4.1. Reducción de costos y controles de cúspides 89
4.1.4.2. Reducción de costos y controles para camiones con Sideboard 91
4.1.4.3. Reducción de costos y controles TKPH para reducción de eventos de TKPH elevados 93
4.2. Discusión 95
V. CONCLUSIONES 98
VI. RECOMENDACIONES 101
VII. REFERENCIAS 103
VIII. ANEXOS 107
8.1. Matriz de Consistencia 107
8.2. Ficha Técnica de Camiones Autónomos CAT 794 AC 108
8.3. Estándar de operación para corrección de cúspides 114
8.4. PETS de corrección de cúspides 121
8.5. Estándar de descarga de sobrecargas 129
8.6. PETS de descarga de sobrecargas para camiones autónomos 136
8.7. Estándar de prevención de incendios de neumáticos de camiones 144
8.8. PETS de control de incendios de neumáticos de camiones autónomos 153

8.9. Estándar de prevención de TKPH elevado para camiones autónomos 165
8.10.PETS control de TKPH elevado de camiones autónomos 173
8.11.Datos de repesaje y cálculo de la variabilidad de los controles digitales de sobrecarga 182

Índice de Tablas

Pág.

Tabla 1 Operacionalización de variables 13
Tabla 2 Población de ciclos de acarreo con camiones CAT 794 AC 44
Tabla 3 Proporción por mes de la muestra probabilística 46
Tabla 4 Análisis estadístico de cúspides, meses de febrero a mayo 53
Tabla 5 Promedio de duración del aculatamiento por hora mensual 56
Tabla 6 Mejora del carguío de acuerdo a los resultados de aplicación de controles de cúspides 58
Tabla 7 Resultado antes y después de la aplicación de controles de cúspides 58
Tabla 8 Prueba de normalidad para aplicación de controles de cúspides 59
Tabla 9 Prueba t para medias de dos muestras emparejadas Control de Cúspides 60
Tabla 10 Eventos de sobrecarga registrados entre los meses de enero a mayo del 2024 61
Tabla 11 Relación entre el Sistema Sideboard y los eventos de sobrecarga entre los meses de enero a mayo del 2024 62
Tabla 12 Análisis estadístico de sobrecargas, meses de enero a mayo. 62
Tabla 13 Eventos de sobrecarga por operador durante los meses de enero a mayo del 2024 y porcentaje acumulado 64
Tabla 14 Evaluación de la precisión y vulnerabilidad de los controles digitales de sobrecarga de los equipos de carguío 66
Tabla 15 Controles implementados de camiones con sistema Sideboard para mejorar el carguío y acarreo 67
Tabla 16 Resultados de la aplicación de controles de Sistema Sideboard para la mejorar las operaciones de carguío y acarreo. 71
Tabla 17 Prueba de normalidad para los datos de aplicación de controles de sistema Sideboard 72
Tabla 18 Prueba t para medias de dos muestras emparejadas – Control de camiones con sistema Sideboard 73
Tabla 19 Promedio de TKPH, EFH y tonelaje por ciclo de carguío periodo de febrero a mayo de 2024 75
Tabla 20 Análisis de correlación de Pearson de Carga, TKPH y EFH 76
Tabla 21 Análisis de número de eventos promedio total, mensual y por camión. 78

Tabla 22 Correlación factor K2 de temperatura ambiental en el TKPH 79
Tabla 23 Plan de respuesta ante eventos de TKPH elevado por niveles 82
Tabla 24 Promedio de TKPH mensual, antes y después de la implementación de controles de TKPH y EFH 83
Tabla 25 Resultados de las medidas de control de TKPH y EFH en el número de eventos de TKPH alto 85
Tabla 26 Grupos de datos para la comprobación de hipótesis específica 3 86
Tabla 27 Prueba de normalidad para los datos de aplicación de controles de TKPH y EFH 87
Tabla 28 Prueba t para medias de dos muestras emparejadas – Control de TKPH y EFH para reducir los eventos de TKPH elevado 88
Tabla 29 Cálculo de mejora de tiempo de cúspides y proyección anual para el cálculo de la reducción de costos 89
Tabla 30 Cuadro de costos por reducción de tiempos improductivos debido a la aplicación de controles de cúspide. 90
Tabla 31 Cálculo de reducción de tiempos improductivos por reducción del número de sobrecargas anualizado. 91
Tabla 32 Cuadro de costos por reducción de tiempos improductivos debido a la aplicación de controles de camiones con sistema Sideboard. 92
Tabla 33 Cálculo de reducción de tiempos improductivos por reducción del número de sobrecargas anualizado. 93
Tabla 34 Cuadro de costos por reducción de tiempos improductivos debido a la aplicación de controles de TKPH alto. 94
Tabla 35 Cuadro resumen de reducción de costos de la implementación de controles para los objetivos específicos 1, 2 y 3. 95

Índice de Figuras

Pág.

Figura 1 Distribución de compañías mineras que usan camiones autónomos. 6
Figura 2 Esquema básico del TUM de acuerdo al Global Mining Group 19
Figura 3 Funcionamiento de sistemas de control para camiones autónomos 21
Figura 4 Sistemas de antenas en una mina a tajo abierto para la comunicación e integración de datos en sistemas de control digital 22
Figura 5 Distribución típica de costos en minería superficial 24
Figura 6 Costos de inversión para convertir una flota de camiones autónomos ... 25
Figura 7 Comparación de costos de combustible, mano de obra y neumáticos 26
Figura 8 Pala hidráulica CAT 6060 para el carguío de materiales 28
Figura 9 Proceso de minado típico en minería a cielo abierto 29
Figura 10 Proceso de carga de camión autónomo con pala 30
Figura 11 Carga permisible en camiones 31
Figura 12 Ciclo de actividades del camión minero. 32
Figura 13 Componentes del Camión Autónomo CAT 794 AC 34
Figura 14 Sistema LiDAR para detección de objetos en camiones autónomos 35
Figura 15 Tolva con sistema Sideboard instalado 39
Figura 16 Mapa de ubicación de la unidad minera. 43
Figura 17 Vista en planta de botaderos, frentes y rutas de acarreo. 44
Figura 18 Promedio de duración de aculatamiento según equipo de carguío. 54
Figura 19 Tiempo acumulado de cúspides por mes periodo marzo a agosto 55
Figura 20 Promedio de duración del aculatamiento por hora mensual 57
Figura 21 Gráfico de Pareto de número de eventos de sobrecarga por operador entre los meses de enero a mayo del 2024 65
Figura 22 Eventos de sobrecarga de camiones autónomos 794 AC en el periodo Enero a Agosto del 2024 69
Figura 23 Resultados de la aplicación de controles de camiones con sistema Sideboard 70
Figura 24 Correlación entre EFH y TKPH elevado de acuerdo a los registros de TKPH de los meses de febrero a mayo del 2024 76
Figura 25 Análisis de Eventos TKPH por camión. 77
Figura 26 Promedio de TKPH por hora del día 78

Figura 27 Relación TKPH y factor K2 de temperatura periodo marzo, abril y mayo del 2024 80
Figura 28 Resultados de los controles de TKPH y EFH periodo marzo a agosto del 2024, antes y después de la implementación de controles. 84
Figura 29 Promedio ponderado comparado de TKPH antes y después de la puesta en marcha de controles de TKPH y EFH 84
Figura 30 Número de eventos de TKPH elevado (>=1300) antes y después de la implementación de controles. 86

Índice de Ecuaciones

Pág.

Ecuación (1)..... 37
Ecuación (2)..... 38
Ecuación (3)..... 38
Ecuación (4)..... 45

Lista de Abreviaturas y Nomenclaturas

AC	:	Corriente alterna.
AOZ	:	Zona de Operación Autónoma, por sus siglas en inglés.
C°	:	Grados Celsius.
CAT 794 AC	:	Modelo de camión minero Caterpillar.
D	:	Distancia recorrida por el neumático, en kilómetros.
ECM	:	Módulos de control electrónico, por sus siglas en inglés.
EFH	:	Distancia plana efectiva o equivalente, “Equivalent Flat Haul” en inglés.
GMG	:	Global Mining Guidelines Group
GPS	:	Sistema de posicionamiento global, por sus siglas en inglés.
hr	:	Horas.
HP	:	Caballos de fuerza.
K1	:	Factor de distancia para el cálculo de TKPH.
K2	:	Factor de temperatura ambiente para el cálculo de TKPH.
km	:	Kilómetros.
KPI	:	Key performance indicator.
kW	:	Kilowatt.
L	:	Vida útil del neumático en horas.
LiDAR	:	Sensor de detección y medición por láser, del inglés “Light Detection and Ranging” o “Laser Imaging Detection and Ranging”.
m	:	Metros.
mm	:	Milímetros.
MTBF	:	Tiempo Medio Entre Fallas.

MTTR	:	Tiempo Medio Entre Reparaciones.
OTR	:	Todoterreno, en inglés “Off the road”.
PO	:	Pérdidas operacionales.
TA	:	Temperatura ambiente en C°.
TKPH	:	Tonelada kilómetro por hora.
TR	:	Temperatura de referencia.
TUM	:	Modelo de uso de tiempo.
W	:	Peso de la carga transportada por el neumático promedio, en toneladas.

Resumen

El presente estudio se enfoca en el mejoramiento de las operaciones de carguío y acarreo en una mina a cielo abierto mediante la implementación de controles digitales de camiones autónomos CAT 794 AC, con el objetivo de mejorar los tiempos de ciclo y reducir los costos operativos. Se emplearon como instrumentos el sistema de control y monitoreo MineStar, reportes de KPI y Modelo de Uso de Tiempo y análisis inferencial estadístico. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, aplicado y no experimental utilizando una muestra probabilística de ciclos de carguío y acarreo correspondientes a los meses de marzo, abril y junio del 2024, con análisis comparativo de ciclos de camiones con y sin controles. Las hipótesis se validaron estadísticamente a través de la prueba T de Student para evaluar la efectividad de las innovaciones implementadas. Los resultados revelaron que los controles digitales junto con una adecuada gestión de operaciones redujeron los tiempos de cúspides de los camiones autónomos en un 8%, disminuyeron los eventos de sobrecarga en un promedio del 16% en camiones con Sideboard, se redujeron 409 horas de inactividad anual debido a sobrecargas y 414 horas debido a reducción de eventos TKPH alto. Asimismo, los controles aplicados permitieron una disminución del índice de TKPH en un 7.2%, evitando el 20% de los eventos de TKPH elevado y generando un ahorro operativo estimado en USD 1.57 millones. La implementación de controles digitales en camiones autónomos ha demostrado ser una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia de las operaciones mineras.

Palabras clave: Minería a cielo abierto, camiones autónomos, 794 AC, TKPH, Minestar.

Abstract

This study focuses on improving loading and hauling operations in an open-pit mine through the implementation of digital controls for autonomous CAT 794 AC trucks, with the objective of improving cycle times and reducing operational costs. The instruments used included the MineStar control and monitoring system, KPI and Usage Time Model reports and inferential statistical analysis. The research followed a quantitative, applied and non-experimental approach, using a probabilistic sample of loading and hauling cycles from arch, April, and June 2024, with a comparative analysis of truck cycles with and without improvements. The hypotheses were statistically validated using the Student's T-test to evaluate the effectiveness of the implemented innovations. Results showed that digital controls, combined with effective operations management, reduced peak cycle times for autonomous trucks by 8%, decreased overload events by an average of 16% for trucks with sideboards, and reduced downtime by 409 hours annually due to overloads and by 414 hours due to high TKPH events. Additionally, applied controls lowered the TKPH index by 7.2%, preventing 20% of high TKPH events and achieving an estimated operational cost saving of USD 1.57 million. Implementing digital controls in autonomous trucks has proven to be an effective strategy for enhancing mining operation efficiency.

Keywords: Open-pit mining, autonomous trucks, CAT 794 AC, TKPH, MineStar.

Introducción

El carguío y acarreo en minería representan dos de las actividades más importantes y costosas dentro del proceso de extracción de minerales, especialmente en operaciones mineras a cielo abierto. El costo del acarreo, en particular, está fuertemente influenciado por el consumo de combustible, que constituye aproximadamente el 50% del costo total. Es así que el desarrollo y la implementación de tecnologías como los camiones autónomos cobran relevancia, ya que permitirían transformar la gestión tradicional de estos procesos. A su vez, la inversión minera ha crecido de manera significativa en los últimos años, por ejemplo, en la unidad minera estudiada se realizó una inversión de 30 millones de dólares para automatizar su flota de camiones. Este es un claro caso de cómo los controles digitales están innovando las actividades de carguío y acarreo.

Sin embargo, aunque el uso de camiones autónomos se ha introducido de manera creciente en la industria minera, su implementación no está libre de desafíos. A pesar de los avances, el sistema autónomo de camiones mineros aún se encuentra en un proceso de integración tecnológica y operativa en el Perú. Las empresas mineras, en su búsqueda por maximizar la productividad y competitividad, recurren en muchos casos a empresas terceras para gestionar la automatización, lo que ha resultado en una subutilización de estas tecnologías por parte del núcleo de operaciones.

Este enfoque plantea una oportunidad de mejora para lograr optimizar el uso de estos sistemas. En el caso de esta unidad minera, mejorar el control del ciclo productivo mediante herramientas digitales, sensores integrados en los camiones y reportes de TKPH en tiempo real, ha resultado clave para reducir los tiempos improductivos y aumentar el número de ciclos realizados por hora. Estos controles permiten una mayor integración de diversas tecnologías, mejorando tanto el proceso de carguío como el de acarreo, lo que a largo plazo impulsaría la viabilidad y eficiencia de la tecnología autónoma en las operaciones mineras.

El problema identificado en esta investigación surge de la necesidad de optimizar los criterios operativos de los camiones autónomos mineros en la minería a cielo abierto, particularmente en relación con el control de cúspides, el uso del sistema Sideboard y la gestión de los índices TKPH y EFH. En el caso del control de

cúspides, se ha observado que cúspides inadecuadas generan tiempos improductivos durante el aculatamiento de los camiones, lo que reduce la cantidad de ciclos productivos y, por ende, disminuye la producción general. Por tanto, mejorar el control de cúspides en el carguío y acarreo permite mejorar los tiempos de ciclo y aumentar la eficiencia operativa, lo que se relaciona directamente con el primer objetivo específico.

Asimismo, el uso del sistema Sideboard, aunque incrementa la capacidad de carga de los camiones, genera complicaciones en la gestión de TKPH, lo que puede derivar en paradas no programadas o reasignaciones operativas que afectan la eficiencia del ciclo productivo. La necesidad de un control más eficiente de este sistema, junto con la mejora del manejo de los índices TKPH y EFH, influye en la minimización de las paradas de camiones y maximiza su disponibilidad, lo que a su vez contribuye a mejorar el rendimiento general del carguío y acarreo en la mina. Estos aspectos se alinean con los objetivos específicos de la investigación, que buscan identificar mejores asignaciones y prácticas operativas para maximizar la eficiencia de los camiones autónomos y, finalmente, reducir los costos operativos por tonelada de material extraído.

La presente investigación tiene contribuciones significativas de carácter económico, ambiental, social y científico. Desde una perspectiva económica, la mejora de estos procesos no solo reduce los costos operativos y de mantenimiento, sino que también aumenta la productividad y prolonga la vida útil de componentes esenciales como los neumáticos. En términos ambientales, la eficiencia en el uso de camiones autónomos contribuye a la reducción de emisiones contaminantes y del consumo de combustible, alineándose con los objetivos globales de sostenibilidad. Socialmente, la implementación de tecnologías autónomas fomenta la creación de empleo calificado y la capacitación de talento local, generando un impacto positivo en las comunidades cercanas a las operaciones mineras. Finalmente, desde el punto de vista científico, esta investigación contribuye a llenar vacíos en la literatura existente, proporcionando modelos replicables que pueden ser útiles para otras operaciones mineras.

La hipótesis de esta investigación plantea que la implementación de controles digitales eficientes en los camiones autónomos CAT 794 AC mejora los procesos

de carguío y acarreo, reduciendo significativamente los tiempos del ciclo productivo y aumentando la productividad de las operaciones mineras. Específicamente, se espera que un control adecuado de cúspides, la correcta asignación de camiones con el sistema Sideboard, y la gestión óptima de los parámetros operativos TKPH y EFH incidan de manera directa en la reducción de los tiempos operativos y costos asociados. Asimismo, se prevé que estas medidas reduzcan el costo de carguío y acarreo, mejorando tanto la utilización de los camiones autónomos como el mantenimiento de sus componentes, lo que a su vez mejora los índices de eficiencia y reduce los eventos de parada por condiciones adversas. La investigación busca corroborar que estos controles digitales pueden tener un impacto positivo tanto en el desempeño operativo como en los costos, contribuyendo a la mejora general de las operaciones de la mina.

La variable dependiente es el mejoramiento del carguío y acarreo, la cual se mide en función del tiempo de los ciclos de carguío (en horas, minutos y segundos) y el costo a través de la estimación de costos evitados. Estas dimensiones permiten cuantificar la eficiencia operativa y económica, que influencian la productividad. La variable independiente corresponde a los controles digitales de camiones autónomos, desglosadas en tres dimensiones: control de cúspides, sistema Sideboard, y los parámetros TKPH (Tonelada-Kilómetro por Hora) y EFH (Distancia Equivalente Horaria). Cada una de estas dimensiones influye en el tiempo de operación y la utilización de los camiones autónomos, factores que también se miden numéricamente en términos de minutos, segundos y TKPH. La investigación plantea que una optimización en el uso de estos sistemas permite no solo mejorar los tiempos de ciclo, sino también reducir los costos operativos, lo cual es medido a través de herramientas como el sistema MINESTAR y los reportes del Modelo de Uso de Tiempo (TUM).

La investigación se lleva a cabo bajo un enfoque cuantitativo, aplicado y no experimental, con el objetivo de mejorar la gestión de carguío y acarreo. Este estudio se centra en la recolección y análisis de datos numéricos sobre los ciclos productivos de camiones autónomos, evaluando indicadores como el Modelo de Uso de Tiempo (TUM) y parámetros operacionales TKPH y EFH. Se emplea técnicas como la observación directa y el registro documental para la obtención de datos, utilizando herramientas como el sistema MineStar y programas estadísticos

como SPSS para el análisis. La muestra se seleccionó mediante muestreo aleatorio estratificado y abarcó 15,552 ciclos de acarreo, representando proporcionalmente cada mes del periodo enero-agosto 2024. El análisis de datos incluye tanto métodos descriptivos como inferenciales, aplicando pruebas estadísticas como la Prueba T y correlación de Pearson para identificar correlaciones entre variables y evaluar la eficacia de las mejoras implementadas en las operaciones. Se espera que los resultados proporcionen soluciones prácticas para mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y mejorar la calidad de las operaciones mineras.

El presente informe de investigación comienza con el Capítulo I, donde se presenta la descripción y formulación del problema central, enfocado en cómo mejorar las operaciones de carguío y acarreo mediante controles digitales de camiones autónomos en la unidad minera. En esta sección se incluyen los antecedentes que contextualizan la investigación, el objetivo general y los específicos, la justificación que resalta la relevancia del estudio, y las hipótesis que sugieren que la implementación de dichos controles digitales reduce los tiempos de operación y costos.

El capítulo II aborda el Marco Teórico, donde se desarrollan las bases teóricas relacionadas con los camiones autónomos, los sistemas de control digital y las operaciones mineras, proporcionando la base conceptual del estudio. En el Capítulo III, se expone la metodología, describiendo los procedimientos y análisis de datos, basados en una investigación aplicada con un diseño no experimental y de tipo correlacional descriptiva. El Capítulo IV presenta los resultados obtenidos del análisis de datos, mientras que el Capítulo V ofrece las conclusiones, que sintetizan los hallazgos clave sobre la mejora del carguío y acarreo. Finalmente, el capítulo VI incluye las Referencias bibliográficas que sustentan el estudio.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y Formulación del Problema

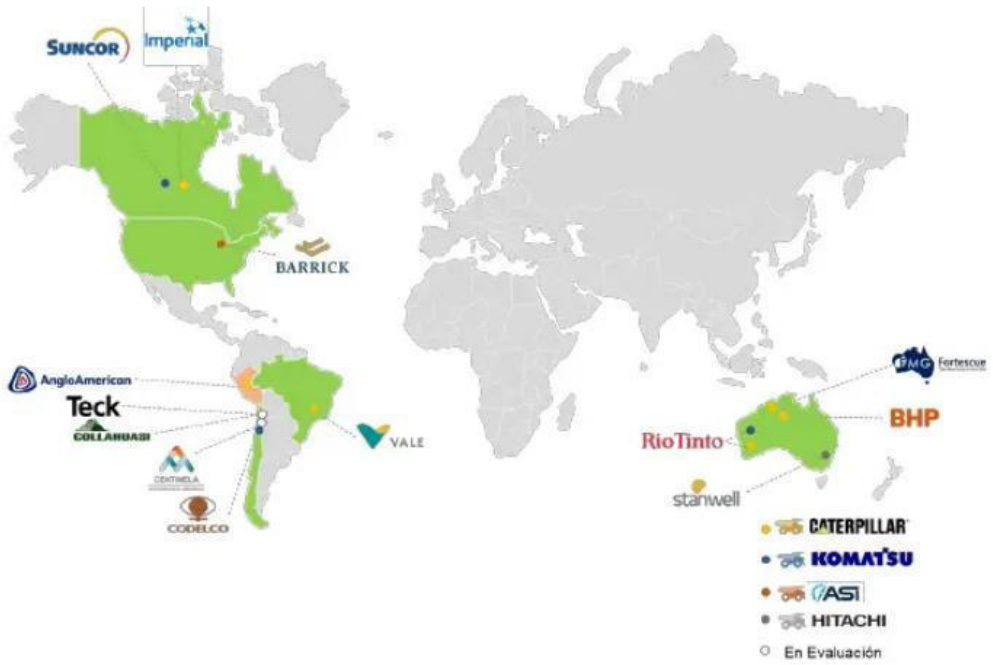
El acarreo en minería representa una parte significativa del costo por tonelada de roca extraída, siendo el costo del combustible el componente principal que forma aproximadamente el 50% del costo de acarreo. Por lo tanto, mejorar el acarreo puede generar ahorros operativos significativos (Topal, 2020). Es así que la mejora de la gestión de carguío y acarreo en la industria minera es importante en un contexto de crecimiento del sector minero y la implementación relativamente reciente de la tecnología de camiones autónomos. Durante el período de enero a noviembre de 2018, la inversión en este sector ascendió a US$4.181 millones, representando un incremento del 25.4% en comparación con el año anterior (El Comercio, 2019). Asimismo, la unidad minera en estudio realizó una inversión importante desde el 2022 de alrededor de 30 millones de dólares para convertir sus camiones mineros con tecnología automatizada (Ortiz y Herrera, 2020, p.7). Con el aumento de la inversión minera, las empresas del sector, especialmente aquellas dedicadas a la extracción a cielo abierto, se ven impulsadas a buscar constantemente formas aumentar la eficiencia de los procesos productivos. Esto incluye la implementación de prácticas de mejora continua para minimizar tanto los tiempos del ciclo productivo como los costos en sus operaciones.

Los camiones autónomos mineros son una tecnología relativamente reciente y requiere de estudio para mejorar su uso y eficiencia económica (Leiva, 2020, 77). La industria minera, en su constante búsqueda de competitividad y progreso tecnológico, se ha adentrado en una era de automatización e inteligencia como es el caso del uso de camiones autónomos (Caterpillar, 2022). Sin embargo, este avance no ha sido uniforme ni plenamente internalizado en las operaciones de las empresas mineras. En lugar de integrar la inteligencia tecnológica en sus propios procesos, muchas compañías han optado por externalizar el control del proceso productivo a proveedores de servicios especializados. Este enfoque ha generado un gran potencial de mejora entre las diversas tecnologías de automatización utilizadas en las distintas etapas del proceso minero. A pesar de las significativas inversiones y avances realizados, el sistema de camiones autónomos se encuentra aún en etapa de integración tecnológica en un proceso minero cohesivo y armonizado.

El carguío y el acarreo del mineral son actividades críticas y estrechamente relacionadas que representan un factor importante en la extracción de materia prima en la mina. Para alcanzar niveles óptimos de eficiencia y seguridad con camiones autónomos, se debe superar la brecha existente mediante la integración de datos y procesos de trabajo en las operaciones mineras. La mejora de las prácticas en el ciclo productivo facilitaría la compatibilidad entre las diversas tecnologías emergentes utilizadas en el uso de camiones autónomos, permitiendo una gestión más fluida y coordinada del proceso minero. Si bien la industria minera ha avanzado significativamente en la adopción de tecnologías automatizadas de sistemas de camiones mineros como muestra la Figura 1, el próximo paso importante radica en mejorar la gestión de carguío y acarreo para impulsar su viabilidad, eficacia a largo plazo y ritmo de adopción.

Figura 1

Distribución de compañías mineras que usan camiones autónomos.



Nota. Tomado de Olivares (2019, p.8).

En este sentido surge la necesidad de buscar mejoras en los criterios operativos que resulten en un ciclo productivo optimo y eficiente como el Control de Cúspides, el uso del Sistema Sideboard en camiones mineros y el control de los parámetros operativos TKPH y EFH. En primer lugar, el Control de Cúspides es una actividad clave en la eficiencia operativa del ciclo productivo con camiones

mineros, ya que, al tener control de estas se pueden reducir factores importantes en el carguío con los tiempos de aculatamiento de camiones autónomos, los cuales influyen en el ciclo productivo y contribuye al tiempo total del ciclo de un camión. Existe pérdida de segundos por cada cúspide inadecuada que los camiones realizan que genera una espera improductiva mientras la pala espera para realizar la carga. Es así que estos tiempos improductivos generan la reducción de la cantidad de ciclos que se pueden realizar por hora, lo que finalmente significa una menor producción general. Asimismo, el Control de Cúspides durante el acarreo, sea desde el punto de carguío hasta la chancadora en el caso de mineral o hasta un botadero en el caso del desmonte y materiales, es un factor significativo que contribuye al ciclo y que es susceptible a ser optimizado. Por tanto, el primer objetivo específico de esta investigación es determinar el efecto del control de cúspides en la mejora de las operaciones de carguío y acarreo con el fin de reducir tiempos de los ciclos de carguío y acarreo.

En segundo lugar, se ha identificado una problemática significativa relacionada con las operaciones de camiones autónomos equipados con el sistema Sideboard. Este sistema, aunque incrementa la capacidad de carga de los camiones, también aumenta los valores de TKPH, lo que puede llevar a la ocurrencia de eventos que resulten en paradas no programadas de los camiones o la necesidad de reasignarlos a rutas más cortas para mitigar el riesgo y permitir que los valores de TKPH se estabilicen. Considerando que se realizó una inversión de 17 mil dólares por camión para instalar estos sistemas, la actual estrategia tiene un amplio margen para maximizar el potencial de esta tecnología. Se hace indispensable la implementación de controles más eficientes que permitan aprovechar plenamente las ventajas del sistema Sideboard, evitando interrupciones operativas y mejorando la logística de carguío y acarreo dentro de la mina. En este sentido el segundo objetivo específico es identificar la gestión de sobrecargas más eficiente de los camiones autónomos mineros con sistema Sideboard para la mejora del carguío y acarreo.

En tercer y último lugar, en las operaciones mineras, se ha detectado una oportunidad de mejora relacionada con el Índice de Toneladas Kilómetro por Hora (TKPH) de los camiones utilizados para el acarreo de material. Los camiones que realizan rutas más largas tienden a registrar valores altos de TKPH, lo que puede

conducir a un sobrecalentamiento de los neumáticos y, como consecuencia, a una mayor incidencia de fallas mecánicas y pérdida de disponibilidad de los vehículos. Para mitigar este problema, se ha implementado un protocolo donde se monitorea el TKPH en tiempo real, si se detectan valores elevados, se reasignan los camiones a rutas más cortas para reducir el estrés sobre los neumáticos. En situaciones críticas, los camiones son detenidos para controlar la temperatura de los neumáticos y prevenir daños mayores. Este proceso es necesario para preservar la integridad del equipo y la seguridad de las operaciones, no obstante, implica un tiempo de inactividad que afecta la eficiencia general de la producción; es así que gestión adecuada del TKPH podría maximizar directamente a la disponibilidad de los camiones. Por tanto, el tercer objetivo es hallar prácticas operativas para mantener los índices TKPH y EFH más eficientes para la mejora del carguío y acarreo reduciendo los eventos de parada de camiones por condiciones de TKPH alto.

El interrogante general se centra en cómo lograr una mejora integral del proceso de carguío y acarreo a través del uso de controles digitales de camiones autónomos. Esto requiere analizar las diferentes variables operativas y tecnológicas involucradas, como el Control de Cúspides, el sistema Sideboard de los camiones y los parámetros de operación como el TKPH (Toneladas Kilómetro por Hora) y el EFH (Distancia Plana Efectiva o Equivalente). La gestión adecuada de estas variables mejora los indicadores del rendimiento de los camiones y la productividad.

Una de las preguntas específicas que surge es cómo el control de cúspides actual influye en la mejora del proceso de carguío y acarreo. El Control de Cúspides se refiere a la administración adecuada de los puntos de parada de los camiones durante el ciclo de carguío para un óptimo aculatamiento. Si estas cúspides no son gestionadas correctamente, se generan tiempos improductivos que impactan de manera negativa en la eficiencia operativa. Cada segundo perdido debido a una cúspide mal ubicada o gestionada reduce la cantidad de ciclos que pueden realizarse por hora, lo que finalmente se traduce en una menor producción.

Otra pregunta específica aborda la incidencia del uso de camiones autónomos equipados con el sistema Sideboard en la mejora de los procesos de carguío y acarreo. Aunque este sistema incrementa la capacidad de carga de los camiones, también eleva los valores de TKPH, lo que puede generar problemas

como paradas no programadas o la necesidad de reasignar los camiones a rutas más cortas para evitar el sobrecalentamiento de los neumáticos. A pesar de la inversión significativa en esta tecnología, su potencial no se está explotando al máximo. Se requiere un enfoque más estratégico en la asignación de camiones para mejorar la utilización del sistema Sideboard y evitar interrupciones operativas que comprometan la eficiencia.

La tercera interrogante específica está referida a cómo los parámetros operativos de Toneladas-Kilómetro por Hora (TKPH) y Distancia Equivalente (EFH) pueden influir en la mejora de las actividades de carguío y acarreo. La implementación de controles eficientes en estos aspectos asegura un ciclo productivo fluido y reduce tiempos muertos. El monitoreo y control adecuado del TKPH evita la sobrecarga y sobrecalentamiento de los neumáticos, situaciones que, de no ser gestionadas correctamente, pueden derivar en fallas mecánicas y detener la operación de los camiones. La última interrogante de esta investigación tiene que ver con la reducción de los costos de carguío y acarreo mediante la operación de camiones autónomos CAT 794 AC. La implementación de un sistema de operación autónoma más sofisticado con controles digitales que minimicen los tiempos de inactividad y las paradas no programadas, disminuye los costos de mantenimiento y operación.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Mejorar las operaciones de carguío y acarreo a través de controles digitales eficientes de camiones autónomos mineros CAT 794 AC en una mina a cielo abierto en el año 2024.

1.2.2. Objetivos Específicos

Determinar el efecto del control de cúspides en la mejora de las operaciones de carguío y acarreo con el fin de reducir tiempos de los ciclos de carguío y acarreo en una unidad minera a cielo abierto en el año 2024.

Identificar la gestión de sobrecargas más eficiente de camiones autónomos mineros con sistema Sideboard para la mejora del carguío y acarreo en una unidad minera a cielo abierto en el año 2024.

Hallar prácticas operativas para mantener los índices TKPH y EFH más eficientes para la mejora del carguío y acarreo reduciendo los eventos de parada de camiones por condiciones de TKPH alto en una unidad minera a cielo abierto en el año 2024.

Generar una propuesta controles digitales de camiones autónomos mineros que reduzca los costos por tonelada de material extraído en una unidad minera a cielo abierto.

1.3. Justificación e Importancia

1.3.1. Justificación Económica

La mejora de la gestión de carguío y acarreo permite aumentar la productividad de los camiones autónomos asignados para cumplir con el plan de minado, lo que se traduciría en una significativa disminución de la inversión inicial y de los costos operativos asociados a los camiones autónomos (Leiva, 2020, p.76). Además, al prescindir de operadores humanos, se reduce el costo relacionado con su remuneración y se minimizan los riesgos de seguridad de accidentes y errores humanos. Por otro lado, la mejora de parámetros EFH y TKPH, así como el control de camiones autónomos permite prolongar la vida útil de los neumáticos y otros componentes, reduciendo así tanto los gastos de mantenimiento como los costos asociados a la reposición de estos equipos. La eficiencia en la operación de los camiones autónomos también se refleja en un menor consumo de combustible, gracias a la conducción bajo parámetros óptimos de diseño y a prácticas operacionales más consistentes.

1.3.2. Justificación Ambiental

La propuesta de la mejora de carguío y acarreo con camiones autónomos en la unidad minera contribuye a la reducción del impacto ambiental de las operaciones mineras. Al mejorar el ciclo productivo de los camiones mineros, se minimizarán las emisiones de gases contaminantes y el consumo de combustible en tanto los camiones autónomos poseen motores diésel (Caterpillar, 2022). Además, una gestión eficiente permite reducir la huella de carbono asociada al acarreo de minerales, alineándose con los esfuerzos globales por una minería más sostenible y responsable con el medio ambiente. Por último, los camiones autónomos eliminan el riesgo asociado a accidentes derivados de malas maniobras y error humano.

1.3.3. Justificación Social

La adopción de una gestión de camiones autónomos ha permitido la creación de un *Hub* de talento altamente especializado en automatización y operación de camiones mineros, esto de la mano de distribuidores nacionales como Ferreyros a través de la formación de ingenieros y técnicos capacitados a nivel mundial. Esta transformación en el sector minero fomenta la generación de empleo más calificado, y promueve la inserción laboral de jóvenes y talentos locales a través de las políticas de contratación de la mina. Este avance refleja un impacto social significativo al integrar la innovación con la capacitación, beneficiando directamente a las comunidades locales y fortaleciendo la economía regional.

1.3.4. Justificación Científica

La investigación aplicada en la unidad minera de camiones autónomos representa un avance significativo en la ingeniería minera, proporcionando un modelo replicable y escalable para otras operaciones mineras que todavía no han implementado este sistema. Este estudio correlacional transversal permite entender cómo variables como el control de cúspides, el control de parámetros operativos como EFH, TKPH y el uso de sistemas Sideboard en camiones mineros influyen directamente en la eficiencia operativa. Los resultados podrán contribuir a la incipiente literatura existente, ofreciendo nuevas perspectivas y métodos científicos para la mejora de procesos en la minería a cielo abierto.

1.4. Hipótesis de la Investigación

1.4.1. Hipótesis General

La mejora de los procesos del ciclo productivo a través de la implementación controles digitales de los camiones autónomos mineros CAT 794 AC reducirá los tiempos de carguío y acarreo incrementando la productividad de una unidad minera a cielo abierto de manera significativa.

1.4.2. Hipótesis Específicas

Un control de cúspides eficiente del sistema de operación de camiones autónomos mineros de la unidad minera tendrá un impacto significativo en la reducción del tiempo del ciclo de carguío y acarreo.

Una adecuada asignación de camiones autónomos mineros con sistema Sideboard en los frentes con material de baja densidad ayudará directamente a reducir los tiempos del ciclo de acarreo y, por ende, en la mejora de las operaciones de carguío y acarreo de la unidad minera.

Una gestión adecuada de TKPH y EFH mejorará las operaciones de carguío y acarreo reduciendo la parada de camiones por valores altos de TKPH y mejorará índices de utilización de los camiones autónomos de la unidad minera.

La propuesta de implementación de controles digitales de camiones autónomos respecto al control de cúspides, asignación de camiones con Sideboard, así como gestión de TKPH y EFH, generará una reducción de costos significativos en el carguío y acarreo de la unidad minera.

1.5. Variables

1.5.1. Variables Independiente

Mejoramiento de carguío y acarreo.

Dimensiones

1) Modelo de Uso de Tiempo (TUM)
2) Costo

1.5.2. Variable Dependiente

Ciclo productivo de camiones autónomos.

Dimensiones:

1) Control de cúspides
2) Parámetros operativos.
3) Sistema Sideboard.

1.5.3. Operacionalización de Variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables	Definición	Dimensiones	Indicador	Numérica/ Categórica	Unidad de Medida
Variable Independiente					
Mejoramiento de carguío y acarreo.	Conjunto de actividades administrativas que buscan incrementar la productividad de los equipos de carguío y acarreo mineros. Incluye la planificación de rutas, la programación de cargas, el mantenimiento preventivo y correctivo, así como la supervisión y el control en tiempo real de los parámetros de rendimiento de cada equipo minero.	Modelo de Uso de Tiempo (TUM)	(1) Tiempos primarios, secundarios y terciarios.	Numérica	Minutos y Segundos
		Costo	(1) Costos evitados resultado de la mejora del carguío y acarreo.	Numérica	$
Variable Dependiente					
Sistema de control de camiones autónomos mineros.	Sistema que monitorea y controla las fases cíclicas de operaciones de extracción y transporte de materiales como mineral y desmonte llevadas a cabo por camiones mineros. Su función de medición y seguimiento permite optimizar la eficiencia y productividad, ya que cada fase del ciclo influye en la duración total del proceso y, por ende, en los costos y la producción. (Chura, 2020).	Control de cúspides	(1) Tiempo del ciclo de carguío. (2) Tiempo de control de cúspide.	Numérica	Minutos y Segundos
		Sistema *Sideboard*	(1) N° de eventos de sobrecarga.	Numérica	Minutos y Segundos
		Parámetros operativos.	(1) N° de eventos de TKPH alto (>=1300) (2) EFH (Distancia equivalente).	Numérica	t/km/h EFH

Nota. Elaboración propia en base al Anexo 1- Matriz de consistencia.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Ámbito Internacional

Leiva (2020) exploró la necesidad de mejorar la eficiencia de los procesos de producción minera a través de la implementación de camiones autónomos en una mina a cielo abierto en Chile. El objetivo principal de la investigación fue determinar si la automatización de camiones puede contribuir a reducir los costos y aumentar la seguridad de las operaciones mineras. Para alcanzar este objetivo, se adoptó una metodología comparativa entre operaciones mineras que utilizan camiones manuales y operaciones que implementan camiones autónomos. La metodología incluyó el diseño, la planificación minera, y la estimación de los costos de operación e inversión asociados a cada escenario. Los resultados mostraron que, aunque la autonomía incrementó los costos totales en un 3%, ofreció ventajas como la reducción del tamaño de la flota en un 13%, la disminución de personal en un 14%, y una notable reducción en los costos operativos de los camiones debido al ahorro en combustible y a menores costos de mantenimiento. La evaluación a mediano plazo sugiere que la automatización de camiones podría ser una buena alternativa para reducir costos operativos, aumentar la confiabilidad de la producción, mejorar la productividad, y asegurar altos estándares de seguridad tanto para las personas como para los equipos.

Guieiro et al. (2019) exploraron la implantación de camiones autónomos OTR en la mina de hierro Brucutu de Vale, ubicada en Brasil con el objetivo presentar la tecnología implementada en los camiones autónomos, los desafíos que enfrenta el equipo de operaciones al adoptar esta tecnología y el itinerario de capacitación necesario para desarrollar nuevos procedimientos que aborden la sensibilidad del sistema de acarreo autónomo. Este enfoque implicó un esfuerzo considerable para mapear y formalizar, mediante procedimientos, la nueva dinámica operativa de la mina, teniendo en cuenta que el impacto en la rutina diaria es significativo y afecta a más áreas de las anticipadas inicialmente. Los resultados del estudio demostraron que la implementación de la tecnología de camiones autónomos conlleva beneficios directos e indirectos considerables, como la

reducción de la flota debido a la mayor productividad y la mayor consistencia en la operación de los equipos. Aunque la implementación de tecnologías disruptivas generalmente requiere un cambio profundo en la cultura operativa, es importante involucrar a todos los equipos de la empresa en este cambio de paradigma.

2.1.2. Ámbito Nacional

Davila (2022) investiga la mejora de costos de carguío y acarreo de mineral mediante el incremento de tiempo de vida de los neumáticos en una unidad minera superficial con el objetivo de mejorar los costos de carguío y acarreo de mineral, así como incrementar la vida útil de los neumáticos. El estudio se realizó en la unidad minera Cuajone, ubicada en Moquegua y la metodología empleada en este trabajo es de tipo aplicada, con un enfoque descriptivo comparativo y correlacional. Se analizaron tres rutas de acarreo utilizando volquetes Komatsu 980E y Caterpillar 797F, con un total de 24 unidades en operación. Los resultados mostraron diferencias significativas en el TKPH entre las rutas estudiadas. La ruta R-01 en la fase 07 registró un TKPH promedio de 1202.50, mientras que la ruta R-02 en la misma fase alcanzó un TKPH de 1286.50. La ruta en el fondo de la mina fase 06 presentó un TKPH considerablemente más alto, de 1704.70. La investigación logró reducir en un 33% el retiro de neumáticos por separación térmica, además, se observó un impacto positivo en la vida útil de los neumáticos, con un aumento del 20% en el tiempo de vida, equivalente a 1109 horas adicionales, lo que resultó en un ahorro significativo de $60,560.00 USD, o $5.91 USD por hora.

Cruz (2021) realizó un análisis TKPH para determinar la idoneidad de los neumáticos utilizados en la flota de acarreo de camiones Caterpillar en la mina Constancia, ubicada en Cusco. El principal objetivo fue verificar si los neumáticos en uso cumplían con los requerimientos de las operaciones mineras bajo las condiciones específicas de uso. Para ello, se emplearon métodos de recopilación y análisis de datos relacionados con las cargas, tiempos y distancias de ciclo de los camiones. Aplicó el cálculo del TKPH de explotación mediante la determinación de cargas medias y velocidades medias, comparándolo posteriormente con el TKPH de especificación de fábrica para los neumáticos. Este análisis se complementó con una evaluación de la gestión de cargas según la política del 10/10/20, y un examen detallado de las cargas por ejes y las velocidades medias. La mayoría de las cargas

se encontraban dentro del rango de productividad deseado, con solo un 7.9% en el rango tolerable. Un 62% de las cargas en los ejes traseros superaban las especificaciones de carga de los neumáticos, lo cual estaba relacionado con las cargas tolerables. En cuanto a las velocidades, para los neumáticos del compuesto B se mantuvieron dentro de las especificaciones, aunque para el compuesto B4, un 20% excedió las especificaciones recomendadas. La investigación concluye que los neumáticos Michelin 50/80R57 XDR250, tanto del compuesto B como del B4, son adecuados para las condiciones actuales de operación de los camiones Caterpillar 793F.

Chura (2019) propuso un plan de control específicamente diseñado para incrementar la utilización de los camiones mineros en el carguío y acarreo en una mina a tajo abierto ubicada en Arequipa. Se analizaron datos obtenidos de su sistema de control computarizado y se efectuó un levantamiento de datos directamente en el área de trabajo de los equipos de acarreo. A través del uso del diagrama de Pareto, se identificaron las principales problemáticas que afectaban la eficiencia operativa. Los resultados obtenidos revelaron que las actividades que requieren mayor atención incluyen el refrigerio, con un 32.8% de incidencia, seguido por el abastecimiento de combustible con un 23.8%, el cambio de turno con un 9.7%, y el mantenimiento con un 7.0%. Basado en estos datos, se diseñó un plan de control con el objetivo de reducir los tiempos muertos, implementar acciones para evitar demoras, y mejorar la capacitación y condiciones de trabajo de los operadores, promoviendo así un ambiente de trabajo seguro y aumentando la productividad.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Gestión de Carguío y Acarreo con Camiones Autónomos

La gestión de carguío y acarreo con camiones autónomos es un sistema una innovación significativa comparado con los tradicionales en el ámbito del carguío y acarreo en minería a cielo abierto. Este sistema, respaldado por tecnología avanzada y el sistema de posicionamiento global, ofrece una serie de funcionalidades que mejoran considerablemente la eficiencia y seguridad de las operaciones mineras. Entre estas capacidades, se destaca la habilidad de los camiones autónomos para seguir rutas y cursos predefinidos, lo que facilita su

tránsito a través de complejas intersecciones y áreas de carga. Además, permite maniobras precisas dentro de áreas de carga y descarga, así como la ejecución de procesos de vaciado en el chancador, todo ello mediante comandos establecidos por el operador (Topal, 2020, p. 262).

Este enfoque autónomo no solo simplifica las operaciones, sino que también mejora la asignación de recursos mediante un sistema de despacho inteligente. Esta característica proporciona una distribución óptima de los camiones mineros, maximizando su rendimiento y reduciendo los tiempos de inactividad. En términos de competitividad, el sistema ofrece una gama de beneficios significativos para sus usuarios. La automatización de procesos clave no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también aumenta la seguridad al reducir la dependencia de factores humanos en entornos potencialmente peligrosos (Dashavskaya, 2021, p.62).

Además, la capacidad de seguir cursos predefinidos y realizar tareas específicas de forma autónoma, este libera a los operadores para realizar otras funciones críticas o de supervisión, lo que aumenta la productividad general de la operación. En resumen, el sistema autónomo de acarreo de mineral y materiales representa un paso adelante en la eficiencia, seguridad y competitividad de las operaciones mineras, brindando a sus usuarios una ventaja significativa en el mercado.

En términos de productividad la implementación de la operación autónoma se traduce en un incremento constante en la productividad del activo, así como en una consistencia notable en la producción por hora, lo que resulta en un proceso de producción estable en línea con la planificación estratégica. Este logro se fundamenta en varios factores clave. En primer lugar, los equipos se mantienen en condiciones óptimas para operar, gracias a un mayor cuidado y una mejor operación de los camiones, lo que conlleva a una disminución significativa en la cantidad de fallas derivadas de malas prácticas operacionales. Asimismo, se observa una prolongación en la duración de los componentes y de los neumáticos, lo que reduce los tiempos de inactividad. Además, se logra una mayor utilización del equipo al eliminar quiebres operacionales, como los asociados con los cambios de turno, las pausas para colación y los relevos de personal, lo que permite que los camiones

permanezcan en los circuitos productivos durante la mayor parte del tiempo disponible. Esta mayor disponibilidad es aún más significativa, ya que los camiones autónomos pueden operar incluso en condiciones de baja visibilidad. Por otro lado, se registra una reducción en la variabilidad de la operación, lo que se traduce en ritmos de producción más estables y en la capacidad de cumplir consistentemente con los compromisos de planificación. La operación de camiones autónomos también conlleva a la creación de un estándar elevado en los caminos y sectores mineros, mejorando así la eficiencia y el desempeño general. En última instancia, la confiabilidad en el cumplimiento del plan minero establecido se ve reforzada por la implementación exitosa de la operación autónoma (Ahumada, 2018, pp. 115-118).

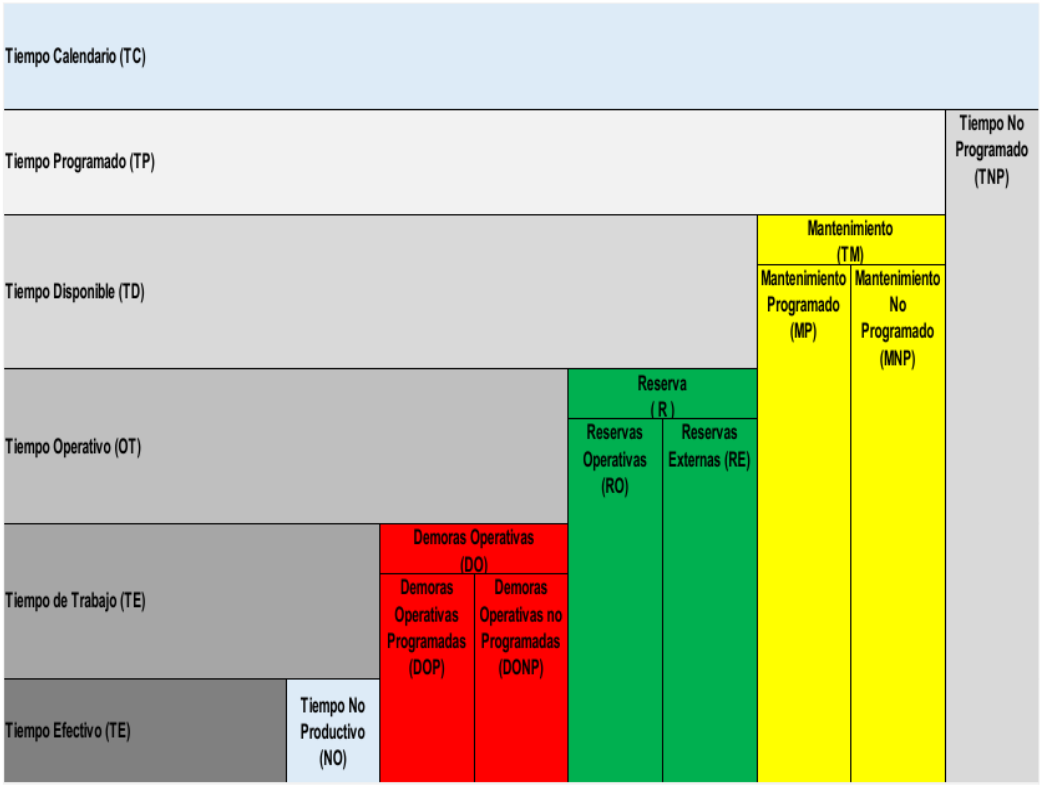
La introducción de tecnología autónoma en el carguío y acarreo en minería conlleva a una serie de beneficios que inciden directamente en la reducción de costos. En primer lugar, se logra una mayor utilización efectiva de los recursos, lo que permite reducir el número de camiones mineros necesarios para cumplir con el plan de minado. Esta optimización no solo disminuye la inversión inicial en la adquisición de nuevos vehículos, sino que también reduce los costos operativos asociados a mantener un número de camiones mineros más grande. Asimismo, se observa un ahorro significativo en los costos relacionados con el operador de camión, al prescindir de la necesidad de personal para conducirlos. Además, se registra un incremento en la vida útil de los neumáticos, lo que se traduce en ahorros tanto en la compra de este insumo como en los gastos de mantenimiento asociados a su desgaste. La disminución en el consumo de combustible es otro factor clave en la reducción de costos, ya que los camiones autónomos operan de manera más eficiente, manteniendo velocidades más constantes y siguiendo buenas prácticas operacionales. Por último, se destaca que la mayor duración de los componentes mayores, con un promedio de vida útil adicional del 10%, conlleva a una disminución en los costos de mantenimiento a lo largo del tiempo. En conjunto, estos aspectos refuerzan el impacto positivo de la tecnología autónoma en la reducción de costos en el carguío y acarreo minero.

2.2.1.1. Modelo de Uso de Tiempo

El Modelo de Uso de Tiempo (TUM), es una herramienta importante en la gestión de carguío y acarreo en operaciones mineras. Conforma un mecanismo efectivo destinado a asistir a las operaciones en diversos aspectos clave y su función principal se basa en la capacidad para medir con precisión la actividad minera, brindando así una evaluación exhaustiva del desempeño operativo. Más aún, el TUM se revela como un recurso indispensable para el control efectivo y la dirección estratégica del proceso minero, al proporcionar una visión detallada de los flujos de trabajo y recursos involucrados. Esta herramienta no solo se limita a la observación estática de las operaciones, sino que también incide en su optimización continua, persiguiendo la meta de alcanzar y superar los objetivos de producción establecidos. La Figura 2 representa el esquema básico del TUM de acuerdo al Global Mining Group.

Figura 2

Esquema básico del TUM de acuerdo al Global Mining Group



Nota. Adaptado de Global Mining Guidelines Group (2020), como se citó en Ruiz (2021, p.36).

En este sentido, el TUM impulsa la eficiencia al identificar de manera expedita las causas subyacentes de las ineficiencias, permitiendo así la implementación de acciones correctivas precisas y la mejora continua de las operaciones mineras. Al utilizar este modelo, se logra medir con precisión la actividad minera, controlar de manera efectiva y dirigir el proceso minero, además de optimizar las operaciones para alcanzar y superar los objetivos de producción establecidos (Ballantyne, 2019, p.21).

De acuerdo a la metodología adoptada en minería el TUM consta de las siguientes categorías de tiempo:

Tiempos Primarios. Estas son categorías principales en las cuales se asignan todos los elementos de tiempos secundarios y terciarios. Incluye producción primaria y secundaria, pérdidas, mantenimiento, eventos no controlables y no programados.

Tiempos Secundarios. Los tiempos secundarios son subdivisiones adicionales de los elementos de tiempo primarios, destinadas a proporcionar una mayor especificidad sobre la actividad o la causa subyacente. Esencialmente, desglosan aún más los elementos de tiempo primarios para capturar una definición más detallada de la actividad o causa. Por ejemplo, en el contexto de un Diagrama de Pareto que analiza las pérdidas de tiempo en una categoría específica, los códigos secundarios permiten una examinación más cercana del uso del tiempo, lo que facilita identificar áreas de mejora o enfoque prioritario. Además, algunos códigos secundarios pueden ser específicos de ciertos tipos de equipos, como la carga de combustible que solo se aplica a equipos de motor diésel, excluyendo equipos eléctricos como palas eléctricas de cable o perforadoras eléctricas para voladura.

Tiempos Terciarios. Los tiempos terciarios son subdivisiones utilizadas para una definición más detallada de los elementos secundarios del tiempo. Cuando los elementos secundarios no proporcionan suficiente especificidad para identificar una causa raíz en el seguimiento del tiempo, se pueden agregar códigos terciarios relacionados para una mayor claridad. En esencia, los tiempos terciarios desglosan aún más los elementos secundarios, permitiendo una mayor precisión en el seguimiento y análisis del tiempo.

2.2.1.2. Controles Digitales

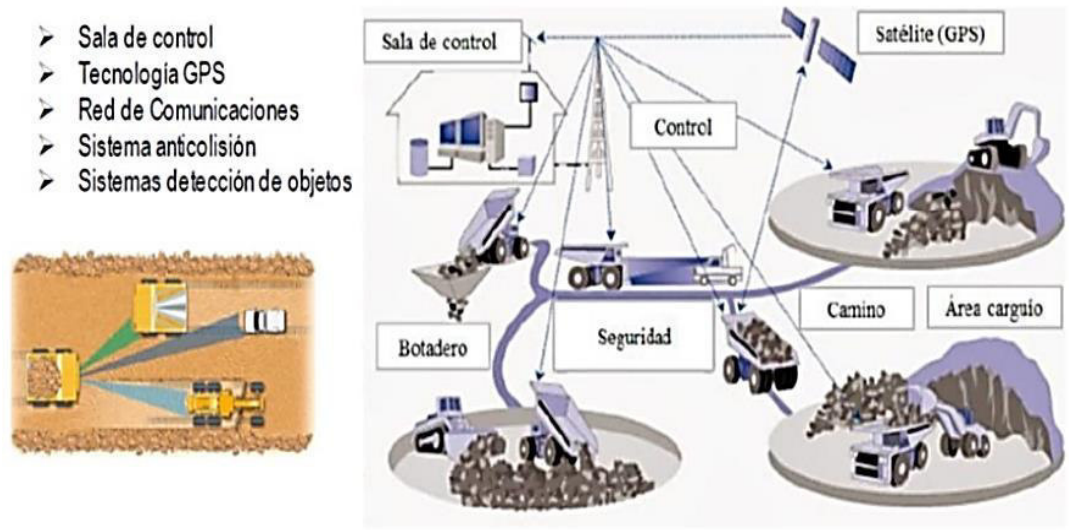
Sistema MineStar

El sistema Cat MineStar Command for Hauling es una tecnología avanzada diseñada para permitir la operación autónoma de camiones mineros. Esta tecnología asigna automáticamente a cada camión una carga específica y un destino determinado, lo que les permite tomar decisiones en tiempo real basadas en las condiciones del entorno, como ajustar su velocidad o detenerse cuando sea necesario. Estas decisiones se comunican instantáneamente con otras unidades para asegurar un traslado seguro y coordinado.

Para implementar esta tecnología, se equiparon los camiones CAT 794 AC con hardware de última generación, incluyendo módulos de control electrónico (ECM) y sistemas integrados que gestionan las funciones de los sistemas eléctricos de las máquinas. Estos módulos, enlazados a sensores, son capaces de detectar objetos y escanear el ambiente circundante (Ver Figura 3). Además, se instalaron receptores de alta precisión del sistema global de navegación por satélite (GNSS), conectados mediante redes de comunicación Ethernet IP y CAN (Controller Area Network) (Ortiz y Herrera, 2022, p.4).

Figura 3

Funcionamiento de sistemas de control de flota para camiones autónomos



Nota. Tomado de Ruiz (2021, p.10).

Este conjunto de hardware facilita una interacción eficiente entre los componentes electrónicos del camión autónomo, permitiendo que cada componente

informe en tiempo real a un servidor central, conocido como MineStar Fleet Command. Este servidor opera sobre una red inalámbrica (Ver Figura 4) especialmente instalada para soportar comunicaciones eficientes con baja latencia, adecuada relación señal-ruido, y suficiente ancho de banda, entre otras características técnicas. Asimismo, el servidor MineStar Fleet Command crea y mantiene un "Modelo de mina", una representación digital de las operaciones reales de la mina, asegurando que todos los datos y operaciones se gestionen y monitoricen de manera precisa y eficiente.

Figura 4

Sistemas de antenas en una mina a tajo abierto para la comunicación e integración de datos en sistemas de control digital



Nota. Tomado de Da Silva et al. (2020, p. 264).

Sistema Dispatch

El sistema Dispatch es control digital utilizado en la gestión y optimización de operaciones mineras. Este sistema recolecta, procesa y actualiza datos de manera continua, especialmente en bases de datos, lo que permite mejorar la eficiencia en la toma de decisiones. Este programa permite gestionar en tiempo real eventos como tiempos de acarreo, carga, aculatamiento, niveles de combustible, desgaste de neumáticos, número de cargas, y otras métricas que impactan el rendimiento de la mina (Leiva, 2019, 54).

Entre las funciones del sistema Dispatch está la actualización del modelo de la mina en tiempo real, utilizando la información disponible de las bases de datos.

Este modelo permite al sistema resolver problemas y mejorar la asignación de recursos mineros en tiempo real. Permite maximizar las metas de producción de la empresa, optimizar las rutas y tiempos de los equipos a fin de minimizar el consumo de combustible o maximizar el uso de los camiones, también permite designar camiones a las palas en los frentes de trabajo. En general permite tomar decisiones basadas en cálculos que tienen en cuenta no solo la situación actual, sino también su impacto futuro en la operación de la mina.

Dispatch emplea tres modelos o módulos dentro de su funcionamiento:

Mejor Ruta (MR): Este módulo calcula la ruta más corta entre dos puntos dentro de la mina, basándose en distancias físicas, no en tiempos. Cada vez que hay un cambio en la red de caminos o en el modelo de programación lineal, Dispatch realiza una recalculación para garantizar que siempre se esté utilizando la ruta más óptima.

Programación Lineal (PL): Este modelo genera un plan maestro teórico que maximiza la productividad de la mina. La PL optimiza los circuitos de transporte entre palas y destinos, determinando cuántos camiones deben ser asignados a cada ruta para mantener un flujo constante de material desde los frentes hasta los botaderos.

Programación Dinámica (PD): La PD se encarga de implementar en tiempo real el plan de producción definido por el PL. A medida que los camiones solicitan asignaciones, este modelo asegura que los recursos se distribuyan de manera eficiente para cumplir con el plan de producción.

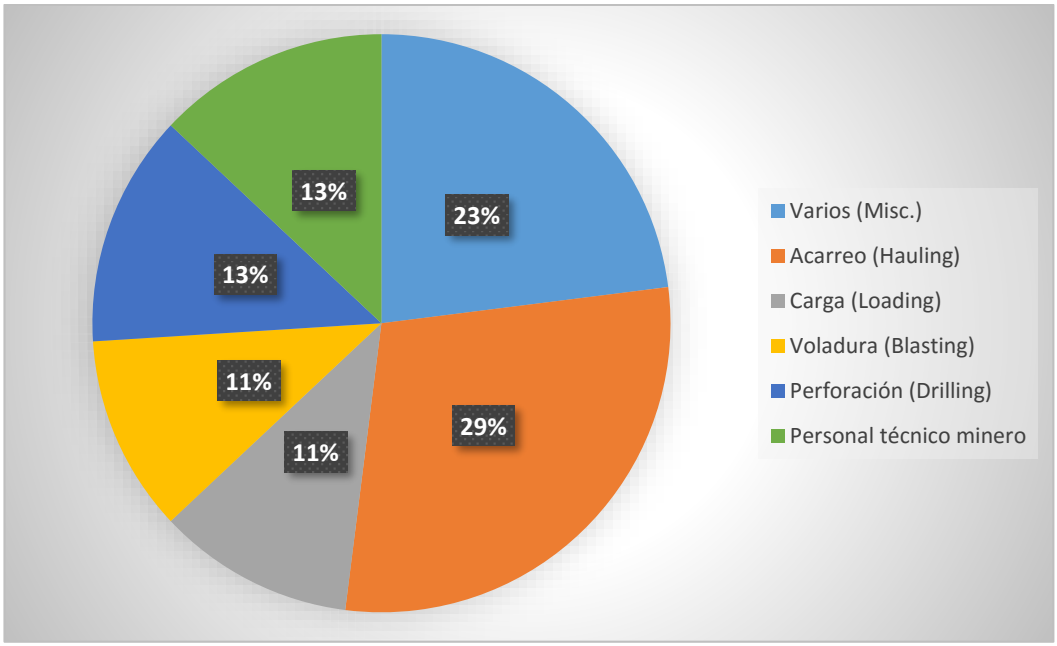
Dispatch actúa como un sistema robusto de recolección de datos. La principal fuente de datos activa consiste en aquellas ingresadas por los distintos operadores cuando realizan acciones específicas a través de sus monitores, como ingresar al sistema, reportar llegadas a ubicaciones, iniciar o concluir operaciones. La recolección de datos pasiva, por su parte, se lleva a cabo automáticamente mediante el uso de tecnología como el GPS, que informa en tiempo real sobre la ubicación de los equipos (palas, camiones, etc.). Otros ejemplos de recolección pasiva incluyen datos sobre toneladas transportadas, niveles de combustible, desgaste de neumáticos, TKPH y diversos sensores de los equipos que permiten a Dispatch tomar decisiones en tiempo real.

2.2.1.3. Costos de las Operaciones de Carguío y Acarreo

En minería, los costos representan los recursos financieros utilizados durante un periodo dado y para conceptos o actividades definidos. A su vez, estos son estratégicos porque afectan la viabilidad y rentabilidad de la operación, especialmente en un contexto en el que los precios de los metales son volátiles en el mercado internacional. En este sentido, una de las variables controlables más importantes y significativas por los tomadores de decisiones mineros son los costos operacionales. Los costos del carguío y acarreo mediante controles digitales de camiones autónomos CAT 794 AC se determinan a través del análisis de costos de la operación minera, los cuales se muestran en la Figura 5.

Figura 5

Distribución típica de costos en minería superficial



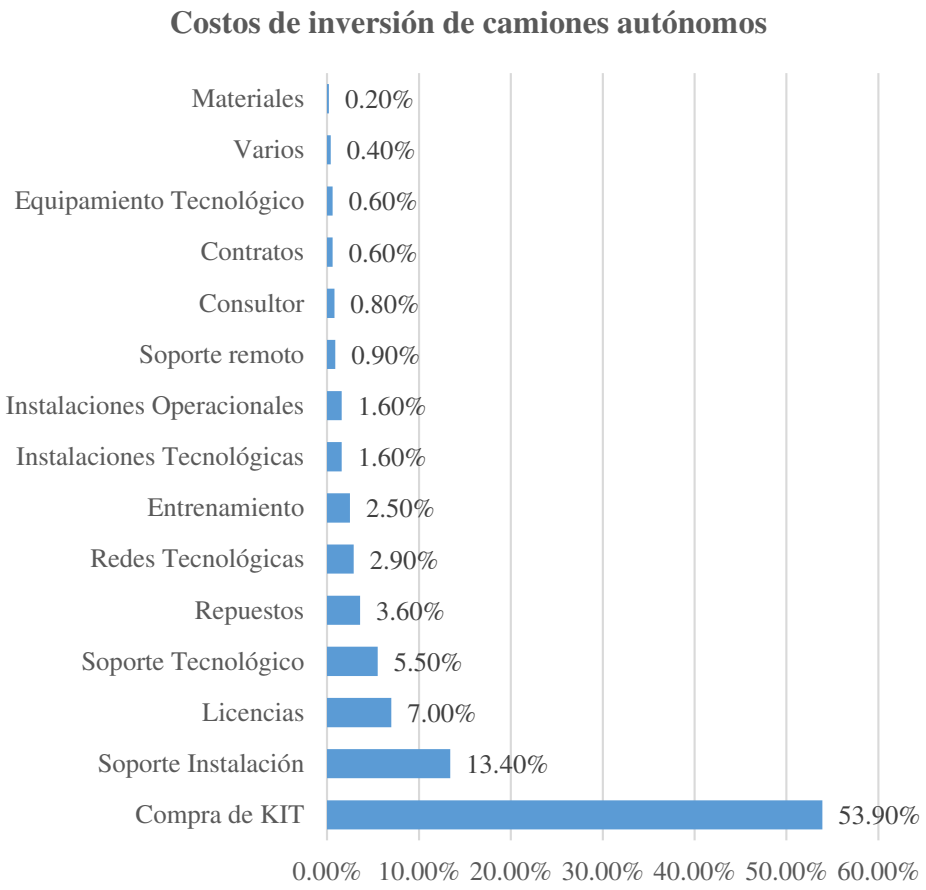
Nota. Distribución estimada de costos. Elaborado con información de Aben et al. (2020, p.275).

Por ejemplo, en las operaciones con camiones autónomos, los costos de carguío y acarreo se pueden desglosar en dos tipos principales. Los costos fijos que incluyen los costos asociados a la adquisición y mantenimiento de los camiones y la infraestructura de controles digitales (MineStar), estos son independientes del volumen de producción. La Figura 6 muestra la distribución de los costos de inversión para pasar de una flota de camiones manuales a una flota de camiones

autónomos. Como se puede observar el mayor costo es la compra del Kit, es decir de los equipos y componentes del sistema autónomo, que incluyen antenas, sensores, procesamiento y controles.

Figura 6

Costos de inversión para convertir una flota de camiones autónomos



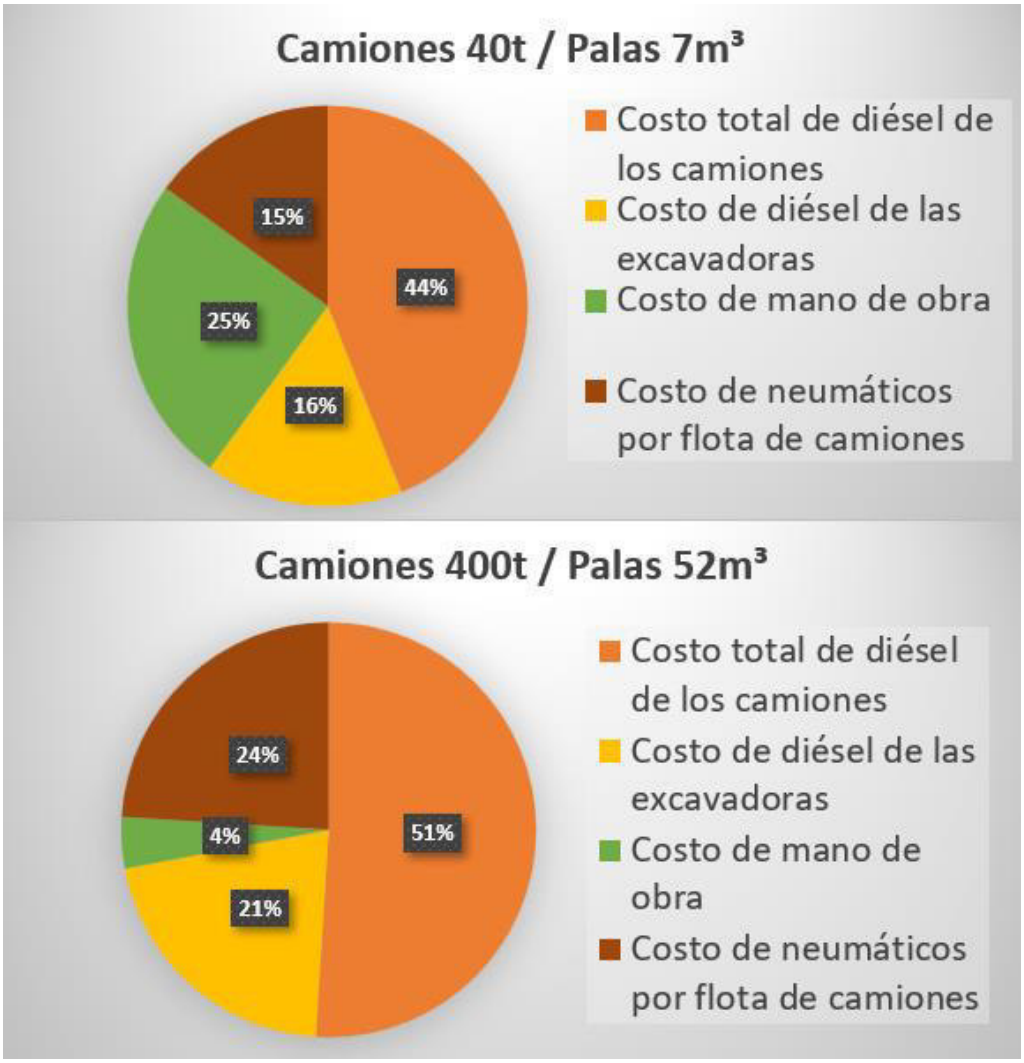
Nota. Adaptado con datos de Ruiz (2021, p. 44).

Por su parte los costos variables dependen directamente del volumen de material transportado y de factores como el consumo de combustible, desgaste de neumáticos, principalmente. En la operación minera los controles digitales mejoran estos costos variables al maximizar la eficiencia del acarreo y reducir los tiempos muertos. La Figura 7 muestra la distribución de costos comparativos entre equipos de menor y gran envergadura. Los costos en camiones y palas con mayor capacidad se concentran más en el combustible y el costo de los neumáticos, mientras que con el uso de camiones y palas de menor capacidad estos son proporcionalmente menores. Esto se debe principalmente que con equipos de mayor capacidad se

requiere menos operadores mientras que esta diferencia se distribuye a los costos directamente relacionados con el equipo, como neumáticos y combustible.

Figura 7

Comparación de costos de combustible, mano de obra y neumáticos



Nota. Elaborado en base a Ribeiro et al. (2020, p.310).

La implementación de camiones autónomos con sistemas avanzados de control, como el control de cúspides, el Sideboard, y la gestión de TKPH y EFH, no inciden en los tiempos de operación, sino que también inciden directamente en la reducción de los costos variables por tonelada transportada. El control de cúspides asegura que las operaciones de carguío sean más rápidas y eficientes, reduciendo la cantidad de tiempo que los camiones pasan en cola esperando ser cargados. Esto tiene un impacto positivo en los costos de operación al disminuir el uso innecesario de recursos.

El Sistema Sideboard, que permite la asignación más adecuada de los camiones para materiales de baja densidad, mejora el rendimiento de la operación y reduce el desgaste del equipo, lo que se traduce en menores costos por ciclo de acarreo. La gestión eficiente de TKPH ayuda a evitar el desgaste prematuro de los camiones debido a sobrecargas o condiciones inadecuadas de operación, lo que reduce los costos de mantenimiento, prolonga la vida útil del equipo y de sus costosos neumáticos.

2.2.2. Ciclo Productivo de Camiones Mineros en Minería a Cielo Abierto

2.2.2.1. Proceso de Minado

El proceso típico de minado a cielo abierto sigue etapas bien definidas, que comienzan con la perforación, del cual existen dos tipos: la perforación primaria y la perforación secundaria. La perforación primaria consiste en realizar taladros en los frentes de trabajo para preparar la voladura, mientras que la secundaria se utiliza cuando es necesario fragmentar rocas que no se desprendieron adecuadamente en la voladura inicial.

Luego de la perforación, se procede a la voladura, un proceso en el que los taladros perforados se cargan con una mezcla explosiva. En este caso, típicamente se emplea una combinación de nitrato de amonio y petróleo, conocida como ANFO, y una variación de esta, mezclada con emulsión y aluminio, para formar el denominado Heavy Anfo, que es utilizado para generar una detonación controlada. Esta voladura libera el mineral de la roca circundante, facilitando su posterior manejo.

Una vez que el material ha sido volado, se realiza el carguío. Esta operación se lleva a cabo mediante palas eléctricas de grandes dimensiones, con una capacidad de balde de alrededor de 30 toneladas métricas, o cargadores frontales que se desplazan mediante neumáticos y operan con combustible. Las palas, que se mueven gracias a un sistema de orugas, son responsables de cargar el material fragmentado en camiones de gran capacidad. La Figura 8 muestra la pala hidráulica CAT 6060 utilizada en operaciones de carguío en minería a cielo abierto.

Figura 8

Pala hidráulica CAT 6060 para el carguío de materiales



Nota. Tomado de CAT (2024).

El siguiente paso en el proceso es el acarreo, donde los camiones de gran capacidad, como los CAT 794 AC, transportan el material desde el lugar de extracción hasta las plantas de procesamiento o los depósitos asignados. Estos camiones siguen rutas planificadas para optimizar el tiempo y minimizar el desgaste durante el transporte. El acarreo es una de las fases más importantes, ya que asegura que el mineral llegue a su destino final para ser procesado o almacenado. Este ciclo de perforación, voladura, carguío y acarreo se repite constantemente, con ajustes según las características del yacimiento y el plan de minado, para garantizar una operación eficiente y segura. La Figura 9 muestra el proceso típico de minado en un tajo abierto, con las actividades más representativas.

Figura 9

Proceso de minado típico en minería a cielo abierto



Nota. Tomado de Leiva (2019, p. 43).

2.2.2.2. Ciclo de Carguío

El ciclo de carguío en minería a cielo abierto se refiere al proceso de cargar material extraído, como mineral o roca, en camiones mineros de gran capacidad. Este ciclo comienza con la extracción del material utilizando equipos de gran escala, como palas hidráulicas y eléctricas. Una vez que el material es excavado, se carga en los camiones de acarreo que están esperando en zonas designadas cerca de la operación de excavación, también llamadas frentes de trabajo. Las fases más importantes del ciclo de carguío incluyen (Chura, 2020, p.7):

Espera por carga. El tiempo en el que el camión ya está posicionado al lado de la pala y está esperando ser cargado.

Llegada de camión. El tiempo que toma al camión llegar al frente de carguío, durante el cual la pala se prepara para la carga.

Carga. El tiempo que la pala emplea en vaciar el material sobre la tolva del camión. La Figura 10 muestra el proceso de carguío típico de un camión autónomo.

Figura 10

Proceso de carga de camión autónomo con pala



Nota. Proceso de carguío típico de un frente de trabajo. Tomado de CAT (2024).

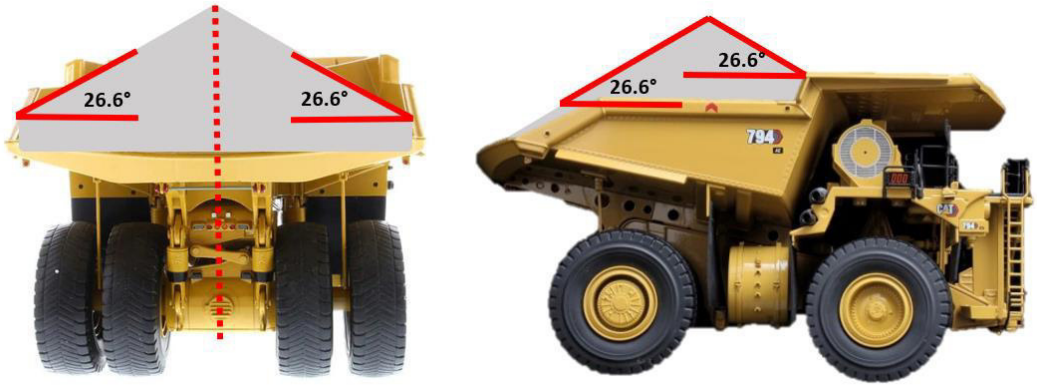
Espera de aculatamiento. El tiempo en el que el camión inicia la maniobra para posicionarse adecuadamente al lado de la pala para la carga.

En este estudio se consideró las operaciones de carguío y extracción de mineral mediante el uso de palas hidráulicas como la Caterpillar 6060 y eléctricas Caterpillar 7495. Este proceso de carguío inicia cuando la excavadora se posiciona estratégicamente en la banqueta de carguío, creando rampas para acceder a estas plataformas de trabajo que mantienen una altura óptima de cuatro metros, diseñadas para coincidir con la de las tolvas de los enormes camiones mineros. El operador, utilizando un sistema avanzado, configura los puntos *Spot* virtuales que marcan los lugares exactos donde los camiones autónomos deben detenerse para recibir su carga. A su señal, los camiones se acercan a estos puntos, y el operador, con precisión y cuidado, maneja el cucharón de la excavadora para depositar el material en la tolva, asegurándose de centrar la carga adecuadamente de acuerdo a la Figura 11. El control del tonelaje es importante en tanto el operador carga los camiones

con la cantidad de material especificada dentro de un rango permitido y lleva un registro de cualquier incidencia de sobrecarga.

Figura 11

Carga permisible en camiones



Nota. La carga de los camiones se realiza de manera centrada para la seguridad de la operación, así como para mantener la vida útil de los neumáticos y el equipo. Elaboración propia con imágenes de CAT(2024).

2.2.2.3. Ciclo de los camiones CAT 794 AC

Uno de los elementos más importantes en el proceso de minado a cielo abierto es el ciclo del camión, que se refiere a las actividades realizadas por los camiones de acarreo durante las operaciones mineras. Es el proceso que describe las diferentes etapas y actividades llevadas a cabo por los equipos de carguío y acarreo en una operación minera o de movimiento de materiales. Permite mejorar la eficiencia y productividad en las operaciones de extracción y acarreo de materiales, ya que cada fase del ciclo influye en la duración total del proceso y, por ende, en los costos y la producción. Este se compone de varias fases que se repiten de manera cíclica para transportar los materiales en los camiones, las principales actividades dentro del ciclo productivo de un camión minero son las siguientes (Ruiz, 2021, p. 41):

Cargado. El ciclo comienza cuando un camión de acarreo se posiciona para ser cargado. Una pala excavadora o un cargador frontal llena la tolva del camión con el mineral extraído. Este proceso debe ser rápido y preciso para maximizar la eficiencia y minimizar el tiempo de inactividad.

Viaje Cargado. Una vez cargado, el camión transporta el mineral a la zona de descarga que puede ser planta de beneficio, un *stockpile* o un botadero, dependiendo del tipo de mineral y del plan de minado. La distancia de acarreo y la topografía del terreno afectan significativamente el tiempo del ciclo y el consumo de combustible.

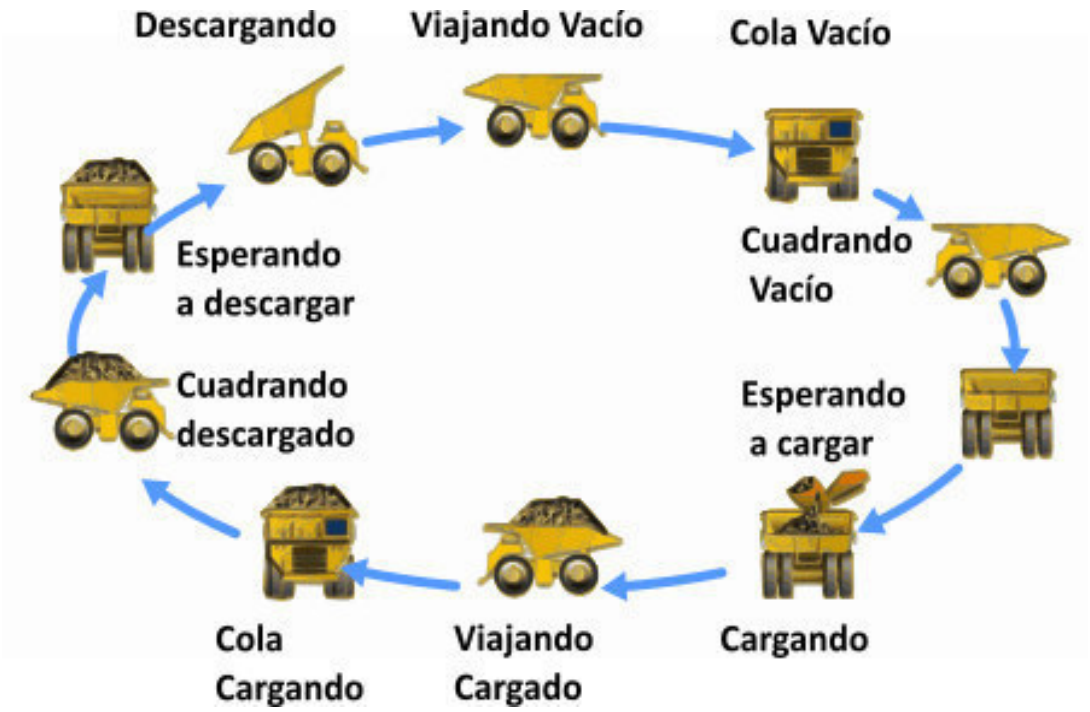
Descarga. Al llegar a la zona de descarga, el camión libera su carga. En la mayoría de los camiones, esto se hace mediante un sistema de inclinación de la tolva que deposita el material en el lugar designado y la rapidez de descarga es determinante para mantener la eficiencia del ciclo.

Retorno vacío. Después de descargar, el camión retorna vacío al punto de carga. Este viaje de retorno también forma parte integral del ciclo, y la velocidad de desplazamiento suele ser mayor al ir sin carga.

No obstante, lo anterior, en la mina a cielo abierto estudiada se han identificado hasta 10 actividades dentro del ciclo productivo del camión de acuerdo a la Figura 12.

Figura 12

Ciclo de actividades del camión minero.



Nota. Elaboración propia.

El ciclo comienza con el camión cargando mineral en un punto de carga, donde se ubica en una cola hasta que es su turno para ser llenado por una pala excavadora. Una vez cargado, el camión procede a transportar la carga completa hasta el área de descarga que puede ser un botadero o chancadora. Aquí, el camión se coloca adecuadamente para el descargo y, tras vaciar el material, se dirige de regreso vacío al punto de carga y durante el retorno, puede haber una cola para camiones vacíos que esperan volver a entrar en el circuito de carga. Adicionalmente, antes de ser cargado nuevamente, el camión puede pasar por una etapa de espera, durante la cual se verifica su estado y se prepara para recibir una nueva carga. Controlar cada etapa de este ciclo es importante para mantener la eficiencia el carguío y acarreo de recursos mineros, mejorando los tiempos y recursos en cada etapa del proceso.

2.2.2.4. Camiones Autónomos Caterpillar 794 AC

En este estudio se consideraron camiones autónomos Caterpillar 794 AC, estos son camiones mineros con carga útil de 297 toneladas de acuerdo al fabricante, propulsado por un motor diésel CAT C175-16 de 2610 kW (3500 hp). Cuenta con un sistema de tracción eléctrica de corriente alterna (AC) para el control, frenado y capacidad de retención en pendientes y posee un sistema de frenos de discos múltiples refrigerados por aceite en las cuatro ruedas, y un frenado dinámico eléctrico (Caterpillar, s.f.). La información con las especificaciones completas de estos equipos se adjunta en el Anexo 2 Ficha Técnica de Camiones Autónomos CAT 794 AC.

Sistema Autónomo de los Camiones CAT 794 AC

Caterpillar es una empresa reconocida por su capacidad de innovación, y no ha sido ajena al desarrollo e implementación de sistemas autónomos en la industria minera. Su sistema autónomo es una adaptación que equipa a cada camión 794 AC con una serie de tecnologías avanzadas diseñadas para mejorar la eficiencia y seguridad de las operaciones. Otra característica destacada del sistema autónomo de Caterpillar es el sistema de "conciencia de proximidad". Este sistema utiliza información sobre la ubicación, velocidad y disponibilidad de los cargadores para evitar colas y retrasos en las operaciones de carga y descarga. La Figura 13 muestra

las principales características del sistema autónomo instalado en un camión 794 AC.

Figura 13

Componentes del Camión Autónomo CAT 794 AC



Nota. Tomado de Ortiz y Herrera (2022, p.6).

Entre estas características se encuentra el GPS, que proporciona información precisa sobre la ubicación del equipo y posibles rutas a seguir. Además, cuenta con sensores de detección de obstáculos que detectan cualquier obstrucción en el camino y activan automáticamente la detención del equipo, lo que ayuda a prevenir accidentes y daños materiales (Leiva, 2020, p. 8). Al proporcionar a los operadores información en tiempo real sobre la situación del entorno, este sistema contribuye significativamente a la optimización del flujo de trabajo y la reducción de tiempos muertos.

Los camiones autónomos operan gracias a un sistema centralizado llamado *MineStar Fleet Command*, que coordina tanto a los camiones autónomos, así como otros vehículos que trabajan en la Zona de Operación Autónoma (AOZ). Este sistema digitaliza la operación minera en un "Modelo de Mina" que abarca desde las vías de acarreo hasta los talleres de mantenimiento. La constante actualización de este modelo garantiza que todas las dimensiones operativas estén configuradas correctamente, incluso en tiempo real. Para que la comunicación entre los vehículos tripulados y los camiones autónomos sea efectiva, se han instalado tecnologías

como *Fleet* y *Terrain* de Caterpillar. Estas tecnologías aseguran una alta precisión en el posicionamiento de los equipos, como los cucharones de las palas de cable y las hojas de empuje de los tractores de oruga, con tolerancias de menos de 25 y 20 cm respectivamente. No solo mejora la eficiencia operativa, sino que también aumenta la seguridad en el lugar de trabajo al minimizar los riesgos de colisión y otros incidentes. Además, al automatizar ciertas funciones y proporcionar a los conductores información valiosa, el sistema autónomo de Caterpillar permite una mayor concentración en tareas críticas y estratégicas, lo que potencialmente aumenta la productividad y la calidad de las operaciones mineras (Leiva, 2020, pp. 8-9).

La clave para el funcionamiento de los camiones autónomos radica en la interacción fluida entre el servidor central, el Modelo de Mina y las tecnologías de posicionamiento de Caterpillar. Con estos elementos en su lugar, los camiones autónomos pueden tomar decisiones en tiempo real para operar de manera segura y eficiente en el entorno minero. Esto incluye adaptarse a las condiciones cambiantes de la mina y mantener una sincronización precisa con otros equipos y vehículos en la AOZ. Por su parte el sensor LiDAR (ver Figura 14), junto con los radares de detección de objetos, constituye constituyen un sistema importante para la percepción y seguridad de los camiones autónomos mineros.

Figura 14

Sistema LiDAR para detección de objetos en camiones autónomos CAT



Nota. Tomado de Ortiz y Herrera (2022, p.9).

Esta combinación de tecnologías posibilita la detección de objetos diversos, ya sean móviles o estáticos, incluso en condiciones climáticas adversas como la lluvia o la neblina. Además, genera una representación digital precisa del entorno, proporcionando información detallada que respalda la toma de decisiones inmediatas ante cualquier desviación con respecto al diseño previsto. Por ejemplo, si durante la operación se identifica la presencia de animales silvestres en la vía, el camión autónomo los detectará y visualizará, activando automáticamente un protocolo de seguridad que incluye detenerse hasta que se haya levantado la observación y se obtenga el permiso correspondiente para continuar su marcha. Este nivel de protección no solo salvaguarda la integridad de los operadores y otros elementos del entorno minero, sino que también contribuye a mantener la eficiencia operativa al minimizar posibles incidentes y retrasos (Ortiz y Herrera, 2022, p.5).

2.2.2.5. Indicadores Claves de Productividad (KPI) de Carguío y Acarreo en Minería

Los indicadores clave de productividad (KPI, por sus siglas en inglés) en las operaciones de carguío y acarreo minero se utilizan para evaluar la eficiencia y productividad de las operaciones. Entre los principales KPI se encuentra la Disponibilidad Mecánica (DM), que representa el porcentaje del tiempo en el que el equipo está en condiciones mecánicas para operar. Esto se calcula considerando el tiempo efectivo de operación, el tiempo de demoras y el tiempo de reservas, expresado como un porcentaje del tiempo total nominal.

Además, la Utilización Efectiva en Base a Disponibilidad (UEBD) mide el tiempo en el que el equipo está en producción pura y sin pérdidas operacionales, proporcionando una visión más precisa de la eficacia operativa. Otro indicador es el Porcentaje de Pérdidas Operacionales (%PO), que señala el tiempo en el que el equipo experimenta esperas y colas, impactando negativamente en la productividad. Estos KPI permiten una evaluación exhaustiva de la eficiencia operativa y la identificación de áreas de mejora en el carguío y acarreo minero (Chura, 2019, pp. 11-12).

Asimismo, existen operacionales como el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) y el Tiempo Medio Entre Reparaciones (MTTR) son importantes para gestionar el mantenimiento de los equipos de acarreo minero. El MTBF indica el

tiempo promedio entre fallas imprevistas, ofreciendo información sobre la confiabilidad del equipo y permitiendo una planificación más efectiva del mantenimiento preventivo. Por otro lado, el MTTR representa el tiempo promedio que llevan las mantenciones no programadas, lo que incide en la minimización del tiempo de inactividad y maximiza la disponibilidad operativa. Estos indicadores, en conjunto con los KPI operacionales, contribuyen significativamente a la mejora de las operaciones de carguío y acarreo en la industria minera, garantizando una mayor eficiencia y rentabilidad.

En este sentido esta investigación utiliza las TKPH y EFH, que son métricas utilizadas especialmente en la gestión de carguío y acarreo, como las de camiones autónomos, para evaluar y mejorar la eficiencia operativa y la productividad.

Tonelada – Kilómetro por hora (TKPH)

TKPH (Tonelada – Kilómetro por hora) es una medida utilizada en la industria minera a cielo abierto para evaluar la capacidad y el rendimiento de los neumáticos utilizados en vehículos de carga, como camiones mineros. Esta métrica combina el peso de la carga que puede transportar un neumático con la distancia que puede recorrer a una velocidad específica en una hora. Es una medida de la capacidad de carga y la resistencia de un neumático en condiciones de operación específicas (Davila et al., 2023, p.1395). Cuanto mayor sea el valor de TKPH, mayor será la capacidad del neumático para soportar cargas pesadas y operar a velocidades más altas durante períodos prolongados sin sufrir daños o desgaste excesivo. Esta métrica es importante en la gestión eficiente de carguío y acarreo con equipos en operaciones mineras a cielo abierto, ya que permite a los operadores y gerentes evaluar y comparar el rendimiento de diferentes tipos de neumáticos y tomar decisiones informadas sobre la selección y el mantenimiento de los mismos. Para su cálculo se utiliza la Ecuación (1).

$$TKPH = \frac{V * D}{L} \quad (1)$$

Donde:

TKPH : Es el Ton-Kilómetro-Por-Hora, que representa la cantidad de trabajo realizado bajo condiciones específicas y dentro de un rango seguro.

W : Es el peso de la carga transportada por el neumático promedio, en toneladas.

D : Es la distancia recorrida por el neumático, en kilómetros.

L : Es la vida útil del neumático, en horas.

Distancia Equivalente (EFH)

La Distancia Equivalente (EFH por sus siglas en inglés Equivalent Flat Haulage) es una medida utilizada en la industria minera a cielo abierto para comparar las condiciones de operación de diferentes caminos dentro de una mina. Se refiere a la distancia horizontal teórica que un vehículo de transporte debería recorrer en un camino plano para igualar las condiciones de operación en un camino real, que puede tener pendientes y terrenos irregulares. La EFH se calcula teniendo en cuenta la distancia real del camino, así como las pendientes y otros factores que afectan la resistencia al avance del vehículo, como el tipo de terreno y la rugosidad del camino. Esta medida es útil para evaluar la eficiencia y el rendimiento de las rutas de acarreo dentro de una mina, ya que permite comparar diferentes opciones de ruta y optimizar la planificación de la operación de transporte. En esta investigación se utilizó la Ecuación (2) para el cálculo del Factor EFH y la Ecuación (3) para el cálculo del EFH (Pourrahimian et al., 2017, p.124.):

$$Factor\ EFH = Velocidad\ en\ plano / Velocidad\ en\ Pendiente \quad (2)$$

Donde:

Factor EFH : Factor de Distancia Equivalente

Velocidad en Plano : Velocidad a la cual un vehículo puede viajar en terreno llano o sin pendientes significativas en km/h.

Velocidad en Pendiente : Velocidad a la cual un vehículo puede viajar cuando se encuentra en terreno con una inclinación o pendiente en km/h.

$$EFH = Distancia\ de\ la\ ruta * Fator\ EFH \quad (3)$$

Donde:

EFH	:	Distancia Equivalente.
Distancia de la ruta	:	Distancia recorrida por el vehículo en km.
Factor EFH	:	Velocidad a la cual un vehículo puede viajar.

2.2.2.6. Sistema Sideboard

El sistema Sideboard, diseñado para complementar los camiones mineros como el 794 AC, es importante en la maximización de la eficiencia del acarreo en la unidad minera. Estos complementos, que son básicamente extensiones adicionales de la tolva del camión mostrados en la Figura 15, permiten un incremento en la capacidad de carga, haciéndolos más productivos para el manejo de materiales de menor densidad debido a que, gracias a esta mayor capacidad, los camiones pueden transportar más volumen de materiales.

Figura 15

Tolva con sistema Sideboard instalado



Nota. Tomado de Aben et al. (2020, p. 273).

Los camiones con sistema Sideboard pueden tener tolvas ovaladas o cuadradas, cada diseño con sus particularidades ventajosas. Por un lado, las tolvas cuadradas son preferibles cuando se carga material más cohesivo o agrupado, como

la bolonería. El diseño cuadrado es efectivo para controlar la carga y evitar derrames laterales. Por otro lado, las tolvas ovaladas, al ser más amplias, facilitan el transporte de materiales más livianos y voluminosos, optimizando el proceso de carga y descarga. Un beneficio adicional relevante de las tolvas con sistema Sideboard es su eficacia en el transporte de material en rampas o pendientes. El diseño con una "cola" más larga es estratégico, ya que evita que los materiales se deslicen hacia atrás y se salgan de la tolva mientras el camión asciende por una pendiente. Esto no solo aumenta la seguridad durante el transporte, sino que también mejora la fluidez y continuidad del acarreo.

2.3. Definición de Términos

Carguío y Acarreo

Este proceso implica la carga del material volado desde el frente de extracción hacia hasta un punto de descarga mediante equipos de acarreo, asegurando así un movimiento fluido y eficaz del mineral, desmonte, y otros materiales. Su objetivo es trasladar de manera eficiente y segura el material fragmentado desde el área de extracción hasta los equipos encargados de transportarlo (Chura, 2019, p.12).

Ciclo de Carguío

Conjunto de procesos y actividades que ocurren en la zona de carga, generalmente frentes, donde se lleva a cabo la transferencia de material desde la pala excavadora al camión de transporte (Davila, 2022, p. 50).

Distancia equivalente (EFH)

Se refiere a la distancia horizontal teórica que un vehículo de transporte debería recorrer en un camino plano para igualar las condiciones de operación en un camino real, que puede tener pendientes y terrenos irregulares (Atapoma, 2019, p.33).

Factor EFH

Factor de Distancia Equivalente es el coeficiente que se utiliza para ajustar la distancia real de una ruta tomando en cuenta la dificultad adicional que implica moverse en pendientes comparado con terreno plano (Davila, 2022, p. 57).

Modelo de Uso de Tiempo (TUM)

El Modelo de Uso de Tiempo es un enfoque que estandariza diversos elementos temporales, como los tiempos primarios, secundarios y terciarios, así como la codificación del tiempo del ciclo productivo de los camiones con cálculos y mapeos temporales. Su principal objetivo es mejorar la medición del rendimiento, identificar pérdidas y oportunidades mediante métricas estandarizadas, lo que permite una comparación eficaz de los informes (Ruiz, 2021, pp. 34-36).

TKPH (Tonelada – Kilómetro por hora)

Medida utilizada en la industria minera a cielo abierto para evaluar la capacidad y el rendimiento de los neumáticos utilizados en vehículos de carga, como camiones mineros. Esta métrica combina el peso de la carga que puede transportar un neumático con la distancia que puede recorrer a una velocidad específica en una hora (Cruz, 2020, p. 34).

MineStar

El sistema CAT MineStar Command for Hauling es una tecnología avanzada que permite la operación autónoma de camiones mineros, facilitando una gestión más eficiente y segura de las operaciones de transporte en minería. Esta tecnología asigna cargas y destinos a los camiones, los cuales toman decisiones en tiempo real basadas en las condiciones del entorno, como ajustar su velocidad o detenerse según sea necesario, comunicándose instantáneamente con otras unidades para coordinar el traslado (Ferreyros, 2024).

III. MÉTODOLOGÍA

3.1. Tipo y Nivel de Investigación

La presente investigación es aplicada, ya que se busca hallar parámetros y prácticas de gestión de camiones autónomos más eficientes para mejorar la gestión de carguío y acarreo, en consecuencia, se realiza un análisis multivariable respecto a las dimensiones del ciclo productivo de camiones autónomos y los tiempos de carguío y acarreo medida a través del TUM**.** Se abordan problemas específicos del mundo real con el objetivo de generar soluciones prácticas y aplicables, es decir se busca mejorar la eficiencia y calidad de las operaciones de carguío y acarreo.

La investigación es cuantitativa, en tanto se busca mejorar la gestión de carguío y acarreo en la unidad minera estudiada, manipulando variables que pueden ser cuantificables en tiempos de cúspide así como indicadores y parámetros operativos como sobrecargas. En la investigación se realiza énfasis en los aspectos cuantitativos y se da preferencia a la utilización de los datos numéricos obtenidos de la observación de campo y el análisis de registros.

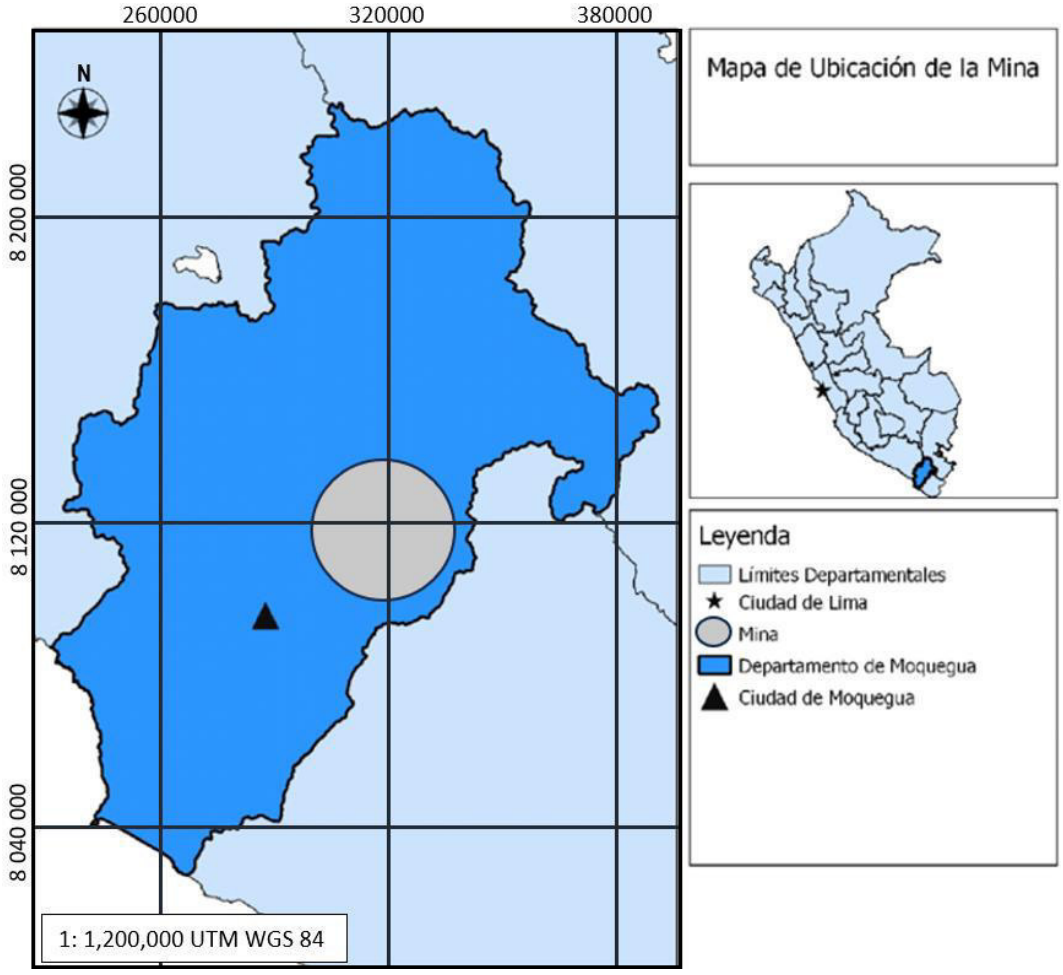
La investigación es correlacional puesto que se busca examinar la relación entre dos o más variables, es decir cómo influye las diferentes dimensiones del Ciclo productivo de los camiones mineros en la Gestión de Carguío y Acarreo. Este enfoque se utiliza para determinar si existe una relación estadística entre variables y en qué grado se relacionan. Así también la investigación es descriptiva debido a que se centra en describir y caracterizar fenómenos y comportamientos como el efecto del Control de Cúspides, Sistema Sideboard y los parámetros operativos TKPH y EFH. Este tipo de investigación se utiliza para proporcionar una visión detallada y comprensiva de un fenómeno específico, sin intentar explicar relaciones causales.

3.2. Ámbito Temporal y Espacial

La unidad minera estudiada se ubica en la región Moquegua de acuerdo a la Figura 16, en la cual se realizan operaciones mineras a cielo abierto de extracción de cobre, cuya mineralización es abundante en el sur del Perú.

Figura 16

Mapa de ubicación de la unidad minera.



Nota: Adaptado de Gómez et al. (2019, p.6).

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población:

La población está conformada por todas las operaciones de carguío y acarreo con camiones autónomos modelo CAT 794 AC de una unidad minera a cielo abierto.

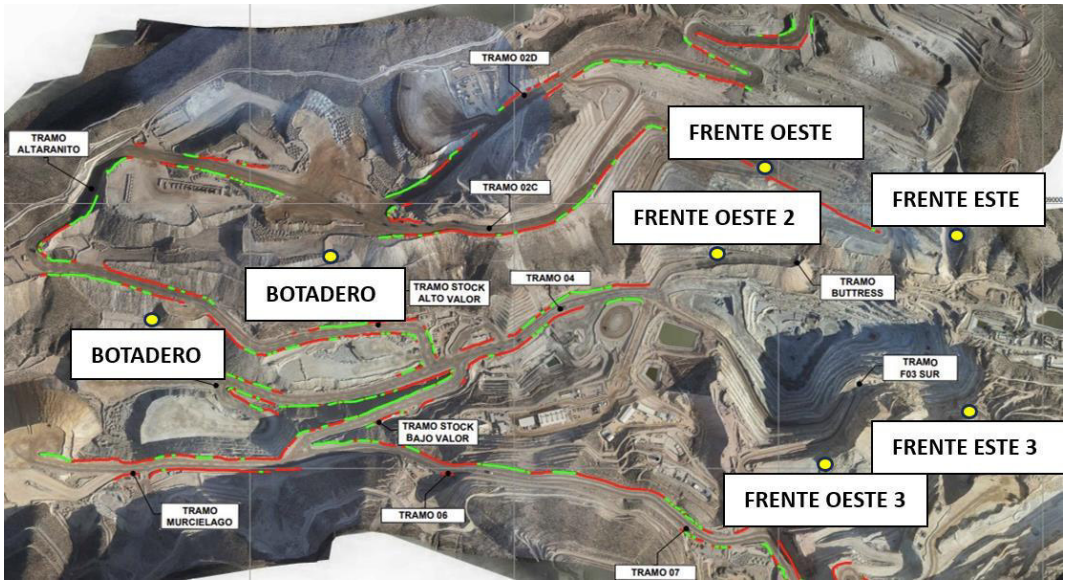
3.3.2. Muestra

La muestra seleccionada es probabilística, basada en los ciclos de carguío de los camiones de acarreo CAT 794 AC en la unidad minera a cielo abierto estudiada (Figura 17), y abarca el período de enero a agosto de 2024. Para realizar el diagnóstico y diseño de controles propuestos en esta investigación, se utilizó una

muestra de los ciclos de enero a mayo mientras que, para evaluar la implementación de los controles propuestos en esta investigación, se utilizó una muestra de datos correspondientes al período de junio a agosto de 2024.

Figura 17

Vista en planta de botaderos, frentes y rutas de acarreo.



Nota. Frentes y botaderos de la unidad minera, rutas de acarreo en líneas rojo y verde.

En resumen, para el muestreo se consideró la población de ciclos de acarreo de enero a agosto de acuerdo a la Tabla 2.

Tabla 2

Población de ciclos de acarreo con camiones CAT 794 AC

Etapa	N°	Mes	N° de Ciclos
Pre-implementación de controles	1	Enero	34915
	2	Febrero	30842
	3	Marzo	32811
	4	Abril	34042
	5	Mayo	33848
Post-implementación de controles	6	Junio	36257
	7	Julio	34754
	8	Agosto	32154

Nota. Elaborado en base a la disponibilidad de los datos registrados en el sistema interno de la unidad minera.

Para determinar el tamaño de una muestra con un nivel de confianza del 99% a partir de una población de todos los ciclos de acarreo con camiones autónomos CAT 794 AC en la unidad minera, se siguieron los siguientes pasos estadísticos:

3.3.2.1. Población total

La población total es la suma del número de ciclos por mes con un total de 269 623.

3.3.2.2. Nivel de Confianza

El nivel de confianza del 99% corresponde a un valor crítico Z en una distribución normal estándar. El valor de Z para un 99% de confianza es aproximadamente 2.576.

3.3.2.3. Probabilidad

Si no se tiene una desviación estándar específica o una proporción estimada de éxito, se puede usar el valor más conservador. Para proporciones, el valor más conservador es p = 0.5 y para desviación estándar se puede hacer una estimación aproximada o usar datos históricos. Supongamos que no tenemos datos históricos específicos de desviación estándar usaremos:

p=0.5

3.3.2.4. Margen de Error

Debido a la amplia disponibilidad de datos facilitado por el sistema automatizado para control de camiones se utiliza un margen de error de 1%.

3.3.2.5. Tamaño de la muestra

La fórmula para calcular el tamaño de la muestra n cuando la población finita es:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * (p-1)}{e^2 * (N-1) + Z^2 * p(p-1)} \quad (4)$$

Donde:

N : Población.

n : Muestra.

p : Probabilidad de que suceda el evento estudiado.

Z : Parámetro para el nivel de confianza 99%, valor 2.576

e : Error de estimación máximo aceptado.

Como resultado se obtiene que:

n = 15,552

El tamaño de la muestra para este estudio es 15,674 ciclos de los meses de enero y agosto de 2024.

3.3.2.6. Muestreo

Para seleccionar una muestra representativa de 15,674 ciclos de acarreo de la población total de 269 623 ciclos con camiones autónomos CAT 794 AC de la unidad minera, podemos seguir un procedimiento de muestreo aleatorio estratificado.

Para asegurar que cada mes esté representado proporcionalmente en la muestra, calculamos la proporción de cada mes en la población total de acuerdo a la Tabla 3.

Tabla 3

Proporción por mes de la muestra probabilística

N°	Mes	Población	Proporción	Muestra
1	Enero	34,915	12.9%	2,030
2	Febrero	30,842	11.4%	1,793
3	Marzo	32,811	12.2%	1,907
4	Abril	34,042	12.6%	1,979
5	Mayo	33,848	12.6%	1,968
6	Junio	36,257	13.4%	2,108
7	Julio	34,754	12.9%	2,020
8	Agosto	32,154	11.9%	1,869
Total		**269,623**	**100%**	**15,974**

Nota. Elaborado en base a una muestra de 15,974 (99% de confianza), ponderada proporcionalmente a la población mensual de ciclos de acarreo.

Para cada mes, seleccionamos de la base de datos aleatoriamente el número calculado de ciclos. Ahora bien, de acuerdo a la disponibilidad de los datos y el cumplimiento de los objetivos de investigación los datos fueron evaluados de la siguiente manera:

Objetivo específico N°1. Control de Cúspides y Mejora del Carguío y Acarreo

Se analizaron muestras de los meses de febrero a mayo para la etapa de pre-implementación y diseño de medidas de control, de acuerdo a la disponibilidad de los datos. Por su parte para evaluar y comparar los resultados se tomaron muestras de junio a agosto, después de la implementación. Se aplicó la prueba t-student para muestras emparejadas (antes y después).

Objetivo específico N°2. Sistema Sideboard y Mejora del Carguío y Acarreo

Se analizaron muestras de registros sobrecargas de los meses de enero a mayo para la etapa de pre-implementación mientras que para evaluar y comparar los resultados de tomaron muestras de junio, julio y agosto, después de la implementación. Los datos se subdividieron en camiones con y sin sistema Sideboard para evaluar su impacto y elaborar medidas de control adecuadas para la mejora del carguío y acarreo. Se aplicó la prueba t-student para muestras emparejadas (antes y después).

Objetivo específico N°3. Control de TKPH y Mejora del Carguío y Acarreo

Se analizaron muestras de los meses de febrero a marzo para la etapa de pre-implementación, diagnóstico y elaboración de medidas de control adecuadas. Posteriormente, tras la implementación de las medidas de control y para evaluar el impacto de la mejora de procesos se tomaron muestras de marzo, abril y mayo y se compararon con muestras de junio, julio y agosto. Se aplicó la prueba t-student para muestras emparejadas (antes y después).

Objetivo específico N°4. Reducción de Costos y Mejora del Carguío y Acarreo

Se tomaron los resultados de los objetivos específicos 1, 2 y 3, evaluándose en cada caso el impacto económico en los costos evitados a causa de la mejora del carguío y acarreo.

3.4. Instrumentos

Son los soportes físicos o de software utilizados recolectar y registrar datos o información. Para llegar a cumplir con los objetivos del presente estudio se utilizaron los siguientes instrumentos.

- Reportes de KPI.
- Reportes de TUM.
- Registros de control y monitoreo de camiones autónomos MineStar.
- MS Excel/SPSS.

En la presente investigación se utilizaron las siguientes técnicas para alcanzar los objetivos planteados.

3.4.1. Técnica de Recolección de Datos

La técnica de recolección de datos es un proceso estructurado que abarca una serie de procedimientos diseñados para obtener información precisa y significativa. Su objetivo principal es medir o comprender las variables Gestión de carguío y acarreo y Ciclo productivo de los camiones mineros. Estas permiten recopilar información relevante y válida que permita obtener conclusiones sólidas y respaldadas por evidencia empírica. Las principales técnicas de recolección de datos fueron:

3.4.1.1. Observación directa.

Consiste en observar y registrar los indicadores de rendimiento de la gestión de carguío y acarreo con camiones autónomos respecto a las tres dimensiones estudiadas del ciclo productivo de camiones en la unidad minera.

3.4.1.2. Registro documental.

Consiste en recopilar información de fuentes escritas, como archivos, informes, registros históricos de las operaciones carguío y acarreo, estándares, entre otros, de la unidad minera durante el periodo antes de la aplicación de las mejoras a los procesos.

3.4.2. Materiales

Para la realización de esta investigación se utilizaron los siguientes materiales:

Software. Para el análisis de datos, se utilizan programas de estadística, bases de datos, software de análisis cualitativo, entre otros. Se utilizó la plataforma de datos integrados, así como los registros del sistema MineStar para la recolección y análisis de datos georreferenciados y control de camiones autónomos.

Materiales de campo. Para la recolección de datos en campo, se utilizaron cámaras, GPS, cuadernos de campo, y registros.

Libros y recursos de referencia. Libros, artículos científicos, informes técnicos, y otras fuentes de información que respalden la investigación y proporcionen contexto teórico.

Materiales de escritorio y suministros de oficina. Laptops, impresoras, papelería, y otros materiales básicos necesarios para llevar a cabo tareas administrativas y de organización de la información.

3.5. Procedimientos

Las actividades específicas en esta etapa incluyeron:

(1) **Recolección de datos**: Tanto en campo como en gabinete.

(2) **Procesamiento de datos**: Se procesaron los datos recolectados para obtener una visión clara y detallada de las operaciones actuales. Esto incluye la limpieza de datos y la corrección de entradas de datos mal registrados.

(3) **Análisis descriptivo**. Se realizó un análisis previo de la información para tener una representación general de los resultados antes y después de la aplicación de las mejoras a los procesos de carguío y acarreo.

(4) **Análisis estadístico**: Se llevaron a cabo análisis estadísticos descriptivos e inferenciales para identificar patrones y tendencias en los datos.

(5) **Presentación de Resultados**: Se prepararon informes detallados que presenten los hallazgos del análisis y las recomendaciones para la mejora de las operaciones de carguío y acarreo.

3.6. Análisis de Datos

El análisis de datos en esta tesis se basó en el procesamiento sistemático de la información para alcanzar los objetivos del estudio. Se utilizó el software estadístico SPSS versión 24 para la estadística inferencial, procesando la información recopilada a través de cuadros y gráficos simples y prácticos. El análisis de los datos permite determinar la eficacia de la aplicación de los KPI de rendimiento de los ciclos con camiones basados en la aplicación de mejoras en los procesos de carguío y acarreo.

El análisis de línea base incluye una muestra de ciclos productivos con camiones mineros antes de la implementación de mejoras en los procesos. Se llevó a cabo un estudio detallado de estos casos, considerando indicadores como el Modelo de Uso de Tiempo (TUM) y el rendimiento de los factores operacionales de palas y camiones.

Posteriormente, se realizó un análisis comparativo con una muestra de ciclos productivos de camiones mineros con y sin mejoras. Este análisis evalúa la operación utilizando una cantidad de camiones autónomos considerados en el caso base, permitiendo comparar el desempeño antes y después de la mejora de los procesos.

3.6.1. Recolección de Datos en la Etapa de Gabinete

En la etapa de gabinete, se realizó una recopilación exhaustiva de antecedentes relacionados con el uso de tecnología autónoma en camiones para operaciones mineras a cielo abierto luego, con lo aprendido, se procesaron y analizaron los datos recolectados durante la etapa de campo. Esto incluye la información de registros de los controles digitales y reportes del sistema MineStar. Además, se analizaron los KPI de indicadores de tiempos primarios y secundarios para evaluar la influencia de las medidas para la mejora de procesos en:

(1) Control de cúspides: Se analizaron cómo las medidas de control de cúspides afectan la mejora de las operaciones de carguío y acarreo.

(2) Asignación de camiones con sistema Sideboard: Se evaluó la eficiencia de la asignación de camiones autónomos equipados con el sistema Sideboard.

(3) Gestión de eventos TKPH: Se identificaron y analizaron las prácticas operativas que mantengan los índices TKPH y EFH eficientes, reduciendo los eventos de parada de camiones por condiciones de TKPH alto.

(4) Reducción de costos: Se estimó el efecto de las mejoras implementadas en los costos asociados.

3.6.2. Recolección de Datos en la Etapa de Campo

Esta recopilación se centró en los cambios experimentados o esperados debido a esta tecnología, abarcando aspectos de diseño, planificación y costos. A partir de esta información, se definieron los principales parámetros a considerar en el trabajo. Las actividades específicas en esta etapa incluyeron:

(1) Recopilación de información del área de trabajo: Se obtuvo información detallada sobre la topografía, rutas y distancias de acarreo.

(2) Rutas de acarreo de mineral a la chancadora y de desmonte a los botaderos.

(3) Diseño y mantenimiento de rampas y vías auxiliares.

(4) Registros de ciclo de acarreo con información sobre temperatura ambiental, EFH, TKPH, duración, carga, entre otros.

Se realizaron visitas de campo para observar y registrar las operaciones de carguío y acarreo, así como para evaluar las condiciones reales en las que se desarrollan estas actividades.

3.6.3. Análisis Descriptivo

El análisis descriptivo es un método estructurado que permite administrar y controlar los procesos. Este método se basa en diversas fuentes de datos como investigaciones, inspecciones, observaciones, resultados de monitoreo y reportes de rendimiento. En esta investigación, se describen las operaciones dentro del proceso de carguío y acarreo con el objetivo de incrementar su eficiencia y reducir los tiempos muertos a través del diseño de medidas de control y gestión apropiadas para cada caso. Para ello, se realizaron visitas de campo y se recolectó información de primera mano. Además, se evaluó un programa para la asignación de camiones mineros, identificando la necesidad de modificaciones debido a errores como el no considerar la espera en el abastecimiento de combustible, lo que ocasionaba largas colas y afectaba la productividad.

3.6.4. Análisis Estadístico

El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el software SPSS. Para evaluar las hipótesis del estudio, que sigue un estado de preprueba y posprueba, se empleó la Prueba T de Student para muestras relacionadas. Esta prueba permite validar estadísticamente las hipótesis mediante la obtención de un valor P o nivel de significancia. Se utilizaron tablas estadísticas, como frecuencias, histogramas y relaciones de variables, para una representación clara y precisa de los datos numéricos. Estos métodos facilitaron la interpretación de los resultados obtenidos.

Así también se utilizó la correlación de Pearson y en análisis de correlación de variables para relacionar variables. Los resultados se obtuvieron a través de pruebas de hipótesis, utilizando la distribución normal (Campana de Gauss) para determinar el grado de confianza en los factores de seguridad, tanto en condiciones pseudoestáticas como estáticas.

Para la corroboración de las hipótesis se tomó en cuenta para cada caso:

(1) Hipótesis específica. Planteada en el diseño de investigación.

(2) Hipótesis nula (H_0): No existe diferencia significativa entre las condiciones antes de la aplicación de las mejoras y post aplicación.

(3) Hipótesis alterna (H_1): Existe una diferencia significativa entre las condiciones antes de la aplicación de las mejoras y post aplicación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Control de Cúspides y Mejora del Carguío

Para cumplir con el objetivo específico 1 se realizó el análisis estadístico de los datos de cúspides de febrero a mayo del 2024 y en el mes de junio se aplicaron controles de cúspides para la mejora del ciclo de carguío. Los resultados se analizaron con los datos obtenidos del periodo junio a agosto del 2024.

4.1.1.1. Análisis Estadístico del Control de Cúspides

Para el análisis de las cúspides se recolectaron 10,635 registros de datos de cúspides de seis equipos de carguío entre los meses de febrero a mayo, es decir antes de la aplicación de controles de cúspides para la mejora del carguío. Como resultado se obtuvieron los siguientes valores de acuerdo a la Tabla 4.

Tabla 4

Análisis estadístico de cúspides, meses de febrero a mayo

Estadístico	Valor
n	10635
Promedio	0.72
Desv. Est.	0.22
Var	0.05
max	5.25
min	0.02

Nota. Información procesada en base a datos recolectados.

De acuerdo a la Tabla 4 de las 10,635 cúspides analizadas de febrero a mayo con los 6 equipos de carguío de la unidad minera se tuvo que el promedio de tiempo de cúspides, es decir el tiempo de espera de cada pala durante el aculatamiento de los camiones autónomos fue de 0.72 minutos cada hora. En promedio, cada equipo de carguío acumuló 43 segundos debido al proceso de aculatamiento de los camiones autónomos cada hora entre los meses de febrero y mayo del 2024. Este valor de promedio permitió entender el tiempo típico de espera para esta operación, lo cual resultó útil para la evaluación de la eficiencia de los procesos, la detección de cuellos de botella y la aplicación de los controles.

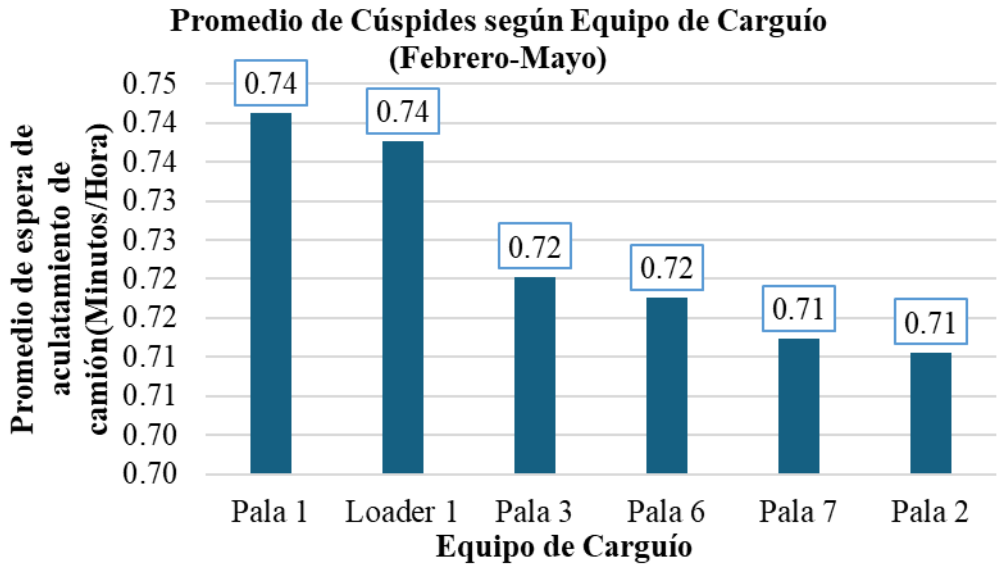
Dado que la desviación es relativamente baja en relación con el promedio (0.22 vs. 0.72), esto significa que los tiempos de aculatamiento no varían mucho, y en general, tienden a mantenerse cerca del promedio. Esto es positivo, ya que una baja variabilidad implica un proceso estable y predecible. Asimismo, se observó una varianza de 0.05, es decir que no existe mucha variación de los tiempos de aculatamiento, esto quiere decir que las operaciones tienen un alto nivel de estandarización, lo que puede ser el resultado de la automatización de los camiones 794 AC. Debido a la baja variación se determinó que los controles de cúspides a aplicar (capacitaciones, procedimiento y estándar) se realizarían a todos los equipos, a todos los supervisores y a todos los operadores.

Cúspides por Equipo de Carguío

En los meses de febrero a mayo del año 2024 se encontró que los equipos con mayor tiempo de espera por cúspides fueron la pala eléctrica "Pala 1" y el equipo "Loader 1" de acuerdo a la Figura 18. No obstante, entre los equipos no se observó una diferencia significativa entre aquellos con mayor y menor promedio de tiempos de cúspides. Esto guarda relación con la Tabla 4 en tanto no existe una variación significativa entre equipos ni operaciones unitarias de carguío.

Figura 18

Promedio de duración de aculatamiento según equipo de carguío.



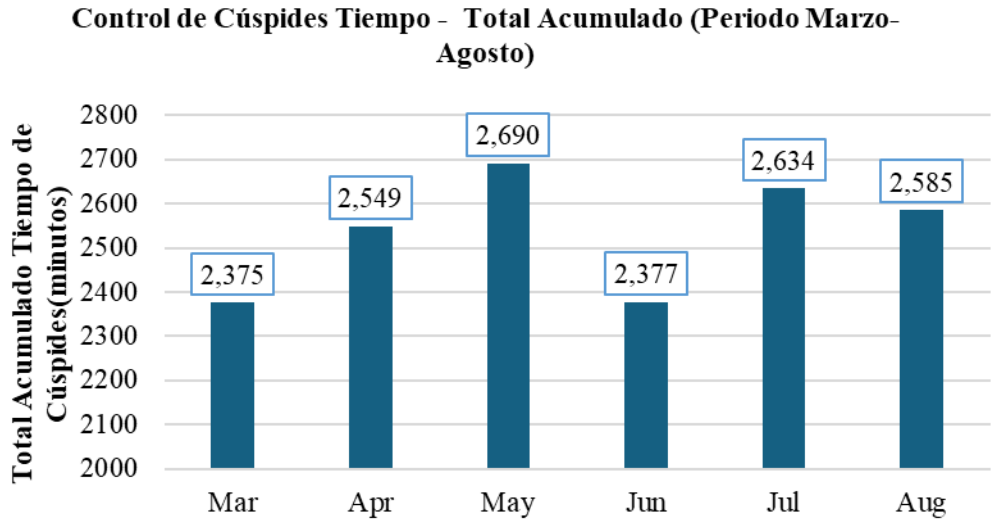
Nota. Elaboración propia en base a datos recolectados.

La Figura 19 muestra el tiempo total acumulado de tiempos de espera por tiempo de cúspides. En promedio se acumula 2535 minutos al mes de tiempo

improductivo debido a la espera por tiempo de aculatamiento de los camiones 794 AC, lo que equivale a más de 42 horas en la que los equipos de carguío se encuentran esperando que los camiones se coloquen en posición para comenzar el carguío.

Figura 19

Tiempo acumulado de cúspides por mes periodo marzo a agosto del 2024



Nota. Elaboración propia en base a datos recolectados.

4.1.1.2. Resultados del Control de Cúspides

Se inició el proceso de capacitaciones a todos los supervisores y se hizo énfasis en el tema de cúspides a partir del mes de junio. Asimismo, se aplicó el estándar SHE-ESO-0061 - Estándar de operación para la corrección de cúspides en camiones autónomos 794 AC: Guía para supervisores de operaciones del Anexo 3 y el PETS SHE-PLT-064 - Procedimiento de operación para la corrección de cúspides en camiones autónomos 794 AC: guía para supervisores/lideres de operaciones del Anexo 4.

A continuación, se detallan los controles de cúspides aplicados:

- **Espacio adecuado para maniobras:** Las maniobras de retroceso solo deben realizarse en áreas que cumplan con las dimensiones mínimas de espacio necesarias según el radio de giro y el largo del camión.
- **Límites de velocidad:** La velocidad máxima permitida durante el retroceso es de 9-10 km/h en condiciones normales y de 4-5 km/h en cúspides cerradas. No se permite exceder estos límites en ninguna maniobra.

- **Detención completa antes de retroceder:** Los camiones deben detenerse completamente antes de iniciar el retroceso.
- **Inspección diaria del área de maniobra**: Es obligatorio inspeccionar el área antes de realizar maniobras de aculatamiento.
- **Condiciones del terreno**: La supervisión y/o los trabajadores deberán, monitorear, identificar y reportar la presencia de terreno inestable, baches, agua acumulada, lodo o material suelto. Esto con el fin de prevenir retrasos en el flujo de aculatamiento de los camiones.
- **Restricción en pendientes**: No se permite realizar maniobras en áreas con pendientes, ya que afectan la estabilidad del camión y aumentan el riesgo de vuelco.
- **Prohibición en áreas inundadas**: En áreas con agua acumulada que no drene adecuadamente, no se permite realizar maniobras de retroceso hasta que se resuelva la condición de drenaje, tanto en frentes de trabajo como en zonas de retroceso de botaderos.
- **Sistemas de asistencia operativos:** Los sistemas de detección, alarma y monitoreo de distancias de retroceso deben estar operativos, incluyendo sensores que alerten de posibles obstrucciones para asegurar un retroceso seguro.

En el periodo marzo a agosto se tuvo como resultado una disminución del tiempo de aculatamiento debido al Control de Cúspides aplicado de acuerdo a la Tabla 5 y Figura 20.

Tabla 5

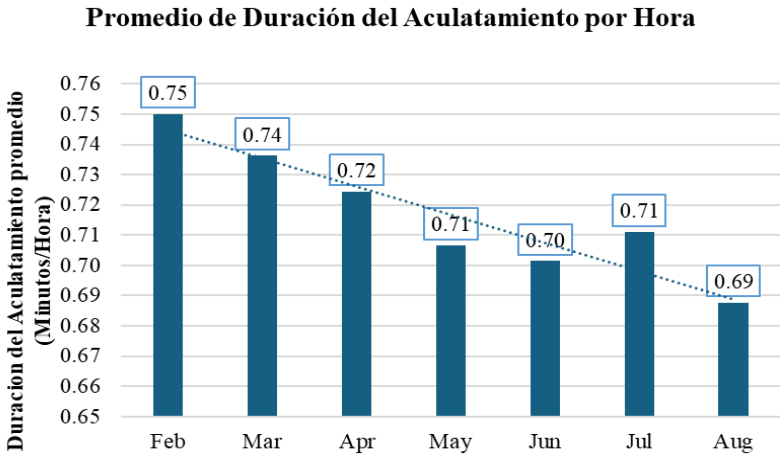
Promedio de duración del aculatamiento por hora mensual

Mes	Promedio de la Duración del Aculatamiento (Minutos por Hora)
Marzo	0.74
Abril	0.72
Mayo	0.71
Junio	0.70
Julio	0.71
Agosto	0.69

Nota. Elaboración propia en base a datos recolectados.

Figura 20

Promedio de duración del aculatamiento por hora mensual



Nota. Promedio de todos los equipos de carguío. Elaboración propia.

En el mes de febrero el tiempo de aculatamiento fue de 0.75 minutos por hora, es decir los camiones autónomos mineros pasaban un total de 45 segundos aproximadamente en promedio realizando las maniobras de aculatamiento. Esto significó que los equipos de carguío pasaban 45 segundos cada hora en espera de que el siguiente camión se posicionara para realizar las operaciones de carga, lo que significaba un tiempo improductivo. Para el mes de agosto el tiempo promedio de aculatamiento fue de 41.4 segundos, menor que todos los meses anteriores en 4 segundos por hora, para cada camión.

De acuerdo a la Figura 20 se observa una tendencia lineal con pendiente negativa, es decir los tiempos de aculatamiento o tiempos de espera de los equipos de carguío disminuyeron considerablemente durante los meses de febrero y agosto del año 2024. Después de la aplicación de las capacitaciones a los supervisores se observó una disminución gradual de los tiempos de aculatamiento hasta el mes de agosto, en el cual se observó una disminución de 8%. Es decir, se redujeron los tiempos de espera de los equipos de carguío y se incrementó su productividad en términos de carga por hora.

Como resultado de los controles el tiempo de aculatamiento antes de la aplicación de los controles de cúspides era de 0.723 minutos cada hora, en promedio (febrero a marzo). Después de la aplicación de los controles (capacitaciones, estándares y procedimientos) el tiempo de aculatamiento se redujo en 2.79% en el mes de junio, 1.84% en el mes de julio y 4.16% en el mes de agosto, es decir hubo

una mejora significativa mensual, lo cual redujo el tiempo total de espera de los equipos de carguío. Esta mejora se detallada en la Tabla 6.

Tabla 6

Mejora del carguío de acuerdo a los resultados de aplicación de controles de cúspides

Mes	Tiempo Total Acumulado (Minutos)	Mejora	Total de Reducción de Tiempo (Minutos)
Jun	2377.17	2.79%	66.4
Jul	2634.20	1.84%	48.4
Aug	2585.18	4.16%	107.6
Total	**7596.6**	**2.93%**	**222.39**

Nota. Elaboración propia en base a datos ponderados de la Figura 20.

Como resultado de la aplicación de controles de cúspides se mejoró el tiempo de carguío en 2.93% en promedio, lo cual significó una reducción de 222.39 minutos de tiempos improductivos de los equipos de carguío durante el trimestre junio-agosto. Esto significa que un adecuado control y gestión de cúspides reduce los tiempos del ciclo de carguío en las operaciones con camiones autónomos mineros 794 AC.

4.1.1.3. Comprobación de hipótesis para el objetivo específico 1

Para comprobar la hipótesis específica 1 se procederá a realizar la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk de acuerdo a al Tabla 7.

Tabla 7

Resultado antes y después de la aplicación de controles de cúspides

Equipo de Carguío	Tiempo de cúspides	
	Antes de la aplicación de controles de cúspides (min)	Después de la aplicación de controles de cúspides (min)
Loader	0.74	0.72
Pala 1	0.74	0.69
Pala 2	0.71	0.69
Pala 3	0.72	0.70
Pala 6	0.72	0.71
Pala 7	0.71	0.69
Promedio	**0.723**	**0.70**

Nota. Elaboración propia con información recolectada del sistema de registro interno de ciclos de carguío y acarreo.

Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk

Usaremos la prueba de Shapiro-Wilk para ambos grupos y determinamos si hay evidencia suficiente para afirmar que los datos provienen de una distribución normal. Los resultados de esta prueba nos darán un valor de p (p-valor):

- Si $p > 0.05$, los datos no se desvían significativamente de una distribución normal.
- Si $p < 0.05$, los datos no siguen una distribución normal.

Los resultados de la prueba de normalidad para ambos grupos de datos se muestran en la Tabla 8

Tabla 8

Prueba de normalidad para los datos de aplicación de controles de cúspides

Parámetro	Valores (Antes)	Valores (Después)
P-valor	0.22	0.13
W	0.86	0.83
n	6	6
Promedio	0.72	0.7
Mediana	0.72	0.69
Desv. Est.	0.013	0.013
Suma de cuadrados	0.00085	0.0008
b	0.027	0.026
Asimetría	0.7	0.89
Forma de la asimetría	Potencialmente simétrica(pval=0.407)	Potencialmente simétrica(pval=0.293)
Curtosis	-1.7	-0.78
Forma de la curtosis	Potencialmente Mesocúrtica (pval=0.329)	Potencialmente Mesocúrtica (pval=0.654)

Nota. Elaboración propia con SPSS 29.0.

De acuerdo a la prueba de normalidad los dos grupos de datos siguen una distribución normal por lo que se realizará la prueba t de Student.

Prueba t para muestras relacionadas (prueba t de muestras pareadas)

Esta prueba es ideal si los datos están emparejados (por ejemplo, las mismas personas o unidades de observación evaluadas en ambos trimestres). Esta prueba compara las medias de dos muestras relacionadas para ver si existen diferencias significativas.

Hipótesis nula (H_0): No hay diferencia significativa en el tiempo del ciclo de carguío y acarreo antes y después de aplicar el control de cúspides. (La reducción del tiempo es no significativa).

Hipótesis alternativa (H_1): El control de cúspides tiene un impacto significativo en la reducción del tiempo del ciclo de carguío y acarreo.

La Tabla 9 muestra los resultados de la prueba T de student.

Tabla 9

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas – Control de Cúspides

Parámetro	Antes de la aplicación de controles de cúspides	Después de la aplicación de controles de cúspides
Media	0.723291417	0.700255604
Varianza	0.000170096	0.000131711
Observaciones	6	6
Coeficiente de correlación de Pearson	0.373274968	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	5	
Estadístico t	4.092872033	
P(T<=t) una cola	0.004710145	
Valor crítico de t (una cola)	2.015048373	
P(T<=t) dos colas	0.009420291	
Valor crítico de t (dos colas)	2.570581836	

Nota. Elaboración propia con SPSS 29.0.

- Si p > 0.05 en la prueba t de muestras pareadas, no se rechaza la hipótesis nula.

- Si $p < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula a favor de la hipótesis alternativa.

En el presente caso $p=0.047<0.05$, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa: El control de cúspides tiene un impacto significativo en la reducción del tiempo del ciclo de carguío y acarreo.

4.1.2. Sistema Sideboard y Mejora del Acarreo

Para cumplir con el objetivo específico se analizaron los eventos de sobrecarga de los meses de enero a mayo del 2024, respecto al número de eventos por operador, el análisis del tonelaje de sobrecarga y su relación con el sistema Sideboard. Posteriormente se aplicaron controles de Sistema Sideboard y se midió su efecto de manera global con los 30 camiones y de manera específica solo tomando en cuenta los 12 camiones con Sideboard.

4.1.2.1. Análisis Estadístico del Sistema Sideboard y Eventos de Sobrecargas

Para el análisis del sistema Sideboard se evaluaron 385 eventos de sobrecarga ocurridos entre los meses de enero a mayo del 2024 de la Tabla 10, es decir antes de la aplicación del sistema Sideboard para la mejora del carguío.

Tabla 10

Eventos de sobrecarga registrados entre los meses de enero a mayo del 2024

Mes	Eventos de Sobrecarga
Enero	80
Febrero	82
Marzo	62
Abril	76
Mayo	85
Total	**385**

Nota. Elaboración propia en base a datos recolectados.

Luego se analizaron los eventos de sobrecarga producidos por los 12 camiones autónomos con sistema Sideboard y los 18 camiones sin sistema Sideboard, de acuerdo a la Tabla 11.

Los camiones con Sistema Sideboard tienen en promedio 40% más eventos de sobrecarga que los camiones sin este sistema. Esto quiere decir que existe una mala gestión e utilización de estos camiones puesto que su mayor capacidad de volumen de carga no significa que tengan mayor capacidad de tonelaje de carga.

Tabla 11

Relación entre el Sistema Sideboard y los eventos de sobrecarga entre los meses de enero a mayo del 2024

Sobrecarga	Con Sistema Sideboard	Sin Sistema Sideboard
Número total de camiones	12	18
Número de eventos de sobrecarga	186	199
Promedio de eventos de sobrecargas por camión	15.5	11

Nota. Elaboración propia en base a datos recolectados.

El sistema Sideboard permite transportar mayor volumen de material de menor densidad cuando y en la práctica se ha detectado que se cargan con mayor volumen de material de la misma densidad, lo que resulta en un exceso de su capacidad de carga. Posteriormente se analizó el tonelaje registrado en cada uno de los 385 eventos de sobrecarga y como resultado se obtuvieron los siguientes valores de acuerdo a la Tabla 12.

Tabla 12

Análisis estadístico de sobrecargas, meses de enero a mayo.

Parámetro	Valor
n	385
Promedio	351.71
Mediana	349
Desv. Est.	8.40
Varianza	70.62
Máximo	442
Mínimo	346

Nota. Elaboración propia en base a datos recolectados.

Número de Eventos. De acuerdo a la Tabla 12 durante el período de enero a mayo de 2024 se registraron 385 eventos en los que la carga superó las 346 toneladas, considerándose como sobrecarga. Este número representa la cantidad de veces que el sistema de monitoreo detectó y registró un evento de sobrecarga en los camiones autónomos.

Promedio. El promedio de las cargas registradas en eventos de sobrecarga es de aproximadamente 351.71 toneladas. Esto significa que, en promedio, cada evento de sobrecarga superó el umbral de 346 toneladas en alrededor de 5.71 toneladas, indicando un exceso de carga leve en la mayoría de los casos. Este promedio permite entender cuál es la carga típica en eventos de sobrecarga.

Desviación Estándar y Varianza. La desviación estándar mide la variabilidad de las sobrecargas respecto al promedio de 351.71 toneladas. En este caso, la desviación estándar es de 8.40 toneladas, lo cual implica que la mayoría de los eventos de sobrecarga fluctúan dentro de un rango de ±8.4 toneladas alrededor del promedio. Esto indica que hay una cierta dispersión en las sobrecargas, aunque no excesiva, ya que la variabilidad no es extremadamente alta. Por su parte, la varianza también mide la dispersión de los datos y en este caso, una varianza de 70.62 toneladas refuerza que existe cierta variabilidad en las sobrecargas, aunque de una magnitud moderada.

Eventos de Sobrecargas por Operador

Por otra parte, se evaluaron los eventos de sobrecarga de los meses de enero a mayo según el operador que estuvo a cargo del equipo de carguío en el momento que se produjo el evento de sobrecarga, de acuerdo a la Tabla 13. Se observó que los primeros 10 operadores en la lista contribuyen de manera significativa al total de eventos de sobrecarga, sumando 48% de los eventos. En particular, los tres operadores 1, 2 y 3 suman el 17% de los eventos, es decir, existe una concentración de sobrecargas en un grupo reducido de operadores.

Tabla 13

Eventos de sobrecarga por operador durante los meses de enero a mayo del 2024 y porcentaje acumulado

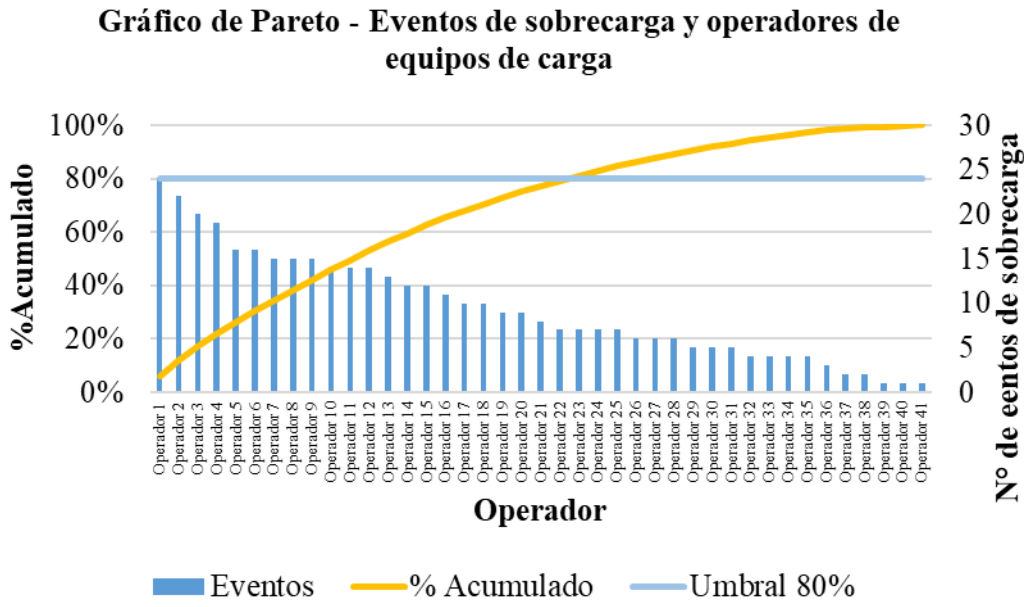
Operador	Eventos	%	% Acumulado
Operador 1	24	6%	6%
Operador 2	22	6%	12%
Operador 3	20	5%	17%
Operador 4	19	5%	22%
Operador 5	16	4%	26%
Operador 6	16	4%	30%
Operador 7	15	4%	34%
Operador 8	15	4%	38%
Operador 9	15	4%	42%
Operador 10	14	4%	46%
Operador 11	14	4%	49%
Operador 12	14	4%	53%
Operador 13	13	3%	56%
Operador 14	12	3%	59%
Operador 15	12	3%	63%
Operador 16	11	3%	65%
Operador 17	10	3%	68%
Operador 18	10	3%	71%
Operador 19	9	2%	73%
Operador 20	9	2%	75%
Operador 21	8	2%	77%
Operador 22	7	2%	79%
Operador 23	7	2%	81%
Operador 24	7	2%	83%
Operador 25	7	2%	85%
Operador 26	6	2%	86%
Operador 27	6	2%	88%
Operador 28	6	2%	89%
Operador 29	5	1%	91%
Operador 30	5	1%	92%
Operador 31	5	1%	93%
Operador 32	4	1%	94%
Operador 33	4	1%	95%
Operador 34	4	1%	96%
Operador 35	4	1%	97%
Operador 36	3	1%	98%
Operador 37	2	1%	99%
Operador 38	2	1%	99%
Operador 39	1	0%	99%
Operador 40	1	0%	100%
Operador 41	1	0%	100%
Total	**385**	**100%**	**-**

Nota. Elaboración propia en base a los registros de operación y turnos.

El 50% de los eventos de sobrecarga está concentrado en los primeros 12 operadores. Esto indica que la mitad de las sobrecargas fueron generado por solo 12 de los 41 operadores, lo que representa menos del 30% del total de operadores de los equipos de carga. A continuación, en la Figura 21 se presenta el gráfico de Pareto de las sobrecargas por operador.

Figura 21

Gráfico de Pareto de número de eventos de sobrecarga por operador entre los meses de enero a mayo del 2024



Nota. Elaboración propia en base a la Tabla 13 y datos del registro de sobrecargas.

La suma acumulada alcanza el 80% en los primeros 23 operadores, y los restantes 18 operadores solo representan el 20% de los eventos. Esto implica que la mayoría de los eventos de sobrecarga están concentrados en un grupo específico, y que el resto de los operadores contribuyeron de forma mínima a los eventos.

Ahora bien, esta acumulación de eventos en un grupo de operadores puede ser debido a que presentaron mayor cantidad de horas trabajadas, ingresaron a trabajar en meses posteriores, errores operativos o por causa de condiciones de trabajo que incrementan la probabilidad de sobrecarga. No obstante, para asegurar la reducción de eventos se evaluaron controles y se capacitaron a los operadores que presentaron mayor número de eventos para mejorar la precisión en la carga y

prevenir sobrecargas. Al mismo tiempo se aplicaron incentivos para los operadores con menor número de eventos de sobrecarga.

Controles Digitales para Evitar la Sobrecarga de Camiones Autónomos

Para hallar las causas de las sobrecargas y gestionar mejor los camiones con Sistema Sideboard se realizaron pruebas de precisión de los controles digitales Accuload y Terrain. Los equipos de carguío de la unidad minera tienen estos controles en la pantalla, los cuales permiten a los operadores cargar los equipos dentro de los parámetros de seguridad y de capacidad de cada equipo. Para evaluar su precisión se realizó el repesaje y se cotejó con los datos de los controles digitales Accuload y Terrain registrados de los equipos y los resultados se detallan en la Tabla 14

Tabla 14

Evaluación de la precisión y vulnerabilidad de los controles digitales de sobrecarga de los equipos de carguío

Control Digital	Accuload	Terrain
Variabilidad	3.33%	1.92%
Variabilidad máxima	11.01%	3.27%
Variabilidad mayor a 1.8%	24.6%	8.8%

Nota. Elaboración propia con los datos de repesaje realizados en base a 57 registros de carga de Accuload y Terrain. Los datos detallados se adjuntan en el Anexo 11.

De acuerdo a la Tabla 14 se observa que el Accuload es mucho menos preciso que el sistema Terrain en tanto presenta 73% más variabilidad, o en otras palabras es 44% menos preciso en comparación.

Otro problema identificado es que la máxima variabilidad detectada con el sistema Accuload fue de 11% por encima del valor real de carga mientras que el sistema Terrain presento una variabilidad máxima de 3.27%, es decir que el sistema Accuload es más propenso a sobrecargas críticas que puedan ocasionar retrasos, averías y sobretiempos por mantenimiento de los equipos. Asimismo, el 24.6% de las veces el sistema Accuload presentó una variabilidad mayor al 1.8% es decir, que si los operadores confiaran solo en el sistema Accuload para controlar la carga se

produciría una sobrecarga de 5.71 toneladas o más el 24.6% de las veces. Por su parte esto sucedería tan solo 8.8% de las veces con el sistema Terrain, una proporción considerablemente menor.

4.1.2.2. Resultados del Control de Camiones con Sistema Sideboard

A continuación, se muestran en la Tabla 15 los controles implementados para disminuir los eventos de sobrecarga en camiones autónomos CAT 794 AC con sistema Sideboard. Estas medidas han sido aplicadas desde junio de 2024 e incluyen procedimientos, monitoreos, capacitaciones y herramientas para asegurar la mejora en la gestión de carga y reducir el riesgo de sobrecargas de camiones.

Tabla 15

Controles implementados de camiones con sistema Sideboard para mejorar el carguío y acarreo

Categoría	Control Implementado
Procedimientos y Estándares	- PETS para descarga de sobrecarga. - Estándar para prevención de sobrecargas.
Incentivos y Motivación	- Premiación de operadores destacados desde julio 2024.
Monitoreo de Variables	- Seguimiento diario de pases y tasa de payload. - Control de sobrecargas cada 3 horas.
Reportabilidad	- Monitoreo del desempeño global (pases, productividad, seguridad). - Supervisión y entrenamiento en mina.
Tecnología en Monitoreo	- Cambio de modo autónomo a manual en sobrecargas. - Sistemas de control múltiple (*Terrain*, *Accuload*, *Minestar*).
Prácticas Preventivas	- Confirmación de Sideboard antes de cargar.

Nota. Elaboración propia en base a controles evaluados con operación mina.

Se implementó el estándar de prevención de sobrecargas para camiones autónomos 794 AC. Este estándar establece normas para evitar la ocurrencia de

sobrecargas, con pautas de seguridad y recomendaciones operativas para minimizar las probabilidades de sobrecarga. Incluye guías específicas sobre el tonelaje permitido y los procedimientos correctos en caso de exceder el límite. (Anexo 5)

Se implementó el PETS procedimiento para descarga de sobrecarga en camiones autónomos 794 AC. Iniciado en junio, este procedimiento establece los pasos seguros para descargar sobrecargas en los camiones. Se asegura que la descarga sea realizada bajo condiciones controladas y que los operadores estén informados y capacitados en las prácticas adecuadas. Se adjuntó en el Anexo 6 el PEST para sobrecargas.

Se realizó la premiación de operadores. Se realizó el primer reconocimiento y premiación de operadores destacados en julio, incentivando buenas prácticas operativas y el cumplimiento de los estándares de carga. Esta premiación busca fomentar una competencia sana y la mejora del compromiso de los operadores con la gestión de la carga.

Seguimiento diario del número de pases y tasa de payload. Desde junio, se implementó un monitoreo diario de pases y carga, reduciendo la variabilidad del payload y maximizando la tasa de carga por pase. Este seguimiento también identifica a los operadores con mayor variabilidad o menor payload, quienes recibieron capacitación específica para mejorar su desempeño.

Monitoreo constante de carga usando múltiples sistemas. Se utilizan los sistemas Terrain y Accuload para medir la carga en la tolva, complementados con el sistema Minestar y la supervisión en campo. Esta combinación permite verificar la carga de forma precisa, reduciendo la dependencia de un solo sistema y asegurando que el tonelaje no exceda el límite de 346.58 toneladas.

Supervisión. La Supervisión de Mina lleva un control diario del desempeño mediante gráficos y reportes, retroalimentando a operadores con baja productividad. Se brinda retroalimentación inmediata a operadores que generan eventos críticos y se los capacita en simuladores para mejorar su técnica, buscando que alcancen el nivel de operación.

Monitoreo de performance global de operadores. Se realiza el seguimiento y control del número de pases y tasa de productividad (toneladas/pase).

Se registran de los eventos de sobrecarga, inclinación del balde y Boom Jack, y se realiza el seguimiento de la seguridad operativa y control de ausentismo.

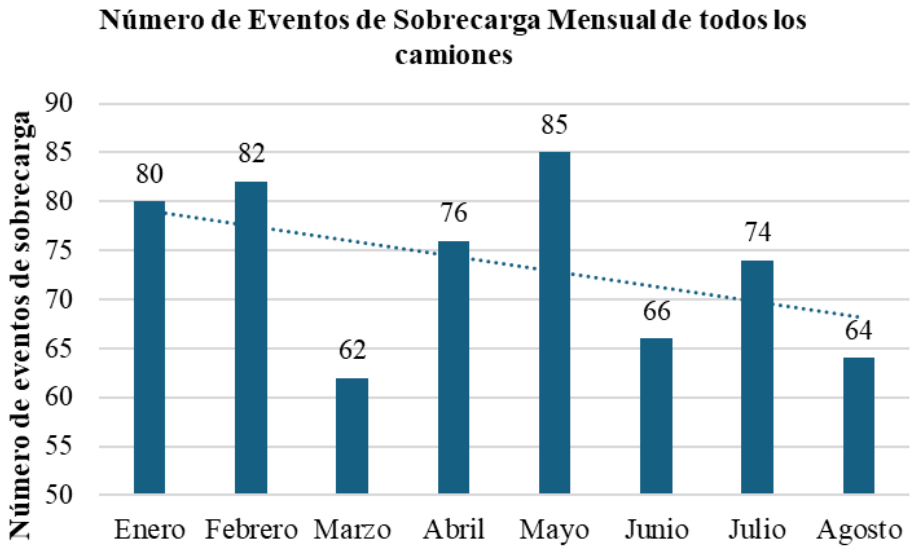
Revisión del tipo de equipo antes de la carga. Los operadores de carguío deben confirmar si el equipo cuenta con Sideboard antes de iniciar el proceso de carga. Estos elementos aumentan la capacidad aparente de la tolva, lo que puede llevar a sobrecargas si no se maneja con precaución. Los operadores son responsables de ajustar la carga según la capacidad y no solo en función del volumen visible.

Caso de sobrecarga (cuando el peso supera las 346.58 toneladas), el sistema autónomo puede no iniciar la descarga automática. En estas situaciones, el modo se cambia a manual, permitiendo que un operador capacitado realice la descarga con seguridad. Este cambio previene daños potenciales en los equipos y asegura la seguridad de la operación.

Tras la aplicación de los controles de sobrecarga mencionados se observó una reducción de los eventos de sobrecargas en los 30 camiones, con y sin sistemas Sideboard de acuerdo a la Figura 22.

Figura 22

Eventos de sobrecarga de camiones autónomos 794 AC en el periodo Enero a Agosto del 2024



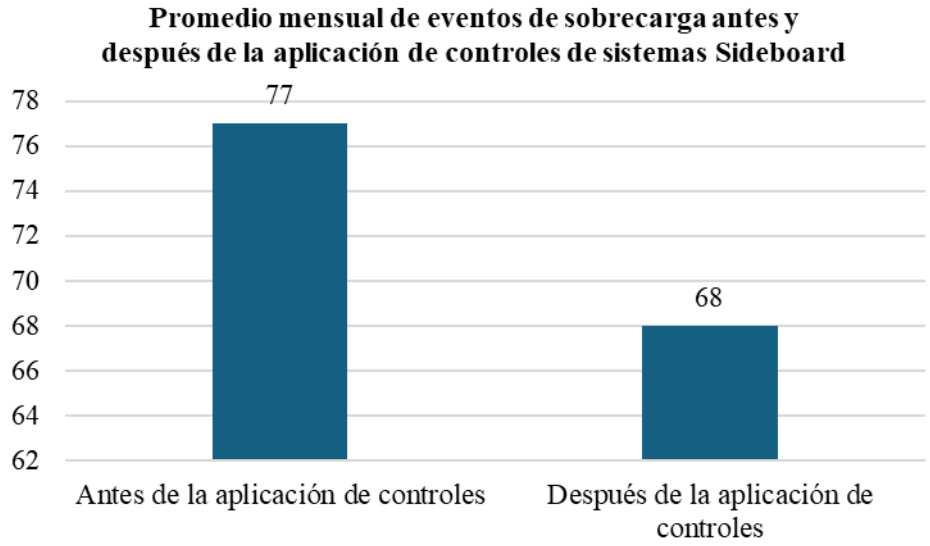
Nota. Elaboración propia a partir de datos de registro interno de eventos de sobrecarga con camiones CAT 794 AC de acarreo.

Se puede observar una reducción sostenida de los eventos de sobrecarga después de la aplicación de los controles de camiones Sideboard. La razón por la que se observa una reducción en todos los camiones, incluidos aquellos sin el sistema Sideboard es que los controles fueron para todos los operadores de equipos de carguío (Palas y Loader), no obstante, más adelante se analizará el efecto aislado de los controles de sistema Sideboard en los 12 camiones que sí cuentan con este sistema.

En resumen, el promedio mensual de eventos de sobrecarga se redujo de 77 a 68 a nivel global, lo cual significó una reducción 11.7% en los eventos de sobrecarga de todos los camiones (30 camiones CAT), de acuerdo a la Figura 23. Para este análisis se tomó en cuenta todos los camiones y posteriormente se evaluaron los resultados específicos de los 12 camiones con sistema Sideboard.

Figura 23

Resultados de la aplicación de controles de camiones con sistema Sideboard



Nota. Elaboración propia a partir de datos de registro interno de eventos de sobrecarga con camiones CAT 794 AC de acarreo.

En este sentido, para evaluar el resultado de los controles aplicados solo para la flota de los 12 camiones con sistemas Sideboard se evaluaron los meses posteriores de junio, julio y agosto, posteriores a la aplicación de los controles antes descritos y se obtuvieron los resultados de la Tabla 16.

Tabla 16
Resultados de la aplicación de controles de Sistema Sideboard para la mejorar las operaciones de carguío y acarreo.

Camión	Antes de la implementación de controles	Después de la implementación de controles
	Promedio mensual de eventos de Sobrecarga	
CAT 01	1.4	1.3
CAT 02	3.6	2.7
CAT 03	3.8	3.3
CAT 04	2.2	3.0
CAT 05	4	3.0
CAT 06	5	3.7
CAT 07	3.8	2.7
CAT 08	3	3.0
CAT 09	2.6	1.7
CAT 10	2.6	2.3
CAT 29	0.4	0.7
CAT 30	4.8	4.0
Promedio mensual global	**37.2**	**31.3**

Nota. Elaboración propia a partir de datos de registro interno de eventos de sobrecarga de camiones CAT 794 AC con sistema Sideboard instalado.

En este análisis de resultados solo se han tomado en cuenta las sobrecargas producidas por los 12 camiones con sistema Sideboard. Como se puede observar de la Tabla 16 el promedio mensual de sobrecargas de los 12 camiones autónomos 794 AC con Sistema Sideboard disminuyó de 37.2 a 31.3 es decir en un 16%. Este porcentaje es mayor que el global de 11.7% (Figura 24), es decir que las medidas de control implementadas tuvieron un efecto más significativo en los camiones con Sideboard.

En general los controles aplicados para camiones con sistemas Sideboard tuvieron un efecto significativo en la mejora de las operaciones de carguío y acarreo a través de la reducción de eventos de sobrecargas que producen tiempos improductivos, incremento de costos de mantenimiento y baja productividad.

4.1.2.3. Comprobación de hipótesis para el objetivo específico 2

Para comprobar la hipótesis específica 2 se procederá a realizar la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para verificar que los datos obtenidos son normales y después proceder a realizar la comprobación de la hipótesis con la prueba T.

Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk

Usaremos la prueba de Shapiro-Wilk para ambos grupos de datos de la Tabla 16 y determinamos si hay evidencia suficiente para afirmar que los datos provienen de una distribución normal. Los resultados de esta prueba nos darán un valor de p (p-valor):

- Si $p > 0.05$, los datos no se desvían significativamente de una distribución normal.
- Si $p < 0.05$, los datos no siguen una distribución normal.

Los resultados de la prueba de normalidad para ambos grupos de datos se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17

Prueba de normalidad para los datos de aplicación de controles de sistema Sideboard

Parámetro	Valores (Antes)	Valores (Después)
P-valor	0.8112	0.5622
W	0.9619	0.9448
n	12	12
Promedio	3.1	2.6167
Mediana	3.3	2.85
Desv. Est.	1.3497	0.9703
Suma de cuadrados	20.04	10.3567
b	4.3906	3.128
Asimetría	-0.5441	-0.6828
Forma de la asimetría	Potencialmente simétrica(pval=0.393)	Potencialmente simétrica(pval=0.284)
Curtosis	-0.004453	-0.02677
Forma de la curtosis	Potencialmente Mesocurtica (pval=0.997)	Potencialmente Mesocurtica (pval=0.983)

Nota. Elaborado con el programa estadístico SPSS 29.0.

De acuerdo a la prueba de normalidad los dos grupos de datos siguen una distribución normal por lo que se realizará la prueba t de Student.

Prueba t para muestras relacionadas (prueba t de muestras pareadas)

Esta prueba es ideal si los datos están emparejados, por ejemplo, las mismas personas o unidades de observación evaluadas antes y después de la aplicación de los controles de sistema Sideboard. Esta prueba compara las medias de dos muestras relacionadas para ver si existen diferencias significativas.

Hipótesis nula (H_0): No hay diferencia significativa en la ocurrencia de eventos de sobrecarga antes y después de aplicar el control de camiones con Sistema Sideboard. (La reducción de los eventos de sobrecarga es no significativa).

Hipótesis alternativa (H_1): El control de camiones con sistema Sideboard tiene un impacto significativo en la reducción de eventos de sobrecarga.

La Tabla 18 muestra los resultados de la prueba T de student.

Tabla 18

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas – Control de camiones con sistema Sideboard

	Antes de la implementación de controles	**Después de la implementación de controles**
Media	3.1	2.61
Varianza	1.82	0.95
Observaciones	12	12
Coeficiente de correlación de Pearson	0.9	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
Estadístico t	2.624	
P(T<=t) una cola	0.012	
Valor crítico de t (una cola)	1. 8	
P(T<=t) dos colas	0.024	
Valor crítico de t (dos colas)	2.201	

Nota. Elaborado con el programa estadístico SPSS 29.0.

- Si p > 0.05 en la prueba t de muestras pareadas, no se rechaza la hipótesis nula.
- Si p < 0.05, se rechaza la hipótesis nula a favor de la hipótesis alternativa.

En el presente caso p=0.012<0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa: El control de camiones con sistema Sideboard tiene un impacto significativo en la reducción de eventos de sobrecarga que producen retrasos y costos en las operaciones de carguío y acarreo.

4.1.3. Gestión de Eventos TKPH y Mejora de las Operaciones de Carguío y Acarreo

Para cumplir con el objetivo específico 3 primero se realizó el análisis estadístico de 101,794 registros de ciclos de acarreo para evaluar el número de eventos de TKPH elevado. De acuerdo a los parámetros operativos de la unidad minera y las recomendaciones del fabricante Michellin un evento TKPH se considera elevado cuando supera el umbral de 1300 TKPH, el cual puede generar problemas de sobrecalentamiento de los neumáticos, posibles paradas y desprendimiento del caucho en el peor de los casos. Se realizó el diagnóstico para evaluar la influencia de la temperatura, la distancia equivalente EFH, las condiciones particulares del equipo, posteriormente se elaboraron e implementaron controles de TKPH y EFH con los controles digitales disponibles de la unidad minera y finalmente se analizaron los resultados de los tres meses siguientes, es decir junio, julio y agosto. Para hallar la validez de los resultados se realizó la comprobación de hipótesis a través de la prueba de normalidad y prueba t de student.

4.1.3.1. Análisis Estadístico de los Eventos TKPH

En primer lugar, se analizaron los registros de datos de eventos TKPH de los meses de febrero a mayo, antes de la aplicación de controles de eventos TKPH de acuerdo a la Tabla 19. Se observó que el promedio de carga de los camiones autónomos fue de 309 ton por ciclo de carguío, mientras que el TKPH registrado promedio fue de 767 y el EFH fue de 12.

Tabla 19

Promedio de TKPH, EFH y tonelaje por ciclo de carguío periodo de febrero a mayo de 2024

Camión	TKPH	EFH	Ton
CAT 01	739	11.24	305.1
CAT 02	754	11.56	308.4
CAT 03	785	12.06	310.1
CAT 04	768	11.70	309.6
CAT 05	771	11.43	309.6
CAT 06	796	11.79	311.5
CAT 07	761	11.29	308.0
CAT 08	778	11.67	309.3
CAT 09	790	11.65	307.4
CAT 10	757	11.43	305.8
CAT 11	783	11.91	308.2
CAT 12	720	11.42	308.8
CAT 13	726	11.23	309.5
CAT 14	742	11.47	309.2
CAT 15	806	12.33	308.0
CAT 16	780	11.74	307.7
CAT 17	799	12.28	309.5
CAT 18	747	11.32	310.1
CAT 19	755	11.78	305.1
CAT 20	776	11.94	309.8
CAT 21	773	11.73	310.7
CAT 22	742	11.69	310.3
CAT 23	762	11.99	311.6
CAT 24	803	12.24	308.0
CAT 25	716	10.86	308.2
CAT 26	742	11.47	308.8
CAT 27	754	11.70	309.9
CAT 28	810	12.39	309.4
CAT 29	772	11.88	303.8
CAT 30	789	11.64	311.6
Promedio	767	12	309

Nota. Elaboración propia en base a datos recolectados.

Posteriormente y con estos datos se procedió a realizar el análisis de correlación, los resultados se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20

Análisis de correlación de Pearson de Carga, TKPH y EFH

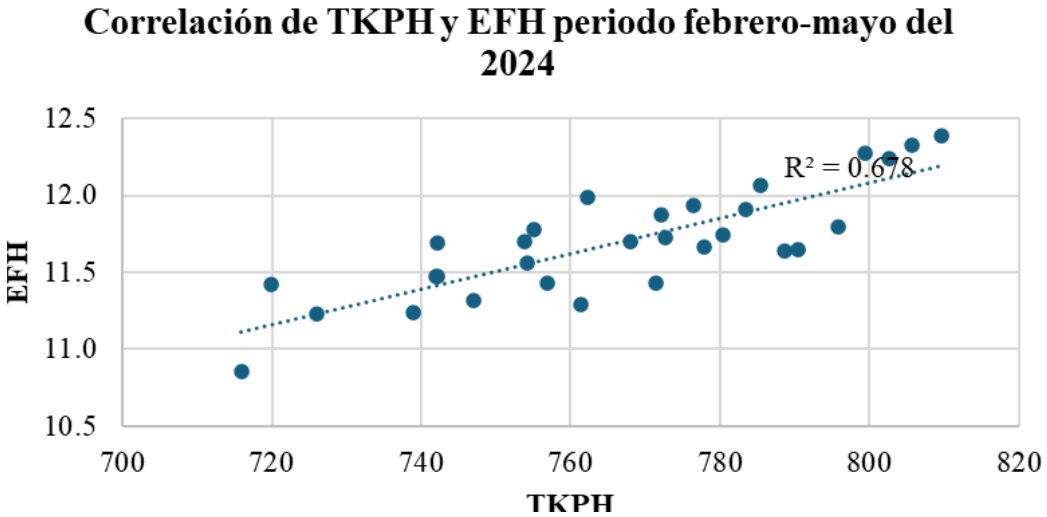
	TKPH	EFH	Ton
TKPH	1		
EFH	0.82	1	
Ton	0.13	0.13	1

Nota. Análisis de correlación de Pearson elaborado con el programa estadístico SPSS 29.0.

Del análisis de correlación se puede observar que el factor más importante que influye en un TKPH elevado es la longitud del recorrido en términos de distancia equivalente con una correlación de Pearson de 0.82. Por su parte la carga tuvo un efecto menor de tan solo 0.13. Esto quiere decir que los eventos de sobrecarga no son el factor más significativo para lograr el objetivo de disminución de eventos de TKPH alto. Por tanto, se deben tomar controles distintos a los anteriormente aplicados para abordar el problema específico 3.

Figura 24

Correlación entre EFH y TKPH elevado de acuerdo a los registros de TKPH de los meses de febrero a mayo del 2024



Nota. Gráfico elaborado con el programa MS Excel 2021.

La Figura 24 presenta la relación R^2 de la incidencia del EFH o distancia equivalente en los valores TKPH altos de acuerdo a 101,794 registros analizados de los meses de febrero a mayo del año 2024. Se observa que existe una correlación

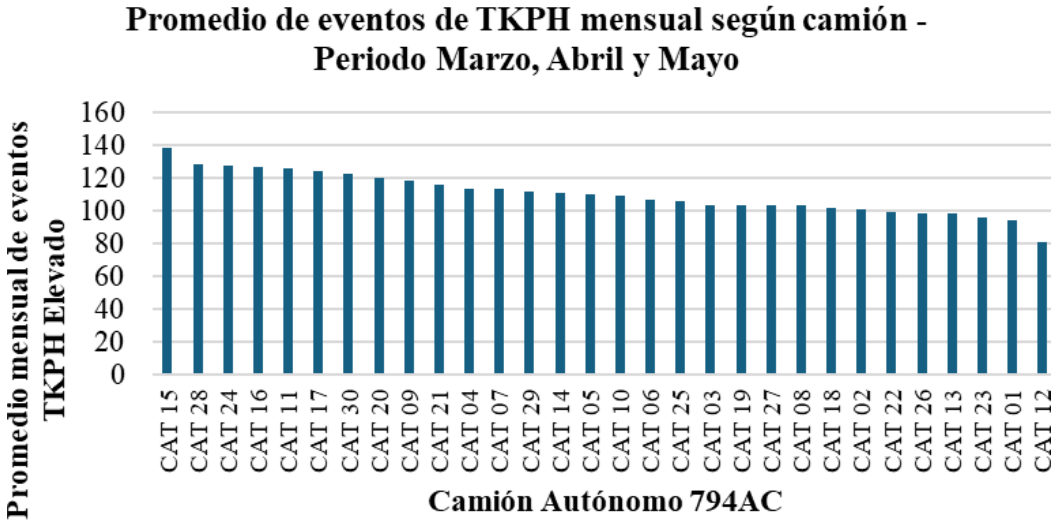
R cuadrado de 0.678 es decir que el 68% de la variabilidad del TKPH puede ser explicada por los valores EFH. Esto confirma la importancia de las distancias equivalentes de cada ciclo de acarreo en los valores TKPH por lo que las medidas de control tienen que estar más enfocadas a la gestión de distancias, pendiente y estado de las rutas de acarreo con camiones autónomos 794 AC.

Análisis de Eventos TKPH por camión.

Asimismo, se realizó el análisis de eventos TKPH altos (TKPH>=1300) y se determinó que no existe una variación significativa de los eventos entre los 30 camiones autónomos de acuerdo a la Figura 25. Es decir, no se puede afirmar que los eventos TKPH elevados ocurren debido a las condiciones particulares de los equipos o sus características específicas sino a la gestión y control de carguío y acarreo.

Figura 25

Análisis de Eventos TKPH por camión.



Nota. Elaboración propia en base a datos recolectados de monitoreo de TKPH de los 30 camiones CAT 794 AC de acarreo.

La Tabla 21 muestra que en el trimestre marzo, abril y mayo ocurrieron 9955 eventos de TKPH elevado, es decir, casi 10 mil registros en los que el TKPH monitoreado superó el umbral de 1300 TKPH para una operación segura y eficiente, dentro de los parámetros de operación recomendada de los equipos. A su vez, el promedio mensual de eventos TKPH alto fue de 3318, es decir que cada día se

presentaron más de 100 eventos de TKPH alto que podrían generar averías y condiciones de retraso por mantenimiento o cambio de neumático. Por último, se observa que en promedio cada equipo presentó 111 eventos de TKPH por mes, lo que quiere decir que un camión presentó entre 3 a 4 eventos de TKPH alto durante un día de operación.

Tabla 21

Análisis de número de eventos promedio total, mensual y por camión.

Eventos TKPH Elevado	Número
Total de eventos TKPH elevados meses de marzo, abril y mayo.	9955
Promedio mensual de eventos TKPH Elevado.	3318
Promedio de eventos TKPH elevado por camión.	111

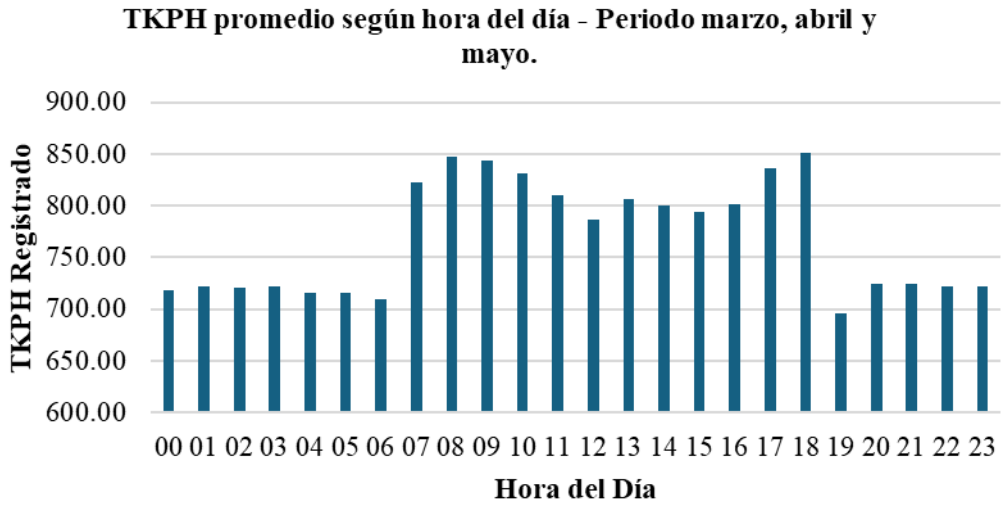
Nota. Elaboración propia en base a datos recolectados de monitoreo de TKPH.

Análisis del TKPH y Horas del Día

Para analizar la influencia del TKPH y las horas del día debido a los cambios de temperatura ambiental se evaluaron los registros de TKPH de 101,795 ciclos de acarreo con camiones autónomos mineros 794 AC. Como resultado se graficaron los hallazgos de acuerdo a la Figura 26.

Figura 26

Promedio de TKPH por hora del día



Nota. Elaboración propia en base a datos recolectados de monitoreo de TKPH.

Del análisis de los registros de TKPH se observó que el TKPH es 14.1% más alto durante las horas del día 6am a 6pm con un promedio de 819 TKPH, mientras que durante la noche el promedio de TKPH fue de 717 durante el periodo de estudio (marzo, abril, mayo), antes de la aplicación de los controles. Si bien el componente temperatura influye en el factor K2 de la fórmula de cálculo del TKPH, el control digital de la unidad minera asigna el valor automático de 17°C para horas del día entre 6am y 6pm mientras que para el resto de las horas se considera un valor de 0°C (noche).

Para evaluar la influencia del factor K2 que toma en cuenta la temperatura ambiental se halló la correlación de Pearson de la Tabla 22 con los registros de acarreo de los controles digitales de los camiones. Como resultado se halló una correlación de Pearson con alta de 0.83 lo cual es coherente con la fórmula de cálculo de TKPH.

Tabla 22

Correlación factor K2 de temperatura ambiental en el TKPH

	K2	**TKPH**
K2	1	
TKPH	0.8257878	1

Nota. Correlación de Pearson analizada con el programa estadístico SPSS 29.0.

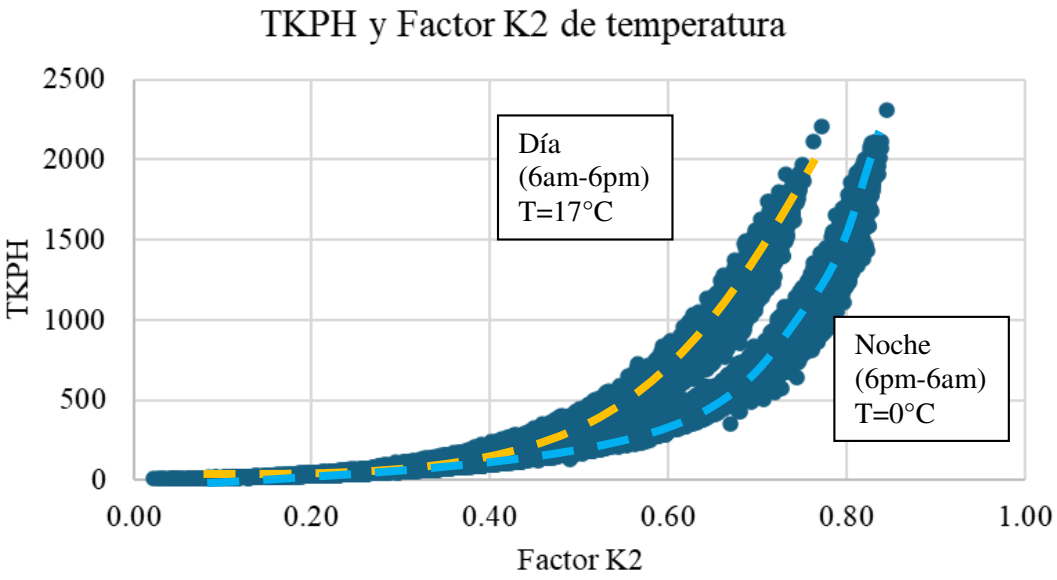
La Figura 27 representa los registros de TKPH y de factor K2 de temperatura ambiental de los meses de marzo, abril y mayo, antes de la aplicación de controles. Como se puede observar los datos se agrupan en dos tendencias, la agrupación con mayores valores corresponde a los datos de TKPH durante el día con el valor predeterminado de temperatura ambiental de 17°C y la agrupación de datos que se encuentra por debajo representa los datos de TKPH registrados entre 6pm y 6am con un valor de temperatura ambiental asignado de 0°C.

Ahora bien, debido a que el sistema actual de alerta de TKPH alto asigna un valor automático de 17°C en el día y de 0°C en la noche, se detecta que este método no es el adecuado en tanto se debería contar con valores reales de temperatura, por lo menos para cada hora del día para que las alertas de TKPH elevados sean más precisas. En este sentido si bien se cuenta con controles digitales con distintos sensores estos deben ser calibrados para atender las condiciones reales de campo lo

más reales posibles. El sistema actual podría estar registrando valores de TKPH mucho más elevados en condiciones de verano, cuando las temperaturas superan los 17°C, lo cual constituye un riesgo para aplicar controles adecuados para evitar el desgaste prematuro y la avería de neumáticos. Así también al aplicar un valor de 17°C durante las primeras horas de la mañana podría generar falsos positivos al momento de monitorear y detectar eventos de TKPH elevados (TKPH>=1300) cuando la temperatura real esté debajo de los 17°C, produciendo problemas de productividad o detenciones innecesarias de camiones.

Figura 27

Relación TKPH y factor K2 de temperatura periodo marzo, abril y mayo del 2024



Nota. Elaborado con datos del registro de monitoreo de TKPH de la unidad minera y graficado con MS Excel 2021.

4.1.3.2. Resultados de Controles de TKPH alto y Mejora del Carguío y Acarreo

Para enfrentar el problema del TKPH elevado en camiones mineros, se implementaron varios controles enfocados en la seguridad, el monitoreo, y la optimización de rutas y procedimientos de enfriamiento. A continuación, se clasifican y organizan estos controles explicando el propósito de cada medida.

Establecimiento de un procedimiento estandarizado: Se implementó un procedimiento formal y estandarizado para el enfriamiento de neumáticos sobrecalentados por TKPH elevado mediante una cisterna de agua. Se implementó

el estándar SHE-ESO-0060 para prevención de incendios de neumáticos del anexo 7 y el PETS SHE-PLT-41 de para incendio de neumáticos (Anexo 8). El proceso incluyó la capacitación del personal en el manejo de equipo de emergencia y se determinaron las ubicaciones seguras para el enfriamiento, así como la duración recomendada.

Enfriamiento gradual y controlado en caso de sobrecalentamiento extremo. Cuando los neumáticos presentan un sobrecalentamiento extremo ante un evento de TKPH elevado, el equipo de emergencia debe realizar un enfriamiento lento y progresivo para evitar daños estructurales. Esto incluye evitar cambios bruscos de temperatura que puedan comprometer la integridad de los neumáticos.

Inspecciones termográficas regulares: Realizar inspecciones termográficas en los neumáticos cada vez que se detecte un nivel elevado de TKPH (especialmente en los niveles 3 y 4). Utilizar cámaras termográficas para asegurarse de que las temperaturas se encuentran dentro de los límites seguros antes de reanudar las operaciones, lo cual previene daños por sobrecalentamiento.

Sistema de monitoreo en tiempo real: Asegurar que el sistema de monitoreo de neumáticos esté operativo las 24 horas, detectando en tiempo real cualquier sobrecalentamiento. Si el TKPH supera los límites establecidos, el sistema debe activar una alerta para redirigir el camión a rutas menos exigentes o detenerlo temporalmente. Este monitoreo continuo permite una respuesta rápida y evita daños significativos en los neumáticos.

Registro de datos de control en tiempo real: Integrar el monitoreo en tiempo real del sistema MineStar, lo cual facilita la supervisión continua de los parámetros críticos del TKPH (>=1300) y permite tomar decisiones informadas de inmediato.

Ajuste de velocidad y selección de rutas óptimas: Regular la velocidad operativa y seleccionar rutas que minimicen el trayecto (EFH) y la resistencia del terreno. Específicamente, evitar pendientes pronunciadas y suelos blandos que aumenten el estrés térmico en los neumáticos. La reducción del estrés operativo contribuye directamente a mantener el TKPH dentro de los límites seguros. Esto incluye el redireccionamiento de camiones que presenten un elevado TKPH hacia rutas más cortas, es decir con un EFH menor.

Asimismo, se implementó el nuevo TARP (Trigger, action, response plan) para el control de los eventos de TKPH elevados de acuerdo al nivel de severidad del evento de acuerdo al estándar SHE-ESO-0063 para prevención de eventos TKPH elevado (Anexo 9) y el PETS SHE-PLT-43 para control de eventos de TKPH elevado(Anexo 10). Esto para preservar y reducir los daños ocasionados a los neumáticos de acuerdo a la Tabla 23, asimismo

Tabla 23

Plan de respuesta ante eventos de TKPH elevado por niveles

TARP (Trigger, Action, Response Plan)			
Severidad de Pérdida EBIT	**Acarreo**	**Responsables**	**Medidas**
Nivel 4 (Rojo)	Retiro neumático	Leader: Líder Confiabilidad + Team Tires (Multi department)	- RCA (Análisis de Causa Raíz) - Posible pérdida de neumático
Nivel 3 (Naranja)	3 o más ciclos consecutivos con TKPH elevado	Leader: Líder IOC + Desarrollo Mina (Team)	- Detener el Camión + Cisterna de Agua - Neumático inspección con termografía
Nivel 2 (Amarillo)	3 ciclos consecutivos con TKPH elevado	Leader: Líder IOC (Individual)	- Detener el Camión - 30 Min
Nivel 1 (Verde)	2 ciclos consecutivos con TKPH elevado	Leader: Controlador Mina (Individual)	- Cambiar de ruta a menos penalizante (Menor Velocidad, Menor distancia)

Nota. Elaborado en base a los controles coordinados con operaciones mina.

Detención preventiva para enfriamiento: Si el TKPH se mantiene elevado por más de dos ciclos operativos consecutivos, se debe detener el camión durante 30 minutos para permitir el enfriamiento de los neumáticos. Esta medida evita daños severos derivados de la acumulación de calor y asegura una mayor durabilidad de los neumáticos.

Control de sobrecarga y restricción de peso: Se estableció un control sobre la carga máxima permitida y habilitar puntos de descarga manual para reducir el peso en ciertos tramos. Esta práctica busca disminuir el esfuerzo excesivo en los neumáticos y contribuye a mantener el TKPH en un nivel seguro.

Mantenimiento de vías: Realizar un mantenimiento constante en las vías para reducir irregularidades y condiciones adversas que puedan aumentar la resistencia y, por ende, del TKPH. Las rutas bien mantenidas facilitan una operación más segura y eficiente, reduciendo el riesgo de desgaste prematuro de los neumáticos.

Posterior a la implementación de los estándares, procedimiento, plan de respuesta y otros controles anteriormente descritos se realizó el análisis del monitoreo del TKPH para verificar el efecto de las medidas tomadas. Como resultado se obtuvo una disminución del TKPH promedio de acuerdo a la Tabla 24 y Figura 28.

Tabla 24

Promedio de TKPH mensual, antes y después de la implementación de controles de TKPH y EFH

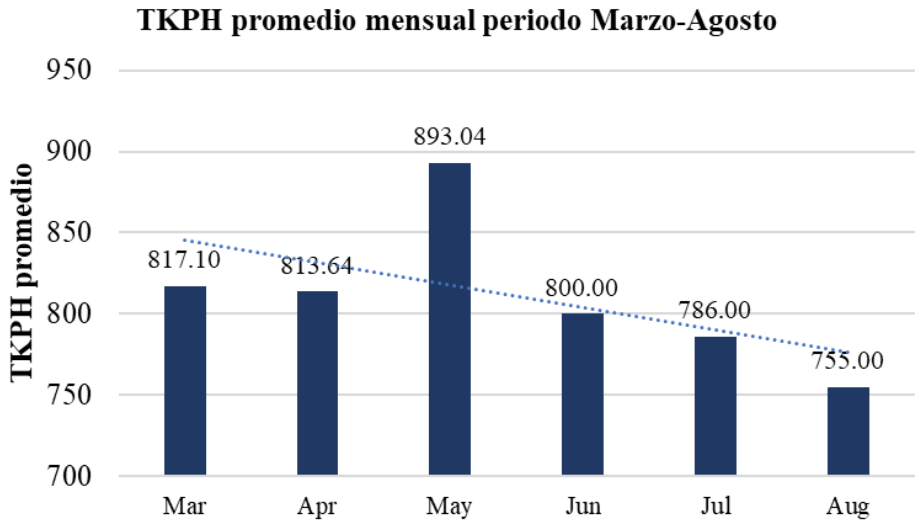
Mes	TKPH promedio	N° Ciclos
Marzo	817.1	32494
Abril	813.6	35065
Mayo	893	33549
Junio	800	36245
Julio	786	35518
Agosto	755	35202
Total de ciclos analizados		208073

Nota. Elaborado en base a los datos del registro de monitoreo de TKPH.

Como se puede observar de la Tabla 24 se analizaron 208,073 ciclos de acarreo con camiones autónomos y se realizó el promedio de TKPH por mes, el mes con mayor TKPH fue el mes de mayo antes de la aplicación de los controles.

Figura 28

Resultados de los controles de TKPH y EFH periodo marzo a agosto del 2024, antes y después de la implementación de controles.

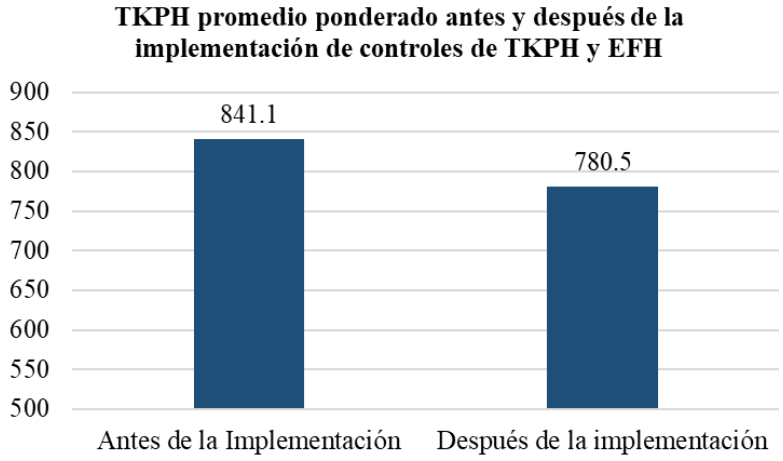


Nota. Elaborado en base a los datos del registro de monitoreo de TKPH.

De la Figura 28 se puede observar una tendencia negativa respecto al promedio de TKPH mensual, esto quiere decir que las medidas implementadas a partir del mes de junio tuvieron un efecto significativo. A partir de estos datos se realizó el promedio ponderado antes y después de la implementación la cual se presenta en la Figura 29.

Figura 29

Promedio ponderado comparado de TKPH antes y después de la puesta en marcha de controles de TKPH y EFH



Nota. Elaborado en base a los datos del registro de monitoreo de TKPH de todos los camiones CAT 794 AC de acarreo.

El promedio ponderado de la Figura 29 toma en cuenta la cantidad de ciclos y el promedio de TKPH del mes de acuerdo con el monitoreo de TKPH. Se puede observar que durante los meses de marzo, abril y mayo el promedio de TKPH fue de 841 mientras que después de la implementación de controles de TKPH, el promedio de TKPH fue de 780.5 es decir 7.2% menor durante los meses de junio, julio y agosto.

Reducción del número de eventos de TKPH elevado

Asimismo, se evaluó el número de eventos con TKPH elevado por mes antes y después de la implementación de las medidas de control, como resultado se observó la reducción de los eventos de TKPH elevado de acuerdo a la Tabla 25 y Figura 29.

Tabla 25

Resultados de las medidas de control de TKPH y EFH en el número de eventos de TKPH alto

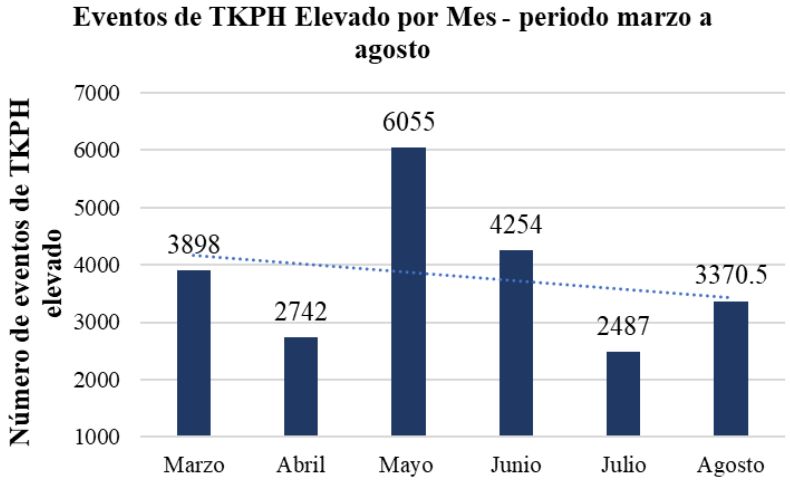
Mes	Eventos de TKPH elevados
Marzo	3898
Abril	2742
Mayo	6055
Junio	4254
Julio	2487
Agosto	3370

Nota. Elaborado en base a los datos del registro de monitoreo de TKPH de todos los camiones CAT 794 AC de acarreo.

Durante los meses de marzo, abril y mayo se tuvo un promedio mensual de eventos de TKPH elevado de 4231. Por otra parte, después de la implementación de los controles detallados anteriormente como estándar, procedimiento, plan de respuesta, monitoreo, etc, se observó una reducción del 20%, es decir el promedio de los eventos de los meses de junio, julio y agosto fue de 3370, considerablemente menor. La Figura 30 representa la tendencia en la reducción de eventos TKPH elevado.

Figura 30

Número de eventos de TKPH elevado (>=1300) antes y después de la implementación de controles.



Nota. Elaborado en base a los datos del registro de monitoreo de TKPH de todos los camiones CAT 794 AC de acarreo.

Se observa una tendencia lineal negativa respecto del número de eventos de TKPH elevado, lo que representa gráficamente la reducción de eventos TKPH. Por tanto, del análisis anterior se puede observar que las medidas de control de TKPH tuvieron un efecto positivo en la mejora de las operaciones de carguío y acarreo en tanto los eventos de TKPH elevado causan retrasos y mermas en la productividad debido a paradas y control de temperatura de los neumáticos.

4.1.3.3. Comprobación de hipótesis para el objetivo específico 3

Para comprobar la hipótesis específica 3 se procederá a realizar la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para verificar que los datos obtenidos de la Tabla 26 son normales y después proceder a realizar la prueba t.

Tabla 26

Grupos de datos para la comprobación de hipótesis específica 3

Antes de la implementación de controles de TKPH		Después de la implementación de controles de TKPH	
Marzo	3898	Junio	4254
Abril	2742	Julio	2487
Mayo	6055	Agosto	3370

Nota. Elaborado en base a los datos del registro de monitoreo de TKPH de todos los camiones CAT 794 AC de acarreo.

Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk

Usaremos la prueba de Shapiro-Wilk para ambos grupos de datos de la Tabla 26 y determinamos si hay evidencia suficiente para afirmar que los datos provienen de una distribución normal. Los resultados de esta prueba nos darán un valor de p (p-valor):

- Si $p > 0.05$, los datos no se desvían significativamente de una distribución normal.
- Si $p < 0.05$, los datos no siguen una distribución normal.

Los resultados de la prueba de normalidad para ambos grupos de datos se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27

Prueba de normalidad para los datos de aplicación de controles de TKPH y EFH

Parámetro	Valores (Antes)	Valores (Después)
P-valor	0.9959	1
W	0.9704	1
n	3	3
Promedio	4231.6667	3370.3333
Mediana	3898	3370
Desv. Est.	1681.5149	883.5
Suma de cuadrados	5654984.667	1561144.667
Asimetría	0.8578	0.001698
Forma de la asimetría	Potencialmente simétrica(pval=0.484)	Potencialmente simétrica(pval=0.99)
Forma de la curtosis	Potencialmente Mesocúrtica	Potencialmente Mesocúrtica)

Nota. Elaborado con el programa estadístico SPSS 29.0.

De acuerdo a la prueba de normalidad los dos grupos de datos siguen una distribución normal por lo que se realizará la prueba T de Student.

Prueba t para muestras relacionadas (prueba t de muestras pareadas)

Esta prueba se realiza para evaluar la normalidad de datos emparejados, por ejemplo, las mismas personas o unidades de observación evaluadas antes y después de la aplicación de los controles de TKPH elevado. Esta prueba compara las medias

de dos muestras relacionadas para ver si existen diferencias significativas. Para esto se plantea la hipótesis nula y alternativa:

Hipótesis nula (H_0): No hay diferencia significativa en la ocurrencia de eventos de TKPH elevado antes y después de aplicar el control de TKPH y EFH. (La reducción de los eventos de TKPH elevado es no significativa).

Hipótesis alternativa (H_1): El control de TKPH de camiones tiene un impacto significativo en la reducción de eventos de sobrecarga.

La Tabla 28 muestra los resultados de la prueba T de student.

Tabla 28

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas – Control de TKPH y EFH para reducir los eventos de TKPH elevado

Parámetro	Antes de la implementación de controles de TKPH	Después de la implementación de controles de TKPH
Media	4231.666667	3370.3333
Varianza	2827492.333	780572.33
Observaciones	3	3
Coeficiente de correlación de Pearson	0.343430814	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	2	
Estadístico t	0.927425615	
P(T<=t) una cola	0.02258065	
Valor crítico de t (una cola)	2.91998558	
P(T<=t) dos colas	0.451613076	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30265273	

Nota. Elaborado con el programa estadístico SPSS 29.0.

- Si p > 0.05 en la prueba t de muestras pareadas, no se rechaza la hipótesis nula.
- Si p < 0.05, se rechaza la hipótesis nula a favor de la hipótesis alternativa.

En el presente caso p=0.022<0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa: El control de TKPH y EFH para camiones autónomos 794 AC tiene un impacto significativo en la reducción de eventos de

TKPH elevado que producen retrasos y costos en las operaciones de carguío y acarreo.

4.1.4. Reducción de costos mediante controles digitales de camiones autónomos 794 AC

Para evaluar los resultados de reducción de costos de la implementación de controles digitales para mejorar las operaciones de carguío y acarreo se realizó la evaluación por cada uno de los objetivos específicos anteriores, calculando para cada caso, a nivel de estimación, la reducción de costos acumulado anual.

4.1.4.1. Reducción de costos y controles de cúspides

Para el control de cúspides se obtuvo una mejora de 2.93% en los tiempos de aculatamiento, es decir se redujo en 3% el tiempo de espera de los equipos de carguío. Para el cálculo de la reducción de costos se tomará en cuenta la productividad tanto de los camiones autónomos como de los equipos de carguío. La Tabla 29 describe el cálculo proyectado anual del tiempo total mejorado tanto de los equipos de carguío como de los camiones autónomos 794 AC.

Tabla 29

Cálculo de mejora de tiempo de cúspides y proyección anual para el cálculo de la reducción de costos

Cúspides	Tiempo de cúspides (minutos)	Tiempo de cúspides (horas)
Marzo	2375.2	39.6
Abril	2548.5	42.5
Mayo	2690.3	44.8
Proyección anual acumulada	30456	507.6
Mejora (3%)	914	15.2
Tiempo Mejorado Camiones 794 AC	914	15.2
Tiempo Mejorado Equipos de Carguío	914	15.2
Total Tiempo Mejorado	**1827**	**30.5**

Nota. Elaborado con el programa estadístico SPSS 29.0.

Una vez que se han calculado un total de 30.5 horas de reducción de tiempos improductivos se calculó de acuerdo a la Tabla 30 la reducción de costos por aumento de productividad y reducción de tiempos en stand-by de los equipos de la unidad minera.

Tabla 30

Cuadro de costos por reducción de tiempos improductivos debido a la aplicación de controles de cúspide.

Concepto	Descripción	Unidad de medida	Unidades	$/unidad (USD)	Total
Combustible Stand-By Camión 794AC	Combustible camiones autónomos 794AC tiempo de espera inoperativo.	Galón	991.25	5	4956.25
Combustible Stand-By Pala Hidráulica	Combustible equipos de carguío tiempo de espera inoperativo.	Galón	1296.25	5	6481.25
Parada de Camiones	Pérdida de productividad - Camión 794AC en Stand-by	Horas	15.25	507	7731.75
Parada de Equipos de carguío	Pérdida de productividad - Equipos de carguío en Stand-by	Horas	15.25	1207	18406.75
Supervisión Mina	Supervisores en stand-by	Horas	15.25	35	533.75
Operadores	Operadores centro de control y de equipos de carguío en stand-by.	Horas	15.25	35	533.75
	Total (USD)				**38643.5**

Nota. Costos estimados a partir de precios de mercado 2024.

Es así que para el objetivo específico 1 de reducción de tiempos de cúspide y mejora de tiempos operativos se estima una reducción de costos de USD 38.6 mil.

4.1.4.2. Reducción de costos y controles para camiones con sistema Sideboard

Para calcular la reducción de costos debido a los controles de camiones con sistema Sideboard se realizó el cálculo de la Tabla 31. En primer lugar, se realizó la proyección anual tomando como línea base el promedio de eventos de sobrecarga de los meses de enero a mayo de 2024. Como resultado se obtuvo que el número de eventos de sobrecarga al año sin la aplicación de controles es de 924 eventos al año, no obstante gracias a los controles aplicados se redujo esta cifra en 11.7%. Esto quiere decir que la aplicación de los controles Sideboard no solo redujo las sobrecargas de los 12 camiones con Sideboard sino de los restantes 18 camiones sin este sistema. En total la aplicación de los controles redujo el número de eventos de sobrecarga en 108 al año.

Tabla 31

Cálculo de reducción de tiempos improductivos por reducción del número de sobrecargas anualizado.

Tiempos improductivos	Valor
N° Eventos de sobre carga - Enero	80
N° Eventos de sobre carga - Febrero	85
N° Eventos de sobre carga - Marzo	55
N° Eventos de sobre carga - Abril	76
N° Eventos de sobre carga - Mayo	89
Proyección anual de eventos de sobrecarga	924
Mejora-Reducción del número de sobrecargas (11.7%)	108
Duración de paradas por cada sobrecarga (Segundos)	13620
Total de reducción de tiempos improductivos (Segundos)	1’472,465
Total de reducción de tiempos improductivos (Horas)	409

Nota. Proyección anual en base a los meses analizados de enero a mayo antes de la implementación de controles.

Luego para el cálculo del tiempo improductivo se multiplicó el número de eventos evitados por el promedio de duración de un evento de parada por sobrecarga, que es de 13,620 segundos. Una parada por sobrecarga involucra no solo el stand-by del equipo sino descargas manuales de la carga, tiempos inoperativos en talleres por monitoreo, intervención de equipos de mantenimiento,

equipos de emergencias, tiempos muertos por mantenimiento, reducción de tiempo de vida útil de los neumáticos, etc.

En la Tabla 32 se presentan los costos asociados a la reducción de 409 horas de tiempos improductivos debido a la reducción de 11.7% de sobrecargas al año. El costo más importante es el de los neumáticos OTR para camiones autónomos 794 AC, sobre los cuales se estima el ahorro del equivalente de vida útil de 10 neumáticos OTR.

Tabla 32

Cuadro de costos por reducción de tiempos improductivos debido a la aplicación de controles de camiones con sistema Sideboard.

Concepto	Descripción	Unidad de medida	Unid.	$/unidad (USD)	Total (USD)
Combustible Stand-By Camión 794AC	Combustible camiones autónomos 794AC, redireccionamiento, movilización al taller, etc.	Galón	12679	5	63,395.00
Parada de Camiones	Pérdida de productividad - Camión 794AC en Stand-by	Horas	409	507	207,363.00
Supervisión y técnicos de mantenimiento	Supervisores, técnicos de mantenimiento correctivo.	Horas	409	35	14,315.00
Mantenimiento	Mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo.	Por evento	108	220	23,760.00
Vida útil de neumáticos.	Las sobrecargas generan pérdidas de vida útil de los neumáticos.	Por neumático	10	41,500.00	415,000.00
TOTAL (USD)					**723,833.00**

Nota. Costos estimados a partir de precios de mercado 2024.

Este punto es importante debido a que el tiempo perdido que las sobrecargas de los camiones con Sideboard generan consumen la vida útil del neumático, pero sobre todo generan la reducción de su vida útil al exponer al neumático a cargas para las

cuales no han sido diseñados, además existe el riesgo de rotura, desprendimiento del caucho, sobrecalentamiento, incendio del neumático, entre otros.

Por tanto, para el objetivo específico 2 de la presente investigación se estima una reducción de costos de USD 724 mil al año por la prevención de eventos de sobrecarga de los camiones autónomos 794 AC gracias a las medidas de control adoptadas para los sistemas Sideboard.

4.1.4.3. Reducción de costos y controles TKPH para reducción de eventos de TKPH elevados

Para el cálculo de la reducción de costos por reducción de eventos de TKPH altos se realizó la proyección anual de eventos con que superarían los 1300 TKPH para un escenario sin la aplicación de las medidas de control de TKPH y EFH. Como resultado se proyectaron 50,780 eventos TKPH alto al año de los cuales 20% serían evitados debido a los controles aplicados, es decir 10156 eventos. Ahora bien, de estos 10156 no todos producen eventos de paradas de camiones o incidentes por sobrecalentamiento de neumáticos, por lo que se aplicó un filtro de TKPH>=1900 para tomar en cuenta solo los eventos más graves. La Tabla 33 muestra la reducción de tiempos improductivos gracias a la reducción de la sobrecarga.

Tabla 33

Cálculo de reducción de tiempos improductivos por reducción del número de sobrecargas anualizado.

#Eventos Marzo	3898
#Eventos Abril	2742
#Eventos Junio	6055
Proyección Anual de Eventos TKPH alto	50780
Reducción de Eventos TKPH alto (20%) anual	10156
# Eventos con TKPH > 1900 (1.08%) anual	109.6
Duración de paradas por TKPH Alto	13620
Reducción de tiempos improductivos (Segundos)	1492752
Reducción de tiempos improductivos (Horas)	414.7

Nota. Datos procesados a partir de información del registro de monitoreo de TKPH de la unidad minera.

Al aplicar el filtro de >=1900 se halló que el 1.08% de los eventos de TKPH altos resultan en eventos graves de sobrecalentamiento y ameritan paradas y controles de emergencia. Por tanto, de los 10,156 se han considerado tan solo 109 (1.08%) como eventos que producen paradas y que han sido evitados gracias a las medidas de control de eventos TKPH altos detallados anteriormente. Sobre esta base se aplicó el cálculo promedio de 13 620 segundos de duración de cada parada, haciendo un total de 414 horas de tiempos improductivos evitados.

Sobre los datos de reducción de tiempos improductivos calculados de la Tabla 33 se procedió a calcular los costos evitados de acuerdo a la Tabla 34.

Tabla 34

Cuadro de costos por reducción de tiempos improductivos debido a la aplicación de controles de TKPH alto.

Concepto	Descripción	Unidad de medida	Unid.	$/unidad (USD)	Total (USD)
Combustible Stand-By Camión 794AC	Combustible camiones autónomos 794AC, redireccionamiento, movilización al taller, etc.	Galón	12679	5	63,395.00
Parada de Camiones	Pérdida de productividad - Camión 794AC en Stand-by	Horas	414	507	209,898.00
Supervisión y técnicos de mantenimiento	Supervisores, técnicos de mantenimiento correctivo.	Horas	414	35	14,490.00
Mantenimiento	Mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo.	Por evento	109	220	23,980.00
Vida útil de neumáticos.	Las sobrecargas generan pérdidas de vida útil de los neumáticos.	Por neumático	12	41,500.00	498,000.00
TOTAL (USD)					**809,763.00**

Nota. Costos estimados a partir de precios de mercado 2024.

Por tanto, para el objetivo específico 3 de la presente investigación se estima una reducción de costos de USD 810 mil al año por la prevención de eventos de TKPH elevado de los camiones autónomos 794 AC gracias a las medidas de control implementadas. La Tabla 35 muestra un resumen del total de reducción de costos evitado correspondientes a los objetivos específicos 1,2 y 3.

Tabla 35

Cuadro resumen de reducción de costos de la implementación de controles para los objetivos específicos 1, 2 y 3.

Concepto	Costo Evitado
Implementación de controles de cúspides.	$38,643.50
Implementación de controles de camiones con sistemas Sideboard	$723,833.00
Implementación de controles para reducción de eventos de TKPH elevados	$809,763.00
Total	**$1,572,239.50**

Nota. Elaborado en base a las Tablas 30, 32 y 34

4.2. Discusión

Los resultados demuestran que la implementación de camiones autónomos CAT 794 AC junto con controles digitales ha mejorado significativamente la eficiencia operativa y la productividad en la unidad minera a cielo abierto. Este hallazgo es consistente con estudios previos, como el de Leiva (2020, pp.76-78), que señala que la automatización en el sector minero puede reducir costos operativos y aumentar la confiabilidad en las operaciones. En la presente investigación, la reducción de tiempos improductivos y la mejora de los ciclos de carguío y acarreo corroboran que la digitalización no solo agiliza el proceso, sino que también disminuye el desgaste del equipo, maximizando el tiempo de funcionamiento y la producción total. Este impacto positivo se ve reflejado en la disminución de eventos de sobrecarga y tiempos de inactividad de 409 horas anuales, lo cual también implica una reducción de costos significativa, estimada en USD 1.57 millones. Estos resultados enfatizan que la automatización es una

inversión con un retorno económico claro y mensurable, aspecto que debe ser considerado por la industria minera como una ventaja competitiva.

La implementación del sistema Sideboard ha demostrado tener tanto beneficios como desafíos operativos. Si bien permite transportar un volumen mayor de material, los eventos de sobrecarga, tal como indica Guieiro et al. (2019, p.8), pueden acortar la vida útil de los neumáticos y aumentar los costos de mantenimiento. En la presente investigación, se observó que los controles digitales específicos, como Terrain y Accuload, lograron reducir los eventos de sobrecarga en un 16% en los camiones con Sideboard, y un 11.7% en general, lo que evitó 409 horas de tiempos improductivos. Esto refleja la efectividad de los controles digitales para equilibrar los beneficios del sistema Sideboard con la reducción de sus inconvenientes. Es importante, como se observó en el estudio de Guieiro et al. (2019), que se realice una capacitación integral y continua del equipo de trabajo para que comprendan el sistema y puedan reaccionar de manera adecuada ante situaciones críticas que impacten en la productividad.

La reducción de eventos de TKPH alto fue significativa en esta investigación, disminuyendo un 20% de dichos eventos y reduciendo el TKPH promedio en un 7.2%. Estudios como los de Davila (2022, p.89) y Cruz (2021, p.48) han mostrado cómo la mejora de parámetros como el TKPH puede prolongar la vida útil de los neumáticos y reducir costos operativos asociados. A su vez, esta investigación demuestra que una adecuada gestión del TKPH, mediante controles, adecuada gestión, optimización de rutas y procedimientos de enfriamiento, permite una utilización más eficiente de los recursos de la mina, disminuyendo el desgaste de los neumáticos. A nivel de la mina, esta estrategia permite evitar costos por cambio de neumáticos y pérdidas asociadas al tiempo de parada de los camiones, concluyendo que el control del TKPH no solo es una medida de mejora, sino también una práctica sostenible en términos de mantenimiento preventivo.

La reducción de tiempos improductivos gracias a los controles digitales, que permitió evitar 414 horas de inactividad anuales, demuestra un ahorro económico importante. Comparando estos resultados con los encontrados en investigaciones anteriores, se puede observar una tendencia en el sector hacia la disminución de costos a través de tecnologías avanzadas. En el estudio de Chura (2019, p.67), el

análisis de tiempos improductivos mostró la importancia de reducir tiempos de inactividad y mejorar la eficiencia operativa a través de controles y planificación estratégica. La presente investigación demostró la influencia que tienen los controles digitales y la planificación al encontrar que las intervenciones digitales, tales como el control de cúspides, permiten reducir la incidencia de tiempos de espera y sobrecargas, con un impacto directo en los costos operativos y en la prolongación de la vida útil de los componentes de los camiones autónomos.

V. CONCLUSIONES

La implementación de controles digitales para la operación y gestión de camiones autónomos CAT 794 AC ha demostrado ser una estrategia eficaz para mejorar las operaciones de carguío y acarreo en una unidad minera a cielo abierto, mejorando tanto la eficiencia operativa como la productividad global. Las innovaciones en el control de cúspides y sistemas como Terrain y Accuload contribuyen a reducir los tiempos improductivos y mejorar el ciclo productivo, reflejándose en una disminución significativa de los tiempos de espera y en una menor incidencia de eventos de sobrecarga y de TKPH elevado. La integración de estos sistemas, junto con prácticas de gestión mejoradas permite la reducción anual de 409 horas de tiempos improductivos y una mejora en el índice TKPH, disminuyendo los eventos de TKPH alto en un 20% y logrando un ahorro significativo en costos operativos, estimado en USD 1.57 millones. Los resultados indican que los controles digitales con una adecuada supervisión y gestión operativa de camiones autónomos mejoran significativamente las operaciones de carguío y acarreo.

El estudio demuestra que la implementación de controles digitales en los camiones autónomos mineros para un control de cúspides efectivo ha contribuido de manera significativa a la reducción del tiempo del ciclo de carguío y acarreo en la unidad minera a cielo abierto. Las intervenciones, que incluyeron capacitaciones para supervisores y la adopción de procedimientos estandarizados, influyeron en la mejora del tiempo de aculatamiento, disminuyendo los tiempos de espera improductivos de los equipos de carguío. Los resultados muestran una reducción gradual y sostenida en el tiempo de aculatamiento desde el mes de febrero hasta agosto de 2024, alcanzando una disminución total de un 8% en los tiempos de espera de los equipos de carguío para el mes de agosto. Gracias a estas mejoras, se logró incrementar la productividad de los equipos de carguío, reduciendo en promedio los tiempos de espera en aproximadamente 30.5 horas anuales, demostrando la efectividad de los controles digitales y el impacto positivo del control de cúspides sobre la eficiencia operativa de la mina. Para evaluar la efectividad del control de cúspides, se realizó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk, obteniendo un p-valor de 0.22 para la muestra inicial y 0.13 para la muestra posterior, lo que indica una distribución normal de los datos. Posteriormente, se

aplicó la prueba t para muestras relacionadas, obteniendo un valor de $p = 0.047 < 0.05$, confirmando que la implementación del control de cúspides tiene un impacto significativo en la reducción del tiempo del ciclo de carguío y acarreo en la operación minera.

La implementación de controles para camiones autónomos con el sistema Sideboard demostró beneficios en la mejora del carguío y acarreo. Si bien el sistema Sideboard permite transportar un mayor volumen de material, se evidenció que estaban más propensos a generar eventos de sobrecarga que no solo aumentan los tiempos improductivos, sino que también acortan significativamente la vida útil de los neumáticos. Los resultados muestran que, al implementar controles digitales, especialmente el sistema Terrain en conjunto con el sistema Accuload y controles de supervisión, se logró una reducción efectiva de los eventos de sobrecarga, alcanzando una disminución promedio del 16% de sobrecargas en los camiones con Sideboard y del 11.7% a nivel global. Esta reducción de sobrecargas permitió evitar 409 horas anuales de tiempos improductivos producidos por sobrecargas. Para evaluar la efectividad de los controles digitales en camiones con sistema Sideboard, se realizó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk, obteniendo un p-valor de 0.8112 para la muestra inicial y 0.5622 para la muestra posterior, lo que indica una distribución normal de los datos. Posteriormente, se aplicó la prueba t para muestras relacionadas, obteniendo un valor de $p = 0.012 < 0.05$, confirmando que la aplicación de controles de camiones con sistema Sideboard tiene un impacto significativo en la reducción de eventos de sobrecarga,

La implementación de controles digitales en los camiones autónomos ha demostrado ser una estrategia efectiva para mejorar el índice de Tonelada-Kilómetro por Hora (TKPH) y mejorar las operaciones de carguío y acarreo. Los resultados muestran que los controles específicos en seguridad, monitoreo, optimización de rutas y procedimientos de enfriamiento lograron una reducción del TKPH promedio del 7.2%, y una disminución del 20% en los eventos de TKPH elevado. Este logro representa 414 horas anuales de tiempo improductivo evitado, lo que indica una mejora significativa en la productividad y en la utilización de los camiones autónomos. A su vez, el análisis realizado revela que el factor de mayor impacto en el incremento de TKPH es la longitud del recorrido, mientras que la carga acarreada tuvo una incidencia menor. Además, se determinó que los eventos

de TKPH elevado no variaron de equipo a equipo, por lo que estos eventos pueden ser controlados con prácticas y una adecuada gestión operativa. Se realizó la prueba de Shapiro-Wilk, obteniendo un p-valor de 0.9959 para la muestra inicial y 1 para la muestra posterior, lo que demostró una distribución normal de los datos. Mediante la prueba t para muestras relacionadas, se obtuvo un valor de $p = 0.022 < 0.05$. Esto permitió rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, demostrando que el control de TKPH y EFH en los camiones autónomos 794 AC tiene un impacto significativo en la reducción de eventos de TKPH elevado, lo que contribuye a minimizar retrasos y costos en las operaciones de carguío y acarreo.

La implementación de controles digitales en camiones autónomos CAT 794 AC en demostró ser efectiva en la reducción de costos asociados a las operaciones de carguío y acarreo. Los controles sobre cúspides, el uso de camiones con sistemas Sideboard y la gestión de eventos de TKPH alto permitieron una mejora significativa en tiempos improductivos y una reducción notable de costos operativos anuales. Estos controles no solo mejoran la eficiencia de las operaciones al minimizar el tiempo en stand-by de los camiones y equipos de carguío, sino que también extienden la vida útil de los neumáticos al reducir la exposición a condiciones de sobrecarga y calor (TKPH alto). Las medidas implementadas generaron un ahorro total anual estimado de USD 1.57 millones, lo que confirma la viabilidad y el impacto positivo de la aplicación de controles digitales en la minería moderna.

VI. RECOMENDACIONES

Para consolidar y expandir los beneficios del control de cúspides, se recomienda mantener y mejorar el sistema de monitoreo continuo del control de cúspides facilitando el acceso de datos en tiempo real tanto a supervisores como a los lideres. Esto permitirá ajustar las operaciones de manera oportuna y mantener el rendimiento óptimo. Además, se sugiere establecer un programa periódico de capacitación para los supervisores y lideres, centrado en la mejora del tiempo de aculatamiento y el uso eficiente de los controles digitales. Debido a la gran cantidad de datos en tiempo real disponibles que los controles digitales ofrecen, se recomienda la adopción de tecnología de análisis predictivo podría complementar estos controles, anticipando posibles ineficiencias y contribuyendo aún más a la mejora continua de los procesos de carguío y acarreo.

Se recomienda implementar un programa integral de gestión y control de sobrecargas que incluya tres pilares: optimización de controles digitales, capacitación del personal y monitoreo continuo. En términos de tecnología, se sugiere priorizar el uso del sistema Terrain sobre el Accuload para mejorar la precisión en la asignación de carga, especialmente en camiones con Sideboard, dado su menor precisión en el control adecuado de las operaciones de carguío.

Es igualmente importante desarrollar un programa de formación dirigido a los operadores de carguío para mejorar sus prácticas de carga y garantizar que operen dentro de los parámetros de capacidad del equipo. Finalmente, se sugiere implementar un sistema de monitoreo continuo y de feedback inmediato para los operadores, de modo que se pueda mantener un control constante y correctivo sobre los eventos de sobrecarga, reduciendo así tiempos improductivos y costos adicionales asociados al mantenimiento de neumáticos y otros componentes del equipo.

Para consolidar la mejora en la eficiencia de los camiones autónomos, se recomienda implementar un sistema de monitoreo de temperatura en tiempo real, ajustable a las condiciones climáticas específicas de cada hora del día. La utilización de sensores calibrados a las temperaturas ambientales reales permitirá establecer valores precisos de TKPH, especialmente durante los meses más cálidos y las primeras horas de la mañana. Esto reducirá la probabilidad de falsos positivos

en los eventos de TKPH elevado y permitirá aplicar controles más específicos, previniendo el desgaste prematuro de los neumáticos y mejorando la productividad general. Además, se sugiere continuar evaluando y adaptando las rutas de los camiones y las prácticas de enfriamiento para mantener los índices de TKPH dentro de los valores óptimos y garantizar una operación segura y rentable a largo plazo.

VII. REFERENCIAS

Aben, K., Orazaliyev1, Y. y Suorineni F. (2020). En *Proceedings of the 28th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection - MPES 2019*. Topal, E. (Ed.). Springer Series in Geomechanics and Geoengineering. doi:10.1007/978-3-030-33954-8

Ahumada, J. (2018). *Evaluación y Simulación de Sistemas de Transporte Basados en Tecnología Autónoma en Minera Escondida*. [Tesis de pregrado, UC]. Repositorio Institucional de la Universidad de Chile. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/151398

Atapoma, J. (2019). Optimización de las operaciones unitarias de carguío y acarreo en la mina de Tajo Norte de Sociedad Minera el Brocal, implementando el sistema de despacho Mine Sense. [Tesis de pregrado]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1498

Ballantyne, R. (2019). *Challenging the Norms Time Usage Model For Mobile Underground Mining Equipment*. RAK developments 2019. https://www.ausimm.com/globalassets/bulletin/challenging-the-norms---time-usage-model-for-mobile-underground-mining-equipment.pdf

CAT (2024). *Palas hidráulicas para minería 6060*. Disponible el 07 de noviembre de 2024 en https://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/hydraulic-mining-shovels/hydraulic-mining-shovels/104540.html

Caterpillar (2020). *500+ Autonomous Trucks Operating Worldwide With Cat® Command For Hauling*. Disponible en https://www.caterpillar.com/en/news/caterpillarNews/2022/500-autonomous-truckshtml#:~:text=500%2B%20Autonomous% 20Trucks%20Operating%20Worldwide%20With%20Cat%C2%AE%20Command%20for%20Hauling,-February%203%2C%202022&text=Caterpillar%20has%20long%20been%20recognized,autonomous%20trucks%20in%20operation%20worldwide.

Caterpillar (s.f.). *794 AC Mining Truck*. Obtenido el 28 de mayo de 2024 de https://static.ferreyros.com.pe/fcsaprdferreyros01/2018/03/794AC-Brochure.pdf

Chura, W. (2019). *Propuesta de un plan de control de utilización para flotas de acarreo de una mina a tajo abierto*. [Tesis de Pregrado]. Repositorio Institucional de la Universidad Continental.

Cruz, C. (2021). *Aplicación del análisis TKPH para determinar los neumáticos OTR óptimos para la operación en la flota de acarreo caterpillar 793f – mina constancia.* [Tesis de pregrado]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua.

Dashavskaya, O. (2021). *Impacto Económico de la Implementación de Equipos Robóticos y Teleoperados en la Minería a Cielo Abierto*. [Tesis de maestría, UC]. Repositorio de la Universidad de Chile. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/180277

Da Silva, V., Rodrigues, G., Alves, P., Casagrande, P. y Fernandes, L. (2020). En *Proceedings of the 28th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection - MPES 2019*. Topal, E. (Ed.). Springer Series in Geomechanics and Geoengineering. doi:10.1007/978-3-030-33954-8

Davila, E. (2022). *Optimización de costos de acarreo y transporte de mineral mediante el incremento de tiempo de vida de los neumáticos en una unidad minera superficial – 2021*. [Tesis de Pregrado]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Moquegua.

Davila, E., Barriga C., Silva A., Rivera, L., Sanga, L., Tumba, R., Ripas, R., Tumba, A. y Rios, M. (2023). Influencia del impacto del TKPH en la producción diaria en una unidad minera. *Eupean Chemical Bulletin.*¸(12), 13, 1394-1400. doi:10.53555/ecb/2023.12.Si13.233

El Comercio (16 de enero de 2019). *Inversión minera sumó US$4.181 millones entre enero y noviembre del 2018*. Obtenido de: https://elcomercio.pe/economia/peru/inversion-minera-sumo-us-4-181-millones-periodo-enero-noviembre-2019-noticia-nndc-598327-noticia/

Ferreyros (s.f.). *Camiones para Minería 794 AC*. Ferreyros S.A. Consultado el 28 de mayo de 2024 en https://www.ferreyros.com.pe/equipo/794-ac/?parent=761

Ferreyros (2024). *Tecnología para la Minería – MINESTAR*. Consultado el 18 de diciembre en https://www.ferreyros.com.pe/tecnologia/tecnologia-para-la-mineria/minestar/

Gómez, T., Crabtree, J., Paredes, M., Reyes, A., Thorp, R., Zambrano, G. y Hurtado, E. (2019). Dialogue and Human Rights in the Mining Sector. Learning from Peru. *Peru Support Group 2019.* Disponible en https://www.researchgate.net/publication/355040752_Dialogue_and_Human_Rights_in_the_Mining_Sector_Learning_from_Peru

Guieiro, G., Leitão E., Balbino, E. y van Melis, L. (2019). Implantação de caminhões fora de estrada autônomos na indústria de mineração. 20º Simpósio de Mineração. *ABM Week 2019.* São Paulo, SP, Brasil. doi: 10.5151/2594-357X-33680

Hexagon. (2024). *Gestión de flotas para minas*. Consultado el 27 de mayo de 2024 de https://hexagon.com/es/solutions/mine-fleet-management

Leiva, C. (2020). *Análisis de implementación de camiones autónomos en mina a cielo abierto*. [Tesis de Pregrado]. Repositorio Institucional de la Universidad de Chile.

Leiva, D. (2019). *Implementación del sistema Dispatch: Control de equipos de carguío y acarreo en minería a cielo abierto para optimizar costos operativos en la compañía minera Shougang Hierro Perú S.A.A. – Mina 5-Marcona-Perú.* [Tesis de pregrado – UNASAM]. Repositorio de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4316

Olivares, C. (2019). *Proyecto Implementación Camiones Autónomos en Esperanza Sur*. Centinela Antofagasta Minerals. Chile.

Ortiz, L. y Herrera, L. (2022). *Implementación y puesta en marcha de los primeros camiones autónomos en el Perú*. Perumin 35. Convención Minera realizada del 26 al 30 de septiembre de 2022.

Pourrahimian, Y., Ben-Awuah E., y Askari-Nasab, H. (2017). *Mining Optimization Laboratory (MOL) – Report Eight*. Universidad de Alberta, Edmonton, Canada. ISBN: 978-1-55195-383-0.

Ribeiro, A., da Silva, V., Alves, P., Correia, R., Rodrigues, G., Benedito, P. y Fernandes, L. (2020). En *Proceedings of the 28th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection - MPES 2019*. Topal, E. (Ed.). Springer Series in Geomechanics and Geoengineering. doi:10.1007/978-3-030-33954-8

Ruiz, C. (2021). *Estrategia para Gestionar el Cambio de una Operación Minera Manual a una Operación Minera Autónoma*. [Tesis de maestría, Universidad de Chile]. Repositorio Institucional de la Universidad de Chile. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/181571

Topal, E. (Ed.). (2020). Proceedings of the 28th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection - MPES 2019. *Springer Series in Geomechanics and Geoengineering*. doi:10.1007/978-3-030-33954-8

VIII. ANEXOS

8.1. Matriz de Consistencia

Título de la investigación: Mejoramiento del Carguío y Acarreo mediante Controles Digitales de Camiones Autónomos en una mina a cielo abierto.

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Método
General ¿Cómo mejorar el carguío y acarreo mediante controles digitales de camiones autónomos CAT 794 AC en una mina a cielo abierto en el año 2024?	**General** Mejorar las operaciones de carguío y acarreo a través de controles digitales eficientes de camiones autónomos mineros CAT 794 AC en una mina a cielo abierto en el año 2024.	**Principal** La mejora de los procesos del ciclo productivo a través de controles digitales de los camiones autónomos mineros CAT 794 AC reducirá los tiempos de carguío y acarreo incrementando la productividad de la mina a cielo abierto de manera significativa.	**Variable dependiente:** Mejoramiento de carguío y acarreo. **Dimensión Tiempos** - Tiempos primarios, secundarios y terciarios de acuerdo al Modelo de Tiempo de Uso (horas, minutos y segundos). **Dimensión Costos** - Costo por tonelada ($/TN) **Variables independientes:** Controles digitales de camiones autónomos. **Dimensiones** 1) Control de Cúspides 2) Sistema Sideboard 3) TKPH **Indicadores:** - Tiempo del ciclo de carguío (horas, minutos, y segundos). - Utilización de los camiones autónomos (%). - TKPH	**A. Tipo de investigación** Aplicada **B. Diseño de la investigación** Descriptivo correlacional. **C. Ámbito de estudio** Una unidad minera a cielo abierto de extracción de cobre ubicada en el sur del Perú **D. Población** Ciclos productivos con camiones autónomos de la mina a cielo abierto. **E. Muestra** La muestra probabilística será de 15552 ciclos productivos de las operaciones de acarreo y transporte con camiones autónomos en una mina a cielo abierto en el año 2024. **F. Técnicas de recolección de datos** Observación y registros de datos de tiempos de carguío y acarreo. **G. Instrumentos** - Reportes de operación. - Reportes del Modelo de Uso de Tiempo (TUM) - Sistema de monitoreo y control de equipos MINESTAR. - Excel/SPSS para el análisis estadístico.
Específicos (1) ¿Cuál es la influencia del control de cúspides actual en la mejora del carguío y acarreo en una mina a cielo abierto en el año 2024?	**Específicos** (1) Determinar el efecto del control de cúspides en la mejora de las operaciones de carguío y acarreo con el fin de reducir tiempos de los ciclos de carguío y acarreo en una mina a cielo abierto en el año 2024.	**Específicas** (1) Un control de cúspides eficiente de controles digitales de camiones autónomos mineros de la mina a cielo abierto tendrá un impacto significativo en la reducción del tiempo del ciclo de carguío y acarreo.		
(2) ¿Cómo el uso de camiones autónomos mineros con sistema *Sideboard* incide en la mejora de los procesos de carguío y acarreo en una mina a cielo abierto en el año 2024?	(2) Identificar la asignación más eficiente de los camiones autónomos mineros con sistema *Sideboard* para la mejora del carguío y acarreo en una mina a cielo abierto en el año 2024.	(2) Una adecuada asignación de camiones autónomos mineros con sistema *Sideboard* en los frentes con material de baja densidad ayudará directamente a reducir los tiempos del ciclo de acarreo y, por ende, en la mejora de las operaciones de carguío y acarreo la mina a cielo abierto.		
(3) ¿Cómo influyen los parámetros operativos de Tonelada – Kilómetro por hora (TKPH) en la mejora del carguío y acarreo de una mina a cielo abierto en el año 2024?	(3) Hallar practicas operativas para mantener los índices TKPH más eficientes para la mejora del carguío y acarreo reduciendo los eventos de parada de camiones por condiciones de TKPH alto en una mina a cielo abierto en el año 2024.	(3) Una gestión adecuada de TKPH mejorará las operaciones de carguío y acarreo reduciendo la parada de camiones por valores altos de TKPH y mejorará índices de utilización de los camiones autónomos de una mina a cielo abierto.		
(4) ¿Cómo reducir los costos de carguío y acarreo mediante controles digitales de camiones autónomos CAT 794 AC en una mina a cielo abierto en el año 2024?	(4) Generar una propuesta de controles digitales de camiones autónomos mineros que reduzca los costos por tonelada de material extraído en una mina a cielo abierto en el año 2024.	(4) La propuesta de controles digitales de camiones autónomos respecto al control de cúspides, asignación de camiones con *Sideboard*, así como gestión de TKPH y EFH, generará una reducción de costos significativos en el carguío y acarreo de una mina a cielo abierto.		

8.2. Ficha Técnica de Camiones Autónomos CAT 794 AC

La ficha técnica fue obtenida del distribuidor Ferreyros en Perú (Ferreyros, s.f.).

Especificaciones Del Producto Para 794 AC

Motor

Potencia bruta: SAE J1995	2610 kW
Potencia bruta estándar: SAE J1995	2610 kW
Modelo de motor	C175-16 Cat®
Potencia bruta optativa: SAE J1995	2312 kW
Potencia bruta optativa: SAEJ1995 (opción2)	2051 kW
Velocidad nominal	1800 rpm
Potencia neta: SAE J1349	2539 kW
Clasificación de emisiones	Con optimización de combustible
Calibre	175 mm
Carrera	220 mm
Cilindrada	85 L
Nota (1)	Comuníquese con la fábrica para obtener información sobre la configuración de altitud elevada.
Nota (2)	Existen opciones Tier 4 y Stage V de la Unión Europea para regiones que exigen el cumplimiento de estas normas de emisiones.
Nota (3)	Opción de motor Tier 4/Stage V de la Unión Europea - Potencia neta (SAE J1349): 3.434 hp (2.561 kW)

Pesos: Aproximados

Carga útil nominal	297 t
Peso bruto nominal de la máquina	521631 kg
Peso del chasis	193338 kg
Peso de la caja	29187 kg

Nota (1)	Comuníquese con el fabricante de los neumáticos para conocer la carga máxima.
Nota (2)	Peso del chasis con tanques de combustible y fluidos llenos, accesorios estándar y obligatorios, dispositivo de levantamiento, grupo de montaje de la caja, llantas y neumáticos.
Nota (3)	Consulte la política de sobrecarga 10/10/20 del camión minero Cat (AEXQ0250) para obtener información sobre las limitaciones de peso bruto máximo de la máquina.
Nota (4)	Peso del chasis Tier 4 final/Stage V: 426.312 lb (193.372 kg)

Mandos Finales

Relación de reducción total	35:01:00

Sistema De Mando De CA

Relación de reducción total	35:01:00
Velocidad máxima con carga	60 km/h
Generador/alternador	Sin escobillas, de montaje en el motor y cojinete doble
Controles	Gabinete presurizado, con enfriamiento y tecnología de inversor IGBT, con filtración
Motor de ruedas	Inducción de CA de alto par montada en el eje trasero
Sistema de enfriamiento	Sistema de enfriamiento impulsado hidráulicamente de velocidad variable

Neumáticos

Neumáticos estándares	53/80 R63
Llantas	36" x 63"
Nota (1)	Las llantas de cambio rápido son optativas.
Nota (2)	Caterpillar recomienda que el cliente analice todas las condiciones de trabajo y consulte a su proveedor de neumáticos sobre la selección de neumáticos adecuados y las capacidades de TKPH (Ton Kilometer per Hour, toneladas kilómetro por hora) y TMPH (Ton Mile per Hour, toneladas milla por hora).

Sistema De Frenos

Frenos de servicio	Frenos de discos sumergidos en aceite en las cuatro esquinas enfriados por aceite y de accionamiento hidráulico
Superficie de los frenos de discos sumergidos en aceite delanteros	131473 cm²
Parte trasera: superficie de los frenos de discos sumergidos en aceite	198388 cm²
Normas	ISO 3450:2011
Freno de estacionamiento	Frenos de discos múltiples en las cuatro esquinas de accionamiento por resorte y liberación hidráulica
Freno de carga	Frenos de servicio traseros
Potencia de retardo dinámico: continua	4086 kW
Retardo eléctrico	Diseño radial de la rejilla

Distribuciones Del Peso: Aproximadas

Eje delantero: vacío	49 %
Eje trasero: vacío	51 %
Eje delantero: con carga	33 %
Eje trasero: con carga	67 %

Dispositivos De Levantamiento De Cajas

Flujo de la bomba: velocidad altaen vacío (HAA a 1.800 rpm)	840 L/min
Flujo de la bomba: velocidad altaen vacío (LAA a 1.960 rpm)	910 L/min
Ajuste de la válvula de alivio: levantada	20884 kPa
Tiempo de levantamiento de la caja: velocidad alta en vacío	24 s
Tiempo de bajada de la caja a velocidad alta en vacío: posición libre	20 s
Tiempo total del ciclo	44 s

Nota (1)	Cilindros hidráulicos dobles de dos etapas montados dentro del bastidor principal; cilindros de doble acción en ambas etapas.
Nota (2)	Elevación y disminución de la potencia en ambas etapas.
Nota (3)	La baja modulación de la caja automática reduce el impacto en el bastidor.

Capacidad: Caja HE: Factor De Llenado Del 100%

A ras	108 a 133m³ (142 a 175yd³)
Colmada (SAE 2:1)	180 a 222m³ (236 a 290yd³)
El grosor de la plancha de la caja del camión varía según la caja seleccionada: plancha del piso	16 mm
El grosor de la plancha de la caja del camión varía según la caja seleccionada: plancha delantera	9 mm
El grosor de la plancha de la caja del camión varía según la caja seleccionada: plancha lateral	8 mm
El grosor de la plancha de la caja del camión varía según la caja seleccionada: plancha del techo	5 mm
Nota	Comuníquese con su distribuidor Cat local para obtener recomendaciones acerca de la caja.

Capacidades De Llenado De Servicio

Tanque de combustible	4922 L
Sistema de enfriamiento	799 L
Cárter	310 L
Mando final: cada uno	254 L
Tanque hidráulico	1121 L

Sistema hidráulico (incluido el tanque)	1458 L
Tanque del fluido de escape diésel	378 L
Nota (1)	El tanque de DEF (Diesel Exhaust Fluid, Fluido de escape diésel) solo está disponible para la opción de motor Tier 4 de la EPA de EE.UU. y Stage V de la Unión Europea.

Dirección

Normas de dirección	ISO 5010:2007
Nota	El peso bruto de la máquina en orden de trabajo es de 521.631kg (1.150.000lb).
Ángulo de dirección	39 °

Dimensiones (Aproximadas)

Altura: parte superior de la ROPS	6779 mm
Longitud total	15463.5 mm
Distancia entre ejes	6644.5 mm
Eje trasero: cola	4716 mm
Espacio libre sobre el suelo	906 mm
Espacio libre de descarga	1555 mm
Altura de carga vacío	6995 mm
Altura total con caja levantada	14747 mm
Ancho del neumático delantero de la línea de centro	7024 mm
Espacio libre en el eje delantero	969 mm
Ancho del techo (sin los deflectores de rocas optativos)	9068 mm
Ancho exterior de la caja	9062 mm
Ancho interior de la caja	8560 mm

Altura del techo delantero	8024 mm
Eje trasero: espacio libre	934 mm
Línea de centro del ancho del neumático doble trasero	5727 mm
Ancho total entre neumáticos	8738 mm
Ancho total del techo	9611 mm

Engine

Nota (4)	Configuraciones de altitud elevada disponibles para altitudes de hasta 4.267 m (14.000') sin reducción de potencia.

Especificaciones De Operación

Nota (2)	Consulte la política de sobrecarga 10/10/20 del camión minero Cat (AEXQ0250) para obtener información sobre las limitaciones de peso bruto máximo de la máquina.
Nota (1)	La carga útil asume la ausencia de suciedad, opciones adicionales o accesorios.

8.3. Estándar de operación para corrección de cúspides

LOGO	ESTÁNDAR	CÓDIGO:	SHE-ESO-0061
	ESTÁNDAR DE OPERACIÓN PARA LA CORRECCIÓN DE CÚSPIDES EN CAMIONES AUTÓNOMOS 794AC: GUÍA PARA SUPERVISORES DE OPERACIONES	VERSION:	00
		FECHA DE ELABORACIÓN	11-05-2024
	UNIDAD MINERA	PÁGINA:	1 de 7

ESTÁNDAR DE OPERACIÓN PARA LA CORRECCIÓN DE CÚSPIDES EN CAMIONES AUTÓNOMOS 794AC: GUÍA PARA SUPERVISORES DE OPERACIONES

1 OBJETIVO

Establecer los lineamientos e implementar las acciones ante las cúspides mal generadas para los camiones autónomos 794AC, para asegurar la eficiencia del ciclo de minado y mejorando la seguridad de las operaciones.

2 ALCANCE

Este estándar es aplicable a todo el personal de la unidad minera que participen en las operaciones de corrección de cúspides en camiones autónomos 794AC afectados por condiciones adversas en el área de trabajo. Cubre las responsabilidades desde la planificación hasta la ejecución segura de la actividad.

3 REFERENCIAS LEGALES Y OTRAS NORMAS

- D.S 023--2017-EM – Modificación diversos artículos y anexos del reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería, aprobado por D.S. N° 024-2016-EM.
- D.S 024--2016-EM - Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.
- Ley 29783 - Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- D.S. No 040-2014-EM Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero.
- D.S. N° 005-2012-TR, Reglamento de la Ley 29783 - Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- Ley 30222, modificatoria de la ley 29783.
- D.S. N° 006-2014-TR. Modificatoria del reglamento de la ley N° 29783, ley de seguridad y salud en el trabajo, aprobado por el D.S. N° 005-2012-TR.
- Norma ISO 14001:2015 Sistema de Gestión Ambiental.
- Norma ISO 45001: 2018. Sistemas de Seguridad y Salud en el trabajo.

4 ESPECIFICACIONES DEL ESTÁNDAR

4.1 CONTROLES CRÍTICOS MANDATORIOS

- El espacio de maniobra debe ser suficiente para permitir el retroceso seguro de los camiones. No se permite realizar maniobras en áreas donde el espacio sea inferior a las dimensiones mínimas establecidas para el camión en uso, considerando su radio de giro y largo total.

- La velocidad máxima permitida durante las maniobras de aculatamiento en una cúspide en condiciones normales es de 9 a 10 km/h, mientras que en una cúspides cerrada será de 4 a 5 km/h generalmente.
- Los camiones deben detenerse completamente antes de iniciar el retroceso y no deben realizar maniobras a velocidades superiores a la mencionada.
- Inspección diaria obligatoria: Si el área de maniobra no ha sido inspeccionada previamente, las maniobras de aculatamiento están prohibidas hasta que se realice dicha inspección.
- No se permitirán maniobras de aculatamiento en áreas donde el terreno esté visiblemente inestable, tenga baches, acumulación de agua, lodo o material suelto. Si se detecta alguna irregularidad en el suelo, las operaciones deben detenerse hasta que se reparen las condiciones.
- Las maniobras no pueden realizarse en áreas con pendientes. Esto podría afectar la estabilidad del camión durante el retroceso y aumentar el riesgo de vuelco.
- En áreas con acumulación de agua que no drene adecuadamente, está prohibido realizar maniobras de aculatamiento hasta que se haya drenado o corregido la condición del área. El agua o lodo pueden reducir la tracción de los neumáticos y desestabilizar los camiones.
- Se deben tener operativos los sistemas de detección, alarma y monitoreo de distancias de retroceso (sistemas de asistencia y sensores para el posicionamiento de los camiones). Esto incluye la detección temprana de cualquier obstrucción que pueda interferir con el retroceso seguro de los camiones autónomos.
- Se debe contar con un plan de Preparación y Respuesta a Emergencias para situaciones relacionadas con el retroceso de camiones autónomos.

4.2 PLANIFICACIÓN

Antes de realizar cualquier actividad relacionada con la corrección de cúspides, es necesario llevar a cabo una planificación detallada, que garantice la asignación correcta de recursos y la adecuada identificación de las áreas a corregir.

- **Evaluación Inicial del Área**

  Revisión geotécnica: Evaluar las condiciones para identificar deformaciones, desniveles o problemas geotécnicos en las cúspides.

  Identificación de áreas críticas: Usar reportes de desempeño, incidentes o quejas operativas para identificar cúspides donde se han detectado problemas en maniobras de aculatamiento, como inestabilidad o pérdida de tracción.

Personal: Asegurar la disponibilidad de supervisores para realizar las tareas de corrección, operadores de equipos auxiliares y personal técnico geotécnico para el soporte de esta tarea.

Equipos y herramientas: Confirmar el acceso a excavadoras, camionetas y camiones cisterna para riego de polvo, así como sistemas de monitoreo y verificación de pendientes.

4.3 IMPLEMENTACIÓN Y GESTIÓN

- **Coordinación Operativa**

  Responsabilidad del supervisor: Asegurar que el equipo y personal asignado realicen las correcciones y mantengan las áreas de aculatamiento en condiciones seguras y operativas.

  Uso de tecnología: Monitorear y documentar el estado de las cúspides mediante sistemas de control automatizados, cámaras y drones para identificar problemas de forma proactiva.

- **Capacitación del Personal**

  Todo el personal involucrado debe recibir capacitación sobre los procedimientos de corrección y seguridad. Esto incluye la identificación de riesgos y el uso adecuado del equipo durante las maniobras de corrección de cúspides.

- **Evaluación de Impacto**

  Evaluar el impacto de las correcciones sobre las operaciones, asegurando que los trabajos no interfieran con la operación continua de los camiones autónomos o convencionales.

4.4 SUPERVISIÓN DE DESEMPEÑO

- **Revisión Continua**
  - **Monitoreo en tiempo real:** Se debe realizar un monitoreo a través del sistema MineStar para la identificación de cúspides incorrectas, de manera que con los datos obtenidos en tiempo real el Builder debe identificar las soluciones para no afectar las operaciones.
  - **Correcciones inmediatas:** En caso de que se detecten deformaciones o problemas en la geometría de las cúspides, se debe activar un protocolo de corrección inmediata, especialmente en las áreas de mayor tránsito de camiones autónomos. Esto asegura que las operaciones no se vean afectadas por paradas imprevistas.
- **Auditorías Regulares**
  - **Revisión de cumplimiento de seguridad:** Durante las auditorías, se debe evaluar si el personal sigue correctamente los protocolos de seguridad

establecidos para la corrección de cúspides y si los equipos utilizados están en óptimas condiciones. Cualquier deficiencia detectada debe ser corregida inmediatamente.

- **Revisión de tecnologías aplicadas:** Verificar si las tecnologías utilizadas están siendo empleadas de forma adecuada por el personal técnico. De ser necesario, actualizar el equipo o capacitar nuevamente al personal en su uso.

- **Reportes de Desempeño**
  - **Informes trimestrales de desempeño:** Elaborar informes detallados cada tres meses que incluyan indicadores clave como el número de correcciones realizadas, el tiempo promedio de ejecución, el estado de las cúspides antes y después de las correcciones, y cualquier incidente reportado en las áreas de aculatamiento. Estos informes deben ser presentados a la gerencia para evaluar la eficacia del procedimiento.
  - **Análisis de incidentes:** En caso de que ocurra algún incidente relacionado con las cúspides (como colapsos, deformaciones graves o interrupciones operativas), el informe debe incluir un análisis detallado de las causas y las medidas correctivas implementadas para evitar su recurrencia.
  - **Revisión de KPIs (Key Performance Indicators):** Algunos KPIs clave a evaluar incluyen la frecuencia de correcciones, el tiempo de inactividad debido a mantenimiento de cúspides, la estabilidad del terreno y la efectividad de las medidas preventivas adoptadas. Estos indicadores permitirán mejorar continuamente el proceso de corrección y mantener las operaciones dentro de los parámetros de seguridad.

4.5 SUPERVISIÓN DE DESEMPEÑO

Aculatamiento

Se refiere a la acción de retroceder un vehículo en un espacio reducido. En el caso de los camiones autónomos, el aculatamiento puede ser necesario para posicionarse correctamente en áreas con limitaciones de espacio o para superar obstáculos.

Ángulo de aproximación

El ángulo de aproximación es el ángulo entre la superficie del terreno y la parte delantera del camión cuando se acerca a una cúspide. Un ángulo de aproximación demasiado pronunciado puede dificultar la maniobra del camión y aumentar el riesgo de colisión.

Autonomía

Se refiere a la capacidad de un vehículo para operar sin intervención humana. En el caso de los camiones autónomos, la autonomía implica que el camión puede planificar su ruta, navegar por el terreno y realizar maniobras sin necesidad de que un conductor lo controle.

Cúspide
Se refiere a una zona en el terreno generado virtualmente que permite el giro del vehículo de manera que este quede posicionado para retroceder a ser cargado.

Maniobrabilidad
Se refiere a la capacidad de un vehículo para moverse con facilidad y precisión en diferentes entornos. En el caso de los camiones autónomos, la maniobrabilidad es esencial para poder superar obstáculos, navegar por terrenos irregulares y posicionarse con precisión en áreas con limitaciones de espacio.

MineStar
Es una suite de software de gestión de minas desarrollada por Caterpillar que ofrece una amplia gama de herramientas para optimizar la eficiencia, la seguridad y la productividad de las operaciones mineras.

Obstáculo
Un obstáculo es cualquier objeto que pueda impedir el movimiento de un camión autónomo, como rocas, árboles, vehículos estacionados o estructuras. Los camiones autónomos deben ser capaces de detectar y evitar obstáculos para operar de manera segura y eficiente.

Plan de Tráfico
Define las rutas que deben seguir los camiones autónomos en un sitio de operación. El plan de tráfico debe tener en cuenta la disposición del terreno, la ubicación de los obstáculos, las zonas de carga y descarga, y las normas de seguridad.

Riesgo
Se refiere a la posibilidad de que ocurra un evento adverso, como un accidente o un daño a la propiedad.

5 RESPONSABILIDADES

5.1 GERENTE GENERAL DE OPERACIONES

- Garantizar la implementación efectiva de este estándar operativo y su cumplimiento en toda la mina.
- Supervisar la coordinación entre el equipo de IOC, mantenimiento, desarrollo mina y las áreas operativas para mitigar riesgos.
- Informar a la alta dirección sobre cualquier incidencia mayor que pueda comprometer la seguridad operativa y la integridad de la mina.

5.2 TODAS LAS GERENCIAS

- Velar por la seguridad de los trabajadores dentro de sus áreas de responsabilidad.

- Coordinar acciones correctivas y preventivas junto con el equipo de IOC, mantenimiento y desarrollo mina junto con los supervisores operativos para garantizar la estabilidad y seguridad de las operaciones.
- Asegurar la correcta comunicación de riesgos y acciones a todo el personal bajo su supervisión.
- Proveer de los recursos necesarios para la pronta restauración del monitoreo o medidas alternativas.

5.3 SOCIOS ESTRATÉGICOS

- Suministrar equipos, servicios técnicos o cualquier otro apoyo necesario para restablecer los niveles adecuados para los neumáticos de los AMT.
- Coordinar con la Gerencia de Operaciones y el equipo técnico cualquier intervención necesaria para mitigar riesgos.
- Informar inmediatamente sobre cualquier limitación en el suministro de recursos o servicios que pueda afectar la seguridad de las operaciones mineras.

5.4 TRABAJADORES

- Seguir las instrucciones de evacuación y las medidas preventivas.
- Notificar inmediatamente cualquier condición irregular o situación de riesgo observada.
- Colaborar con los equipos de seguridad, mina, IOC y mantenimiento, asegurando el cumplimiento de las medidas de seguridad establecidas.

6 REGISTROS, CONTROLES Y DOCUMENTACIÓN

- AA BPS MIN - Aculatamiento de camiones
- AA BPS MIN - Configuración y limpieza del frente del equipo de carguío

7 REVISIÓN

- De forma anual o cuando se detecten desviaciones al estándar.

8 CONTROL DE CAMBIOS

Versión N°	Descripción de la modificación (cambio o eliminación)
1	Primera versión del documento

9 ANEXOS

Anexo 1: Parámetros de condiciones ideales para Cúspides.

ANEXO 1: PARÁMETROS DE CONDICIONES IDEALES PARA CÚSPIDES

A continuación, se presentan algunos criterios para la evaluación de cúspides, estas indicaciones se deben seguir para corregir de manera correcta las cúspides generadas dependiendo de las condiciones que se presenten.

Parámetro	**Unidad de medida**	**Límite aceptable**	**Acción correctiva**
Longitud de aculatamiento	Metros (m)	≤ 45 m	Acercamiento óptimo de cúspide a pala.
Área de cúspide	Metros (m)	50x50m	Ajuste de cúspide en campo.
Ángulo con frente de minado	Grados (°)	0° - 40°	Ajuste de ángulo con restricción de zonas autónomas.
Frecuencia de revisión	Horas	Cada 1 Horas	Revisión diaria y validación del informe.
Estado del terreno	Categórico	Estable / Inestable	Si es inestable, realizar acción inmediata de corrección.
Distancia entre cúspides	Metros (m)	≤ 100 m	Redistribución de materiales o cambio en el diseño de las rutas.

ELABORADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FECHA	FIRMA
REVISADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FECHA	FIRMA
	Líder de Mina		
	Superintendente de Operaciones Mina		
	Superintendente de Seguridad		
APROBADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FECHA	FIRMA
	Gerente de Operaciones Mina		

8.4. PETS de corrección de cúspides

LOGO	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO – PETS	CÓDIGO:	SHE-PLT-
	PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN PARA LA CORRECCIÓN DE CÚSPIDES EN CAMIONES AUTÓNOMOS 794AC: GUÍA PARA SUPERVISORES/LIDERES DE OPERACIONES	VERSION:	00
		FECHA DE ELABORACIÓN	14-05-2024
	UNIDAD MINERA	PÁGINA:	1 de 9

Gerencia: Mina	Área: Operaciones

1. PERSONAL

Gerencia de Operaciones Mina:

- **Gerente de Mina:** Persona calificada responsable de liderar, organizar, coordinar y supervisar la ejecución de operaciones mina, dar soporte y recursos para la ejecución de las actividades y el desarrollo de este procedimiento.
- **Superintendente de Mina:** Persona calificada, responsable de liderar, organizar, coordinar y supervisar directamente la ejecución del presente procedimiento.
- **Líder de Mina:** Debe liderar el equipo, velar por el cumplimiento de los procedimientos asociados a las actividades de minado de sectores afectados, asignación de recursos (Personas y equipos).
- **Supervisor de Operaciones Mina (Mina Sur- Mina Norte):** Es el encargado de la ejecución de las actividades de minado de sectores afectados, coordinando la toma de decisiones en conjunto con el equipo de geotecnia durante la actividad. De igual forma participará de la generación del IPERC que se realizará en conjunto con los operadores de equipo de carguío, líder de Mina, supervisor de geotecnia y soporte geotécnico de campo durante el desarrollo de la actividad, los cuales identificarán los peligros, riesgos y controles.

Gerencia de IOC:

- **Líder de IOC:** Debe liderar el equipo, velar por el cumplimiento de los procedimientos asociados a las actividades de minado de asignación de recursos (Camiones CAT 795AC).
- **Builder Mina:** Responsable monitorear cada AMT para garantizar la seguridad del equipo, brindando recomendaciones técnicas y de seguridad para la correcta ejecución de las actividades y asegurando el cumplimiento de los protocolos establecidos.

Gerencia de Seguridad:

- **Supervisor de Seguridad:** Responsable de auditar y asesorar en el cumplimiento del presente PETS, brindar recomendaciones de seguridad para la actividad.

2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- 01 Casco de seguridad.
- 01 Barbiquejo.
- 01 par de Zapatos de seguridad con punta de acero.
- 01 Chaleco con cintas reflectivas.
- 01 Lentes de seguridad (claros / oscuros).
- 01 Bloqueador Solar.
- 01 Par de Guantes de cuero o badana.
- 01 Protector auditivo.
- 01 Corta viento.
- 01 Uniforme.

3. EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MATERIALES

- **Equipos**

- 01 cable de comunicación.
- 01 camioneta.

- **Herramientas**

- 01 radio.
- 01 laptop con software "MineStar".

- **Materiales requeridos**

- 01 Tablet.
- 01 Plano de manejo de Trafico (TMP).

- **Requerimiento de personal para la tarea:**

- 01 supervisor de Operaciones Mina.
- 01 Builder de IOC.

4. PROCEDIMIENTO

4.1 Alcance del trabajo / Descripción

Se requiere realizar el procedimiento adecuado para la corrección de cúspides de camiones autónomos 794AC producto de diversas condiciones en el área de trabajo como son las probables condiciones climáticas adversas, probabilidad de caída de rocas, deslizamiento del material, entre otros.

Establecer una metodología que describa la forma segura de cómo desarrollar la corrección de Cúspides para el correcto aculatamiento del AMT cuando tenga que ser cargado o tenga que realizar su descarga.

A todos los supervisores/lideres de operaciones que realicen esta actividad y a todos los empleados que den soporte a la corrección de actividades conexas.

4.2 Planificación

Antes de iniciar la detección y corrección de cúspides, es esencial realizar una planificación minuciosa para asegurar que las actividades se lleven a cabo de manera eficiente y segura. Para ello, se deben considerar los siguientes aspectos:

- **Asignación de roles y responsabilidades:** Se deben establecer claramente las funciones de cada miembro del equipo. El Builder/Controller serán los responsables de la corrección de las cúspides en el sistema virtual "MineStar", mientras que los Supervisores de Operaciones o Líderes de Operaciones serán los encargados de verificar en terreno que las cúspides sean correctas y seguras para la operación de camiones autónomos.
- **Tamaño y condiciones del terreno:** Las cúspides deben realizarse en áreas de 45x60 m siempre que las condiciones lo permitan según sus spots, garantizando un espacio suficiente para la operación autónoma segura. El Supervisor/líder debe tener en cuenta las características del terreno y asegurarse de que la topografía sea adecuada para la generación de cúspides. Usualmente se considera las siguientes medidas:
  - ❖ Carriles de 1.75 veces ancho camión: Cúspides de 40 m a más
  - ❖ Áreas pequeñas: Cúspides de 35 m a 40 m
  - ❖ Áreas estrechas: Cúspides de hasta 35 m

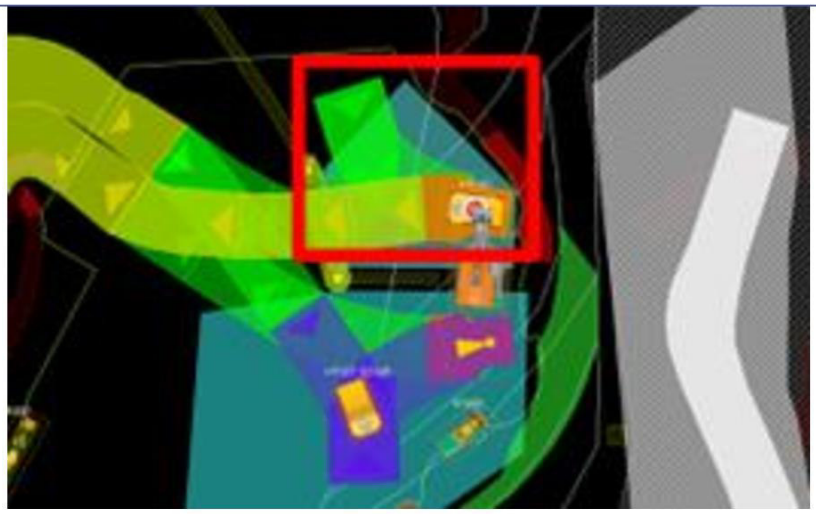


Figura 1. *Área de Cúspide.*

- **Identificación de riesgos:** En trabajo conjunto, el Builder y Supervisores/Líderes de Operaciones deben identificar cualquier irregularidad del terreno o factor de riesgo (como obstáculos, condiciones meteorológicas adversas o inestabilidad geotécnica) que pueda afectar la creación de cúspides o poner en riesgo la seguridad de los equipos y del personal.
- **Condiciones climáticas:** Se debe evaluar el impacto de las condiciones climáticas típicas del sitio (lluvia, nieve, viento fuerte) en el área donde se generará la cúspide. Condiciones climáticas adversas pueden afectar el comportamiento de los camiones autónomos, por lo que se debe contar con previsiones meteorológicas precisas.
- **Condiciones geotécnicas:** Las características geotécnicas del sitio, como la estabilidad del suelo y su capacidad de soportar el peso de los camiones, deben ser evaluadas para garantizar que las cúspides se realicen en terrenos seguros y estables. En áreas de alto riesgo de deslizamientos o hundimientos, se deben realizar estudios previos antes de generar las cúspides.
- **Infraestructura vial:** El sitio debe contar con caminos bien definidos, áreas de carga y descarga claramente designadas y accesibles. Se debe asegurar que estas áreas sean lo suficientemente amplias para la operación segura de los camiones autónomos.
- **Capacitación del personal:** El personal encargado de la corrección de cúspides debe estar capacitado en el uso del software MineStar, así como en los procedimientos operativos estándar para garantizar que puedan identificar, analizar y corregir cúspides de manera eficiente. Las sesiones de capacitación deben ser periódicas y basarse en casos reales.
- **Parámetros de operación:** Se deben establecer parámetros claros para el posicionamiento y retroceso de los camiones autónomos, como la distancia mínima entre el camión y la pala cargadora, la velocidad de retroceso y el ángulo de aproximación. Estos parámetros deben estar alineados con las especificaciones técnicas de los camiones.
- **Objetivos de eficiencia:** Las cúspides deben diseñarse con el objetivo de mejorar la eficiencia operativa, minimizando el tiempo de aculatamiento de los camiones autónomos, optimizando el rendimiento de la pala cargadora y reduciendo pérdidas operativas asociadas a malas cúspides.

4.3 Identificación de cúspides mal generadas:

La identificación temprana de cúspides mal generadas evita los retrasos operativos y riesgos para la seguridad. El proceso de identificación incluye los siguientes pasos:

- **Monitoreo en tiempo real**: Los Supervisores o Líderes de Operaciones deben monitorear constantemente el comportamiento de los camiones autónomos en las áreas de carga y descarga mediante el uso del software MineStar. El software permitirá identificar cualquier anomalía en el movimiento de los camiones, como desviaciones en el retroceso o tiempos excesivos para completar el ciclo de aculatamiento.
- **Inspección visual en terreno**: Además del monitoreo virtual, es importante realizar inspecciones periódicas en el sitio de operación para observar directamente el comportamiento de los camiones y la adecuación de las cúspides. El monitoreo en campo permite detectar problemas que pueden no ser evidentes a través del software, como las condiciones del suelo o la presencia de obstáculos físicos.



Figura 2. *Aculatamiento de camiones en campo.*

- **Giro de los neumáticos:** Se debe prestar especial atención al giro de los neumáticos al iniciar el aculatamiento. Si los neumáticos giran en exceso o con un ángulo no óptimo, puede ser una señal de que la cúspide está mal diseñada. Una cúspide eficiente debe permitir que el camión retroceda en línea recta y con el ángulo adecuado para maximizar la maniobrabilidad.
- **Distancia de aculatamiento:** Cúspides que resulten en aculatamientos de más de 90 metros deben ser corregidas de inmediato, ya que salen del rango de detección de los sensores de obstáculos del camión autónomo, incrementando el riesgo de daños en el equipo o accidentes.

- **Consulta con los operadores:** En caso de detectar anomalías, es recomendable consultar a los operadores de equipos auxiliares sobre cualquier problema que hayan observado durante el retroceso o posicionamiento. La retroalimentación de los operadores puede proporcionar información valiosa sobre la causa de las anomalías.

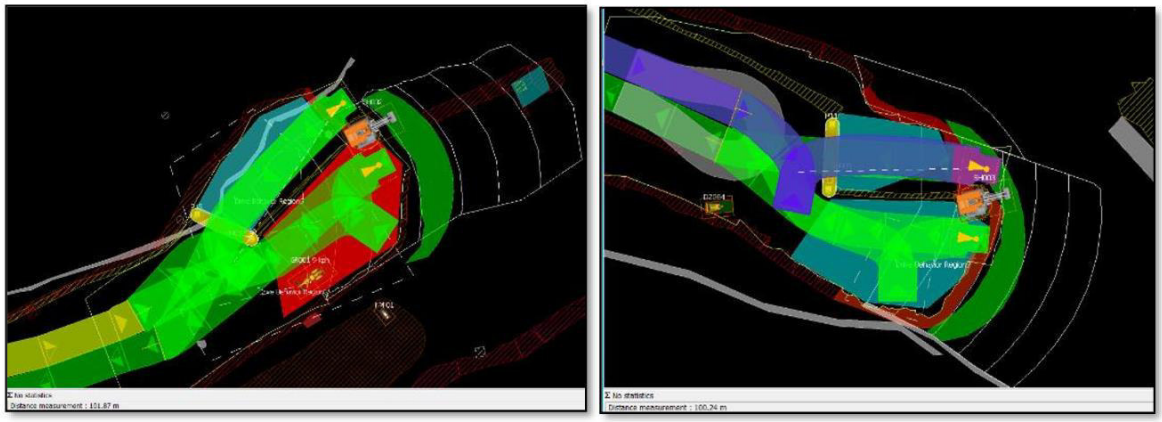


Figura 3. *Cúspides en MineStar.*

4.4 Análisis de las cúspides mal generadas:

Una vez identificada una cúspide mal generada, se debe realizar un análisis detallado para entender las causas y proponer soluciones:

- **Revisión de parámetros operativos:** El supervisor debe revisar el Plan de Tráfico y las distancias establecidas para el posicionamiento y retroceso de los camiones autónomos. Si las distancias no son adecuadas para las dimensiones de los camiones o las características del terreno, será necesario ajustarlas.
- **Evaluación de factores externos:** Además de las distancias, es importante considerar otros factores que puedan estar afectando la operación, como la presencia de obstáculos no previstos, irregularidades del terreno o condiciones climáticas adversas.
- **Propuesta de soluciones:** Una vez analizadas las causas, se debe proponer una solución que corrija la cúspide mal generada. La solución debe ser técnica y económicamente viable, y debe minimizar el impacto en la operación.

4.5 Corrección de las cúspides mal generadas

- Si la causa del problema es un obstáculo o irregularidad del terreno, el supervisor/líder debe tomar las medidas necesarias para eliminar o reubicar el obstáculo, esto puede incluir la remoción de escombros, rocas u otros objetos que interfieran con el correcto aculatamiento de los camiones autónomos. También puede requerir la nivelación del terreno en casos donde las pendientes o desniveles afecten la creación de una cúspide adecuada. La intervención debe llevarse a cabo utilizando los recursos disponibles, como equipos auxiliares de carguío o movimiento de tierra, y siempre asegurando que las medidas correctivas no interfieran con la seguridad del personal ni con otras operaciones en curso.
- En caso de que el obstáculo no pueda ser eliminado de manera inmediata, debe ser señalizado adecuadamente y comunicarlo a todo el equipo para evitar accidentes.
- Si las distancias observadas en el software "MineStar" no son adecuadas, se debe comunicar con el Builder mediante el canal llamado "Autonomía", el supervisor debe proporcionar indicaciones claras y precisas, asegurando que las nuevas cúspides se configuren de acuerdo con las características del sitio de operación, como las dimensiones y maniobrabilidad de los camiones, las pendientes del terreno, y cualquier otro factor que pudiera afectar el correcto aculatamiento. La correcta comunicación entre el supervisor/líder y el Builder es clave para minimizar tiempos de inactividad y optimizar el ciclo de acarreo.

- Después de que se hayan implementado las correcciones en el terreno o en el sistema MineStar, el supervisor/líder tiene la responsabilidad de supervisar nuevamente el comportamiento de los camiones autónomos. Esto implica monitorear su movimiento en tiempo real, tanto a través del software como mediante observación en terreno, si es necesario. La verificación debe incluir un chequeo detallado del aculatamiento, el giro y la aproximación de los camiones a las zonas de carga y descarga, asegurando que ahora siguen la ruta correcta y que las cúspides corregidas permiten un retroceso eficiente y sin desviaciones.
- El supervisor/líder debe estar atento a cualquier nueva irregularidad que pueda surgir durante la operación y, en caso de que el problema persista, debe reevaluar las condiciones para implementar una solución alternativa.
- El supervisor debe dar especial importancia a cualquier factor que pueda generar un riesgo para los equipos o las personas involucradas, incluso si estos riesgos no son evidentes de inmediato. Esto incluye la identificación de cúspides mal generadas que puedan provocar giros bruscos, colisiones o un mal posicionamiento de los camiones cerca de las palas, que puedan dañar tanto el equipo como la infraestructura de la mina. Asimismo, se debe estar atento a cúspides que puedan generar condiciones peligrosas en caminos estrechos o pendientes pronunciadas.
- Es necesario que los supervisores reporten las cúspides incorrectas que interfieran en otras de las operaciones de minado (mallas de voladura) para corregirlas:
- Las cúspides mal generadas pueden interferir en operaciones críticas como la perforación y voladura, especialmente si estas se encuentran cerca de áreas de aculatamiento. Las mallas de voladura requieren un posicionamiento preciso para asegurar la seguridad y la eficiencia de la voladura. Si una cúspide mal generada interfiere con estas operaciones, el supervisor/líder debe informar de inmediato a los encargados de las operaciones de perforación y voladura para evitar retrasos o problemas de seguridad. Luego, se debe corregir la cúspide afectada para garantizar que no obstruya las operaciones de voladura, protegiendo tanto el equipo como el personal.

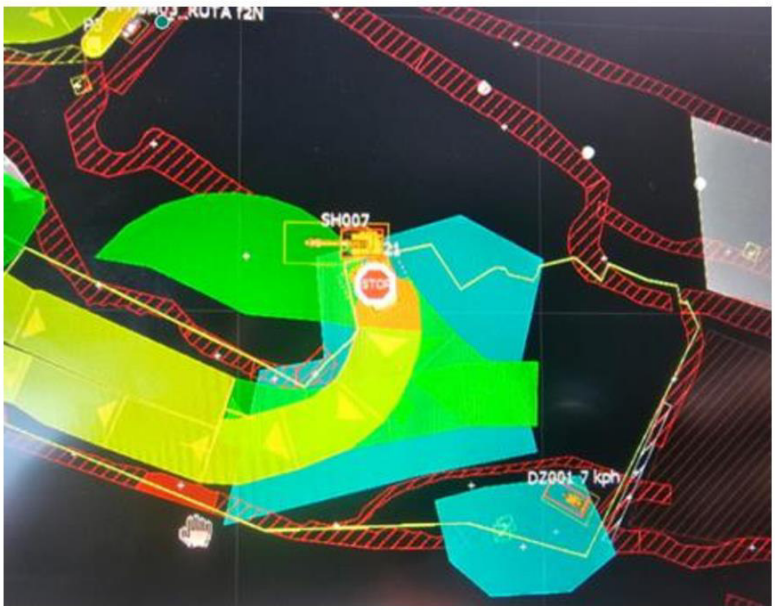


Figura 4. *Cúspide sobre zona de habilitación de perforación.*

4.6 Documentación y registro

- El supervisor/líder debe documentar todas las cúspides mal generadas identificadas, las causas del problema y las correcciones realizadas.

- Esta información debe registrarse en el software MineStar o en un archivo físico para su consulta posterior.

4.7 Monitoreo continuo

- Es importante realizar un monitoreo continuo del movimiento de los camiones autónomos para detectar nuevas cúspides mal generadas y aplicar el procedimiento de corrección de manera oportuna.
- La comunicación constante con los supervisores/líderes y la revisión regular de los datos del software MineStar son claves para garantizar la eficiencia y seguridad de las operaciones.

4.8 Consideraciones adicionales

- Es importante que los supervisores/líderes reciban capacitación adecuada en el uso MineStar, identificación y corrección de cúspides mal generadas.
- La comunicación efectiva entre los supervisores/líderes y los operadores de equipos auxiliares es esencial para la detección y resolución rápida de problemas.
- Se recomienda establecer un programa de mantenimiento preventivo para los camiones autónomos y el software MineStar.
- Es importante la coordinación del personal de campo con el Builder para la actualización de las condiciones como: movimiento de postes, cambio de posición de cables de palas para que el sistema MineStar genere de manera automática Cúspides optimas.

4.9 Definiciones

- **MineStar**: Es una suite de software de gestión de minas desarrollada por Caterpillar que ofrece una amplia gama de herramientas para optimizar la eficiencia, la seguridad y la productividad de las operaciones mineras.
- **Cúspide**: Se refiere a una zona en el terreno generado virtualmente que permite el giro del vehículo de manera que este quede posicionado para retroceder a ser cargado.
- **Aculatamiento**: Se refiere a la acción de retroceder un vehículo en un espacio reducido. En el caso de los camiones autónomos, el aculatamiento puede ser necesario para posicionarse correctamente en áreas con limitaciones de espacio o para superar obstáculos.
- **Angulo de aproximación**: El ángulo de aproximación es el ángulo entre la superficie del terreno y la parte delantera del camión cuando se acerca a una cúspide. Un ángulo de aproximación demasiado pronunciado puede dificultar la maniobra del camión y aumentar el riesgo de colisión.
- **Autonomía**: Se refiere a la capacidad de un vehículo para operar sin intervención humana. En el caso de los camiones autónomos, la autonomía implica que el camión puede planificar su ruta, navegar por el terreno y realizar maniobras sin necesidad de que un conductor lo controle.
- **Maniobrabilidad**: Se refiere a la capacidad de un vehículo para moverse con facilidad y precisión en diferentes entornos. En el caso de los camiones autónomos, la maniobrabilidad es esencial para poder superar obstáculos, navegar por terrenos irregulares y posicionarse con precisión en áreas con limitaciones de espacio.
- **Plan de Tráfico: D**efine las rutas que deben seguir los camiones autónomos en un sitio de operación. El plan de tráfico debe tener en cuenta la disposición del terreno, la ubicación de los obstáculos, las zonas de carga y descarga, y las normas de seguridad.
- **Riesgo**: se refiere a la posibilidad de que ocurra un evento adverso, como un accidente o un daño a la propiedad.

- **Obstáculo:** Un obstáculo es cualquier objeto que pueda impedir el movimiento de un camión autónomo, como rocas, árboles, vehículos estacionados o estructuras. Los camiones autónomos deben ser capaces de detectar y evitar obstáculos para operar de manera segura y eficiente.

5. RESTRICCIONES

- La distancia de retroceso (aculatamiento) no debe exceder los 50 metros. Si se sobrepasa este límite, el camión puede salir del rango de los sensores de obstáculos, incrementando el riesgo de colisión o daños al equipo.
- El ángulo de giro durante el aculatamiento no debe superar los 15 grados. Un giro excesivo podría generar desalineación en el camión autónomo, afectando la precisión del retroceso, generando riesgos de accidentes y mayor desgate en los neumáticos.
- Antes de realizar el aculatamiento, el terreno debe estar libre de obstáculos y correctamente nivelado. No se permite realizar maniobras de aculatamiento en terrenos que presenten irregularidades, escombros, o zonas inestables sin la verificación del equipo geotécnico.
- La velocidad del camión durante el aculatamiento no debe exceder los 8 km/h. Mantener una velocidad baja asegura que el sistema de detección de obstáculos y el frenado de emergencia funcionen adecuadamente.
- El aculatamiento debe realizarse dentro de áreas predefinidas, conocidas como "cúspides".
- Las zonas de aculatamiento deben ser revisadas cada hora para verificar que estén en condiciones adecuadas para la operación autónoma. Cualquier anomalía en el terreno o acumulación de material debe ser corregida inmediatamente.
- Durante el aculatamiento, el sensor de proximidad debe estar completamente funcional. Si el sensor presenta fallas o inconsistencias, el camión deberá ser retirado de la operación hasta que el sistema sea revisado y reparado.
- Durante el proceso de aculatamiento, el acceso al área debe estar restringido para evitar la presencia de personal o equipos tripulados que no estén involucrados en la operación, minimizando el riesgo de accidentes y teniendo precaución de movimiento/cambio de dirección en cercanía de carril autónomo con prioridad.

SECCIÓN III – AUTORIZACIONES Y FIRMAS (EMPRESA QUE EJECUTA LA TAREA)			
ELABORADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FECHA	FIRMA
	Supervisor de Seguridad		
REVISADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FECHA	FIRMA
	Líder de Mina		
	Superintendente de Operaciones Mina		
	Superintendente de Seguridad		
APROBADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FECHA	FIRMA
	Gerente de Operaciones Mina		

LOGO	ESTÁNDAR	CÓDIGO:	SHE-ESO-0062
	ESTÁNDAR DE PREVENCIÓN DE SOBRECARGAS PARA CAMIONES AUTÓNOMOS 794AC	VERSION:	00
		FECHA DE ELABORACIÓN	11-05-2024
	UNIDAD MINERA	PÁGINA:	1 de 7

ESTÁNDAR DE PREVENCIÓN DE SOBRECARGAS PARA CAMIONES AUTÓNOMOS 794AC

1 OBJETIVO

Establecer requisitos mínimos para la prevención de sobrecargas en camiones mineros y las intervenciones correspondientes:

- Realizar inspecciones periódicas de los camiones autónomos para identificar cualquier indicio de desgaste o daño estructural que pudiera aumentar el riesgo de fallos debido a sobrecargas.
- Monitorear constantemente el tonelaje de la carga en la tolva mediante sistemas como el Accuload, Terrain para asegurar que no se supere el target de 346.58 toneladas.
- Capacitar al personal en el uso del sistema Terrain, para que tomen precauciones ante la alerta de generar una sobrecarga al camión cuando la carga se aproxima o excede el límite establecido.
- Implementar un protocolo de descarga de emergencia en caso de que se detecte una sobrecarga significativa, para reducir el tonelaje y mitigar los riesgos de daño al camión.
- Capacitar al personal de supervisión y al equipo de respuesta sobre la importancia de mantener los límites de carga y los procedimientos a seguir en caso de sobrecargas.
- Revisar las rutas de operación y las condiciones del terreno para identificar pendientes pronunciadas o caminos que puedan aumentar la tensión en los camiones cargados, adaptando las rutas para reducir el riesgo de daños.
- Inspeccionar los sistemas de suspensión y frenos para verificar que estén en condiciones óptimas, ya que son críticos para soportar cargas elevadas sin comprometer la seguridad del equipo.
- Documentar todas las incidencias de sobrecarga y las acciones tomadas para ajustar procedimientos operativos y prevenir futuras ocurrencias.
- Realizar una investigación de causa raíz tras cualquier incidente relacionado con sobrecargas para identificar fallas en los procesos de carga y ajustar los procedimientos operativos en consecuencia.
- Implementar sistemas automáticos de gestión de carga que eviten la sobrecarga desde el proceso de carga inicial, ajustando la cantidad de material según el target del camión.
- Realizar mantenimientos preventivos de la tolva y la estructura del camión para asegurar que puedan soportar de manera segura la operación, incluso ante eventos ocasionales de sobrecarga.

- Actualizar los procedimientos de operación y control de carga según los resultados de las auditorías y estudios de cargas, optimizando la seguridad y el rendimiento de los camiones autónomos.

2 ALCANCE

Este estándar es aplicable a todo el personal de Anglo American que ingrese al área de autonomía en operaciones mina.

3 REFERENCIAS LEGALES Y OTRAS NORMAS

- D.S. 024-2016 EM Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería y modificatoria (RSSOM). D.S 023--2017-EM – Modificación diversos artículos y anexos del reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería, aprobado por D.S. N° 024-2016-EM.
- D.S 024--2016-EM - Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.
- Ley 29783 - Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- D.S. No 040-2014-EM Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero.
- D.S. N° 005-2012-TR, Reglamento de la Ley 29783 - Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- Ley 30222, modificatoria de la ley 29783.
- D.S. N° 006-2014-TR. Modificatoria del reglamento de la ley N° 29783, ley de seguridad y salud en el trabajo, aprobado por el D.S. N° 005-2012-TR.
- Norma ISO 14001:2015 Sistema de Gestión Ambiental.
- Norma ISO 45001: 2018. Sistemas de Seguridad y Salud en el trabajo.

4 ESPECIFICACIONES DEL ESTÁNDAR

4.1 CONTROLES CRÍTICOS MANDATORIOS

Únicamente el personal autorizado, capacitado y equipado con el equipo de protección adecuado puede ingresar al área donde se efectúa el cambio de modo y la descarga manual. Cualquier otra persona debe permanecer fuera de esta zona para evitar accidentes.

Cuando el camión se encuentra en modo autónomo (indicado por una luz azul, ya sea fija o intermitente), no es seguro acercarse, ya que puede moverse de forma repentina bajo el control del sistema autónomo.

El camión no debe operarse en modo manual sin que el operador haya realizado previamente las pruebas de frenos especificadas en el manual de operación. Si se detecta alguna falla en los frenos, el camión no debe utilizarse hasta que sea reparado.

Si las condiciones climáticas, como lluvias intensas, niebla o tormentas, afectan la visibilidad o la adherencia del terreno, la operación manual debe suspenderse hasta que las condiciones sean seguras

El operador en modo manual debe llevar siempre el dispositivo A-Stop y ser acompañado por una camioneta equipada con Site Awareness al moverse por zonas autónomas (AOZ), minimizando así el riesgo de accidentes con otros equipos o personas.

El operador en modo manual debe respetar los límites de velocidad establecidos en la mina, especialmente al dirigirse a la plataforma de descarga, evitando aceleraciones bruscas o maniobras peligrosas.

El cambio de modo solo puede realizarse con la autorización del supervisor de mina y bajo la coordinación del equipo de control mina. Ningún operador está autorizado a hacer este cambio por su cuenta.

4.2 PLANIFICACIÓN

- **Evaluación de la Sobrecarga**

  Antes de realizar cualquier descarga de sobrecarga, es esencial identificar las situaciones específicas que provocan sobrecarga en los camiones autónomos CAT 794AC. Estas incluyen variaciones en el tipo de material, errores en la carga o condiciones de la ruta que afecten el peso total transportado.

  Se debe planificar un monitoreo constante de las cargas, utilizando los sistemas autónomos para identificar cuándo un camión ha excedido su límite (346.58 toneladas) y proceder con el cambio a modo manual para la descarga segura.

- **Asignación de Recursos**

  El supervisor de mina debe coordinar con el equipo de control de mina y asegurarse de que el personal capacitado esté disponible para llevar a cabo el cambio de modo de los camiones y supervisar el proceso de descarga en la plataforma designada.

  Los recursos necesarios, como el dispositivo A-Stop, radios de comunicación y camionetas con Site Awareness, deben estar listos para ser utilizados en la operación de descarga. También es fundamental contar con el personal y las herramientas adecuadas, como el checklist de inspección y el manual de operaciones del CAT 794AC.

- **Consideraciones Operativas**

  En caso de condiciones meteorológicas adversas, como lluvias o niebla que comprometan la visibilidad o la adherencia del terreno, se debe suspender la operación hasta que las condiciones mejoren. Esto evita riesgos adicionales durante la movilización y descarga del camión.

  Definir rutas seguras y zonas habilitadas para la descarga de sobrecarga, asegurando que no interfieran con otras operaciones mineras.

4.3 IMPLEMENTACIÓN Y GESTIÓN

- **Coordinación Coordinación Operativa**

  El Supervisor de Operaciones Mina es el responsable de coordinar la operación de descarga, garantizando que todo el personal involucrado esté informado y que se sigan los pasos correctos para el cambio de modo de los camiones. La operación de cambio de modo debe estar en total sincronización con el equipo de control mina.

El uso de tecnología, como el Site Awareness en los vehículos escolta y las radios de comunicación, es esencial para guiar a los camiones durante su movilización a las plataformas de descarga. Estos sistemas garantizan que se minimicen los riesgos de accidentes durante el tránsito de los camiones en áreas autónomas.

- **Capacitación del Personal**

  Todo el personal involucrado debe estar debidamente capacitado para realizar el cambio de modo de los camiones autónomos a manual, además de estar entrenado en la correcta utilización del dispositivo A-Stop y el manejo seguro de la descarga de sobrecarga. Este entrenamiento debe ser realizado periódicamente.

  Se deben organizar simulaciones periódicas para familiarizar al personal con las maniobras de descarga en situaciones de sobrecarga, asegurando que todo el equipo siga los procedimientos adecuados.

- **Evaluación de Riesgos**

  Durante la implementación, se deben evaluar los riesgos asociados a las maniobras en áreas operativas y los posibles fallos en los sistemas del camión (como los frenos o sistemas hidráulicos). Cualquier irregularidad identificada debe ser abordada antes de proceder con la operación manual de descarga.

  También es fundamental que el equipo de mantenimiento revise los frenos, sistemas de suspensión y otros componentes críticos antes de realizar cualquier operación manual.

4.4 SUPERVISIÓN DE DESEMPEÑO

- **Monitoreo en Tiempo Real**

  El Controlador Mina debe supervisar en tiempo real el estado operativo del camión autónomo a través de las herramientas de monitoreo disponibles. Esto incluye la revisión de alertas generadas por el sistema autónomo que indiquen sobrecargas o fallas operativas, y la coordinación con el equipo para realizar el cambio a modo manual de manera segura.

  Durante la operación de descarga, se debe mantener una comunicación constante entre el operador del camión y el equipo de supervisión, usando radios portátiles para coordinar la movilización y la descarga segura.

- **Auditorías y Revisión de Procedimientos**

  Se deben realizar auditorías periódicas para verificar que se estén siguiendo todos los procedimientos de manera adecuada y que el personal esté cumpliendo con las normativas de seguridad. Las auditorías deben incluir la revisión de los tiempos de respuesta ante sobrecargas, la eficiencia de la operación manual y la precisión en la aplicación de los controles operacionales.

  También se debe evaluar el desempeño de los equipos utilizados durante la operación, como el estado de los dispositivos A-Stop y los vehículos escolta, asegurando que se encuentren en óptimas condiciones para su uso en futuras operaciones.

- **Informes de Desempeño**

  El Supervisor de Operaciones debe generar informes detallados después de cada operación de descarga, documentando la causa de la sobrecarga, los tiempos de inicio y fin de la operación, los incidentes detectados y las acciones correctivas tomadas. Estos informes ayudan a mejorar los procedimientos y reducir la incidencia de sobrecargas en el futuro.

  Los indicadores clave de desempeño (KPIs) incluyen el tiempo de transición del camión entre modos, la cantidad de descargas realizadas sin incidentes y la velocidad de respuesta ante sobrecargas.

4.5 DEFINICIÓN

AMT (Autonomous Mining Truck)
Camión minero autónomo que opera sin intervención directa de un operador humano. Este equipo está diseñado para optimizar las operaciones en minas y depende de sistemas avanzados de control y monitoreo.

Autonomía
Se refiere a la capacidad de un vehículo para operar sin intervención humana. En el caso de los camiones autónomos, la autonomía implica que el camión puede planificar su ruta, navegar por el terreno y realizar maniobras sin necesidad de que un conductor lo controle.

MineStar
Es un sistema desarrollado por Caterpillar que ofrece una amplia gama de herramientas para optimizar la eficiencia, la seguridad y la productividad de las operaciones mineras en tiempo real.

Plan de Tráfico

Define las rutas que deben seguir los camiones autónomos en un sitio de operación. El plan de tráfico debe tener en cuenta la disposición del terreno, la ubicación de los obstáculos, las zonas de carga y descarga, y las normas de seguridad.

5 RESPONSABLES

5.1 GERENTE GENERAL DE OPERACIONES

- Garantizar la implementación efectiva de este estándar operativo y su cumplimiento en toda la mina.
- Supervisar la coordinación entre el equipo de IOC, mantenimiento, desarrollo mina y las áreas operativas para mitigar riesgos.
- Informar a la alta dirección sobre cualquier incidencia mayor que pueda comprometer la seguridad operativa y la integridad de la mina.

5.2 TODAS LAS GERENCIAS

- Velar por la seguridad de los trabajadores dentro de sus áreas de responsabilidad.

- Coordinar acciones correctivas y preventivas junto con el equipo de IOC, mantenimiento y desarrollo mina junto con los supervisores operativos para garantizar la estabilidad y seguridad de las operaciones.
- Asegurar la correcta comunicación de riesgos y acciones a todo el personal bajo su supervisión.
- Proveer de los recursos necesarios para la pronta restauración del monitoreo o medidas alternativas.

5.3 SOCIOS ESTRATÉGICOS

- Suministrar equipos, servicios técnicos o cualquier otro apoyo necesario para restablecer los niveles adecuados para los neumáticos de los AMT.
- Coordinar con la Gerencia de Operaciones y el equipo técnico cualquier intervención necesaria para mitigar riesgos.
- Informar inmediatamente sobre cualquier limitación en el suministro de recursos o servicios que pueda afectar la seguridad de las operaciones mineras.

5.4 TRABAJADORES

- Seguir las instrucciones de evacuación y las medidas preventivas.
- Notificar inmediatamente cualquier condición irregular o situación de riesgo observada.
- Colaborar con los equipos de seguridad, mina, IOC y mantenimiento, asegurando el cumplimiento de las medidas de seguridad establecidas.

6 REGISTROS, CONTROLES Y DOCUMENTACIÓN

- Operación de pala hidráulica CAT 6060.
- Aculatamiento de camiones.
- Configuración y limpieza del frente del equipo de carguío.
- Tiempo de espera de camión y de cola de camiones.
- Optimización del llenado del balde.

7 REVISIÓN

- De forma anual o cuando se detecten desviaciones al estándar.

8 CONTROL DE CAMBIOS

Versión N°	Descripción de la modificación (cambio o eliminación)
1	Primera versión del documento

9 ANEXOS

- Anexo 1: Parámetros de condiciones ideales para Cúsp.

ANEXO 1: PARÁMETROS DE CONDICIONES IDEALES PARA CÚSPIDES

- A continuación, se presentan muestra las capas de autonomía de los AMTs **(Límites para Target Payload y política de sobrecarga camiones 794AC):**

Configuración en OCS	
Empty Machine Weigth	233

Configuración en MineStar	
Maximun Payload	346,58
Overload	317,70
Nominal Payload	303,26
Underload	259,94

Configuración en VIMS	
Carga útil deseada	303,26
Límite de sobrecarga	11,28%

ELABORADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FECHA	FIRMA
REVISADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FECHA	FIRMA
	Líder de Mina		
	Superintendente de Operaciones Mina		
	Superintendente de Seguridad		
APROBADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FECHA	FIRMA
	Gerente de Operaciones Mina		

8.6. PETS de descarga de sobrecargas para camiones autónomos

LOGO	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO – PETS	CÓDIGO:	SHE-PLT-24
	PROCEDIMIENTO PARA DESCARGA DE SOBRECARGA EN CAMIONES AUTÓNOMOS 794AC	VERSION:	00
		FECHA DE ELABORACIÓN	11-05-2024
	UNIDAD MINERA	PÁGINA:	1 de 8

Gerencia: Mina	Área: Operaciones

1. PERSONAL

- **Gerencia Mina**
  - **Gerente de Mina:** Persona calificada responsable de liderar, organizar, coordinar y supervisar la ejecución de operaciones mina, dar soporte y recursos para la ejecución de las actividades y el desarrollo de este procedimiento.
  - **Superintendente de Mina:** Persona calificada, responsable de liderar, organizar, coordinar y supervisar directamente la ejecución del presente procedimiento.
  - **Líder de Mina:** Debe liderar el equipo, velar por el cumplimiento de los procedimientos asociados a las actividades de minado de sectores afectados, asignación de recursos (Personas y equipos).
  - **Supervisor de Operaciones Mina (Mina Sur- Mina Norte):** Es el encargado de la ejecución de las actividades de minado de sectores afectados, coordinando la toma de decisiones en conjunto con el equipo de geotecnia durante la actividad. De igual forma participará de la generación del IPERC que se realizará en conjunto con los operadores de equipo de carguío, líder de Mina, supervisor de geotecnia y soporte geotécnico de campo durante el desarrollo de la actividad, los cuales identificarán los peligros, riesgos y controles.
  - **Operadores y trabajadores en general:** Es responsabilidad de todos los trabajadores conocer y cumplir estrictamente con los detalles descritos en este procedimiento. El incumplimiento de este procedimiento será considerado como falta grave, por lo cual se procederá a aplicar una sanción disciplinaria.
- **Gerencia de IOC**
  - **Líder de IOC:** Debe liderar el equipo, velar por el cumplimiento de los procedimientos asociados a las actividades de minado de asignación de recursos (Camiones CAT 794AC).
  - **Controlador Mina:** Responsable monitorear cada AMT para garantizar la seguridad del equipo, brindando recomendaciones técnicas y de seguridad para la correcta ejecución de las actividades y asegurando el cumplimiento de los protocolos establecidos.
- **Requerimiento de personal para la tarea**
  - 01 Supervisor de Operaciones Mina
  - 01 Personal de apoyo para cambio de modo.
  - 01 Controlador Mina

2. EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MATERIALES

- **Equipos**
  - 01 Camión autónomo CAT 794AC.
  - 01 Camioneta de escolta con Site Awareness.
  - 01 Radio de comunicación portátil.
- **Herramientas**
  - 01 Dispositivo A-Stop.
  - 01 Llaves y herramientas manuales básicas.
  - 01 Kit de primeros auxilios.
- **Materiales requeridos**
  - 01 Manual de operación del CAT 794AC.
  - 01 Checklist de inspección.

LOGO	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO – PETS	CÓDIGO:	SHE-PLT-24
	PROCEDIMIENTO PARA DESCARGA DE SOBRECARGA EN CAMIONES AUTÓNOMOS 794AC	VERSION:	00
		FECHA DE ELABORACIÓN	11-05-2024
	UNIDAD MINERA	PÁGINA:	2 de 8

- 01 Mapa de control de trafico.
- 01 Procedimiento de descarga tripulado.

3. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- 01 Casco de seguridad.
- 01 Barbiquejo.
- 01 Par de Zapatos de seguridad con punta de acero.
- 01 Chaleco con cintas reflectivas.
- 01 Lentes de seguridad (claros/ oscuros).
- 01 Bloqueador Solar.
- 01 Par de Guantes de cuero o badana.
- 01 Protector auditivo.
- 01 Corta viento.

4. PROCEDIMIENTO

4.1 Alcance del trabajo / Descripción

- Este procedimiento describe los pasos a seguir cuando un camión autónomo CAT 794AC presenta una sobrecarga de material (mayor a 346.58 toneladas) y se requiere cambiar el modo de operación de autónomo a manual para realizar la descarga de manera controlada en una plataforma designada. El objetivo es asegurar que el material acarreado en exceso sea descargado de forma segura, evitando daños en el equipo y riesgos operacionales.
- El cambio de modo es gestionado por personal autorizado (PIT TECH, supervisores o personal capacitado), quienes, en coordinación con el control mina, realizarán el cambio de autónomo a manual y movilizarán el camión hacia las áreas de descarga específicas en los frentes de minado. Este procedimiento asegura que el proceso de descarga se lleve a cabo de manera eficiente y segura, minimizando demoras operativas y protegiendo la integridad del equipo autónomo, permitiendo así un retorno seguro a las operaciones normales una vez descargada la sobrecarga.
- A todos los empleados de, empresas contratistas mineras, empresas contratistas de actividades conexas que desarrollan esta actividad.

4.2 Criterios para Activar el Cambio a Modo Manual

El cambio de modo de autónomo a manual solo debe activarse bajo condiciones específicas que impidan que el camión autónomo realice la descarga de manera automática. Estas condiciones incluyen:

- **Sobrecarga**: Cuando el sistema autónomo detecta una sobrecarga, es decir, un peso superior a las 346.54 toneladas, el sistema puede bloquear la descarga automática como medida de seguridad. En este caso, es necesario transferir el control al modo manual para que un operador capacitado pueda manejar la descarga, asegurando que se realice de manera segura y eficiente. Las sobrecargas pueden ocurrir debido a variaciones en el tipo de material transportado, condiciones de la ruta o errores en la carga del material.

  El supervisor de mina debe monitorear constantemente las cargas para evitar estas situaciones, pero en caso de que ocurran, se deben seguir los pasos detallados en este procedimiento.



Imagen 1. Carguío de CAT 794AC.

- **Fallas operativas del sistema autónomo**: Existen varios motivos por los que el sistema autónomo podría no ser capaz de completar una descarga, como fallas en los sensores, interrupciones en la red de comunicación o problemas mecánicos en los frenos o sistemas hidráulicos. Ante una falla del sistema autónomo, se debe cambiar inmediatamente al modo manual, asegurándose de que el camión sea operado por personal capacitado hasta que la falla sea corregida. En estos casos, es vital que el CONTROLADOR realice un diagnóstico rápido del problema y que el equipo técnico sea notificado de inmediato para proceder con las reparaciones necesarias. Si es seguro operar el camión en modo manual, el proceso de descarga debe realizarse conforme a este procedimiento.
- **Situaciones operativas de emergencia**: En ciertas situaciones, como cambios en las fases de la mina, bloqueos inesperados en las rutas de descarga o la necesidad de reposicionar el camión en una plataforma específica, el supervisor de mina puede ordenar el cambio a modo manual para completar la operación de descarga de manera más rápida o controlada.

4.3 Procedimiento de Cambio de Modo Autónomo a Manual

El proceso de cambio de modo en los camiones autónomos CAT 794AC requiere una coordinación precisa entre el operador, el equipo de control mina, y el supervisor. A continuación, se detallan los pasos para llevar a cabo el cambio de forma segura y eficiente:

Notificación y Coordinación Inicial

Antes de realizar cualquier cambio de modo, el supervisor de mina debe notificar al área de control mina y a los operadores involucrados sobre la necesidad de cambiar el camión de modo autónomo a manual debido a la sobrecarga en el AMT. Este paso es importante para evitar errores de comunicación y asegurar que todos los sistemas de monitoreo sean ajustados para reflejar el cambio de estado del camión. Una vez que se haya hecho la notificación, el área de control mina desactivará temporalmente los algoritmos de control autónomo para el camión afectado, permitiendo que el operador tome el control del equipo. Durante este proceso, los CONTROLADORES estarán en constante comunicación con el supervisor para asegurarse de que no haya errores en la transición.

Verificación de Sistemas Críticos Antes del Cambio de Modo

Previo a que se autorice el cambio a modo manual, el operador asignado debe realizar una inspección visual completa del camión, asegurándose de que no haya signos de daño estructural o mal funcionamiento en los componentes críticos. Una vez realizada la inspección visual, el operador debe verificar los indicadores del sistema del camión en la consola de cabina, asegurándose de que no haya alertas o códigos de error que puedan impedir la operación manual. En particular, se debe prestar atención a los sistemas de frenos y a los controles de tracción, ya que una falla en estos sistemas podría poner en riesgo la seguridad durante la descarga de la sobrecarga.



Imagen 2. Inspección visual de CAT 794AC.

Cambio de Modo Mediante Interruptores de Piso y Cabina

El cambio de modo se ejecuta a través de un conjunto de interruptores que se encuentran tanto en la cabina como en el piso del camión. Estos interruptores permiten transferir el control del sistema autónomo al operador humano. A continuación, se detallan los pasos específicos:

a. **Activación del Interruptor de Piso:** El operador designado ingresará al camión y activará el interruptor de piso, que está diseñado para desactivar temporalmente los sistemas autónomos del equipo. Este interruptor asegura que no haya interferencia de los sistemas autónomos durante la operación manual.

b. **Activación del Interruptor de Cabina:** Posteriormente, el operador activará el interruptor de cabina, ubicado en el panel de control, para completar el cambio a modo manual. Este interruptor permite al operador tener control total sobre el equipo, desactivando cualquier funcionalidad de parada automática o de control remoto. Durante este proceso, las luces modales indicarán el estado operativo del camión:

- Luz Verde Intermitente: Indica que el camión está listo para ser operado manualmente y que la parada autónoma ha sido desactivada.
- Luz Verde Fija: Indica que el camión ha salido del modo autónomo y que está bajo control manual completo.

Estas luces proporcionan una referencia visual clara sobre el estado operativo del camión y son clave para la seguridad del proceso, ya que aseguran que el equipo y el personal involucrado comprendan en qué modo está operando el camión.

Pruebas de Sistemas en Modo Manual

Una vez activado el modo manual, el operador debe realizar pruebas de todos los sistemas críticos del camión, tal como se describe en el manual de operaciones del CAT 794AC. Esto incluye pruebas de frenos, dirección, aceleración y control de tracción.

La prueba de frenos es uno de los pasos más críticos, ya que garantiza que el camión pueda detenerse de manera segura durante la operación manual. El operador debe realizar una prueba de frenado estático, en la que aplica los frenos en un área segura para verificar su funcionamiento, así como una prueba de frenado dinámico, en la que el camión se mueve lentamente y se aplican los frenos para comprobar su efectividad bajo carga.

Si durante estas pruebas se detecta alguna anomalía, el operador debe detener inmediatamente la operación y notificar al supervisor y al equipo de mantenimiento para que realicen las reparaciones necesarias antes de continuar con la operación manual.

Movilización del Camión a la Plataforma de Descarga

Una vez verificadas las condiciones operativas del camión, el supervisor de mina coordinará la movilización del equipo hacia la plataforma de descarga designada. Durante este proceso, el camión debe ser escoltado por una camioneta equipada con Site Awareness, un sistema que monitorea el entorno de operación y proporciona alertas sobre posibles obstrucciones o peligros en el camino del camión.

El operador de la camioneta escolta será responsable de guiar al camión a lo largo de su ruta hacia la plataforma, asegurándose de que no haya interferencias o riesgos durante el traslado. Este escolta es obligatorio cuando el camión se desplaza en áreas AOZ (Áreas de Operación Autónoma), donde la interacción humana está estrictamente limitada y cualquier anomalía puede ser peligrosa.

Durante la movilización, el operador del camión debe estar en constante comunicación con el supervisor de mina y el operador del vehículo escolta, utilizando una radio de comunicación portátil. Esta coordinación es esencial para garantizar que el traslado se realice de manera segura y sin incidentes.



Imagen 3. Movimiento de Camión CAT 794AC a plataforma de descarga.

Ejecución de la Descarga en la Plataforma

Una vez que el camión haya llegado a la plataforma de descarga designada, el operador procederá con la operación de descarga. Es importante que el operador mantenga un control preciso de la velocidad y la inclinación de la caja de descarga para evitar sobrecargas en los sistemas hidráulicos.

Durante la operación de descarga, el operador debe estar atento a cualquier señal de malfuncionamiento en los controles de la caja. En caso de detectar algún problema, debe detener la operación inmediatamente y notificar al supervisor. Una vez completada la descarga, el operador realizará una inspección rápida del equipo para asegurarse de que no haya daños mecánicos como resultado de la operación.



Imagen 4. Descarga de material en modo tripulado.

4.4 Restauración del Modo Autónomo

Después de completar la descarga en modo manual, el camión debe ser restaurado al modo autónomo para continuar con las operaciones regulares.

Este proceso involucra una serie de pasos similares al cambio de modo manual, pero en sentido inverso:

1. Desactivación del Interruptor de Cabina: El operador desactiva el interruptor de cabina para devolver el control al sistema autónomo.
2. Verificación de Luces Modales: Las luces modales cambiarán a Azul Fijo, lo que indica que el camión está en proceso de volver a la modalidad autónoma. Una vez que el sistema esté completamente operativo, las luces cambiarán a Azul Intermitente, indicando que el camión está en operación autónoma y es seguro que el sistema vuelva a controlar los movimientos del equipo.
3. Prueba del Sistema Autónomo: Antes de reanudar las operaciones, el CONTROLADOR realizará una serie de pruebas en el sistema autónomo para asegurarse de que todos los sensores, frenos y sistemas de control estén funcionando correctamente. Una vez completadas las pruebas, el camión será liberado para volver a la operación autónoma normal.

4.5 Seguridad y Medidas Preventivas

- El cambio de modo y la descarga manual de camiones autónomos con sobrecarga son operaciones críticas que requieren la máxima atención a la seguridad. Todos los operadores y supervisores deben seguir estrictamente los procedimientos descritos en este documento para evitar incidentes. Además, el equipo debe asegurarse de que todas las herramientas y sistemas de monitoreo estén completamente operativos antes de cada cambio de modo o descarga.
- El uso del dispositivo A-Stop es obligatorio durante toda la operación en modo manual. Este dispositivo permite detener de inmediato el camión en caso de una emergencia, asegurando que se minimicen los riesgos durante la operación.
- Finalmente, se recomienda realizar auditorías regulares de este procedimiento para identificar posibles áreas de mejora y asegurar que todo el personal esté debidamente capacitado para realizar estos procedimientos de manera segura y eficiente.

4.6 Registros y Documentación

El supervisor mina debe documentar en el sistema de control de mina cada operación de descarga manual, especificando:

- Causa del cambio de modo.
- Operador asignado.
- Hora de inicio y finalización de la operación.
- Cualquier incidente o anomalía detectada durante la operación.

4.7 Definición de Términos:

AOZ

Zona de Operación Autónoma. Es el área designada dentro de una mina donde los camiones operan de forma totalmente autónoma, siguiendo rutas preestablecidas y sin intervención humana directa.

Cambio de Modo

Proceso mediante el cual un camión autónomo pasa de ser controlado por un sistema automatizado a ser operado manualmente por un operador. Este cambio se realiza generalmente en situaciones especiales como sobrecargas o mantenimiento.

Camión Autónomo CAT 794AC

Un tipo específico de vehículo de gran tamaño utilizado en la minería a cielo abierto. Este camión está equipado con un sistema autónomo que le permite operar sin un conductor a bordo, gestionando tareas como rutas, cargas y descargas.

Centro de Control Mina

La ubicación central desde donde se monitorea y controla la operación de todos los camiones autónomos en una mina. Los operadores en este centro supervisan las rutas, cargas, descargas y condiciones operativas de los vehículos.

Modo Manual

El estado en el que un camión autónomo es controlado directamente por un operador humano. Se utiliza cuando se requiere una mayor precisión o control, como al descargar en plataformas específicas o al realizar maniobras en áreas con restricciones.

Plataforma de Descarga

Un área designada en una mina donde los camiones pueden descargar de forma segura el exceso de material, especialmente en casos de sobrecarga. Estas plataformas ayudan a prevenir interferencias con otras operaciones y a mantener la continuidad de las labores mineras.

Sobrecarga

La condición en la que un camión transporta más material del que está diseñado para llevar. Las sobrecargas pueden causar daños al equipo, aumentar el riesgo de accidentes y afectar el rendimiento general de la operación minera.

5. RESTRICCIONES:

- Solo el personal autorizado, capacitado y equipado con el EPP adecuado puede acceder al área donde se realiza el cambio de modo y la descarga manual. Cualquier otra persona debe mantenerse fuera del área de operación para evitar accidentes.
- Cuando el camión esté en modo autónomo (luz azul intermitente o fija), no es seguro acercarse al equipo, ya que puede moverse de manera repentina bajo el control del sistema autónomo.
- El camión no debe operar en modo manual sin que el operador haya realizado previamente las pruebas de frenos mencionadas en el manual de operación. Cualquier falla detectada en los frenos descalifica el uso del camión hasta que sea reparado.
- Si las condiciones meteorológicas (como lluvia intensa, niebla o tormentas) comprometen la visibilidad o la adherencia del terreno, se debe suspender la operación manual hasta que las condiciones mejoren.
- El operador en modo manual debe portar el dispositivo A-Stop en todo momento y ser escoltado por una camioneta equipada con Site Awareness al desplazarse en zonas autónomas (AOZ), minimizando riesgos de accidentes con otros equipos o personas.
- El operador en modo manual debe respetar los límites de velocidad establecidos por la mina, especialmente durante el traslado hacia la plataforma de descarga, evitando aceleraciones bruscas o maniobras peligrosas.
- El cambio de modo solo puede ser realizado con la aprobación del supervisor de mina y bajo la coordinación del equipo de control mina. Ningún operador está autorizado a realizar el cambio sin esta coordinación.

LOGO	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO – PETS	CÓDIGO:	SHE-PLT-24
	PROCEDIMIENTO PARA DESCARGA DE SOBRECARGA EN CAMIONES AUTÓNOMOS 794AC	VERSION:	00
		FECHA DE ELABORACIÓN	11-05-2024
	UNIDAD MINERA	PÁGINA:	8 de 8

ELABORADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FECHA	FIRMA
	Supervisor de Seguridad		
REVISADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FECHA	FIRMA
	Líder de Mina		
	Superintendente de Operaciones Mina		
	Superintendente de Seguridad		
APROBADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FECHA	FIRMA
	Gerente de Operaciones Mina		

8.7. Estándar de prevención de incendios de neumáticos de camiones autónomos

LOGO	ESTÁNDAR	CÓDIGO:	SHE-ESO-0060
	ESTÁNDAR DE PREVENCIÓN DE INCENDIOS DE NEUMATICOS PARA CAMIONES AUTÓNOMOS 794AC	VERSION:	00
		FECHA DE ELABORACIÓN	09-05-2024
	UNIDAD MINERA	PÁGINA:	1 de 9

ESTÁNDAR DE PREVENCIÓN DE INCENDIOS DE NEUMÁTICOS PARA CAMIONES AUTÓNOMOS 794AC

1 OBJETIVO

Establecer requisitos mínimos para la prevención de incendios de neumáticos en camiones mineros y las intervenciones correspondientes:

- Realizar inspecciones periódicas para identificar zonas con acumulación de calor en los neumáticos y las posibles fuentes de ignición, como frenos sobrecalentados, material combustible en contacto con los neumáticos o fricción excesiva.
- Detectar posibles fallas en los sensores de temperatura del sistema de monitoreo del camión, como el AMT.
- Identificar condiciones de operación que puedan incrementar el riesgo de incendios, como cargas pesadas, altas temperaturas ambientales y rutas con pendientes pronunciadas.
- Implementar un sistema de monitoreo constante de la temperatura de los neumáticos y un sistema de alarma para detectar temperaturas elevadas.
- Establecer procedimientos específicos para el enfriamiento de neumáticos que han alcanzado niveles críticos de temperatura, como la utilización espuma contra encendidos y el tiempo mínimo de enfriamiento.
- Proporcionar capacitación regular al personal involucrado sobre la identificación de riesgos y la respuesta ante un potencial incendio de neumáticos.
- Instalar detectores de temperatura en los camiones mineros para una respuesta rápida ante un incremento de temperatura anormal.
- Evacuar de inmediato el área alrededor del camión afectado para garantizar la seguridad del personal en caso de detección de un incendio.
- Activar el protocolo de emergencia, que incluye notificar al equipo de respuesta a emergencias y coordinar la llegada de cisterna de con sistema de espuma para el enfriamiento.
- Inspeccionar el área afectada para evaluar daños y condiciones de seguridad antes de permitir el ingreso del personal.
- Realizar una inspección detallada de los neumáticos y los sistemas del camión para determinar el alcance de los daños y planificar la reparación o sustitución de componentes.
- Implementar una investigación de causa raíz para identificar fallas y evitar la recurrencia del incidente, así como actualizar los procedimientos de prevención de incendios según los hallazgos.
- Documentar el evento y las acciones tomadas para mejorar la capacitación y preparación de los equipos de respuesta ante futuros incidentes.

2 ALCANCE

Este estándar es aplicable a:

- Todas las operaciones administradas por la unidad minera, incluyendo a trabajadores propios, de empresas contratistas mineras, de empresas contratistas de actividades conexas y subcontratistas cuando se encuentren involucrados en actividades de los AMTs de la operación minera.
- Todas las actividades mineras que puedan tener impacto en el ciclo productivo de los AMT de la operación minera.

3 REFERENCIAS LEGALES Y OTRAS NORMAS

- D.S 023-2017-EM – Modificación diversos artículos y anexos del reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería, aprobado por D.S. N° 024-2016-EM.
- D.S 024-2016-EM - Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.
- Ley 29783 - Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- D.S. No 040-2014-EM Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero.
- D.S. N° 005-2012-TR, Reglamento de la Ley 29783 - Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- Ley 30222, modificatoria de la ley 29783.
- D.S. N° 006-2014-TR. Modificatoria del reglamento de la ley N° 29783, ley de seguridad y salud en el trabajo, aprobado por el D.S. N° 005-2012-TR.
- Norma ISO 14001:2015 Sistema de Gestión Ambiental.
- Norma ISO 45001: 2018. Sistemas de Seguridad y Salud en el trabajo.
- NFPA 11. Norma para sistemas de espuma contra incendio.

4 ESPECIFICACIONES DEL ESTÁNDAR

4.1 CONTROLES CRÍTICOS MANDATORIOS

Para el presente estándar, se necesita asegurar los siguientes controles obligatorios:

- Asegurar que los sistemas de frenado y suspensión de los camiones autónomos estén en óptimas condiciones para prevenir el sobrecalentamiento de neumáticos.
- Implementar protocolos de mantenimiento predictivo y correctivo para identificar desgastes anormales o acumulación de materiales que puedan provocar fricción y, por ende, ignición.
- Integrar sensores de temperatura en los neumáticos y sistemas de monitoreo remoto que alerten al personal cuando la temperatura exceda los límites seguros.

- Instalar sistemas automáticos de extinción de incendios en los camiones para la supresión de fuego en etapas tempranas, con activación inmediata al detectar temperaturas críticas.
- Capacitar al personal en el uso de estos elementos, a pesar de la autonomía de los vehículos, para asegurar una intervención eficiente.
- Realizar mediciones de temperatura alrededor de la zona afectada antes de intervenir, para evaluar la seguridad del área.
- Monitorear los niveles de CO2 y otros gases post-incendio para asegurar la seguridad del personal que realiza la inspección y reparación del camión.
- Establecer un sistema de permisos de trabajo en caliente para la realización de actividades que puedan generar chispas o calor, como el uso de equipos de soldadura cerca de los neumáticos.
- Incluir en el permiso una evaluación de riesgos específica para evitar la ignición accidental de neumáticos.
- Crear un protocolo de respuesta ante el sobrecalentamiento de neumáticos, que incluya el retiro inmediato del camión de la operación para su enfriamiento.
- Integrar este protocolo en el Plan de Preparación y Respuesta a Emergencias de la mina, con roles y responsabilidades claramente definidos para cada etapa del proceso.
- Instalar sistemas de protección eléctrica en camiones y talleres para prevenir la generación de chispas eléctricas que puedan iniciar un incendio en los neumáticos.
- Asegurar que todas las instalaciones cuenten con sistemas de puesta a tierra adecuados para proteger la operación de la caída de rayos.
- Implementar medidas de contención en los talleres de mantenimiento de camiones para evitar que cualquier derrame de combustible alcance zonas cercanas a los neumáticos.
- Diseñar áreas de estacionamiento con materiales que reduzcan el riesgo de propagación de un incendio hacia los tanques de combustible.
- Supervisar la acumulación de gases inflamables en el entorno de los camiones, especialmente en áreas de carga y descarga.
- Asegurar que todos los materiales utilizados en los neumáticos y en el mantenimiento de camiones sean aprobados según los estándares de seguridad para minimizar riesgos de combustión.
- Verificar que cualquier aditivo, lubricante o químico esté certificado para su uso en entornos de alta temperatura.
- Desarrollar un plan específico para incendios de neumáticos en camiones autónomos, que incluya el enfriamiento controlado, evacuación del área y procedimientos de comunicación.
- Realizar simulacros periódicos para asegurar que el personal esté preparado para actuar en caso de un incendio en los neumáticos y minimizar los impactos sobre la operación y la seguridad.

4.2 PLANIFICACIÓN

- Las evaluaciones deben considerar los combustibles, como los neumáticos y los lubricantes utilizados en camiones autónomos, además de las fuentes de ignición potenciales como el sobrecalentamiento de frenos y fricción durante el transporte de carga.

- Se deben analizar índices de explosividad en áreas de operación, el punto de inflamación de líquidos combustibles (como combustibles y lubricantes) y la resistencia de los neumáticos al calor y propagación del fuego.

- Estas evaluaciones son necesarias para determinar el alcance potencial de los incendios en neumáticos, estableciendo escenarios de riesgo según la probabilidad de ocurrencia y sus consecuencias, especialmente en zonas de operación autónoma.

- Identificar y documentar medidas preventivas, correctivas y listas de controles críticos, tales como sistemas de detección de temperatura en neumáticos y planes de enfriamiento.

- Asignar responsabilidades claras para la prevención y recuperación ante incendios de neumáticos, incluyendo la disponibilidad de sistemas automáticos de extinción y el equipo necesario para responder a estos eventos.

- Los procedimientos deben incluir la inspección frecuente de los sistemas de freno y suspensión de los camiones, así como la capacitación en el uso de equipos de control de incendios.

- Identificar y clasificar áreas donde los neumáticos puedan generar vapores inflamables debido al calor excesivo, como las zonas de descarga de material o de operación de camiones autónomos.

- Evaluar las condiciones de los talleres y áreas de mantenimiento de camiones para asegurar que la carga de fuego esté controlada, especialmente donde se manipulan neumáticos de gran tamaño.

- Implementar controles adicionales según la jerarquía de controles, priorizando la eliminación de la fuente de ignición y el uso de materiales de alta resistencia térmica para neumáticos.

- Aplicar diseños de ingeniería como protectores térmicos para prevenir el sobrecalentamiento de los neumáticos, y sistemas automáticos de extinción de incendios adaptados a las características de los camiones autónomos.

- Asegurar el mantenimiento adecuado de los frenos y sistemas de transmisión de los camiones para evitar fricción excesiva.

- Incluir estándares operacionales específicos para el manejo de situaciones de sobrecalentamiento de neumáticos.

- Usar sistemas automáticos de supresión de incendios diseñados para actuar directamente sobre los neumáticos en caso de detección de altas temperaturas.

- Desarrollar sistemas de extinción de incendios específicos para camiones autónomos en áreas de alto riesgo, integrando sistemas automáticos de supresión que desactiven el suministro de combustible en caso de detección de fuego.

- Diseñar e instalar sistemas de detección y control de incendios para camiones autónomos por personal competente, asegurando una supervisión independiente del proceso de instalación y operación.
- Asegurar que los sistemas de detección en los camiones envíen alertas a una sala de control central, activando el Plan de Respuesta a Emergencias de manera inmediata.
- Utilizar un sistema de comunicación bidireccional eficaz para coordinar la evacuación del área y la respuesta de emergencia.
- Asegurar que el almacenamiento de combustibles y lubricantes se realice en áreas diseñadas para prevenir la propagación de incendios hacia los camiones autónomos.
- Realizar capacitaciones periódicas en prevención y control de incendios de neumáticos, y asegurar la disponibilidad de equipos de lucha contra incendios en las áreas críticas.
- Planificar rutas de evacuación en áreas de operación de camiones autónomos para garantizar que, en caso de incendio, el personal pueda evacuar de manera segura y rápida.
- Monitorear continuamente la temperatura de los neumáticos y las condiciones de riesgo en tiempo real, con el apoyo del equipo de Mantenimiento, IOC, Desarrollo Mina y Operaciones, especialmente en áreas críticas de operación.

4.3 IMPLEMENTACIÓN Y GESTIÓN

- **Coordinación Operativa**

  Responsabilidad del Supervisor: El Supervisor de Operaciones Mina será responsable de asegurar la correcta implementación del procedimiento de control de incendios en neumáticos. Debe garantizar que todos los recursos estén disponibles y que se sigan los pasos establecidos sin desviaciones.

  Uso de Tecnología: Es esencial que el sistema de monitoreo de los camiones autónomos, como el sistema AFEX para detección de incendios y las cámaras termográficas, se mantengan operativos y en constante revisión. Esto permite la detección temprana de problemas y la activación rápida de los protocolos.

  Asignación de Recursos: El personal clave, como la Brigada de Respuesta a Emergencias y el equipo de Mantenimiento, deben estar asignados y coordinados para actuar de manera rápida y eficiente ante un incendio en los neumáticos. Las cuadrillas deben estar capacitadas en el uso de sistema de espuma contra incendios y equipos de protección personal (EPP) ignífugo.

  Planes de Acción en Emergencias: El equipo debe contar con planes claros para la evacuación de las áreas afectadas y la contención de incendios. Estos planes deben incluir rutas de evacuación, puntos de reunión, y la ubicación del equipo de extinción y el uso de vehículos de apoyo como las camionetas con Site Awareness.

- **Capacitación del Personal**

  Formación específica: Todo el personal involucrado en la extinción de incendios debe ser entrenados periódicamente en el manejo seguro de incendios en neumáticos, el uso de sistema contra incendios de espuma y la aplicación de los procedimientos de seguridad descritos en el PETS.

Simulacros: Organizar simulacros de incendios en neumáticos para que el personal esté familiarizado con las acciones de respuesta inmediata y la coordinación con la brigada de emergencias. Estos ejercicios deben realizarse al menos una vez al año, revisando el uso del dispositivo A-Stop y la movilización del equipo.

- **Evaluación del Impacto**

Monitoreo de Incidentes Previos: Evaluar los incidentes previos relacionados con incendios en neumáticos para ajustar el procedimiento. Analizar las condiciones del terreno, las velocidades de operación y otros factores que podrían aumentar el riesgo de incendio.

Evaluación de Costos y Riesgos: Implementar un análisis costo-beneficio que mida los recursos invertidos en la prevención y contención de incendios contra los costos potenciales de una interrupción operativa mayor por un incidente no controlado.

4.4 SUPERVISIÓN DE DESEMPEÑO

- **Monitoreo Continuo**

Revisión en Tiempo Real: Utilizar las herramientas de monitoreo en tiempo real, como sensores de temperatura integrados en el sistema del camión autónomo, para detectar anomalías y prevenir incendios antes de que se propaguen. El controlador de mina y el equipo de mantenimiento deben supervisar continuamente este sistema.

Inspección de Neumáticos: Realizar inspecciones periódicas de los neumáticos para detectar signos de sobrecalentamiento, desgaste o daño estructural que puedan derivar en un incendio. Estas inspecciones deben incluir el uso de cámaras térmicas para asegurar que los neumáticos se mantengan dentro de los rangos de temperatura seguros.

- **Auditorías Periódicas**

Revisiones de Seguridad: Auditar el cumplimiento del procedimiento de incendios en neumáticos mensual. Estas auditorías deben incluir el entrenamiento del personal, la operatividad de los dispositivos A-Stop y sistemas de comunicación.

Revisión de Equipos: Verificar que los equipos de extinción de incendios, incluyendo los sistemas de espuma, estén en buenas condiciones y disponibles en todo momento. Cualquier defecto o falta de mantenimiento puede comprometer la eficacia de la respuesta.

- **Informes de Desempeño**

Generación de Informes Post-Incidente: Después de cada incidente o simulacro de incendio, se debe generar un informe detallado que incluya las causas del incendio, el tiempo de respuesta, la efectividad de los recursos utilizados y cualquier recomendación para mejorar el procedimiento.

KPIs (Indicadores Clave de Desempeño): Los principales KPIs a monitorear incluyen el tiempo de detección y respuesta ante un incendio, la tasa de éxito en la extinción sin daños significativos, y el tiempo de inactividad del equipo afectado. Estos indicadores ayudarán a ajustar el plan de emergencia para futuros incidentes.

4.5 DEFINICIONES

Amago
Fuego en pequeña proporción o en etapa incipiente, puede ser extinguido en los primeros momentos por personal presente en el lugar con los elementos que cuentan antes de la llegada del personal especializado.

Autonomía
Se refiere a la capacidad de un vehículo para operar sin intervención humana. En el caso de los camiones autónomos, la autonomía implica que el camión puede planificar su ruta, navegar por el terreno y realizar maniobras sin necesidad de que un conductor lo controle.

Incendio
Es el fuego sin control en alguna de las instalaciones del titular minero y/o empresas contratistas.

MineStar
Es un sistema desarrollado por Caterpillar que ofrece una amplia gama de herramientas para optimizar la eficiencia, la seguridad y la productividad de las operaciones mineras en tiempo real.

Sistema de alarma
Elementos de seguridad estacionarios capaces de advertir de manera sonora y/o visual ante la presencia de un incendio incipiente o situación anormal de un proceso, cumpliendo una función de advertencia.

Plan de Manejo de Tráfico
Define las rutas que deben seguir los camiones autónomos en un sitio de operación. El plan de manejo de tráfico debe tener en cuenta la disposición del terreno, la ubicación de los obstáculos, las zonas de carga y descarga, y las normas de seguridad.

Riesgo
Se refiere a la posibilidad de que ocurra un evento adverso, como un accidente o un daño a la propiedad.

Sistema de detección
Conjunto de equipos y accesorios diseñados para la detección de humo, temperatura o fuego incipiente, bajo certificaciones nacionales e internacionales.

Sistema de supresión
Conjunto de equipos y accesorios diseñados para la extinción de incendios, bajo certificaciones nacionales e internacionales.

5 RESPONSABLES

5.1 GERENTE GENERAL DE OPERACIONES

- Garantizar la implementación efectiva de este estándar operativo y su cumplimiento en toda la mina.
- Supervisar la coordinación entre el equipo de IOC, mantenimiento, desarrollo mina y las áreas operativas para mitigar riesgos.
- Informar a la alta dirección sobre cualquier incidencia mayor que pueda comprometer la seguridad operativa y la integridad de la mina.

5.2 TODAS LAS GERENCIAS

- Velar por la seguridad de los trabajadores dentro de sus áreas de responsabilidad.
- Coordinar acciones correctivas y preventivas junto con el equipo de IOC, mantenimiento y desarrollo mina junto con los supervisores operativos para garantizar la estabilidad y seguridad de las operaciones.
- Asegurar la correcta comunicación de riesgos y acciones a todo el personal bajo su supervisión.
- Proveer de los recursos necesarios para la pronta restauración del monitoreo o medidas alternativas.

5.3 SOCIOS ESTRATÉGICOS

- Suministrar equipos, servicios técnicos o cualquier otro apoyo necesario para restablecer los niveles adecuados para los neumáticos de los AMT.
- Coordinar con la Gerencia de Operaciones y el equipo técnico cualquier intervención necesaria para mitigar riesgos.
- Informar inmediatamente sobre cualquier limitación en el suministro de recursos o servicios que pueda afectar la seguridad de las operaciones mineras.

5.4 TRABAJADORES

- Seguir las instrucciones de evacuación y las medidas preventivas.
- Notificar inmediatamente cualquier condición irregular o situación de riesgo observada.
- Colaborar con los equipos de seguridad, mina, IOC y mantenimiento, asegurando el cumplimiento de las medidas de seguridad establecidas.

6 REGISTROS CONTROLES Y DOCUMENTACIÓN

- Mapa de riesgos.
- Estándar de gestión del cambio.
- Estándar de gestión de incidentes y lecciones aprendidas.
- Estándar de restricción y demarcación de áreas.
- Estándar de código de colores y señalización de seguridad.
- Estándar de trabajo en caliente.
- Plan de preparación y Respuesta a emergencias.
- Plan de gestión de riesgos de incendios.
- Estándar de prevención de incendios.
- Especificación de prevención de incendios.

7 REVISIÓN

- De manera anual o cuando se detecten desviaciones al estándar.

8 CONTROL DE CAMBIOS

Versión N°	Descripción de la modificación (cambio o eliminación)
1	Primera versión del documento

ELABORADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FECHA	FIRMA
REVISADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FECHA	FIRMA
	Líder de Mina		
	Superintendente de Operaciones Mina		
	Superintendente de Seguridad		
APROBADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FECHA	FIRMA
	Gerente de Operaciones Mina		

8.8. PETS de control de incendios de neumáticos de camiones autónomos

LOGO	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO – PETS	CÓDIGO:	SHE-PLT-41
	PROCEDIMIENTO PARA INCENDIO DE NEUMÁTICOS EN CAMIONES AUTÓNOMOS 794AC	VERSION:	00
		FECHA DE ELABORACIÓN	11-05-2024
	UNIDAD MINERA	PÁGINA:	1 de 12

Gerencia: Mina	Área: Operaciones

1. PERSONAL

- **Gerencia Mina:**
  - **Gerente de Mina:** Persona calificada responsable de liderar, organizar, coordinar y supervisar la ejecución de operaciones mina, dar soporte y recursos para la ejecución de las actividades y el desarrollo de este procedimiento.
  - **Superintendente de Mina:** Persona calificada, responsable de liderar, organizar, coordinar y supervisar directamente la ejecución del presente procedimiento.
  - **Líder de Mina:** Debe liderar el equipo, velar por el cumplimiento de los procedimientos asociados a las actividades de minado de sectores afectados, asignación de recursos (Personas y equipos).
  - **Supervisor de Operaciones Mina (Mina Sur- Mina Norte):** Es el encargado de la ejecución de las actividades de minado de sectores afectados, coordinando la toma de decisiones en conjunto con el equipo de geotecnia durante la actividad. De igual forma participará de la generación del IPERC que se realizará en conjunto con los operadores de equipo de carguío, líder de Mina, supervisor de geotecnia y soporte geotécnico de campo durante el desarrollo de la actividad, los cuales identificarán los peligros, riesgos y controles.
  - **Operadores; personal de mantenimiento y trabajadores en general:** Es responsabilidad de todos los trabajadores conocer y cumplir estrictamente con los detalles descritos en este procedimiento. El incumplimiento de este procedimiento será considerado como falta grave, por lo cual se procederá a aplicar una sanción disciplinaria.
- **Gerencia de Desarrollo Mina:**
  - **Líder de Desarrollo Mina:** Debe liderar el equipo, velar por el cumplimiento de los procedimientos asociados a las actividades de minado de sectores afectados, asignación de recursos (Personas y equipos).
  - **Supervisor de Desarrollo Mina:** Es el encargado de la ejecución de las actividades de minado de sectores afectados, coordinando la toma de decisiones en conjunto con el equipo de geotecnia durante la actividad. De igual forma participará de la generación del IPERC que se realizará en conjunto con los operadores de equipo de carguío, supervisor de operaciones Mina, líder de Desarrollo Mina, supervisor de geotecnia y soporte geotécnico de campo durante el desarrollo de la actividad, los cuales identificarán los peligros, riesgos y controles.
  - **Operadores; personal de mantenimiento y trabajadores en general:** Es responsabilidad de todos los trabajadores conocer y cumplir estrictamente con los detalles descritos en este procedimiento. El incumplimiento de este procedimiento será considerado como falta grave, por lo cual se procederá a aplicar una sanción disciplinaria.

Gerencia de Seguridad:

- **Supervisor de Seguridad:** Responsable de auditar y asesorar en el cumplimiento del presente PETS, brindar recomendaciones de seguridad para la actividad.

- **Gerencia de IOC:**
  - **Controlador Mina:** Responsable monitorear cada AMT para garantizar la seguridad del equipo, brindando recomendaciones técnicas y de seguridad para la correcta ejecución de las actividades y asegurando el cumplimiento de los protocolos establecidos.
- **Gerencia de Mantenimiento:**
  - **Controlador Mantenimiento:** Responsable informar los valores de TKPH, y sobre todo alertar a todos los involucrados cuando suceda un evento de mayor magnitud como el incendio de un neumático.
- **Requerimiento de personal para la tarea:**
  - 01 Supervisor de Operaciones Mina
  - 01 Supervisor de Mantenimiento
  - 01 Personal de apoyo para rescate de equipos pesados
  - 01 Operador de Camión tracto CAD 793 (entrenado y autorizado)
  - 01 Control Mina

- 01 Supervisor de Seguridad
- 01 Brigada de Respuesta a Emergencia
- 01 Control de Mantenimiento

2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- 01 Casco de seguridad
- 01 Barbiquejo
- 01 Par de Zapatos de seguridad con punta de acero
- 01 Chaleco con cintas reflectivas
- 01 Lentes de seguridad (claros/ oscuros)
- 01 Bloqueador Solar
- 01 Par de Guantes de cuero o badana
- 01 Protector auditivo
- 01 Corta viento
- 01 Ropa de protección ignifuga

3. EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MATERIALES

- **Equipos**
  - 01 Tractor camión Cat 793D
  - 01 Equipo que se va a trasladar menor igual 300 ton
  - 01 CAT 777G
  - 02 Camionetas de ploteo con Site Awareness, cuando la movilización es dentro de mina.
- **Herramientas**
  - 01 Dispositivo A-Stop.
  - 01 Radio de comunicación portátil.
  - 01 Linterna de Mano
  - 01 Cadena y templadores
  - 01 Manual de operación
  - 01 Cámara termográfica
- **Materiales requeridos**
  - 04 Cadenas de 5 metros a más con eslabones ½" (pudiendo tener ganchos en extremos).
  - 04 trinquetes de cadena (perros),
  - 08 Conos con cintas reflectivas.
  - 02 Tacos para la rampa
  - 01 Kit antiderrame
  - 01 Manguera de alta presión con sistema de Espuma contra incendio

LOGO	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO – PETS	CÓDIGO:	SHE-PLT-41
	PROCEDIMIENTO PARA INCENDIO DE NEUMÁTICOS EN CAMIONES AUTÓNOMOS 794AC	VERSION:	00
		FECHA DE ELABORACIÓN	11-05-2024
	UNIDAD MINERA	PÁGINA:	3 de 12

4. PROCEDIMIENTO

4.1 Alcance del trabajo / Descripción

Se requiere establecer el procedimiento adecuado para la toma de acciones en caso de incendio en los neumáticos de los camiones autónomos 794AC, producto de diversas condiciones en el área de trabajo. Estas condiciones pueden incluir vías deterioradas, velocidades elevadas, condiciones climáticas adversas, presencia de material combustible en la vía.

Este procedimiento tiene como objetivo la identificación rápida del riesgo, la activación de protocolos de seguridad, la evacuación del área, el uso adecuado de equipos de extinción de incendios, y la comunicación inmediata a los equipos de respuesta de emergencias para evitar la propagación del incendio y garantizar la seguridad del personal y de los equipos.

Establecer una metodología que describa la forma segura de cómo desarrollar las acciones adecuadas cuando los neumáticos de los AMT registren indicios de fuego.

Su alcance es a todos los empleados, empresas contratistas mineras, empresas contratistas de actividades conexas que desarrollan esta actividad.

4.2 Identificación y comunicación del Incidente:

Detección del incendio:

El control de mantenimiento deberá alertar al controlador mina en IOC, debe estar atento a cualquier señal de advertencia en los camiones autónomos, especialmente aquellas relacionadas con sobrecalentamiento o daños en los neumáticos. El sistema de monitoreo integrado en el CAT 794AC puede detectar cambios críticos en las condiciones de operación del camión, como temperaturas inusualmente altas en los neumáticos, presión baja, o fallos mecánicos que puedan desencadenar un incendio.

Alarma y notificación del sistema contra incendio AFEX:

Una vez detectado el incendio o indicios de un posible incidente, se debe activar inmediatamente la alarma a través del Controlador Mina siempre y cuando el Control de Mantenimiento lo autorice. El equipo de mantenimiento debe enviar una notificación de emergencia a los supervisores de turno y activar los protocolos de emergencia. La comunicación debe hacerse vía radio o sistema de comunicación centralizada, detallando la ubicación exacta del camión afectado y el estado del incendio.

Evacuación de la zona inmediata:

Los trabajadores que se encuentren cerca del área afectada deben ser evacuados de inmediato. Los operadores de equipos auxiliares que estén en las cercanías deben ser notificados para detener cualquier actividad y alejar sus equipos a una distancia segura. En el caso de camiones autónomos, se debe usar el dispositivo A-Stop para detener el tráfico de vehículos autónomos en la AOZ (Área de Operación Autónoma).

4.3 Evaluación Inicial del Incidente:

Evaluación visual a distancia:

- El primer personal en llegar al lugar del incidente debe evaluar visualmente el estado del incendio a una distancia segura, preferiblemente desde un punto elevado o protegido. No se debe acercar al camión hasta que se determine que es seguro hacerlo. La observación debe incluir la magnitud del fuego, la afectación de los neumáticos y si hay derrames de combustible u otros materiales inflamables.

Determinación del tipo de incendio:

- Se debe determinar si el incendio está limitado a los neumáticos o si ha afectado otras partes del camión, como el motor, el sistema hidráulico o la carga de combustible. Esta evaluación determinará el tipo de intervención que se realizará.

Coordinación con brigada de Respuesta a emergencia:

- Una vez realizada la evaluación inicial, se debe informar al jefe de la brigada de emergencias para que determine el tipo de equipo y método de extinción a utilizar, basándose en la magnitud del incendio y las condiciones del entorno.

4.4 Cambio de Modo de camiones autónomos a modo manual

- Este proceso de cambio de modo es utilizado para cambiar un camión autónomo para los procesos operacionales para los cuales está dispuesto el equipo, manual y autónomo entre sí.
- En este caso, cuando se requiera de un trabajo o intervención de un camión autónomo y cambiar su proceso operacional se realizará cuando se presente:
  a. Abastecimiento de combustible
  b. Mantenimiento programado
  c. Mantenimiento no programado (imprevistos).
  d. Cambio de fases en la Mina.
  e. Reposicionamiento por excepciones operacionales.
  f. Traslado al área de servicio de mantenimiento (truck shop) de forma manual.
  g. Pruebas de calibración
  h. Pruebas de Barrel entre otros.
  i. EL AMT no pueda realizar la descarga del material acarreado
- Los cambios de modo de camiones autónomos a modo manual tendrán que ser realizados por el PIT TECH que es el personal de Campo que opera sistema autónomo de oficina y On Board, brinda soporte operacional minera y de operación autónoma.
- El PIT TECH junto al personal Controller gestionarán los pasos del proceso de cambio de modo, comenzando desde la gestión de demoras. Al igual coordinará con el supervisor de operaciones mina para que el equipo se ha movilizado de la AOZ a la plataforma o área direccionada por él.
- Para poder designar la operación del AMT en modo manual, el supervisor verificará que el operador cuente con la experiencia y destreza para operar el equipo AMT en modo manual.
- La operadora designada del AMT en modo manual, debe tener presente todas las restricciones, la inspección de equipo, los pasos de subida y bajada del equipo y realizar el arranque del motor mencionada al inicio de este PETS.
- Para poder ser trasladado el AMT es importante tener presente los componentes y dispositivos de uso para la actividad de cambio de modo son los siguientes:
  a. Interruptor de piso

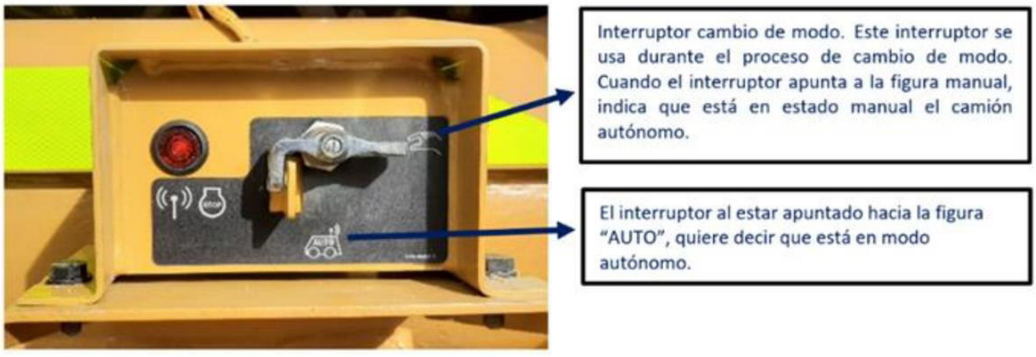


Figura 1. *Interruptor de piso.*

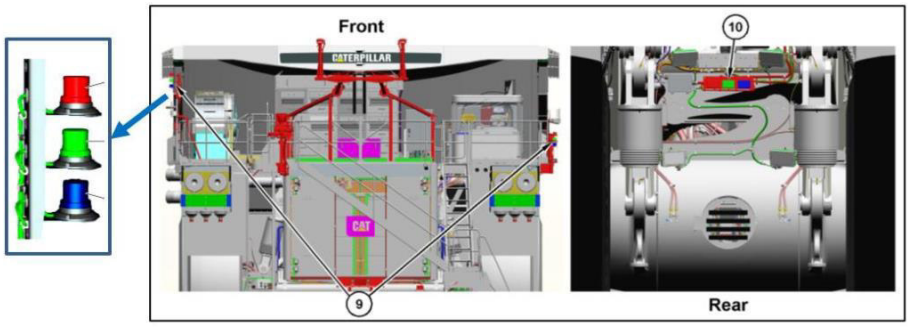
b. Interruptor de cabina.

Al interior de cabina del camión se encuentra interruptor el cual se debe presionar de acuerdo con estado Manual o autónomo.



Figura 2. *Interruptor de cabina.*

c. Luces Modales: Las luces de modo serán la referencia visual para identificar el estado operativo del camión autónomo.



9) Indicadores delanteros (10) Indicador trasero

Figura 3. *Luces modales.*

LUCES INDICADORAS DE MODALIDAD			
Modalidad/ Estado	**Color Indicador**		**Descripción**
Manual	Luz Verde intermitente		Indica que la máquina solo se puede mover si hay un operador en la cabina. La funcionalidad de parada autónoma está desactivada
Modalidad Manual activada	Luz Verde fija		Indica que la máquina ha salido de la modalidad autónoma. El camión minero autónomo (AMT) no se puede operar manualmente hasta que el interruptor de modalidad manual/automática montado en la máquina se mueva a la posición MANUAL. La funcionalidad de parada autónoma está desactivada.

Modalidad autónoma activada	Luz Azul fija		Indica que se está cambiando la máquina a la modalidad autónoma. La máquina no es segura para acercarse en este estado. Los controles del operador en la cabina están desactivados. La funcionalidad de parada autónoma está desactivada.
Modalidad autónoma en funcionamiento	Luz Azul intermitente		Indica que la máquina está operando en la modalidad autónoma. La máquina no es segura para acercarse y puede moverse bajo el control autónomo en cualquier momento. La funcionalidad de parada autónoma esta activada.
Parada autónoma	(+) luz Roja intermitente (+) Luz Azul intermitente		Indica que la máquina está en la modalidad autónoma y que se ordena una parada autónoma. La máquina no se moverá hasta que se borre la parada autónoma. La máquina no es segura para acercarse. (Parada con el A-STOP)

- El operador en centrarse en el camión en modo manual tiene que hacer prueba de todos los frenos que está en el manual de operaciones del CAT 794 AC.
- El AMT tiene que ser ploteado por una camioneta con Site Awareness si en caso de que el equipo tenga que salir de AOZ.
- La operadora debe de contar con una radio de comunicación portátil (Handy) como se menciona en las restricciones de este PETS.

4.5 Ejecución de la Extinción del Incendio:

Equipos de extinción disponibles

- El líder del rescate interactuará de manera simultánea con los operadores de los equipos, para iniciar la marcha de estos.
- Antes del inicio de la extinción del incendio se comunicará por la frecuencia de radio la maniobra para advertir a los usuarios de la vía, la prioridad de recorrido en las vías lo tendrá todo el personal involucrado en la atención de la emergencia.
- Debido a la intensidad de la emergencia se usará espuma para controlar el fuego durante 15 min aproximadamente.

Primera intervención con espuma

- La brigada de Respuesta a Emergencias, equipados con espuma deberán enfocar su primera intervención en la zona de los neumáticos. La espuma es altamente efectiva para extinguir incendios de caucho y neumáticos debido a su capacidad para sofocar el fuego al aislar el oxígeno. Se debe aplicar de manera constante y dirigida hacia la base del incendio, evitando el contacto directo con las llamas.

Uso de cisterna de agua para enfriamiento

- Simultáneamente, una cisterna de agua debe aplicarse en áreas no directamente afectadas por el fuego, pero que están en riesgo de sobrecalentamiento, como el chasis, las llantas cercanas y la estructura metálica del camión. El agua debe aplicarse de forma moderada para evitar choques térmicos que puedan dañar los neumáticos.

Cese del fuego en los neumáticos

- Una vez que el fuego ha sido sofocado en los neumáticos, se debe continuar aplicando espuma de manera preventiva para asegurarse de que no queden puntos calientes que puedan reactivar el incendio.

Verificación de extinción completa

- Es vital realizar una inspección visual y con cámaras térmicas para asegurarse de que no queden focos de calor o llamas activas en los neumáticos o en otros componentes del camión. Solo cuando se confirme la

extinción total, se procederá a las siguientes fases del procedimiento, es decir cuando la cámara termográfica indique que la temperatura es menor a 30°.

4.6 Inspección y Enfriamiento Final del Vehículo

Inspección de daños en los neumáticos

- Después de extinguir el incendio, se debe realizar una inspección detallada de los neumáticos. Los neumáticos quemados o con signos de deformación deberán ser reemplazados, y el camión deberá ser evaluada para determinar si ha sufrido daños estructurales.

Mantenimiento de sistemas automáticos

- Se debe verificar el estado del sistema de supresión automática de incendios instalado en el camión CAT 794AC. Si el sistema se activó durante el incidente, se deben reponer los materiales extinguidos y realizar pruebas de funcionalidad antes de que el camión vuelva a operar.

4.7 Movilización del Camión Afectado

Evaluación de seguridad estructural:

- Antes de mover el camión, el personal de mantenimiento debe realizar una inspección minuciosa para determinar si la estructura del camión ha sido comprometida por el fuego. Esta inspección incluye verificar la integridad de los ejes, sistemas hidráulicos y componentes electrónicos.

Arranque del Motor y Prueba de funcionamiento del sistema del Tracto Camión 793D:

- Verifique que el selector de marchas se encuentre en la posición neutral y freno de estacionamiento aplicado.
- Dentro de la cabina, no mantener objetos sueltos (mochilas, botellas, útiles de limpieza, etc.), que puedan distraer y causar un accidente o incidente.
- Regule la posición del volante de dirección (arriba, hacia abajo, acercar, alejar).
- Ajuste el asiento a una postura ergonómica (regulación dorsal, lumbar, distancia, altura y rigidez) abróchese el cinturón de seguridad.
- Verifique que no haya personas alrededor del equipo antes de arrancar el equipo.
- Ingrese la llave de contacto y gire a la posición “ON” y esperar que el sistema realiza su auto prueba.
- Verificar el barrido de los medidores en el panel monitor VIMS y el funcionamiento correcto de los indicadores que estén dentro de los parámetros del fabricante.
- Niveles y temperaturas de los diferentes fluidos.
- Indicadores, sistemas de monitoreo, luces de acción y de advertencia.
- Indicadores de la transmisión, dirección y freno de parqueo.
- Verifique el nivel de combustible (este debe señalar como mínimo 1/3 de tanque).
- Realizar el toque de bocina para el arranque del equipo, marcha hacia adelante y retroceso.
- Realizar el arranque de acuerdo con el procedimiento descrito en el manual de operación del equipo.
- Apagar el motor en caso de derrame de fluidos.



Figura 4. *Mandos y controles en la cabina.*

4.8 Acoplamiento y Desacople Tracto Cuello de Ganso con el Camión Averiado

- Para esta actividad se deberá de considerar la presencia de 2 operadores autorizados y capacitados (para Camión y Tracto).
- Restringir el acceso a personas y equipos no autorizadas en el área de trabajo (distancia > a 60mt.)
- Personal de mantenimiento realizara el proceso de retracción del Fender (para choque extendido) del camión antes del acople.
- Personal de mantenimiento mina, deberá realizar todos los trabajos necesarios para asegurar el acople del pin del tracto al camión malogrado (reubicar el parachoques del camión malogrado), personal de mantenimiento debe guiar al operador de la cama baja en todas las maniobras en canal de mantenimiento, si este canal está saturado utilizar un canal interno para las coordinaciones.
- Utilizar un guía capacitado y certificado, con radio para dirigir el posicionamiento del tracto. La comunicación debe ser de ida y vuelta, en caso de pérdida de contacto visual o comunicación radial, detener la maniobra.
- El guía deberá permanecer en el lado visible del espejo izquierdo del tracto y a la altura de la escalera de acceso del camión malogrado.
- El desplazamiento del tracto para el acople y desacople con el camión malogrado deberá ser menor a 2km/h.
- Realizar el acople y desacople del camión malogrado de acuerdo con el procedimiento descrito en el manual del fabricante.
- Apagar el motor y colocar los tacos para que el personal de mantenimiento realice las conexiones de las líneas hidráulicas al camión malogrado.
- Retirar los tacos, encender el motor y realizar la elevación del camión malogrado según las recomendaciones del manual de operación.
- En caso se requiere liberar el freno del camión averiado se usará la caja auxiliar de liberación de freno.
- Esta conexión y desconexión de mangueras hidráulicas realizaran el personal de mantenimiento y el operador hará la operación desde control remoto.
- En caso de que el camión averiado requiere levantar la tolva también se puede usar la caja auxiliar de levante de tolva.
- Traslado CARGADO, remolque mantener una velocidad máxima de 8 km/h.
- Esta conexión y desconexión de mangueras hidráulicas realizaran el personal de mantenimiento especialista y el operador hará la operación desde control remoto.
- El traslado deberá ser coordinado y autorizado por el líder de mantenimiento y comunicado al control mina de las maniobras que se va a realizar, el cual será escoltado por una camioneta con sistema site awareness.

- El uso del control remoto será de utilidad cuando el operador se encuentre solo para el acople de manera remota fuera de cabina. Siguiendo los pasos de subir y bajar el conjunto de cuello de ganso.

4.9 Traslado con cuello de Ganso

- Antes de iniciar el traslado el supervisor de servicios evaluará las condiciones de las vías de mina, rutas y las condiciones de esta (Ancho de las vías, altura de los puentes aéreos, estado de las vías, áreas de giro e impactos que pudiesen durante el tránsito de los camiones autonomos AMT, creación de zonas de bloqueo por donde se trasladará el equipo.
- Hay que asegurar que los implementos de pluma de ganso estén elevados de la posición de descanso.
- Asegura que la pluma de ganso este en posición remolque antes de trasladarse.
- La altura del pie de ganso con respecto al suelo debe ser entre 40 a 45 cm de altura para el traslado.
- Tener las precauciones.
- Comunicar a mina sur o mina norte la ruta que va a utilizar en el traslado y esperar la confirmación.
- Transitar siempre dentro de los carriles de la autonomía.
- Verificar siempre su pantalla site Awareness y físicamente su entorno en las curvas y las intersecciones antes de cruzar la vía.



Figura 5. *Traslado de CAT 794AC.*

.

4.10 Traslado e ingreso al Taller Truckshop para mantenimiento del Tracto

- Desde el ingreso de truck shop, el traslado se realizará con la autorización de mantenimiento o empresas involucradas para retirar las tranqueras e ingresar con vigía adelante alejado del camión a una velocidad de 10 km/h.
- Al ingreso de truck shop, coordinar con el personal de mantenimiento o empresas involucradas en el canal de mantenimiento coordinar para la ubicación final del tracto.
- El parqueo del equipo debe ser dirigido por un vigía de mantenimiento mina.
- Apagar el motor y colocar los tacos y bloqueo y hacer la entrega del camión y luego retirarse del lugar



Figura 6. *Camión 794AC ingresando al taller de Truckshop.*

4.11 Definición de Términos

- **Amago:** Fuego en pequeña proporción o en etapa incipiente, puede ser extinguido en los primeros momentos por personal presente en el lugar con los elementos que cuentan antes de la llegada del personal especializado.
- **Autonomía:** Se refiere a la capacidad de un vehículo para operar sin intervención humana. En el caso de los camiones autónomos, la autonomía implica que el camión puede planificar su ruta, navegar por el terreno y realizar maniobras sin necesidad de que un conductor lo controle.
- **Incendio:** Es el fuego sin control en alguna de las instalaciones la empresa titular y/o empresas contratistas.
- **MineStar:** Es una suite de software de gestión de minas desarrollada por Caterpillar que ofrece una amplia gama de herramientas para optimizar la eficiencia, la seguridad y la productividad de las operaciones mineras.
- **Sistema de alarma:** Elementos de seguridad estacionarios capaces de advertir de manera sonora y/o visual ante la presencia de un incendio incipiente o situación anormal de un proceso, cumpliendo una función de advertencia.
- **Plan de Tráfico:** Define las rutas que deben seguir los camiones autónomos en un sitio de operación. El plan de tráfico debe tener en cuenta la disposición del terreno, la ubicación de los obstáculos, las zonas de carga y descarga, y las normas de seguridad.
- **Riesgo:** Se refiere a la posibilidad de que ocurra un evento adverso, como un accidente o un daño a la propiedad.
- **Sistema de detección:** Conjunto de equipos y accesorios diseñados para la detección de humo, temperatura o fuego incipiente, bajo certificaciones nacionales e internacionales.
- **Sistema de supresión:** Conjunto de equipos y accesorios diseñados para la extinción de incendios, bajo certificaciones nacionales e internacionales.

5. RESTRICCIONES

- No alterar u omitir los pasos establecidos en el presente procedimiento.
- Ante la presencia de derrames de hidrocarburos, detener la operación e informar inmediatamente a su supervisor inmediato.
- El operador de Tracto Camión 793D debe contar con licencia interna vigente y licencia vigente del MTC AIIIC de lo contrario no podrá operar el equipo.

- El operador deberá contar con los cursos de autonomía 1 y autonomía 2 aprobados y validados por el área de entrenamiento mina.
- No operar el equipo ante algún síntoma de fatiga/somnolencia, se debe avisar inmediatamente al Supervisor de Mina
- Ningún trabajador debe acercarse a menos de 10 metros del camión en llamas hasta que se haya realizado una evaluación visual inicial desde una distancia segura. Esto es especialmente crítico en incendios de neumáticos, ya que pueden generar explosiones inesperadas debido a la presión interna.
- No se debe aplicar agua directamente sobre los neumáticos en llamas debido al riesgo de explosión por cambios drásticos de temperatura. El agua debe usarse únicamente para enfriar partes no directamente afectadas por el fuego.
- En ninguna circunstancia se debe permitir que el camión autónomo opere en modo automático durante el combate de un incendio. Debe ser cambiado a modo manual antes de cualquier intervención. Esto es crítico para evitar movimientos inesperados del equipo que puedan poner en peligro al personal de emergencia.
- Sólo el personal autorizado, entrenado en emergencias y en el uso del dispositivo A-Stop, podrá ingresar a la zona de peligro. El área alrededor del incendio debe estar acordonada y restringida para evitar que personal no esencial se acerque a la escena.
- En caso de condiciones climáticas adversas como fuertes vientos, que puedan propagar el fuego o dificultar el uso de espumante, se debe suspender temporalmente la intervención hasta que las condiciones sean seguras. Trabajar en estas condiciones aumenta el riesgo de reactivación del incendio y de afectar otras áreas de la operación.
- No se permitirá la intervención de ningún brigadista o trabajador en la zona de emergencia sin el equipo de protección personal completo, incluyendo trajes ignífugos, guantes y máscaras de protección contra gases tóxicos. El incumplimiento de esta restricción pone en riesgo la seguridad personal.
- Los sistemas de extinción automática del camión, si no han sido previamente verificados, no deben ser activados hasta que el personal de mantenimiento haya evaluado la situación. La activación sin un diagnóstico adecuado puede resultar en daños adicionales al equipo o en una ineficacia en la contención del incendio.
- No se debe mover el camión autónomo afectado por el incendio sin antes realizar una inspección completa de los sistemas estructurales y mecánicos. Mover el camión sin la debida revisión puede causar colapsos mecánicos adicionales o reactivación del incendio.
- En ningún momento se debe perder la comunicación entre el personal de emergencia y la sala de control. Esta comunicación es vital para coordinar el estado del equipo autónomo, alertar sobre cambios en las condiciones del incendio, y movilizar recursos adicionales si fuera necesario.

LOGO	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO – PETS	CÓDIGO:	SHE-PLT-41
	PROCEDIMIENTO PARA INCENDIO DE NEUMÁTICOS EN CAMIONES AUTÓNOMOS 794AC	VERSION:	00
		FECHA DE ELABORACIÓN	11-05-2024
	UNIDAD MINERA	PÁGINA:	12 de 12

SECCIÓN III – AUTORIZACIONES Y FIRMAS (EMPRESA QUE EJECUTA LA TAREA)			
ELABORADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FECHA	FIRMA
REVISADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FECHA	FIRMA
	Líder de Mina		
	Superintendente de Operaciones Mina		
	Superintendente de Seguridad		
APROBADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FECHA	FIRMA
	Gerente de Operaciones Mina		

8.9. Estándar de prevención de TKPH elevado para camiones autónomos

LOGO	ESTÁNDAR	CÓDIGO:	SHE-ESO-0063
	ESTÁNDAR DE PREVENCIÓN DE TKPH ELEVADO PARA CAMIONES AUTÓNOMOS 794AC	VERSION:	00
		FECHA DE ELABORACIÓN	11-05-2024
	UNIDAD MINERA	PÁGINA:	1 de 8

ESTÁNDAR DE PREVENCIÓN DE TKPH ELEVADO PARA CAMIONES AUTÓNOMOS 794AC

1 OBJETIVO

Requisitos mínimos para la prevención de TKPH elevado en camiones mineros y las intervenciones correspondientes:

- Capacitar al personal de supervisión, al equipo de respuesta y a los controladores de mina sobre la importancia de mantener el TKPH dentro de los límites establecidos, así como los procedimientos a seguir ante niveles elevados el riesgo de sobrecargas y TKPH elevados.
- Documentar todas las incidencias de TKPH elevado, junto con las acciones tomadas, para ajustar procedimientos operativos y prevenir futuros eventos. Esto incluye el análisis de causas para optimizar las operaciones y mitigar riesgos.
- Revisar y ajustar las rutas de operación para reducir el riesgo de TKPH elevado, considerando pendientes pronunciadas y la topografía del terreno. Esto ayuda a minimizar el esfuerzo necesario de los neumáticos en rutas críticas.
- Realizar inspecciones periódicas y mantenimientos preventivos de los neumáticos para asegurar que estén en condiciones óptimas, ya que el desgaste puede aumentar significativamente con niveles altos de TKPH.

2 ALCANCE

Este estándar es aplicable a todo el personal de la mina, empresas contratistas y subcontratistas que ingrese al área de autonomía en operaciones mina.

3 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- D.S. 024-2016 EM Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería y modificatoria (RSSOM). D.S 023--2017-EM – Modificación diversos artículos y anexos del reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería, aprobado por D.S. N° 024-2016-EM.
- Ley 29783 - Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- D.S. No 040-2014-EM Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero.
- D.S. N° 005-2012-TR, Reglamento de la Ley 29783 - Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- Ley 30222, modificatoria de la ley 29783.
- D.S. N° 006-2014-TR. Modificatoria del reglamento de la ley N° 29783, ley de seguridad y salud en el trabajo, aprobado por el D.S. N° 005-2012-TR.

- Norma ISO 14001:2015 Sistema de Gestión Ambiental.
- Norma ISO 45001: 2018. Sistemas de Seguridad y Salud en el trabajo.

4 DESARROLLO

4.1 CONTROLES CRÍTICOS MANDATORIOS

Solo el personal autorizado, capacitado y equipado con el equipo de protección adecuado puede ingresar al área donde se realizan intervenciones por TKPH elevado, como el enfriamiento de neumáticos. Cualquier otra persona debe mantenerse fuera de esta zona para evitar accidentes y garantizar la seguridad de las operaciones.

Contar con un procedimiento estandarizado para el enfriamiento de neumáticos, que incluya el uso de una cisterna de agua y personal capacitado en el manejo del equipo de respuesta a emergencias. El protocolo debe indicar la ubicación segura donde realizar el enfriamiento y la duración del proceso.

Realizar inspecciones termográficas de los neumáticos cada vez que se detecte un TKPH elevado, especialmente en los niveles 3 y 4. Utilizar cámaras termográficas para evaluar la temperatura y asegurar que se encuentre dentro de los límites seguros antes de reanudar la operación.

El sistema de monitoreo de neumáticos debe estar operando continuamente para detectar sobrecalentamientos en tiempo real. Si el TKPH excede los límites establecidos, el camión autónomo debe ser redirigido a rutas menos exigentes o detenido temporalmente.

Ajustar la velocidad operativa y seleccionar rutas que reduzcan la longitud del trayecto y la resistencia del terreno. Evitar pendientes pronunciadas o suelos blandos que puedan incrementar el estrés térmico en los neumáticos.

Si el TKPH se mantiene elevado por más de dos ciclos, se debe detener el camión por 30 minutos para permitir el enfriamiento de los neumáticos, evitando daños severos. En caso de sobrecalentamiento extremo, el equipo de emergencia debe realizar un enfriamiento gradual y controlado utilizando agua, asegurando que no se generen daños adicionales por cambios bruscos de temperatura.

4.2 PLANIFICACIÓN

- **Identificación de Condiciones Operativas**

  Análisis previo de riesgos: El equipo de Desarrollo Mina y el Controlador de Mantenimiento deben realizar un análisis detallado de las condiciones operativas, identificando los factores que contribuyen a un aumento del TKPH. Este análisis debe considerar las condiciones del terreno, las características de las rutas (pendientes, suelos blandos), la velocidad operativa de los camiones, y las cargas transportadas.

  Monitoreo proactivo del terreno y clima: Las condiciones del terreno y el clima tienen un impacto significativo en los niveles de TKPH. Se deben planificar rutas alternativas en caso de lluvias intensas, suelos saturados o climas extremos que puedan afectar la resistencia al rodamiento de los neumáticos. Esto requiere la instalación de estaciones meteorológicas y el uso de software de monitoreo geotécnico.

- **Reuniones del Team Tires**

Frecuencia de reuniones: El Team Tires, compuesto por personal del área de mantenimiento, operaciones y desarrollo mina, debe reunirse periódicamente para revisar los indicadores clave de los neumáticos, como el desgaste, la presión y el rendimiento del TKPH. Estas reuniones permiten ajustar las estrategias operativas para minimizar el riesgo de sobrecalentamiento.

Actualización del TARP (Trigger Action Response Plan): El TARP debe actualizarse de forma continua, en función de las decisiones tomadas en las reuniones del Team Tires. Cada actualización debe incluir acciones específicas para cada nivel de TKPH detectado, desde el Nivel 1 (leve) hasta el Nivel 4 (crítico). Este plan proporciona directrices claras para mitigar riesgos.

- **Asignación de Recursos**

Recursos técnicos: La planificación debe contemplar la asignación de equipos adecuados, como sistemas de telemetría avanzados, cámaras termográficas y estaciones meteorológicas portátiles para monitorear las condiciones climáticas y del terreno en tiempo real. Esto permite una intervención inmediata si se detectan condiciones que incrementen el TKPH.

Recursos humanos: El equipo de control debe estar formado por el Controlador de Mantenimiento, el Controlador de Operaciones y personal de emergencia entrenado. Es esencial coordinar la disponibilidad de personal en turnos clave para garantizar una rápida respuesta ante niveles altos de TKPH.

4.3 IMPLEMENTACIÓN Y GESTIÓN

- **Coordinación Operativa**

Comunicación constante: La implementación de las medidas correctivas debe estar coordinada entre el Controlador de Mantenimiento y el Controlador de Mina. La Gerencia de Operaciones es responsable de asegurar que cualquier aumento en los niveles de TKPH sean informados de inmediato, y que las acciones de mitigación se tomen sin demora.

Cambio de rutas y velocidades: Ante un TKPH elevado, el Controlador de Mina debe redirigir a los camiones autónomos a rutas menos exigentes, evitando terrenos irregulares o pendientes pronunciadas. La reducción de la velocidad operativa es una medida clave para disminuir el calor generado por la fricción entre el neumático y el suelo.

Suspensión temporal de operaciones: En caso de que los cambios en las rutas y la reducción de velocidad no sean suficientes, el camión afectado debe ser detenido temporalmente. Este periodo de descanso permitirá que los neumáticos se enfríen, previniendo daños graves y reduciendo el riesgo de incidentes operativos.

- **Gestión de Recursos**

Monitoreo de neumáticos y sistemas de alerta: El equipo de mantenimiento debe monitorear continuamente los niveles de TKPH mediante el sistema de telemetría, detectando cualquier anomalía térmica en los neumáticos. Los sistemas de alerta deben activarse automáticamente en caso de sobrecalentamiento, notificando a los responsables para tomar decisiones rápidas y evitar daños.

Enfriamiento controlado: Si los neumáticos muestran signos de estrés térmico severo, el equipo de emergencia debe aplicar procedimientos de enfriamiento

controlado. Esto se realiza mediante el uso de cisternas de agua, enfriando los neumáticos de manera gradual para evitar daños estructurales.

- **Capacitación del Personal**

  Entrenamiento continuo: Todo el personal involucrado en la operación, el mantenimiento y la supervisión de los camiones autónomos debe recibir capacitación continua en la gestión de riesgos asociados al TKPH elevado. Esto incluye la detección temprana de problemas, la ejecución de medidas preventivas, y la aplicación de los protocolos de seguridad en casos críticos.

  Simulaciones periódicas: Se deben realizar simulaciones periódicas para ensayar la respuesta ante situaciones de TKPH elevado. Estas simulaciones ayudan a familiarizar al equipo con las acciones correctivas y a mejorar la eficiencia en la implementación de las medidas de mitigación.

4.4 SUPERVISIÓN DE DESEMPEÑO

- **Monitoreo en Tiempo Real**

  Sistema de telemetría avanzado: El monitoreo en tiempo real del TKPH es fundamental para asegurar la seguridad operativa. El sistema de telemetría debe rastrear continuamente los niveles de temperatura, presión y rendimiento de los neumáticos. Cualquier lectura que supere los límites operativos debe generar alertas automáticas para que el Controlador de Mantenimiento y el Controlador de Operaciones puedan tomar las medidas correctivas necesarias.

  Revisión de rutas y condiciones de operación: Además de monitorear los neumáticos, el equipo debe supervisar constantemente las condiciones de las rutas y el terreno, evaluando la capacidad de los camiones para operar bajo diferentes condiciones. Esto asegura que se ajusten las rutas o las velocidades antes de que el TKPH alcance niveles peligrosos.

- **Auditorías Periódicas**

  Revisión de procedimientos: Las auditorías periódicas deben evaluar el cumplimiento de los procedimientos establecidos para el control del TKPH. Esto incluye la revisión de las medidas preventivas aplicadas, los tiempos de respuesta ante situaciones de riesgo, y la calidad de las inspecciones realizadas tras eventos de sobrecalentamiento.

  Evaluación de datos históricos: Las auditorías también deben analizar los datos históricos de TKPH, identificando patrones que puedan ser corregidos. Esto ayuda a mejorar la planificación y prevenir futuros eventos de sobrecalentamiento en los neumáticos.

- **Evaluación Post-Incidente**

  Informes detallados: Tras cada incidente de TKPH elevado, el Supervisor de Operaciones Mina debe generar un informe detallado que describa las causas del evento, las medidas correctivas adoptadas, y cualquier recomendación para prevenir su recurrencia. Estos informes son vitales para ajustar las estrategias operativas y mejorar la eficiencia en la respuesta.

  Retroalimentación continua: Los datos recogidos en los informes de incidentes deben ser discutidos en las reuniones del Team Tires para ajustar los procedimientos. Esto asegura una mejora continua en la supervisión y el control del TKPH.

- **KPIs (Indicadores Clave de Desempeño)**

  Tiempo de respuesta: El tiempo que toma detectar un TKPH elevado y aplicar las medidas correctivas es un indicador clave de la eficiencia operativa. Reducir este tiempo minimiza el riesgo de daños a los neumáticos y a los camiones.

  Número de incidentes de TKPH elevado: Este KPI mide la frecuencia con la que ocurren eventos de TKPH elevado, lo que permite evaluar la efectividad de las acciones preventivas y los ajustes operativos.

  Impacto en la productividad: Evaluar el impacto de las detenciones y cambios de ruta en la productividad general de la operación es crucial para balancear la seguridad de los equipos con la eficiencia operativa.

4.5 DEFINICIONES

Autonomía
Se refiere a la capacidad de un vehículo para operar sin intervención humana. En el caso de los camiones autónomos, la autonomía implica que el camión puede planificar su ruta, navegar por el terreno y realizar maniobras sin necesidad de que un conductor lo controle.

Camiones Autónomos
Camión minero autónomo que opera sin intervención directa de un operador humano. Este equipo está diseñado para optimizar las operaciones en minas y depende de sistemas avanzados de control y monitoreo.

Ciclo
Una unidad de operación que incluye el proceso de carga, transporte, descarga y retorno de un camión minero autónomo. En el contexto de TKPH, el número de ciclos consecutivos con valores elevados es un indicador de potencial riesgo para los neumáticos.

Enfriamiento de Neumáticos
Proceso que consiste en la reducción de la temperatura de los neumáticos mediante el uso de agua, generalmente a través de una cisterna. Es una acción correctiva en casos de TKPH elevado, para evitar daños a los neumáticos y asegurar su operación segura.

Inspección Termográfica
Técnica de monitoreo que utiliza cámaras termográficas para medir la temperatura de los neumáticos. Permite evaluar si los neumáticos están dentro de un rango seguro después de operaciones prolongadas o niveles elevados de TKPH.

MineStar
Es una suite de software de gestión de minas desarrollada por Caterpillar que ofrece una amplia gama de herramientas para optimizar la eficiencia, la seguridad y la productividad de las operaciones mineras.

Neumático
Componente clave de un camión minero que soporta el peso de la carga y la distancia recorrida. La correcta gestión del TKPH es esencial para evitar el desgaste prematuro y garantizar la vida útil de los neumáticos.

Plan de Tráfico
Define las rutas que deben seguir los camiones autónomos en un sitio de operación. El plan de tráfico debe tener en cuenta la disposición del terreno, la ubicación de los obstáculos, las zonas de carga y descarga, y las normas de seguridad.

TKPH (Toneladas Kilómetro por Hora)
Métrica que mide la cantidad de trabajo realizado por un neumático, calculando el peso de la carga transportada por un camión multiplicado por la distancia recorrida y dividido por el tiempo. Es crucial para determinar la capacidad de un neumático y evitar su sobrecalentamiento y desgaste excesivo.

5 RESPONSABILIDADES

5.1 GERENTE GENERAL DE OPERACIONES

- Garantizar la implementación efectiva de este estándar operativo y su cumplimiento en toda la mina.
- Supervisar la coordinación entre el equipo de IOC, mantenimiento, desarrollo mina y las áreas operativas para mitigar riesgos.
- Informar a la alta dirección sobre cualquier incidencia mayor que pueda comprometer la seguridad operativa y la integridad de la mina.

5.2 TODAS LAS GERENCIAS

- Velar por la seguridad de los trabajadores dentro de sus áreas de responsabilidad.
- Coordinar acciones correctivas y preventivas junto con el equipo de IOC, mantenimiento y desarrollo mina junto con los supervisores operativos para garantizar la estabilidad y seguridad de las operaciones.
- Asegurar la correcta comunicación de riesgos y acciones a todo el personal bajo su supervisión.
- Proveer de los recursos necesarios para la pronta restauración del monitoreo o medidas alternativas.

5.3 SOCIOS ESTRATÉGICOS

- Suministrar equipos, servicios técnicos o cualquier otro apoyo necesario para restablecer los niveles adecuados para los neumáticos de los camiones.
- Coordinar con la Gerencia de Operaciones y el equipo técnico cualquier intervención necesaria para mitigar riesgos.
- Informar inmediatamente sobre cualquier limitación en el suministro de recursos o servicios que pueda afectar la seguridad de las operaciones mineras.

5.4 TRABAJADORES

- Seguir las instrucciones de evacuación y las medidas preventivas.
- Notificar inmediatamente cualquier condición irregular o situación de riesgo observada.
- Colaborar con los equipos de seguridad, mina, IOC y mantenimiento, asegurando el cumplimiento de las medidas de seguridad establecidas.

6 REGISTROS, CONTROLES Y DOCUMENTACIÓN

- Estándar de gestión del cambio.
- Estándar de gestión de incidentes y lecciones aprendidas.
- Estándar de restricción y demarcación de áreas.
- Estándar de código de colores y señalización de seguridad.
- Estándar de trabajo en caliente.
- Plan de preparación y Respuesta a emergencias.
- Plan de gestión de riesgos de incendios.
- Estándar de prevención de incendios.

7 REVISIÓN

- De forma anual o cuando se detecten desviaciones en el estándar

8 CONTROL DE CAMBIOS

Versión N°	Descripción de la modificación (cambio o eliminación)
1	Primera versión del documento

9 ANEXOS

- Anexo 1: Parámetros de eventos de TKPH elevado.

ANEXO 1: PARÁMETROS DE EVENTOS DE TKPH ELEVADO

A continuación, se presentan los parámetros de autonomía según el TARP de los camiones.

Severidad del evento	Acciones	Equipo encargado	Consecuencias
Nivel 4	Retiro de neumático	Líder de Confiabilidad + Equipos de neumáticos	- RCA - Posible pérdida de neumático.
Nivel 3	3 o más ciclos consecutivos con TKPH elevado	Líder Centro de Control + Desarrollo Mina	- Detener el camión y enfriar los neumáticos con una cisterna. - Inspección termográfica de Neuma
Nivel 2	3 ciclos consecutivos con TKPH elevado	Líder Centro de Control	- Detener el camión alrededor de 30 m
Nivel 1	2 ciclos consecutivos con TKPH elevado	Controlador Mina	- Cambiar de ruta (Menor velocidad, menor distancia)

ELABORADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FECHA	FIRMA
REVISADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FECHA	FIRMA
	Líder de Mina		
	Superintendente de Operaciones Mina		
	Superintendente de Seguridad		
APROBADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FECHA	FIRMA
	Gerente de Operaciones Mina		

8.10. PETS de control de TKPH elevado en camiones autónomos

LOGO	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO – PETS	CÓDIGO:	SHE-PLT-43
	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE TKPH ELEVADO EN CAMIONES AUTÓNOMOS 794AC	VERSION:	00
		FECHA DE ELABORACIÓN	11-06-2024
	UNIDAD MINERA	PÁGINA:	1 de 9

Gerencia: Mina	Área: Operaciones

1. PERSONAL

- **Gerencia Mina**
  - **Gerente de Mina:** Persona calificada responsable de liderar, organizar, coordinar y supervisar la ejecución de operaciones mina, dar soporte y recursos para la ejecución de las actividades y el desarrollo de este procedimiento.
  - **Superintendente de Mina:** Persona calificada, responsable de liderar, organizar, coordinar y supervisar directamente la ejecución del presente procedimiento.
  - **Líder de Mina:** Debe liderar el equipo, velar por el cumplimiento de los procedimientos asociados a las actividades de minado de sectores afectados, asignación de recursos (Personas y equipos).
  - **Supervisor de Operaciones Mina (Mina Sur- Mina Norte):** Es el encargado de la ejecución de las actividades de minado de sectores afectados, coordinando la toma de decisiones en conjunto con el equipo de geotecnia durante la actividad. De igual forma participará de la generación del IPERC que se realizará en conjunto con los operadores de equipo de carguío, líder de Mina, supervisor de geotecnia y soporte geotécnico de campo durante el desarrollo de la actividad, los cuales identificarán los peligros, riesgos y controles.
  - **Operadores; personal de mantenimiento y trabajadores en general:** Es responsabilidad de todos los trabajadores conocer y cumplir estrictamente con los detalles descritos en este procedimiento. El incumplimiento de este procedimiento será considerado como falta grave, por lo cual se procederá a aplicar una sanción disciplinaria.
- **Gerencia de Desarrollo Mina**
  - **Líder de Desarrollo Mina:** Debe liderar el equipo, velar por el cumplimiento de los procedimientos asociados a las actividades de minado de sectores afectados, asignación de recursos (Personas y equipos).
  - **Supervisor de Desarrollo Mina:** Es el encargado de la ejecución de las actividades de minado de sectores afectados, coordinando la toma de decisiones en conjunto con el equipo de geotecnia durante la actividad. De igual forma participará de la generación del IPERC que se realizará en conjunto con los operadores de equipo de carguío, supervisor de operaciones Mina, líder de Desarrollo Mina, supervisor de geotecnia y soporte geotécnico de campo durante el desarrollo de la actividad, los cuales identificarán los peligros, riesgos y controles.
  - **Operadores; personal de mantenimiento y trabajadores en general:** Es responsabilidad de todos los trabajadores conocer y cumplir estrictamente con los detalles descritos en este procedimiento. El incumplimiento de este procedimiento será considerado como falta grave, por lo cual se procederá a aplicar una sanción disciplinaria.
- **Gerencia de Seguridad**
  - **Supervisor de Seguridad:** Responsable de auditar y asesorar en el cumplimiento del presente PETS, brindar recomendaciones de seguridad para la actividad.
- **Gerencia de IOC:**
  - **Líder de IOC:** Debe liderar el equipo, velar por el cumplimiento de los procedimientos asociados a las actividades de minado de asignación de recursos (Camiones CAT 794AC).
  - **Controlador Mina:** Responsable monitorear cada CAMIÓN para garantizar la seguridad del equipo, brindando recomendaciones técnicas y de seguridad para la correcta ejecución de las actividades y asegurando el cumplimiento de los protocolos establecidos.
- **Gerencia de Mantenimiento**
  - **Líder de Confiabilidad:** Encargado de Liderar al equipo de mantenimiento para realizar los controles necesarios para la reducción de TKPH dentro de los parámetros establecidos.

LOGO	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO – PETS	CÓDIGO:	SHE-PLT-43
	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE TKPH ELEVADO EN CAMIONES AUTÓNOMOS 794AC	VERSION:	00
		FECHA DE ELABORACIÓN	11-06-2024
	UNIDAD MINERA	PÁGINA:	2 de 9

- **Controlador Mantenimiento:** Responsable informar los valores de TKPH, y sobre todo alertar a todos los involucrados cuando suceda un evento de mayor magnitud como el incendio de un neumático.

Requerimiento de personal para la tarea:

- 01 Supervisor de Operaciones Mina
- 01 Supervisor de Mantenimiento
- 01 Personal de apoyo para rescate de equipos pesados
- 01 Operador de Camión tractor CAD 793 (entrenado y autorizado)
- 01 Control Mina
- 01 Supervisor de Seguridad
- 01 Brigada de Respuesta a Emergencia
- 01 Control de Mantenimiento
- 01 Líder IOC

01 Team Tires

2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- 01 Casco de seguridad
- 01 Barbiquejo
- 01 Par de Zapatos de seguridad con punta de acero
- 01 Chaleco con cintas reflectivas
- 01 Lentes de seguridad (claros/ oscuros)
- 01 Bloqueador Solar
- 01 Par de Guantes de cuero o badana
- 01 Protector auditivo
- 01 Corta viento
- 01 Ropa de protección ignifuga

3. EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MATERIALES

- **Equipos**
  - 01 Tractor camión Cat 793D
  - 01 Equipo que se va a trasladar menor igual 300 ton
  - 01 CAT 777G
  - 01 Camionetas de ploteo con Site Awareness, cuando la movilización es dentro de mina.
- **Herramientas**
  - 01 Dispositivo A-Stop.
  - 01 Radio de comunicación portátil.
  - 01 Linterna de Mano
  - 01 Cadena y templadores
  - 01 Manual de operación
  - 01 Cámara termográfica
- **Materiales requeridos**
  - 04 Cadenas de 5 metros a más con eslabones ½" (pudiendo tener ganchos en extremos).
  - 04 Trinquetes de cadena (pernos).
  - 08 Conos con cintas reflectivas.
  - 02 Tacos para la rampa.

4. PROCEDIMIENTO

4.1 Alcance del trabajo / Descripción

- Se requiere establecer el procedimiento adecuado para la toma de acciones en caso de registro de TKPH elevado en los neumáticos de los camiones autónomos 794AC, producto de diversas condiciones en el área de trabajo. Estas condiciones pueden incluir vías deterioradas, velocidades elevadas y condiciones climáticas adversas.

- El objetivo de este procedimiento es la identificación rápida del riesgo, la activación de protocolos de seguridad, la evacuación del área, el accionar adecuado e inmediato para el control de este incidente, y sobre todo la comunicación inmediata a los equipos involucrados para evitar la propagación del incidente a mayor escala y garantizar la seguridad del personal y de los equipos.
- Establecer una metodología que describa la forma segura de cómo desarrollar las acciones adecuadas cuando los neumáticos de los CAMIÓN registren indicios de TKPH elevado.
- A todos los empleados, empresas contratistas mineras, empresas contratistas de actividades conexas que desarrollan esta actividad.

4.2 Planificación:

1.1. Reuniones del Team Tires:

El Team Tires está conformado por el equipo del área de mantenimiento, por el área de desarrollo mina y IOC, el objetivo de este team es la realización del TARP, el cual tiene que actualizarse según las indicaciones y decisiones tomadas por el Team, según la última reunión que se tuvo, el ultimo TARP quedo de la siguiente manera:

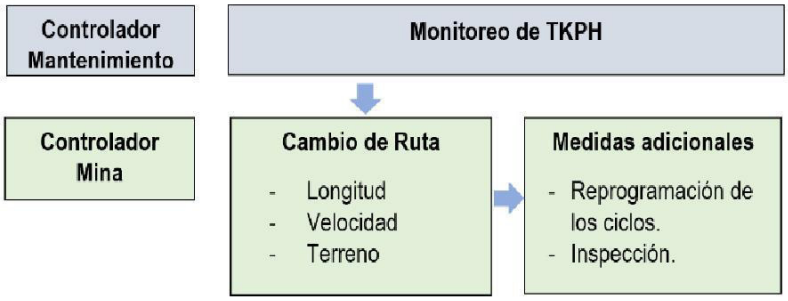
TARP (Trigger, Action, Response Plan)			
Severity EBIT Lost	**Hauling**	**Mandatory Analysis Team**	**Output**
Nivel 4 (Rojo)	Retiro neumático	Leader: Líder Confiabilidad + Team Tires (Multi department)	- RCA (Análisis de Causa Raíz) - Posible pérdida de neumático
Nivel 3 (Naranja)	3 o más ciclos consecutivos con TKPH elevado	Leader: Líder IOC + Desarrollo Mina (Team)	- Detener el Camión + Cisterna de Agua - Neumático inspección con termografía
Nivel 2 (Amarillo)	3 ciclos consecutivos con TKPH elevado	Leader: Líder IOC (Individual)	- Detener el Camión - 30 Min
Nivel 1 (Verde)	2 ciclos consecutivos con TKPH elevado	Leader: Controlador Mina (Individual)	- Cambiar de ruta a menos penalizante (Menor Velocidad, Menor distancia)

Cuadro 1. TARP actualizado.

4.3 TKPH elevado (Nivel 1):

- Cuando un CAMIÓN (Autonomous Mining Truck) registra un nivel elevado de TKPH después de dos ciclos, se considera que los neumáticos están sometidos a un estrés térmico significativo. El TKPH mide la capacidad de un neumático para soportar una combinación de carga y velocidad, por lo que un valor elevado puede indicar que el neumático está operando cerca o más allá de sus límites recomendados, lo que incrementa el riesgo de daño y desgaste acelerado.

- Las acciones requeridas ante un TKPH elevado de Nivel 1 son:



Cuadro 2. TARP Nivel 1.

Coordinación entre el Controlador de Mantenimiento y el Controlador Mina:

- El Controlador de Mantenimiento tiene la responsabilidad de monitorear las condiciones de los neumáticos y sus registros de TKPH, utilizando el sistema de monitoreo que proporciona datos en tiempo real sobre la temperatura y las condiciones operativas de los neumáticos (MEMS).
- El Controlador Mina, por su parte, es responsable de la planificación de rutas de los camiones autónomos y de ajustar las condiciones de operación para mitigar los efectos de un TKPH elevado.

Cambios de Ruta:

- Para reducir el impacto del TKPH elevado, el Controlador Mina debe cambiar al CAMIÓN a una ruta menos penalizante. Esto implica seleccionar una ruta de acuerdo a los siguientes criterios.
  - **Menor longitud:** Rutas más cortas pueden reducir la distancia recorrida por los camiones, lo que disminuye el esfuerzo acumulado en los neumáticos.
  - **Menor velocidad de operación:** Las rutas que permiten operar a velocidades más bajas reducen la fricción y el calor generado por el contacto de los neumáticos con el suelo, lo cual es esencial para mantener el TKPH dentro de rangos seguros.
  - **Terreno menos exigente:** La selección de terrenos con menos pendientes o sin suelos blandos ayuda a minimizar la carga adicional que enfrentan los neumáticos durante el trayecto.

Monitoreo Continuo del TKPH:

- Una vez que el CAMIÓN ha sido redirigido a una nueva ruta, se debe continuar monitoreando el TKPH en los siguientes ciclos para evaluar si el cambio ha logrado reducir los niveles de estrés térmico en los neumáticos.
- Si los niveles de TKPH siguen siendo elevados a pesar del cambio de ruta, puede ser necesario detener temporalmente la operación del CAMIÓN y evaluar medidas adicionales, como reducir aún más la velocidad, realizar una inspección física de los neumáticos, o reprogramar los ciclos de trabajo.



Coordinación y Comunicación:

- El Controlador de Mantenimiento y el Controlador Mina deben mantener comunicación constante para implementar las medidas correctivas de forma inmediata y asegurar que el equipo opere dentro de los parámetros seguros.
- El objetivo es dar una respuesta rápida para evitar el deterioro de los neumáticos, así como posibles impactos en la productividad de la operación minera debido a paradas no planificadas.

4.4 TKPH elevado (Nivel 2 y 3):

- Cuando un CAMIÓN (Autonomous Mining Truck) registra un TKPH elevado luego de 3 ciclos o más consecutivos, se activan medidas de mitigación para garantizar la seguridad del equipo y del personal.
- Si en el Nivel 2 no se logra disminuir el TKPH a niveles operativos con la detención de 30 minutos, se considerarán las medidas de control del Nivel de acuerdo al Cuadro 3.
- A continuación, se detallan las acciones adicionales que se deben llevar a cabo:



Cuadro 3. TARP Nivel 2 y 3.

Decisión del Líder de IOC:

- El líder del IOC toma la decisión de detener el camión durante 30 minutos para permitir una pausa inicial en la operación. Esto ayuda a reducir la acumulación de calor y minimiza el riesgo de daños severos en los neumáticos.

Coordinación con Desarrollo Mina para el Enfriamiento:

- Se establece una coordinación con el área de Desarrollo Mina para realizar el proceso de enfriamiento de los neumáticos. Esto se realiza con la ayuda del equipo de respuesta a emergencias, quienes deben utilizar una línea de agua conectada a una cisterna para enfriar de manera controlada.
- El enfriamiento se lleva a cabo durante aproximadamente 45 minutos, lo que permite que los neumáticos regresen a una temperatura segura para evitar deformaciones o daños internos que puedan comprometer su integridad.

Equipo de Respuesta a Emergencias:

- Durante el proceso de enfriamiento, el equipo de respuesta a emergencias debe seguir protocolos específicos de seguridad, asegurando que la línea de agua se aplique de manera uniforme para evitar cambios bruscos de temperatura que puedan provocar daños en los neumáticos.
- El uso de agua debe ser controlado para enfriar las áreas afectadas del neumático sin afectar otras partes del camión, asegurando un enfriamiento gradual y efectivo.

Inspección Termográfica por el Equipo de Neuma:

- Se involucra al personal del equipo de neuma para realizar una inspección termográfica del neumático. Esto permite evaluar el estado térmico del neumático de manera precisa, identificando puntos de calor residual y asegurando que no haya áreas críticas antes de reanudar la operación.

- La operación solo puede continuar una vez que la temperatura del neumático haya descendido a menos de 30° C, lo que garantiza que esté en un rango seguro para retomar el trabajo sin riesgo de sobrecalentamiento.

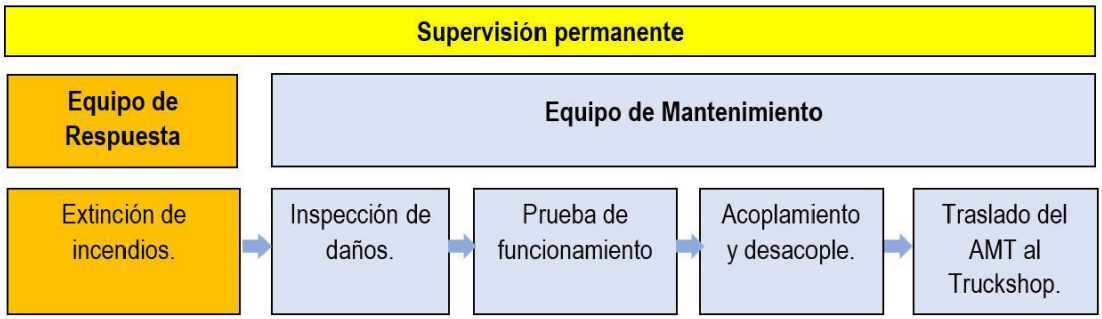


Importancia de la Inspección y Enfriamiento Gradual:

- El enfriamiento controlado y la inspección termográfica son medidas preventivas para evitar posibles daños estructurales en los neumáticos debido a los esfuerzos térmicos. Un enfriamiento rápido y descontrolado podría generar tensiones internas en el neumático, comprometiendo su vida útil.
- La colaboración entre el equipo de emergencia, el personal de neuma, y el líder de IOC es esencial para asegurar que estas medidas se implementen de manera coordinada y que el camión regrese a su operación bajo condiciones seguras.

4.5 TKPH elevado (Nivel 4):

- Cuando se registra un nivel elevado de TKPH en un camión después de más de 3 ciclos consecutivos, y se decide retirar el neumático para evitar daños adicionales al camión, se deben seguir una serie de pasos específicos para la movilización del camión afectado hacia el taller de truckshop. A continuación, se describe el proceso con mayor detalle:



Cuadro 4. TARP Nivel 4.

Verificación de extinción completa

- Una vez que el fuego ha sido sofocado en los neumáticos, se debe continuar aplicando espuma de manera preventiva para asegurarse de que no queden puntos calientes que puedan reactivar el incendio.

Evaluación de Seguridad Estructural

- Antes de movilizar el camión, el personal de mantenimiento realiza una inspección detallada de la estructura del equipo para asegurar que no haya daños graves que comprometan su integridad.
- La inspección abarca la revisión de ejes, sistemas hidráulicos, componentes electrónicos, y la estructura del camión para garantizar que el movimiento no empeore cualquier daño existente.

Arranque del Motor y Prueba de Funcionamiento:

- Dentro de la cabina del camión se debe garantizar un arranque seguro, incluyendo la posición del selector de marchas, freno de estacionamiento y verificar la ausencia de objetos sueltos.
- Se debe revisar el barrido de medidores en el panel monitor VIMS, los niveles de fluido, y el funcionamiento de los sistemas de monitoreo antes de proceder con el arranque.
- Es importante que el nivel de combustible esté al menos en un tercio del tanque y que se realicen todas las pruebas necesarias según el manual de operación del equipo.

Acoplamiento y Desacople del Tracto y Cuello de Ganso con el Camión

- Durante el proceso de acoplamiento y desacople del tracto con el camión, se requiere la presencia de 2 operadores autorizados y capacitados para coordinar el movimiento.
- El área de trabajo debe estar restringida para evitar la presencia de personas no autorizadas y equipos innecesarios, manteniendo una distancia segura de más de 60 metros.
- El personal de mantenimiento mina asegura que se realicen los ajustes necesarios en el parachoques del camión afectado y guía al operador del tracto durante las maniobras.

Uso de Guía para el Acople

- Un guía capacitado y certificado se encarga de dirigir las maniobras de acople y desacople, utilizando un sistema de comunicación radial para asegurar una coordinación fluida.
- Las maniobras de acople y desacople se deben realizar a una velocidad máxima de 2 km/h para garantizar la seguridad del equipo y del personal.

Proceso de Desacople y Conexiones Hidráulicas

- Una vez acoplado el camión al tracto, el personal de mantenimiento debe realizar las conexiones de las líneas hidráulicas para poder levantar el camión afectado.
- El proceso incluye el uso de una caja auxiliar de liberación de frenos si es necesario y se deben seguir los procedimientos indicados por el manual del fabricante para levantar la tolva si fuese requerido.

Traslado Hacia el Truckshop

- El traslado del camión hacia el taller de truckshop se debe realizar con una velocidad máxima de 8 km/h, y debe ser coordinado y autorizado por el líder de mantenimiento.
- Durante el traslado, el camión es escoltado por una camioneta con sistema Site Awareness para monitorear su entorno y asegurar un desplazamiento seguro.
- Se deben seguir los procedimientos de control remoto durante el acople y desacople para minimizar riesgos durante la operación.

Precauciones Durante el Traslado

- El supervisor de servicios evalúa las condiciones de las vías de mina, rutas, y áreas de tránsito antes de iniciar el traslado, asegurando que las rutas estén despejadas y que la altura del equipo sea adecuada.
- Se debe asegurar que la pluma de ganso esté en posición correcta para el remolque y que la distancia con respecto al suelo esté entre 40 a 45 cm.
- Es esencial mantener una comunicación constante con el control mina y verificar el entorno físico a través de la pantalla Site Awareness para evitar colisiones o interferencias con otros equipos.

4.6 Definición de Términos

- ***Autonomía:*** Se refiere a la capacidad de un vehículo para operar sin intervención humana. En el caso de los camiones autónomos, la autonomía implica que el camión puede planificar su ruta, navegar por el terreno y realizar maniobras sin necesidad de que un conductor lo controle.
- ***Camión:*** Camión minero autónomo que opera sin intervención directa de un operador humano. Este equipo está diseñado para optimizar las operaciones en minas y depende de sistemas avanzados de control y monitoreo.
- ***Ciclo:*** Una unidad de operación que incluye el proceso de carga, transporte, descarga y retorno de un camión minero autónomo. En el contexto de TKPH, el número de ciclos consecutivos con valores elevados es un indicador de potencial riesgo para los neumáticos.
- ***Enfriamiento de Neumáticos:*** Proceso que consiste en la reducción de la temperatura de los neumáticos mediante el uso de agua, generalmente a través de una cisterna. Es una acción correctiva en casos de TKPH elevado, para evitar daños a los neumáticos y asegurar su operación segura.
- ***Guía Autorizado:*** Personal capacitado y autorizado para guiar el posicionamiento de la cama baja.
- ***Inspección Termográfica:*** Técnica de monitoreo que utiliza cámaras termográficas para medir la temperatura de los neumáticos. Permite evaluar si los neumáticos están dentro de un rango seguro después de operaciones prolongadas o niveles elevados de TKPH.
- ***MineStar:*** Es una suite de software de gestión de minas desarrollada por Caterpillar que ofrece una amplia gama de herramientas para optimizar la eficiencia, la seguridad y la productividad de las operaciones mineras.
- ***Neumático:*** Componente clave de un camión minero que soporta el peso de la carga y la distancia recorrida. La correcta gestión del TKPH es esencial para evitar el desgaste prematuro y garantizar la vida útil de los neumáticos.
- ***Plan de Tráfico:*** Define las rutas que deben seguir los camiones autónomos en un sitio de operación. El plan de tráfico debe tener en cuenta la disposición del terreno, la ubicación de los obstáculos, las zonas de carga y descarga, y las normas de seguridad.
- ***TKPH (Toneladas Kilómetro Por Hora):*** Métrica que mide la cantidad de trabajo realizado por un neumático, calculando el peso de la carga transportada por un camión multiplicado por la distancia recorrida y dividido por el tiempo. Este valor sirve para determinar la capacidad de un neumático y evitar su sobrecalentamiento y desgaste excesivo.

5. RESTRICCIONES

- Ajustar la velocidad de operación del camión autónomo para reducir la generación de calor en los neumáticos, evitando un incremento adicional del TKPH que pueda dañar la integridad del neumático.
- Realizar un monitoreo continuo de la temperatura de los neumáticos, asegurando que no se excedan los límites de temperatura recomendados por el fabricante.
- Asegurarse de que la carga transportada no supere la capacidad nominal del camión, ya que un exceso puede aumentar el TKPH y provocar un desgaste prematuro de los neumáticos.
- Si el TKPH sobrepasa los límites establecidos por el fabricante, detener inmediatamente la operación del camión para prevenir posibles daños a los neumáticos y garantizar la seguridad del equipo y del personal.
- Evitar operar en terrenos de alta resistencia al rodamiento que puedan contribuir al aumento del TKPH, como pendientes pronunciadas o suelos blandos.
- Revisar y ajustar los ciclos de trabajo del camión para disminuir la frecuencia de paradas y arranques, lo que puede contribuir a mantener el TKPH dentro de los rangos permitidos.

LOGO	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO – PETS	CÓDIGO:	SHE-PLT-43
	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE TKPH ELEVADO EN CAMIONES AUTÓNOMOS 794AC	VERSION:	00
		FECHA DE ELABORACIÓN	11-06-2024
	UNIDAD MINERA	PÁGINA:	9 de 9

ELABORADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FECHA	FIRMA
REVISADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FECHA	FIRMA
	Líder de Mina		
	Superintendente de Operaciones Mina		
	Superintendente de Seguridad		
APROBADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FECHA	FIRMA
	Gerente de Operaciones Mina		

8.11. Datos de repesaje y cálculo de la variabilidad de los controles digitales de sobrecarga

N°	Pala	Camión	Accuload				Pantalla Terrain				Display Camion				Minestar Repesaje de camion	Variabilidad Accuload	Variabilidad Terrain
			Pase			Total	Pase			Total	Pase			Total			
			1	2	3		1	2	3		1	2	3				
1	SH001	HT015	136	106	89	331	121	115	89	325					325	2%	0%
2	SH001	HT010	106	112	103	321	101	119	100	320					314	2%	2%
3	SH001	HT005	154	112	84	350	115	124	84	323	115	239	199	199	317	10%	2%
4	SH001	HT013	107	106	97	310	111	112	120	343	111	223	106	106	323	4%	6%
5	SH001	HT028	123	114	104	341	121	121	98	340	121	242	115	115	330	3%	3%
6	SH001	HT023	110	105	107	322	115	113	107	335	115	228	107	107	334	4%	0%
7	SH001	HT011	111	116	100	327	108	121	103	332	108	229	214	214	330	1%	1%
8	SH001	HT018	105	102	76	283	117	116	79	312	117	233	101	101	318	11%	2%
9	SH001	HT001	117	117	110	344	106	117	105	328	106	_,	226	226	331	4%	1%
10	SH001	HT024	107	89	92	288	117	97	100	314	117	214	90	90	306	6%	3%
11	SH001	HT030	129	97	71	297	133	112	76	321	133	245	no	245	301	1%	7%
12	SH001	HT025	120	113	104	337	125	102	98	325	113	227	113	113	336	0%	3%
13	SH001	HT023	114	124	100	338	113	121	112	346	113	234	125	125	346	2%	0%
14	SH001	HT011	111	109	73	293	117	117	77	311					309	5%	1%
15	SH001	HT018	108	113	103	324	107	118	102	327	107		218		327	1%	0%
16	SH001	HT030	124	113	82	319	127	118	89	334	127	245	no	245	334	4%	0%
17	SH001	HT025	108	113	84	305	107	125	84	316	107	232	111	111	315	3%	0%
18	SH001	HT028	112	138	90	340	115	122	90	327	115	237	112	112	324	5%	1%
19	SH001	HT010	109	87	125	321	109	92	120	321	109	200	86	86	320	0%	0%
20	SH001	HT007	101	112	114	327	96	112	116	324	96	208	112	112	327	0%	1%
21	SH001	HT009	114	109	84	307	116	108	87	311	116	109	no	109	308	0%	1%
22	SH001	HT023	99	106	99	304	101	118	105	324	101	219	106	106	325	6%	0%
23	SH001	HT018	114	106	69	289	123	114	68	305	123	106	no	106	306	6%	0%
24	SH001	HT019	123	118	100	341	104	120	98	322	104	224	117	117	328	4%	2%
25	SH001	HT001	110	119	96	325	106	120	89	315	106	226	119	119	320	2%	2%
26	SH001	HT028	121	110	97	328	114	114	97	325	114				326	1%	0%
27	SH001	HT010	105	122	104	331	109	121	100	330	109	230	121	121	328	1%	1%
28	SH001	HT007	107	106	108	321	106	112	102	320	106	218	no	214	318	1%	1%
29	SH001	HT009	105	116	110	331	104	114	119	337		218	116	116	323	2%	4%
30	SH001	HT030	111	111	85	307	112	115	86	313	112	227	no	227	323	5%	3%
31	SH001	HT007	113	105	120	338	107	106	122	335					327	3%	2%
32	SH001	HT009	106	108	110	324	107	112	111	330					318	2%	4%
33	SH001	HT024	119	112	102	333	109	120	98	327					323	3%	1%
34	SH001	HT020	117	115	84	316	117	122	81	320					319	1%	0%
35	SH001	HT009	120	116	114	350	111	119	115	345					334	5%	3%
36	SH001	HT024	122	106	90	318	115	114	91	320					316	1%	1%
37	SH001	HT020	106	129	103	338	111	123	104	338					325	4%	4%
38	SH001	HT007	117	105	98	320	113	112	97	322					315	2%	2%
39	SH001	HT010	108	113	77	298	107	121	83	311					302	1%	3%
40	SH001	HT013	113	91	100	304	122	94	105	321					308	1%	4%
41	SH001	HT030	110	105	84	299	135	112	91	338					330	9%	2%
42	SH001	HT020	111	107	92	310	112	117	99	328					317	2%	3%
43	SH001	HT019	96	107	96	299	93	117	105	315					303	1%	4%
44	SH001	HT016	99	110	120	329	92	114	111	317					321	2%	1%
45	SH001	HT012	118	112	105	335	112	103	125	340					335	0%	1%
46	SH001	HT026	103	121	117	341	100	115	109	324					326	5%	1%
47	SH001	HT007	114	111	108	333	108	118	102	328					327	2%	0%
48	SH001	HT004	124	118	94	336	115	114	91	320					324	4%	1%
49	SH001	HT001	158	104	115	377	102	111	110	323					329	15%	2%
50	SH001	HT010	127	94	103	324	120	97	95	312					308	5%	1%
51	SH001	HT023	111	117	80	308	116	123	86	325					324	5%	0%
52	SH001	HT030	122	102	68	292	119	116	70	305					289	1%	6%
53	SH001	HT012	126	121	75	322	119	119	78	316					321	0%	2%
54	SH001	HT007	119	119	101	339	114	115	91	320					312	9%	3%
55	SH001	HT005	108	113	110	331	102	134	91	327					320	3%	2%
56	SH001	HT020	107	112	97	316	119	116	80	315					301	5%	5%
57	SH001	HT001	110	102	101	313	111	110	101	322					314	0%	3%
Variabilidad Promedio																**3.33%**	**1.92%**

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos	: Kyara Nicole Aguilar Solis
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N°	: 74063613
Correo electrónico	: kyara260300@gmail.com
Teléfono/Celular	: 944709677

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (X)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis **(X)**
b) Trabajo de Investigación **( )**
c) Trabajo de suficiencia profesional **( )**
d) Trabajo académico **( )**

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título: MEJORAMIENTO DEL CARGUÍO Y ACARREO MEDIANTE CONTROLES DIGITALES DE CAMIONES AUTÓNOMOS EN UNA UNIDAD MINERA A CIELO ABIERTO

b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra: https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) :
c) Fecha de publicación:

6. DATOS DEL ASESOR :

a) Nombres y Apellidos : JORGE LUIS TOMAS FLOREZ SALAS
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 00790320
c) ORCID : 0000-0002-7130-9297

7. DATOS DEL COASESOR :

a) Nombres y Apellidos : BERTHA SILVANA VERA BARRIOS
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 29542375
c) ORCID : 0000-0002-6411-8361

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 74063613
NOMBRES Y APELLIDOS : AGUILAR SOLIS KYARA NICOLE

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos : Carlos Arturo Arango Sanchez
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N° : 71428300
Correo electrónico : arturoarango20@gmail.com
Teléfono/Celular : +51 972411274

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (X)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis (X)
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico ( )

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título : Mejoramiento del Carguío y Acarreo Mediante Controles Digitales de Camiones Autónomos en una Unidad Minera a Cielo Abierto
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : .....
c) Fecha de publicación : .....

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : Jorge Luis Tomas Florez Salas
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 00790320
c) ORCID : 0000 - 0003 - 4871 - 4330

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 71428300
NOMBRES Y APELLIDOS : Carlos Arturo Arango Sanchez

ANEXO VIII

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN / TESIS / TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Yo, Kyara Nicole Aguilar Solis,
bachiller de la Escuela Profesional de:
Ingeniería de Minas,
de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado(a) con DNI Nº 74063613, autor(a) del Trabajo de Investigación / Tesis / Trabajo de suficiencia profesional denominado:
Mejoramiento del Carguío y Acarreo mediante controlos digitales de Camiones autónomos en una Unidad Minera a Cielo Abierto.

Declaro bajo juramento que:

1. El trabajo de investigación es auténtico, siendo resultado de mi trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor. Por tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiado total ni parcialmente.
2. El trabajo de investigación no ha sido autoplagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
3. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en el trabajo de investigación constituirán aporte a la realidad investigada.

Soy consciente de que, el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales, por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades en el trabajo de investigación, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Moquegua, 27 de enero del 2025



Huella digital

Nombres y Apellidos: Kyara Nicole Aguilar Solis
DNI: 74063613

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN / TESIS / TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Yo, Carlos Arturo Arango Sanchez, bachiller de la Escuela Profesional de : Ingeniería de Minas, de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado (a) con DNI: Nº 71428300, autor(a) de la Tesis / Trabajo de suficiencia profesional titulado Mejoramiento del Carguío y Acarreo Mediante Controles Digitales de Camiones Autónomos en una Unidad Minera a Cielo Abierto.

Declaro bajo juramento que:

1. El trabajo de investigación es auténtico, siendo resultado de mi trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor. Por tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiado total ni parcialmente.
2. El trabajo de investigación no ha sido autoplagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
3. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en el trabajo de investigación constituirán aporte a la realidad investigada.

Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales, por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades en el trabajo de investigación, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Moquegua, 28 de Marzo del 2025



Huella digital

Nombres y Apellidos: Carlos Arturo Arango Sanchez
DNI: 71428300

Base legal: RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 194-2020-SUNEDU-02-15

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(X) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....



DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 74063613

NOMBRES Y APELLIDOS : KYARA NICOLE AGUILAR SOLIS

FECHA : 2025

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(X) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 71428300

NOMBRES Y APELLIDOS : Carlos Arturo Arango Sanchez

FECHA : 28/03/2025



MEJORAMIENTO DEL CARGUÍO Y ACARREO MEDIANTE CONTROLES DIGITALES DE CAMIONES AUTÓNOMOS EN UNA...

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::23228:429608294

Fecha de entrega
12 feb 2025, 4:28 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
12 feb 2025, 4:33 p.m. GMT-5

Nombre de archivo
MEJORAMIENTO DEL CARGUÍO Y ACARREO MEDIANTE CONTROLES DIGITALES DE CAMIONES AUT....pdf

Tamaño de archivo
9.0 MB

201 Páginas

33,470 Palabras

180,685 Caracteres

10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

8% Fuentes de Internet
1% Publicaciones
7% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Caracteres reemplazados
205 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Texto oculto
18 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DECENIO DE LA IGUALDAD DE OPORTUNIDADES PARA MUJERES Y HOMBRES
"AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA"

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO N° 106-2025-CU-UNAM

Moquegua, 10 de marzo de 2025

VISTOS:

El Acuerdo de Sesión Extraordinaria de Consejo Universitario de fecha 10 de marzo de 2025; Proveído N° 722-2025 de fecha 04 de marzo de 2025 emitido por el Rectorado; Informe N° 093-2025-UNAM-R/SG de fecha 04 de marzo de 2025 emitido por la Secretaria General; Carta N° 042-2025-UNAM/SEGE/GYT/SVR de fecha 03 de marzo de 2025 emitido por el Área de Grados y Títulos; Sobre el otorgamiento del Título Profesional de Ingeniero de Minas, y;

CONSIDERANDO:

Que, la Constitución Política del Perú en su artículo 18º prevé que cada Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico, y el artículo 8º de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria, establece que la referida autonomía inherente a las Universidades, se ejerce de conformidad con la Constitución y las Leyes de la República e implica las organizaciones de su sistema académico, económico y administrativo, así como la administración de sus bienes y rentas, elaborar su presupuesto y aplicar sus fondos con la responsabilidad que impone la Ley;

Que, el artículo 58° de la Ley Universitaria, Ley Nº 30220, concordado con el artículo 14º del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, aprobado con Resolución de Comisión Organizadora Nº 578-2021-UNAM, establecen que el **Consejo Universitario es el máximo órgano de gestión, dirección y ejecución académica y administrativa de la universidad;**

Que, el artículo 44° de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria, señala que las universidades otorgan los grados académicos de Bachiller, Maestro, Doctor y los Títulos Profesionales que correspondan, a nombre de la Nación (...);

Que, el numeral 45.2 del artículo 45° de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria, precisa **los requisitos mínimos para la obtención del título profesional, como son: el grado de Bachiller y la aprobación de una tesis o trabajo de suficiencia profesional**. Asimismo, establece que el título profesional solo se puede obtener en la universidad en la cual se haya obtenido el grado de bachiller;

Que, con Resolución de Comisión Organizadora N° 1153-2021-UNAM, se aprobó el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, el mismo que fue modificado a través de las Resoluciones de Comisión Organizadora N° 410, 453 y 890-2022; N° 880-2023 y N° 081, 484-2024-UNAM/CO, el cual establece los requisitos y norma los procedimientos para la obtención de los grados académicos y títulos profesionales conferidos por esta Casa Superior de Estudios;

Que, mediante Carta N°42-2025-UNAM/SEGE/GYT/SVR, la Especialista del Área de Grados y Títulos, remite a Secretaria General, los expedientes de dos (2) bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, quienes se encuentran aptas para la expedición del Título Profesional de Ingeniero de Minas por la modalidad de sustentación de Tesis, al haber cumplido satisfactoriamente con los requisitos legales y reglamentarios[1], exigidos en el Reglamento de Grados y

[1] Articulo 122°. - Requisitos para la obtención del Título Profesional
Para obtener el Titulo Profesional el interesado deberá presentar ante su Escuela Profesional un expediente con la siguiente documentación:
a. Solicitud dirigida al Director de la Escuela Profesional o quien haga sus veces, indicando la fecha y numero de comprobante de pago.
b. Dos (2) fotografías de frente, tamaño pasaporte a color con fondo blanco (con traje formal); para garantizar la seguridad ciudadana.
c. Dos ejemplares de la Tesis, del Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe del Examen Profesional en físico, uno para la Biblioteca y otro para la Escuela Profesional, y un CD con la versión digital.
d. Formulario de autorización del graduado para la publicación de la Tesis, Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe de Examen Profesional en el repositorio.
e. Declaración Jurada de originalidad de la Tesis, Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe de Examen Profesional.

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme lo señala la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, razón por la cual la Secretaría General incluye el expediente como punto de agenda para ser tratado en Sesión de Consejo Universitario de fecha 10 de marzo de 2025;

Que, se ha establecido como atribución del Consejo Universitario de la UNAM, la facultad de conferir los grados académicos y los títulos profesionales (...), por lo que en mérito al pedido del Secretario General y debatido el caso en Sesión Extraordinaria de fecha 10 de marzo de 2025, se acordó por unanimidad **conferir a nombre de la Nación el Título Profesional de Ingeniero de Minas a dos (2) bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua**;

De conformidad con el artículo 59° de la Ley Universitaria, Ley N° 30220, concordado con el artículo 16° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, y estando a lo acordado en la Sesión Extraordinaria de fecha 10 de marzo de 2025 de Consejo Universitario;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO: CONFERIR, a nombre de la Nación el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS** por la modalidad de Sustentación de Tesis, a las Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua, de acuerdo al siguiente detalle:

1. **DANITZA MARIA ARIZABAL RAMOS**

   TESIS : "REDUCCIÓN DE EVENTOS TKHP PARA LA OPTIMIZACIÓN DE INDICADORES DE RENDIMIENTO DE CAMIONES EN UNA MINA DE COBRE", cuyo Asesor fue el Dr. Christ Jesus Barriga Paria.

2. **KYARA NICOLE AGUILAR SOLIS**

   TESIS : "MEJORAMIENTO DEL CARGUÍO Y ACERO MEDIANTE CONTROLES DIGITALES DE CAMIONES AUTÓNOMAS EN UNA UNIDAD MINERA A CIELO ABIERTO", cuyo Asesor fue la Dra. Bertha Silvana Vera Barrios.

ARTÍCULO SEGUNDO: AUTORIZAR, a la Secretaría General de la Universidad Nacional de Moquegua, expedir y registrar los Diplomas correspondientes para su otorgamiento.

ARTÍCULO TERCERO: ENCARGAR al Área de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, para que realice las acciones pertinentes conducentes, relacionadas con la inscripción de los grados y títulos en el Registro de Grados y Títulos de la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria - SUNEDU.

ARTÍCULO CUARTO: NOTIFICAR, la presente Resolución a las instancias y dependencias administrativas y académicas de la Universidad Nacional de Moquegua, para su conocimiento, cumplimiento y demás fines pertinentes.

ARTÍCULO QUINTO: ENCARGAR, a la Oficina de Tecnología de la Información, la publicación de la presente Resolución en el portal de transparencia de la Universidad Nacional de Moquegua.

La Escuela Profesional es responsable de completar el expediente del bachiller en un plazo máximo de 3 días hábiles y derivar a la Oficina de Secretaría General, adjuntando los siguientes documentos:

a. Copia del acta de sustentación indicando la modalidad de obtención del título profesional.
b. Constancia de "no adeudo" de Bienes a la Universidad, bienes a los Laboratorios Básicos y de Especialidad, material bibliográfico; dichos documentos deberán ser refrendados por los responsables a cargo.

///... **Resolución de Consejo Universitario N° 106-2025-CU-UNAM**

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE, CÚMPLASE Y ARCHÍVESE

DR. HUGO RUBEN MARCA MAQUERA
Rector
Universidad Nacional de Moquegua

ABG. GUILLERMO S. KUONG CORNEJO
Secretario General
Universidad Nacional de Moquegua

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

DECENIO DE LA IGUALDAD DE OPORTUNIDADES PARA MUJERES Y HOMBRES
"AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA"

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO Nº 208-2025-CU-UNAM

Moquegua, 07 de abril de 2025

VISTOS:

El Acuerdo de Sesión Ordinaria de Consejo Universitario de fecha 02 de abril de 2025; Proveído N° 1078-2025 de fecha 27 de marzo de 2025 emitido por el Rectorado; Informe N° 141-2025-UNAM-R/SG con sello de recepción de fecha 26 de marzo de 2025 emitido por la Oficina de Secretaría General, Carta N° 064-2025-UNAM/SEGE/GYT/SVR de fecha 21 de marzo de 2025 emitido por la encargada del Área de Grados y Títulos de Secretaría General, y;

CONSIDERANDO:

Que, la Constitución Política del Perú en su artículo 18º prevé que cada Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico, y el artículo 8º de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria, establece que la referida autonomía inherente a las Universidades, se ejerce de conformidad con la Constitución y las Leyes de la República e implica las organizaciones de su sistema académico, económico y administrativo, así como la administración de sus bienes y rentas, elaborar su presupuesto y aplicar sus fondos con la responsabilidad que impone la Ley;

Que, el artículo 58° de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria concordado con el artículo 14º del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, aprobado con Resolución de Comisión Organizadora Nº 578-2021-UNAM, establece que el **Consejo Universitario es el máximo órgano de gestión, dirección y ejecución académica y administrativa de la universidad;**

Que, mediante Carta N° 064-2025-UNAM/SEGE/GYT/SVR de fecha 21 de marzo de 2025 la encargada del Área de Grados y Títulos de la Oficina de Secretaría General de la Universidad Nacional de Moquegua, señala que por error involuntario en el Informe Técnico N° 029-2025-UNAM/SEGE/GYT, ha incurrido en error específicamente en lo que se refiere a los títulos de las tesis de las Bachilleres ARIZABAL RAMOS DANITZA MARIA y AGUILAR SOLIS KYARA NICOLE, motivo por el cual, solicita la rectificación de la Resolución de Consejo Universitario N° 106-2025-CU-UNAM de fecha 10 de marzo de 2025, mediante la cual se otorga Título Profesional de Ingeniero de Minas, por la modalidad sustentación de tesis, pedido que es acogido y canalizado hacia el Rectorado, por el señor Secretario General a través del Informe N° 141-2025-UNAM-R/SG con sello de recepción de fecha 26 de marzo de 2025;

Que, en ese sentido el parágrafo 212.1 del artículo 212° del TUO de la Ley Nº 27444, Ley del Procedimiento Administrativo General, aprobado mediante Decreto Supremo N° 004-2019-JUS, sobre la **RECTIFICACIÓN DE ERRORES**, es taxativo al señalar que: ***"Los errores MATERIAL o aritmético en los actos administrativos pueden ser rectificados con efecto retroactivo, en cualquier momento, de oficio o a instancia de los administrados, siempre que no se altere lo sustancial de su contenido ni el sentido de la decisión***";

Que, en virtud a lo expuesto el Rector con Proveído N° 1078-2025, dispone a Secretaría General incluir el expediente como punto de agenda para ser tratado en Sesión Ordinaria de Consejo Universitario de fecha 02 de abril de 2025;

Que, en mérito de las facultades y atribuciones conferidas al Consejo Universitario, estando al pedido de la Oficina de Cooperación y Relaciones Internacionales y debatido el caso en Sesión Extraordinaria de fecha 26 de marzo de 2025, se acordó por unanimidad: **1.- APROBAR**, la **RECTIFICACIÓN DEL ERROR MATERIAL** contenido en el artículo primero de la Resolución de Consejo Universitario Nº 106-2025-CU-UNAM de fecha 10 de marzo de 2025, en el extremo referente a los títulos de las tesis de las Bachilleres ARIZABAL RAMOS DANITZA MARIA y AGUILAR SOLIS KYARA NICOLE, **2.- DEJAR SUBSISTENTES** los demás extremos de la Resolución de Consejo Universitario Nº 106-2025-CU-UNAM de fecha 10 de marzo de 2025;

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

DECENIO DE LA IGUALDAD DE OPORTUNIDADES PARA MUJERES Y HOMBRES
"AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA"

///... Resolución de Consejo Universitario N° 208-2025-CU-UNAM

De conformidad con el artículo 59° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria concordado con el artículo 16° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, y estando a lo acordado la Sesión Ordinaria de Consejo Universitario de fecha 02 de abril de 2025;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO: APROBAR, la **RECTIFICACIÓN DE ERROR MATERIAL** del Artículo Primero de la Resolución de Consejo Universitario Nº 106-2025-CU-UNAM de fecha 10 de marzo de 2025, en el extremo referente a los títulos de las tesis de las Bachilleres ARIZABAL RAMOS DANITZA MARIA y AGUILAR SOLIS KYARA NICOLE; conforme al siguiente detalle:

DICE

ARTÍCULO PRIMERO: CONFERIR, a nombre de la Nación el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS** por la modalidad de Sustentación de Tesis, a las Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua, de acuerdo al siguiente detalle:

1.- DANITZA MARIA ARIZABAL RAMOS

TESIS: "REDUCCIÓN DE EVENTOS TKHP PARA LA OPTIMIZACIÓN DE INDICADORES DE RENDIMIENTO DE CAMIONES EN UNA MINA DE COBRE", cuyo Asesor fue el Dr. Christ Jesus Barriga Paria.

2.- KYARA NICOLE AGUILAR SOLIS

TESIS: "MEJORAMIENTO DEL CARGUÍO Y ACERO MEDIANTE CONTROLES DIGITALES DE CAMIONES AUTÓNOMAS EN UNA UNIDAD MINERA A CIELO ABIERTO", cuyo Asesor fue la Dra. Bertha Silvana Vera Barrios.

DEBE DECIR

ARTÍCULO PRIMERO: CONFERIR, a nombre de la Nación el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS** por la modalidad de Sustentación de Tesis, a las Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua, de acuerdo al siguiente detalle:

1.- DANITZA MARIA ARIZABAL RAMOS

TESIS: "REDUCCIÓN DE EVENTOS TKPH PARA LA OPTIMIZACIÓN DE INDICADORES DE RENDIMIENTO DE CAMIONES AUTÓNOMOS EN UNA MINA DE COBRE", cuyo Asesor fue el Dr. Christ Jesus Barriga Paria.

2.- KYARA NICOLE AGUILAR SOLIS

TESIS: "MEJORAMIENTO DEL CARGUÍO Y ACARREO MEDIANTE CONTROLES DIGITALES DE CAMIONES AUTÓNOMOS EN UNA UNIDAD MINERA A CIELO ABIERTO", cuyo Asesor Principal fue el Mg. Jorge Luis Tomas Florez Salas, y Co-Asesor fue la Dra. Bertha Silvana Vera Barrios.

ARTÍCULO SEGUNDO: DEJAR SUBSISTENTES los demás extremos de la Resolución de Consejo Universitario Nº 106-2025-CU-UNAM de fecha 10 de marzo de 2025.

ARTÍCULO TERCERO: NOTIFICAR, con la presente Resolución a las instancias y dependencias administrativas y académicas de la Universidad Nacional de Moquegua, para su conocimiento, cumplimiento y fines pertinentes.

ARTÍCULO CUARTO: ENCARGAR, a la Oficina de Tecnologías de la Información, la publicación de la presente Resolución en el Portal de Transparencia de la Universidad Nacional de Moquegua.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE, CÚMPLASE Y ARCHÍVESE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA – UNAM – RECTORADO

DR. HUGO RUBEN MARCA MAQUERA
Rector
Universidad Nacional de Moquegua

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA – UNAM – SECRETARÍA GENERAL

GUILLERMO S. KUONG CORNEJO
Secretario General
Universidad Nacional de Moquegua

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

DECENIO DE LA IGUALDAD DE OPORTUNIDADES PARA MUJERES Y HOMBRES
"AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA"

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO N° 233-2025-CU-UNAM

Moquegua, 11 de abril de 2025

VISTOS:

El Acuerdo de Sesión Extraordinaria de Consejo Universitario de fecha 09 de abril de 2025, Proveído N° 1259-2025 de fecha 09 de abril de 2025 emitido por el Rectorado, Informe N° 166-2025-UNAM-R/SG de fecha 09 de abril de 2025 emitido por la Secretaría General; Carta N° 071-2025-UNAM/SEGE/GYT/ SVR de fecha 09 de abril de 2025 emitido por el Área de Grados y Títulos sobre el otorgamiento del Título Profesional de Ingeniero de x|Minas, y;

CONSIDERANDO:

Que, la Constitución Política del Perú en su artículo 18° prevé que cada Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico, y el artículo 8° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria, establece que la referida autonomía inherente a las Universidades, se ejerce de conformidad con la Constitución y las Leyes de la República e implica las organizaciones de su sistema académico, económico y administrativo, así como la administración de sus bienes y rentas, elaborar su presupuesto y aplicar sus fondos con la responsabilidad que impone la Ley;

Que, el artículo 58° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria concordado con el artículo 14° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, aprobado con Resolución de Comisión Organizadora N° 578-2021-UNAM, establecen que el **Consejo Universitario es el máximo órgano de gestión, dirección y ejecución académica y administrativa de la universidad;**

Que, el artículo 44° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria, señala que las universidades otorgan los grados académicos de Bachiller, Maestro, Doctor y los Títulos Profesionales que correspondan, a nombre de la Nación (...);

Que, el numeral 45.2 del artículo 45° de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria, precisa **los requisitos mínimos para la obtención del título profesional, como son: el grado de Bachiller y la aprobación de una tesis o trabajo de suficiencia profesional**. Asimismo, establece que el título profesional solo se puede obtener en la universidad en la cual se haya obtenido el grado de bachiller;

Que, mediante Resolución de Comisión Organizadora N° 1153-2021-UNAM, se aprobó el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, el mismo que fue modificado a través de las Resoluciones de Comisión Organizadora N° 410; 453 y 890-2022, N° 880-2023-UNAM y N° 081, 484-2024-UNAM el cual establece los requisitos y norma los procedimientos para la obtención de los grados académicos y títulos profesionales conferidos por esta Casa Superior de Estudios;

Que, mediante Carta N° 069-2025-UNAM/SEGE/GYT/SVR, de fecha 07 de abril de 2025, la encargada del Área de Grados y Títulos, remite a Secretaría General el expediente de un (01) bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas quien se encuentra apto para la expedición del Título Profesional de Ingeniero de Minas por la modalidad de sustentación de Tesis, al haber cumplido satisfactoriamente con los requisitos legales y reglamentarios, exigidos en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme lo señala la Dirección de Actividades y Servicios Académicos y la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, razón por la cual, el señor Secretario General incluye dicho expediente como punto de agenda para ser tratado en Sesión Extraordinaria de Consejo Universitario de fecha 09 de abril de 2025;

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

Que, se ha establecido como atribución del Consejo Universitario de la UNAM, la facultad de conferir los grados académicos y los títulos profesionales (...), por lo que, en mérito al pedido del Secretario General y debatido el caso en Sesión Extraordinaria de fecha 09 de abril de 2025, se acordó por unanimidad **conferir a nombre de la Nación el Título Profesional de Ingeniero de Minas a un (01) bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua;**

De conformidad con el artículo 59° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria concordado con el artículo 16° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, y estando a lo acordado en la Sesión Extraordinaria de Consejo Universitario de fecha 09 de abril de 2025;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO: CONFERIR, a nombre de la Nación el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS** por la modalidad de Sustentación de Tesis, al Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua, de acuerdo al siguiente detalle:

CARLOS ARTURO ARANGO SANCHEZ
TESIS : "MEJORAMIENTO DEL CARGUÍO Y ACARREO MEDIANTE CONTROLES DIGITALES DE CAMIONES AUTÓNOMOS EN UNA UNIDAD MINERA A CIELO ABIERTO", cuyo Asesor Principal fue el Mg. Jorge Luis Tomas Florez Salas y la Dra. Bertha Silvana Vera Barrios

ARTÍCULO SEGUNDO: AUTORIZAR, a la Secretaria General de la Universidad Nacional de Moquegua, expedir y registrar los Diplomas correspondientes para su otorgamiento.

ARTÍCULO TERCERO: ENCARGAR al Área de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, para que realice las acciones pertinentes conducentes, relacionadas con la inscripción de los grados y títulos en el Registro de Grados y Títulos de la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria - SUNEDU.

ARTÍCULO CUARTO: NOTIFICAR, la presente Resolución a las instancias y dependencias administrativas y académicas de la Universidad Nacional de Moquegua, para su conocimiento, cumplimiento y demás fines pertinentes.

ARTÍCULO QUINTO: ENCARGAR, a la Oficina de Tecnologías de la Información, la publicación de la presente Resolución en el Portal de Transparencia de la Universidad Nacional de Moquegua.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE, CÚMPLASE Y ARCHÍVESE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA UNAM RECTORADO

DR. HUGO RUBEN MARCA MAQUERA
Rector
Universidad Nacional de Moquegua

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA UNAM SECRETARÍA GENERAL

ABG. GUILLERMO S. KUONG CORNEJO
Secretario General
Universidad Nacional de Moquegua

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe