UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS

“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”

PRESENTADO POR:

Bach. Eugenio Basilio Davila Paca

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA – PERU
2022

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
UNAM
FEDATARIO

UNAM
SECRETARIA GENERAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

Folio N° 025

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]

Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]

Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:

RESOLUCION DE FACULTAD N.° 237 - 2022- FACIA- UNAM

Fecha: 05 OCTUBRE 2022

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

" OPTIMIZACION DE COSTOS DE ACARREO Y TRANSPORTE DE MINERAL MEDIANTE EL INCREMENTO DE TIEMPO DE VIDA DE LOS NEUMATICOS EN UNA UNIDAD MINERA SUPERFICIAL 2021

Bachiller: EUGENIO BASILIO DÁVILA PACA

Asesor Principal: DR. CHRIST JESÚS BARRIGA PARIA

Co-Asesor : - . -

IV. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: DIECISEIS (16) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 16:00 horas, del 07 de OCTUBRE del año 2022 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente
MARCOS LUIS QUISPE PEREZ
(Nombres y Apellidos)

Primer Miembro
MSc AGAPITO FLORES JUSTO
(Nombres y Apellidos)

Segundo Miembro
MGR. JUAN ELIAS ROJAS CONDORI
(Nombres y Apellidos)

Bachiller
Eugenio Basilio Davila Paca
(Nombres y Apellidos)

DEDICATORIA

A Dios por darme fuerza y salud para cumplir con mis objetivos. A mis queridos padres Facundo e Inocencia, a mis hermanos y a todos aquellos que contribuyeron en mi formación personal y profesional.

AGRADECIMIENTOS

Mi especial agradecimiento a la Universidad Nacional de Moquegua, escuela profesional de ingeniería de minas y a toda la plana docente por haberme permitido formarme profesionalmente. Mis sinceros agradecimiento igualmente al Dr. Christ Barriga Paria por ser un gran mentor durante la elaboración de este proyecto.

A la empresa Southern Perú Copper Corporation, unidad minera Cuajone, al área de Dispatch y todo el equipo de gerencia mina, por haberme transmitido sus conocimientos y haberme permitido iniciar mi carrera profesional en el mundo minero.

Finalmente agradezco a mi familia, a las personas más cercanas que siempre me alentaron y me apoyaron para llevar a cabo este proyecto y permitieron cumplir mis metas y anhelos.

RESUMEN

A la hora de optimizar costos hablamos de buscar oportunidades de mejoras en los diferentes procesos unitarios dentro de las actividades mineras, y sin lugar a duda los neumáticos representan un vital muy importante cuando nos referimos al acarreo de mineral o desmonte. El TKPH es el parámetro que nos indicará el trabajo que realiza los neumático para lo cual se requiere conocer variables importantes como tiempo, distancia, tonelaje, temperatura, entre otros, por ello en este trabajo de investigación el objetivo principal es evaluar el rendimiento de los neumáticos bajo parámetros de TKPH con la única finalidad de reducir los costos de acarreo de mineral mediante el incremento de tiempo de vida de las mismas. En el trabajo de investigación para evaluar se consideraron tres rutas de acarreo de mineral en donde en primer lugar se calculó el TKPH de cada ruta de manera independiente por siete semanas mediante la recolección de datos a través del sistema de administración de flota, posterior a ello se analizó inmediatamente los TKPH operativo de los volquetes que recorren por las rutas de acarreo mencionadas, en líneas generales los volquetes que superan el TKPH del neumático son considerados para un cambio de ruta con menor TKPH promedio. La aplicabilidad de la investigación redujo en un 33% el retiro de los neumáticos por motivo de separación térmica, esto por consiguiente minimizó los costos unitarios de acarreo por cada tonelada de mineral correspondiente a neumáticos de medida 59/80R63, donde para el primer mes se tiene una disminución de 10.00% para el costo del neumático que sale por consecuencias de separación térmica y esto respecto al promedio mensual, de la misma manera de acuerdo a los resultados en el mes dos se logra una disminución de 8.86%.

Palabra clave: Neumáticos, tonelada kilómetro por hora, distancias equivalentes, velocidad, rutas de acarreo, tonelaje, costos unitarios.

ABSTRACT

When it comes to optimizing costs, we talk about looking for opportunities for improvement in the different unitary processes within mining activities, and without a doubt, tires represent a very important vital when we refer to the hauling of ore or waste. The TKPH is the parameter that will indicate the work done by the tires for which it is required to know important variables such as time, distance, tonnage, temperature, among others, so in this research work the main objective is to evaluate the performance of tires under TKPH parameters with the sole purpose of reducing the costs of ore hauling by increasing the life time of the tires. In the research work to evaluate three ore hauling routes were considered where firstly the TKPH of each route was calculated independently for seven weeks by collecting data through the fleet management system, after that the operating TKPH of the dump trucks that travel along the mentioned hauling routes were immediately analyzed, in general lines the dump trucks that exceed the TKPH of the tire are considered for a change of route with lower average TKPH. The applicability of the research reduced by 33% the removal of tires due to thermal separation, this consequently minimized the unit costs of hauling for each ton of ore corresponding to tires of size 59/80R63, where for the first month there is a decrease of 10.00% for the cost of the tire that leaves due to consequences of thermal separation and this with respect to the monthly average, in the same way according to the results in month two a decrease of 8.86% is achieved.

Keyword: Tires, ton kilometer per hour, equivalent distances, speed, hauling routes, tonnage, unit costs.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN....1
1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA....1
1.1.1. Interrogante general....2
1.1.2. Interrogantes específicas....2
1.2. ANTECEDENTES....3
1.2.1. Antecedentes nacionales....3
1.2.2. Antecedentes internacionales....6
1.3. OBJETIVOS....8
1.3.1. Objetivo general....8
1.3.2. Objetivos específicos....8
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA....8
1.4.1. Propósito académico y utilidad social....10
1.4.2. Relevancia social....11
1.4.3. Técnica....11
1.4.4. Económica....11
1.4.5. Utilidad metodológica....11
1.5. HIPÓTESIS....12
1.5.1. Hipótesis general....12
1.5.2. Hipótesis específicas....12
1.6. VARIABLES....12
1.6.1. Variable independiente....12
1.6.2. Variable dependiente....13
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO....15
2.1. BASES TEÓRICAS....15
2.1.1. Ubicación del proyecto....15
2.1.2. Accesibilidad....15
2.1.3. Clima....16
2.1.4. Geología Regional....16
2.1.5. Geología local....18
2.1.6. Geología Estructural....21
2.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS....23
2.2.1. Acarreo....23

2.2.2. Neumático 23
2.2.3. Estructura de los neumáticos 23
2.2.4. Talones 23
2.2.5. Capas de cuerpo 24
2.2.6. Corte en un neumático. 24
2.2.7. Separación 24
2.2.8. Goma de neumáticos 25
2.2.9. Profundidad de banda de rodamiento 25
2.2.10. TKPH (Tonelada – Kilómetro por hora) 26
2.2.11. Peralte 26
2.2.12. Distancia equivalente (EFH) 27
2.2.13. Tonelaje Nominal 27
2.2.14. Incremento de vida útil del neumático 27
2.2.15. Neumáticos retirados a *scrap* 27
2.2.16. Costos 28
2.3. COSTOS EN OPERACIONES UNITARIAS 28
2.3.1. Costos directos 29
2.3.2. Costos indirectos 29
2.3.3. Costos unitarios de carguío y acarreo 30
2.3.4. Costos de perforación y voladura 31
2.4. NEUMÁTICOS OTR PARA ACARREO Y TRANSPORTE (OFF THE ROAD) 31
2.4.1. Partes del neumático 31
2.4.2. Tipos de construcciones de neumáticos 34
2.4.3. Parámetros que influyen en su cuidado 35
2.4.4. Principales motivos de desecho de un neumático 39
2.5. TKPH DE NEUMÁTICOS 42
2.5.1. Métodos de cálculo de TKPH operacional 42
2.5.2. Cálculo TKPH según Bringstone 43
2.5.3. Cálculo TKPH según Michelin 43
2.5.4. Información requerida para el cálculo de TKPH 44
2.6. MANTENIMIENTO EN OPERACIONES MINERAS 45
2.6.1. Mantenimiento vías de acarreo 45
2.6.2. Mantenimiento equipos de acarreo 46
2.7. SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO Y MONITOREO DE DATOS 47

2.7.1. Funcionamiento de software de monitoreo de temperatura 47
2.7.2. Sistema de monitoreo de flotas 47
2.8. SEGUIMIENTO DE HORAS DE VIDA DE NEUMÁTICOS 48
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA 49
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 49
3.1.1. Tipo de Investigación 49
3.1.2. Diseño de investigación 49
3.1.3. Nivel de investigación 51
3.2. ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL 51
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA 53
3.3.1. La población 53
3.3.2. Muestra 53
3.4. PROCEDIMIENTO 53
3.4.1. Método, procedimiento o proceso 53
3.5. TÉCNICA E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS 56
3.5.1. Distancias equivalentes 57
3.5.2. Tonelajes 58
3.5.3. Velocidades 60
3.5.4. Tiempos 60
3.6. ANÁLISIS DE DATOS 61
3.6.1. Observación directa 61
3.6.2. Análisis estadístico 62
CAPÍTULO IV: RESULTADOS 63
4.1. TKPH RUTAS DE ACARREO 63
4.2. TKPH OPERATIVO 67
Ruta de acarreo R-01 flota Komatsu 980E: 68
Ruta de acarreo R-01 flota Cat 797F: 70
Ruta de acarreo R-02 flota Komatsu 980E: 71
Ruta de acarreo R-02 flota Cat 797F 72
Ruta de acarreo R-03 flota Komatsu 980E 74
Ruta de acarreo R-03 flota Cat 797F 75
4.3. COSTOS DE ACARREO 76
4.4. VELOCIDAD VS TKPH 80
4.5. ANÁLISIS NEUMÁTICOS 84

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS **86**
5.1. TKPH DE RUTAS DE ACARREO **86**
5.2. TKPH OPERATIVO **86**
5.3. COSTOS DE ACARREO **87**
5.4. VELOCIDAD VS TKPH **87**
5.5. TIEMPO DE VIDA DE LOS NEUMÁTICOS **88**
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES **89**
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES **90**
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **91**
ANEXOS **94**

Índice Tablas

Tabla 1 *Operacionalización de variables* **.....14**

Tabla 2 *Accesibilidad a laoperación minera* **.....15**

Tabla 3 *Principales costos directos por operaciones unitarias* **.....29**

Tabla 4 *Ubicación en coordenadas UTM WGS84* **.....51**

Tabla 5 *Población* **.....53**

Tabla 6 *Tabla para cálculo de factor de distancia equivalente* **.....58**

Tabla 7 *Factor de distribución de peso según* **.....59**

Tabla 8 *Tipos de pruebas estadísticas* **.....62**

Tabla 9 *Rutas de acarreo de mineral y desmonte* **.....63**

Tabla 10 *TKPH nominal para R-01* **.....64**

Tabla 11 *TKPH nominal para R-02* **.....65**

Tabla 12 *Disribución semanal para TKPH nominal para R-03* **.....67**

Tabla 13 *Desviación estandar para flota Komatsu 980E* **.....69**

Tabla 14 *Desviación estandar para Flota Cat 797F* **.....71**

Tabla 15 *Desviación estandar para flota Komatsu 980E R-02* **.....72**

Tabla 16 *Distribución de costos de acarreo* **.....78**

Tabla 17 *Análsis de velocidad vs TKPH* **.....85**

Índice Figuras

Figura 1 *Mapa estructural de fallas del yacimiento Cuajone* 22
Figura 2 *Método de medición de la altura de remanente* 26
Figura 3 *Promedio de distribución de costos en operaciones mineras* 30
Figura 4 *Partes del neumático* 32
Figura 5 *Diagrama de posiciones del neumático* 36
Figura 6 *Diseño de vías de acarreo- curva peraltada* 38
Figura 7 *Precauciones al momento de cargar* 39
Figura 8 *Neumático con salida de corte* 40
Figura 9 *Neumático con separación por temperatura* 41
Figura 10 *Tiempos para cálculo de TKPH* 45
Figura 11 *Diagrama de funcionamiento del sistema de administración de flota* 48
Figura 12 *Mapa de ubicación de la unidad minera Cuajone* 52
Figura 13 *Vista de equipos distribuidos correctamente* 54
Figura 14 *Ciclo de acarreo de volquetes* 55
Figura 15 *Vista de gestión acumulada de producción en área dispatch* 56
Figura 16 *Ubicación de neumáticos en un volquete* 59
Figura 17 *Mapa de calor de velocidades* 60
Figura 18 *Distribución semanal de TKPH nominal para R-01 (P01-Chancadora)* 65
Figura 19 *Distribución semanal de TKPH nominal para R-02 (P04-Chancadora)* 66
Figura 20 *Distribución semanal de TKPH nominal para R-03 (P03-Chancadora)* 67
Figura 21 *Distribución de TKPH operativo de flota Komatsu 980E respecto al TKPH del neumático* 69
Figura 22 *Distribución de TKPH operativo de flota Cat 797F* 70
Figura 23 *Distribución de TKPH operativo de flota Komatsu 980E* 71
Figura 24 *Distribución de TKPH operativo de flota Cat 797F 980E* 73
Figura 25 *Distribución de TKPH porcentual de flota Cat 797F* 73
Figura 26 *Distribución de TKPH operativo de flota Komatsu 980E R-03* 74
Figura 27 *Distribución en porcentaje de TKPH operativo de flota Komatsu 980E* 75
Figura 28 *Distribución de TKPH operativo de la flota Cat 797F R-03* 75
Figura 29 *Distribución en porcentaje de TKPH operativo de flota Cat 797F* 76
Figura 30 *Distribución de costos operativos* 77

Figura 31 *Distribución de costos de acarreo* 78
Figura 32 *Resultado de costo de neumáticos de flota komatsu 980 E por tonelada* 79
Figura 33 *Resultado de costo de neumáticos de la flota Cat 797F por tonelada* 80
Figura 34 *Análisis de velocidad vs TKPH, para R-01 flota Komatsu 980E* 81
Figura 35 *Análisis de velocidad vs TKPH, para R-01 flota Cat797F* 81
Figura 36 *Análisis de velocidad vs TKPH, para R-02 flota Cat797F* 82
Figura 37 *Análisis de velocidad vs TKPH, para R-03 flota K980E* 83
Figura 38 *Análisis de velocidad vs TKPH, para R-03 flota Cat797F* 84
Figura 39 *Neumáticos por separación vs promedio* 84

LISTA DE ABREVIATURAS

TKPH	: Toneladas kilómetro por hora
Usd	: Dólares Americanos
Otr	: Off the road
Kpi	: Key performance Indicator
Km	: kilómetros
Ml	: Millas
Mm	: milímetros
Inch	: Pulgada
Km/hr	: Kilómetros por hora
Ton	: Toneladas
Usd/Ton	: Dólares por tonelada
°C	: Grados celcius
°F	: Grado Fahrenheit
μ	: Media
#	: Números

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En las operaciones mineras con un método de extracción a cielo abierto, los costos presupuestados para la operación unitaria de acarreo y transporte es uno de los más significativos, la distribución de costos dentro de ello es ampliamente liderado por el diésel y los neumáticos para los volquetes gigantes, que hoy en día representan los vitales más grandes en cuanto a costo por operaciones unitarias; por otro lado siendo el neumático uno de los más influyentes al momento de presupuestar, se considera sus principales factores que afectan en su rendimiento estando estas por lo general por debajo de los targets establecidos, estos traen consigo los impactos directos al monto presupuestado y el costo por tonelada acarreada de mineral, esta preocupación ha llevado a generar gran interés por parte de las empresas mineras por lo que constantemente se busca alternativas para la optimización en los costos de acarreo siendo principalmente el rendimiento de los neumáticos, es por ello que se vienen realizando prácticas que permitan controlar las variables que intervienen en su correcto cuidado, siendo estas el adecuado mantenimiento de las vías de acarreo, presión, temperatura, el centrado de la carga, velocidad, tonelaje cargado, rotación de los neumáticos, etc. Todas estas variables actualmente son monitoreadas constantemente a fin de optimizar los costos de acarreo de mineral, pero paralelamente se requiere seguir avanzando en la innovación y búsqueda de alternativas que permitan reducir costos de acarreo.

Otro de los principales problemas que afectan al acarreo y transporte y que se vienen enfrentando durante estos últimos tiempos a nivel global es el desabastecimiento de neumáticos para minería, esto debido a la falta de transporte marítimo y a los altos costos de los fletes para la importación de las mismas. Esta problemática se generó debido a la situación que se atraviesa a nivel global referida a la declaratoria de pandemia por la enfermedad de la Covid-19, el mismo que llevó a generar el

desabastecimiento de los principales almacenes de quienes son proveedores de neumáticos de tal modo que generó el aplazamiento de las entregas programadas, el no suministro de neumáticos rápidamente empieza a impactar en la disponibilidad de los volquetes los cuales repercuten directamente en la extracción de mineral y el movimiento de desmonte planeado.

La unidad minera Cuajone no es inherente a la problemática que se viene presentando con el alto costo de los neumáticos el cual motiva la necesidad constante de seguir avanzando con nuevos métodos de optimización en cuanto a costos de acarreo, es por ello que se plantea realizar un análisis estadístico para identificar el impacto de los costos de acarreo debido al tonelaje kilómetro por hora (TKPH) en las rutas (origen - destino) que se tiene en el tajo.

1.1.1. Interrogante general

¿Es posible optimizar los costos de acarreo y transporte de mineral y a su vez incrementar el tiempo de vida de los neumáticos mediante la definición de límites de TKPH en el tajo de la unidad minera Cuajone?

1.1.2. Interrogantes específicas

¿Cómo se ve reflejado el impacto del TKPH máximo en el tonelaje de producción diario?

¿Cómo impacta el TKPH máximo en cuanto a los costos por toneladas acarreadas de los neumáticos?

¿Cómo impacta los costos de acarreo en la variación del TKPH que existe entre las diferentes rutas en la unidad minera Cuajone?

1.2. ANTECEDENTES

Existe una gran demanda de consumo de minerales a nivel mundial que va creciendo constantemente, en consecuencia las principales empresas dedicadas a la extracción de minerales frecuentemente buscan alternativas de optimización para sus diferentes procesos unitarios.

En la explotación de mineral uno de los mayores montos del presupuesto es asignada al acarreo y transporte, al tener un alto costo presupuestal es imprescindible que las empresas mineras busquen reducir los costos de acarreo, en esta etapa del ciclo de minado quien juega un rol importante en cuanto a costos son los neumáticos, es un elemento indispensable dentro de la operación, la falta de estos conllevaría a detener totalmente la producción, es por lo mismo la importancia de su cuidado y optimización.

Debido a la alta demanda de los neumáticos los costos también se incrementan y paralelamente los cuidados para su optimización son mayores. Realizar investigaciones para la reducción de los costos debido al cuidado de los neumáticos últimamente viene a ser más frecuentes, desde análisis de vías, rotación de neumáticos, velocidades, tonelajes, presión, temperatura, entre otras variables que influyen en su cuidado.

1.2.1. Antecedentes nacionales

Taquima (2017) en la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, facultad de geología, geofísica y minas, desarrolla un informe denominado “Eficiencia en el rendimiento de neumáticos de camiones gigantes mediante el sistema de administración de movimiento de tierra Michelin MEMS *evolutión* 2 mina Antapaccay.” El autor detalla el funcionamiento del sistema MEMS en la unidad minera, dentro de ellos indica que uno de las principales funciones es la de registrar el TKPH en el centro de control, asimismo indica las principales razones para que los neumáticos sean dados de baja, de igual forma recomienda el correcto cuidado de las vías, cumplir con capacitaciones a operadores de volquete,

continuar con la aplicabilidad de controles como el sistema MEMS y crear un centro de seguimiento de neumáticos en todas las minas con el fin de realizar estudios y conseguir resultados favorables.

Alvarado & Malpartida (2018) en la Universidad Nacional Hermilio Valdizan, facultad de ingeniería industrial y sistemas, desarrolla la tesis denominada "Sistema de gestión de mantenimiento para la durabilidad de los neumáticos O.T.R. para camiones de acarreo en mina con soporte informático. Marcona 2018" que tiene como objetivo determinar a través de un sistema los elementos, procesos de entrada y salida para su sistema de gestión de mantenimiento e incrementar la durabilidad de los neumáticos, en la investigación los autores concluyen indicando que existe una diferencia significativa de 5% más antes y después de aplicar el sistema de mantenimiento logrando incrementar las horas de vida de los neumáticos luego de su aplicabilidad.

Teodoro (2019) en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, facultad de ingeniería producción y servicios, desarrolla la tesis denominada "Plan de monitoreo para reducir costos de consumo de neumáticos en operación de camiones Komatsu 930E – 4SE. Caso: minera las Bambas" que tiene como objetivo realizar un diagnóstico para identificar el motivo de desecho de los neumáticos OTR y establecer herramientas de monitoreo y control, esto con la finalidad de reducir costos en la operación, luego de desarrollar su investigación concluyen que tras su implementación del plan se logra una reducción de 3 $/Hora por cada neumático instalado en los camiones Komatsu 930E – 4SE demostrando una diferencia significativa respecto al año anterior 2018.

Livias (2020) en la Universidad Cesar vallejo, facultad de ingeniería y arquitectura desarrolla la tesis denominada "Diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la eficiencia en tiempo de vida de los neumáticos 53/80R63 Michelin en camiones komatsu 930E, en la empresa minera las Bambas" que tiene como objetivo el de evaluar las condiciones iniciales de uso y mantenimiento para determinar los

indicadores principales de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad y evaluar costo beneficio de la implementación de mejora de acuerdo a su diagnóstico general. El autor tras su investigación realizada concluye que se ha demostrado la mejora de eficiencia en tiempos de vida de los neumáticos, mediante el cual se ha logrado establecer los indicadores de mantenimiento asimismo el autor brinda las siguientes recomendaciones: capacitación al personal, realizar programas de mantenimiento basado en análisis de modos, efecto de fallas y rutas de seguimiento continuo e inspección de acuerdo al programa de mantenimiento implementado.

Gutiérrez (2020) en la Universidad Privada del Norte, facultad de Ingeniería desarrolla la tesis denominada "Implementación de un sistema TPMS y su impacto en la vida útil de neumáticos gigantes de camiones Caterpillar 793 en una empresa minera, 2020" que tiene como objetivo analizar el impacto que tiene la implementación de los sistemas de monitoreo de temperatura y presión, al ejecutar el proyecto lograron visualizar en tiempo real la información de los neumáticos en el área de despacho quienes en consecuencia tomarían medidas inmediatas en caso se superen los parámetros permitidos, finalmente el autor concluye satisfactoriamente indicando que hay una disminución de bajas de neumáticos en un 17.9% en cuanto a su vida útil.

Minaya (2021) en la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, facultad de geología geofísica y minas, desarrolló la tesis **"**Implementación de la metodología six sigma para mejorar la vida útil de neumáticos de camiones mineros en el proyecto mina Justa**"** la investigación tuvo como objetivo mejorar la vida de los neumáticos en los volquetes 793D, de igual forma en su investigación busca incrementar la disponibilidad de la flota a través de la optimización de tiempo de vida de los neumáticos, luego de su aplicación el autor concluye que posterior a la implementación se tuvo un beneficio de $ 678,675.00 solo por el año 2020, pudiendo mantenerse en los siguientes años si se continua con los seguimientos y controles realizados.

Cruz (2021) en la Universidad Nacional de Moquegua, escuela profesional de ingeniería de minas presenta un informe denominado "Aplicación del análisis TKPH para determinar los neumáticos OTR óptimos para la operación en la flota de acarreo Caterpillar 793F – mina Constancia" el cual se plantea como objetivos realizar análisis de las políticas de gestión referente a los parámetros de carga útil, análisis de cargas por ejes y análisis de velocidades medias, en su informe el autor concluye indicando que en cuanto al análisis de las políticas implementadas, la mayoría de las cargas se encuentran bajo el rango de productividad y un 7.9% en el rango tolerable, asimismo también indica respecto al análisis de cargas de los ejes que el 62% superan las especificaciones de carga en los neumáticos posteriores y respecto al análisis de velocidades se mantiene dentro del rango a excepción de los neumáticos del compuesto B4 que supera en un 20% según la especificaciones indicadas, finalmente a través de análisis de TKPH determina que los neumáticos Michelin 50/80R57 XDR250 del compuesto B y compuesto B4 son los adecuados para las condiciones sometidas en el área de estudio. El autor de igual manera recomienda respetar los parámetros de TKPH y utilizar al 100% el sistema de monitoreo MEMS 4 considerando que uno de los factores importantes a controlar es el TKPH.

1.2.2. Antecedentes internacionales

Morales (2020) en la Universidad de Chile, facultad de ciencias físico matemáticas, desarrolla la investigación denominada "Aumento de vida útil de los neumáticos para la flota de transporte de minera Centinela." planteándose como objetivo el de generar un ahorro de 10% del presupuesto anual destinado a neumáticos, implementar prácticas operacionales para disminuir el consumo, definir planes de mantenimiento de rutas y generar medidas que permitan erradicar las separaciones térmicas, luego de su aplicación el autor concluye indicando que gracias a la elaboración de un monitoreo de TKPH se ha logrado disminuir sobre lo admitido por los neumáticos en las diferentes rutas que contempla el estudio de investigación,

de igual modo indican que en cuanto a ahorro de dinero global destinado a neumáticos se logra reducir 6,242.00 dólares durante el año 2019 el cual deja notar que para el 2020 los ahorros irán incrementando dado que las medidas se fueron implementando gradualmente durante el 2019.

Albornoz (2022) en la Universidad de Chile, facultad de ciencias físicas y matemáticas, desarrolla la investigación denominada "modelos predictivos basados en técnicas de aprendizaje de máquinas para el análisis de procesos de desgaste en neumáticos de camiones mineros", planteándose como objetivo el desarrollar un método que detecte el desgaste del neumático a partir de su última medición, en su investigación crea distintas variables con información de tipo parcial a través del proceso que se basaba en la fenomenología y los comportamientos mensuales de la mina que se estudió, para ello implementaron 3 algoritmos según la posición de los neumáticos estas fueron realizadas en dos etapas distintas, la primera contempla la tasa de desgaste mensual por cada kilómetro y la segunda etapa utiliza los modelos predictivos para estimar el error de la variable de la primera etapa respecto al desgaste real, tras su investigación el autor concluye indicando que es posible predecir los desgastes con una gran precisión, logrando un modelo fácilmente aplicable en cualquier operación minera.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Optimizar los costos de acarreo y transporte de mineral y de la misma forma incrementar el tiempo de vida de los neumáticos a través de la definición de límites máximos de TKPH en el tajo de la unidad minera Cuajone.

1.3.2. Objetivos específicos

a. Identificar el impacto del TKPH máximo para el tonelaje de producción diario.

b. Identificar el impacto del TKPH máximo en cuanto a los costos por horas de los neumáticos.

c. Establecer el impacto en los costos de acarreo en la variación del TKPH que existe entre las diferentes rutas en la unidad minera Cuajone.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Los costos que se asumen para la extracción del mineral se ven afectados por diversos factores y una de las principales es la estabilidad económica que puede tener cada país, al ser esta muy estable definitivamente la variación en cuanto a compra de insumos será mínima, pero de existir lo contrario impactará directamente a los costos asumidos para la extracción, otro factor viene dado por la situación que pueden presentarse como crisis a nivel mundial siendo este el caso de la pandemia por la Covid-19, trayendo consigo innumerables inconvenientes que desembocarán en el impacto de la alza de costos, estos y demás factores políticos, sociales, ambientales, etc. Serán protagonistas en la desviación de la media que tiene previsto independientemente cada empresa minera.

Las principales compañías dedicadas a la extracción de minerales a gran escala en nuestro país operan bajo el método de explotación a cielo abierto, el cual conlleva que diariamente se tiene que mover miles de toneladas de mineral para que puedan ser procesadas y posteriormente obtener cobre, oro, hierro, molibdeno, y otros minerales, paralelamente se mueve material desmonte en proporciones aún mayores que el mineral, ya que esto permitirá llegar hasta la profundidad en el cual se encuentra el mineral explotable; en ambos casos para el acarreo de estas se utilizan volquetes mineros con capacidades entre 215 a 360 toneladas; y constantemente a medida que se va avanzando en las mejoras tecnológicas, la capacidad de los volquetes vienen incrementándose notablemente a fin de reducir los costos.

Al tener un gran número de volquetes transportando el mineral en el tajo se ve claramente que uno de los componentes que hace posible el movimiento de estos son los neumáticos, que de aquí en adelante servirá como base de estudio para el presente proyecto de investigación. Los neumáticos en la unidad minera Cuajone miden su eficiencia en función a las horas de vida operativas; basado en el indicador clave de rendimiento con sus siglas en ingles KPI (*Key performance indicator*) que constantemente genera la preocupación haciéndose la siguiente interrogativa ¿por qué los costos de rendimiento por horas y una baja productividad en algunos neumáticos no llegan a los targets establecidos?

Al ser uno de los principales vitales de las operaciones mineras, se tiene en claro que por las mismas requieren de un cuidado constante, el cuidado de las vías, el monitoreo a tiempo real de la presión, temperatura, medida de los remanentes, velocidad de los volquetes, tonelaje cargado y el TKPH. Dentro de las operaciones mineras se trabajan minando diferentes frentes de manera simultánea el cual permite que se diversifique las rutas de cada volquete, por ello en el presente estudio se ve la necesidad de incorporar el parámetro de TKPH por cada ruta, que ayudarán en el cuidado de los neumáticos los cuales asimismo permitirán realizar un cambio

oportuno de ruta en caso se supere estos límites, de igual forma también se plantea determinar las variables máximas de velocidad y tonelaje para optimizar los costos de acarreo.

Según los antecedentes para el presente caso de estudio todos comparten la misma preocupación de optimizar los costos de acarreo mediante el incremento de la vida útil de los neumáticos, abordándose este tema en común desde diferentes puntos de vista y perspectivas distintas, tales como los parámetros que influyen directamente en el desgaste, cuidados adecuados como el de presión y temperatura, ingeniería en las curvas de las vías de acarreo tales como el peralte y radio de giro, técnicas de un adecuado carguío de material minado, concientización para un buen cuidado de los neumáticos para los operadores de volquetes mineros, inclusive también se documenta estudios utilizando indicadores de TKPH, pero esto se usó a fin de identificar modelos y marcas adecuados para unidades mineras en concreto, el presente estudio difiere de todas las anteriores investigaciones ya que tiene como base principal el de establecer valores de TKPH en cada ruta a fin de monitorear y llevar consigo en una decisión inmediata a través de cambio de rutas a las que tienen un menor valor de TKPH, esto con objetivos claros de identificar los parámetros de tonelaje y velocidad máximos que permitan optimizar los costos de acarreo y transporte debido al cuidado de los neumáticos y su influencia en el incremento de horas de vida operativa de las mismas.

1.4.1. Propósito académico y utilidad social

La presente investigación tiene como objetivo académico el de ampliar la base teórica en tópicos de gran importancia para la búsqueda constante de la mejora continua en la optimización de costos de a través del incremento de las horas operativas de los neumáticos, a su vez también pueda ser usado por personas que tengan gran interés para realizar posibles análisis posteriores en base a la investigación realizada para que ayuden a encontrar nuevas técnicas de innovación y métodos de optimización.

1.4.2. Relevancia social

Con la presente investigación se busca aportar conocimientos que ayuden a la reducción del consumo de neumáticos en el sector minero mediante la disminución de su envío a *scrap* sin antes cumplir los targets de horas de vida establecidos, con esta acción se espera contribuir en el cuidado y la preservación del medio ambiente, de igual modo también se estará aportando antecedentes para la búsqueda de la innovación en cuanto a la fabricación de neumáticos más resistentes y amigables con el medio ambiente.

1.4.3. Técnica

La técnica a emplear para esta investigación será el manejo de datos de una manera estrictamente profesional, para determinar targets de TKPH en las diferentes rutas de acarreo, esto con el objetivo de no exceder en tonelaje y velocidad para optimizar los costos de acarreo mediante el incremento del tiempo de vida operativa de los neumáticos.

1.4.4. Económica

La aplicabilidad del presente target de TKPH en las diferentes rutas de acarreo permite una rápida toma de decisiones en caso de sobrepasar lo establecido para optar por rutas de acarreo menos penalizantes, asimismo se logra cuidar el neumático e incrementar su tiempo de vida, en términos económicos se optimiza el costo por consumo de neumáticos generando una mayor rentabilidad económica.

1.4.5. Utilidad metodológica

La implementación de TKPH por rutas de acarreo ayudará al cuidado de los neumáticos de los volquetes permitiendo mayores disponibilidades de las mismas y reduciendo el costo de acarreo y transporte, siendo esto una alternativa para su implementación y parte de la mejora continua en el proceso de acarreo.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis general

Los costos de acarreo y transporte de mineral y el incremento de tiempo de vida de los neumáticos son optimizados mediante la definición de los límites máximos de TKPH en el tajo de la unidad minera Cuajone.

1.5.2. Hipótesis específicas

a. Identificando el impacto del TKPH máximo en el tonelaje de producción diario se logra optimizar los costos de acarreo y transporte.

b. Determinando el impacta del TKPH máximo, se optimiza su tiempo de vida y los costos por hora de acarreo de mineral de los neumáticos.

c. Estableciendo el impacto de los costos de acarreo y la variación de TKPH que existe entre las diferentes rutas, se logra una reducción de costos de acarreo y transporte.

1.6. VARIABLES

1.6.1. Variable independiente

Incremento de tiempo de vida de los neumáticos a través de targets de TKPH por las diferentes rutas de acarreo y reducir los costos de acarreo y transporte de mineral en la unidad minera Cuajone.

Indicadores

- Velocidad
- Tonelaje
- Modelo de neumático

- Tipos de material de neumático
- Diseño de rutas de acarreo
- Incremento de Tiempo de vida del neumático
- Mantenimiento de equipos

1.6.2. Variable dependiente

Reducción de costos de acarreo y transporte de mineral mediante el incremento del tiempo de vida de los neumáticos en la operación minera Cuajone.

Indicadores

- Costos de acarreo y transporte
- Producción diaria acarreada
- Tiempo de ciclo de acarreo

Un resumen detallado del tipo de variable, las dimensiones, indicadores y herramientas que se usarán en el presente proyecto de investigación se visualizan a continuación en la Tabla 1 correspondiente a la operacionalización de variables.

Tabla 1

Operacionalización de variables

TIPO DE VARIBLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	HERRAMIENTAS
VARIABLE INDEPENDIENTE Incremento de tiempo de vida de los neumáticos a través de targets de TKPH por las diferentes rutas de acarreo y reducir los costos de acarreo y transporte de mineral en la unidad minera Cuajone.	*Tiempo de vida de los neumáticos*, es la cantidad de horas que un neumático está siendo utilizando para el realizar el acarreo de mineral antes de ser retirado a *scrap*.	• Velocidad • Tonelaje • Modelo de neumático • Tipos de material del neumático • Diseño de rutas de Acarreo • Incremento de Tiempo de vida del neumático • Mantenimiento de equipos	• Vel. Máx. = 50 km/h • Ton nominal = 360 ton • Modelo = 40/00R 57, 53/80R 63, 59/80R 63 • Tipos de goma = B4, M4, MB, MB4 • Pendiente <= 10% • Vida neumático = Hrs • Mant. = Disponibilidad	• Vel. Con Software *JMineops*. • Ton. con software *JMineops*. • Diseño según fabricante • Diseño según fabricante. • Diseño de ingeniería. • Software *Klinge* • Reportes *Jmineops*
VARIABLE DEPENDIENTE Reducción de costos de acarreo y transporte de mineral mediante el incremento del tiempo de vida de los neumáticos en la operación minera Cuajone.	*Costos de acarreo y transporte*, es el monto total equivalente a dinero requerido para la ejecución de dicha actividad.	• Costos de acarreo y transporte • Producción diaria acarreada • Tiempos de ciclos de acarreo	• Costos acarreo = Usd/Ton • Producción = Ton/Día • Tiempo = Min/Ciclo	• Costos registrados en software *Sap Logon.* • Ton. Con software *Jmineops* • Tiempos con software *Jmineops*

Nota: Elaboración Propia.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. BASES TEÓRICAS

2.1.1. Ubicación del proyecto

La unidad minera para el estudio es un yacimiento tipo pórfido de cobre y molibdeno Cu-Mo y se encuentra demarcado en el distrito de Torata, provincia Mariscal Nieto, departamento de Moquegua, se ubica dentro de los cuadrángulos (34U) y Moquegua (35U) en la zona UTM 19 con coordenada central; 318,000E; 814,842N, geográficamente se encuentra a 17°02´S; 70°42W con elevación de 2950-3880 m.s.n.m. (INGEMMET, 2018).

2.1.2. Accesibilidad

La unidad minera cuajone tiene un acceso terrestre que inicia en el distrito de Moquegua por la carretera interoceánica sur hasta el ingreso al distrito de Torata, lugar donde se toma el desvío de la carretera independiente construida por la propia empresa que conduce hasta la misma unidad minera, las distancias y el tiempo se detallan a continuación en la siguiente Tabla 2.

Tabla 2

Accesibilidad a la operación minera

Tramo	Distancia	Tiempo	Tipo de vía
Moquegua - Samegua	4.5	5 min	Asfaltado
Samegua – Torata	65.0	45 min	Asfaltado
Torata - Cuajone	14.5	30 min	Trocha

Nota. Elaboración propia

2.1.3. Clima

El clima en mina Cuajone es semidesértico a semiárido en cuanto a precipitaciones y templado a frio en cuanto a temperaturas, el promedio anual de temperatura en cuajone es de 10°C el cual define un clima templado frio y en cuanto a humedad esta es mayor durante los meses de verano y menor en los meses de invierno, se podría decir que posee un carácter estacional muy relacionado directamente con la precipitación (Southern Perú, 2012).

2.1.4. Geología Regional

2.1.4.1. Fisiografía

Se puede diferenciar la cordillera de la costa, la llanura costanera, el flanco andino y la cadena de conos volcánicos, estas áreas se encuentran emplazados longitudinalmente de sureste a noroeste y están básicamente definidos por su altitud, relieve, el clima y su geología. La cordillera de la costa forma montañas de hasta 1800 m.s.n.m. que se presentan a lo largo de forma discontinuas, la llanura costanera está constituido por la formación Moquegua, que es un relleno de una cuenca longitudinal entre la cadena costanera y el pie de los andes; el flanco andino está constituido por rocas volcánicas y macizo intrusivo que muestra una topografía abrupta llegando hasta los 4000 m.s.n.m. y finalmente la cadena de conos volcánicos abarca una franja de 20 a 30 km de ancho con rumbo noroeste a sureste llegando hasta los 5815 m.s.n.m. encontrándose en su mayor parte cubierto por nieve (Bernabé, 2002).

2.1.4.2. Génesis de yacimiento

El avance de la placa continental sudamericana sobre la placa subductora del pacifico oriental es la responsable de la formación de varios yacimientos ubicados al norte de chile y al sur de Perú, todas estas tienen las mismas características que son de pórfido de cobre; la placa subductora del pacifico generó una gran energía mediante rozamiento, permitiendo el

derretimiento de las rocas con un gran contenido de cobre, posterior a ello la gran cantidad de energía permitió aperturas por las zonas de debilidad, por donde el magma, gases a grandes presiones y alta temperatura empezaron a circular, generando por alteración hidrotermal zonas apropiadas para que se depositen las soluciones mineralizantes (concha, 1999).

2.1.4.3. Génesis Cuajone

El yacimiento se encuentra emplazado dentro de la subprovincia cuprífera del pacifico en el flanco occidental de los andes alineándose con otros depósitos importantes como lo son Toquepala, Cerro Verde y Quellaveco.

Localmente las rocas más antiguas que están en el afloramiento de cuajone pertenecen al grupo Toquepala los cuales tienen edades entre 100 y 34 millones de años. La roca más antigua que es el basamento en cuajone es la andesita también denominada como andesita basáltica que tiene una potencia que excede los 800.00 m. Se la relaciona como una cantidad de flujos andesíticos que pertenecen posiblemente a la formación llamada paralaque, últimamente viene cobrando mayor firmeza la teoría que relaciona esta roca como un intrusivo somero perteneciente al Batolito Andino del Sur que esta correlacionado con la diorita que se tiene en el yacimiento de mina Toquepala.

La andesita basáltica y el volcánico Quellaveco fueron depositados entre 70 y 100 millones de años, ambos pertenecientes al grupo Toquepala. Posteriormente entre 60 y 65 millones de años de da la intrusión del cuerpo diorítico - granodiorítico con una dirección hacia el norte, la misma que aflora en la zona oeste del yacimiento; de igual forma entre 50 y 60 millones de años ocurre la intrusión de la latita porfirítica que se desarrolla en tres eventos o también llamado pulsos magmáticos: el primer pulso causo fracturamiento y alteración en la roca encajonante el cual a consecuencia se generó las condiciones apropiadas para la mineralización del yacimiento

cuajone; el segundo pulso presenta una mineralización en menores cantidades por lo que no toma una gran importancia; luego llega el último y tercer pulso que no toma mucha relevancia porque llega a mineralizar en menores cantidades, luego de haber ya formado el cuerpo mineralizado viene una fase que dura entre 24 y 50 millones de años generando el proceso de erosión, esta sucesión de eventos afecta al grupo Toquepala y a rocas pertenecientes al volcánico Quellaveco, posteriormente el nivel freático empieza a descender dando paso a lixiviar parte del cuerpo, oxidar y de igual modo enriquecer el cuerpo mineralizado durante el lapso del tiempo.

Entre 17 y 23 millones de años se reanuda la actividad magmática, dando lugar al depósito de rocas de la formación Huaylillas, este proceso de erosión trae la formación paleo valles que posteriormente en su etapa final fue rellenado con conglomerados y aglomerados. Entre 14 y 17 millones de años se presenta otro proceso que es conocido actualmente como la quebrada Chuntacala y Torata, esto permite la exposición de las rocas que pertenecieron a la formación del grupo Toquepala. Luego nuevamente por un proceso de descenso de nivel freático se empieza a oxidarse, lixiviarse y a su vez enriquecer el yacimiento pero en esta ocasión en menores magnitudes. Entre 9 y 14 millones de años se da nuevamente un proceso de actividad magmática eso con periodos erosivos intraformacionales que dieron a lugar la deposición de los volcánicos de la formación Chuntacala. Finalmente en los últimos 9 millones de años se presenta el cuarto periodo erosivo, dando lugar a la topografía del yacimiento antes de iniciar su extracción (Concha, 1999).

2.1.5. Geología local

La unidad minera Cuajone en el flanco andino generalmente está formado por rocas volcánicas y macizos intrusivos que forman una topografía denominada abrupta ya que presenta pendientes muy elevadas llegando hasta los 4000 m.s.n.m.

Por otro lado en las partes más altas está formado por una topografía ligeramente ondulada y en algunos sectores se nota topografías planas que están generalmente cubiertos por rocas volcánicas.

El área o cuerpo que contiene la mineralización ha sido parcialmente erosionado en el lado noroeste, esto a consecuencia del rio Torata, asimismo se presenta una erosión muy débil en su parte central en dirección este a oeste en una de las quebradas conocidas como Chuntacala que en las épocas de precipitación converge con sus aguas al rio Torata (Cajavilca, 2015).

2.1.5.1. Litoestratigrafia

Como es el caso de muchas otras mineralizaciones de pórfidos de cobre, la intensa alteración hidrotermal se vio obligada a destruir de manera parcial o totalmente las texturas mineralógicas iniciales al interior de las rocas pre mineral, e intrusivas en Cuajone (Cajavilca, 2015).

2.1.5.2. Volcánicos pre-mineral

De acuerdo a su formación las rocas antiguas en la zona del yacimiento pertenecen a los dos miembros más bajos del grupo Toquepala de volcánicos (Paleoceno / Cretaceo superior), la riolita porfirítica y la andesita basáltica.

La roca denominada andesita basáltica presenta su coloración oscura gracias a la biotita, y probablemente de origen hidrotermal, piroxeno (hendenbergita) y anfibolita (de manera tentativa antofilita) fueron identificados. En cuanto a algunos remanentes pertenecientes a la estructura porfirítica se identifican en forma de finos granos anhedrales, ocasionalemente subhedrales, ferromagnesianos corroídos, aunque por lo general se podría decir que la alteración es total.

La riolita porfirítica se presenta concordante con los estratos del basalto que tienen una profundidad bastante mínima, la riolita se presenta en potencias superiores de 250 m, en cuanto a su estructura se puede decir que es fuertemente porfirítica, presenta en su circundante cuarzo y

fenocristales de aproximadamente 2 mm en promedio, en un tipo de matriz denominada afánitica (Cajavilca, 2015).

2.1.5.2.1. Complejo intrusivo

El cuerpo intrusivo predominante que se presenta es un stock de latita porfirítica alterada y mineralizada. En cuanto al área de la mina se presenta como latita porfirítica cuarzosa, con presencia de cuarzo libre y estos además rodeados de fenocristales con diámetros entre 2 y 4 mm estos se presentan altamente alterados y en algunos feldespatos pseudos morfológicos se han preservado en forma de cristales alargados con promedio entre 2 a 5 mm y probablemente fue de una matriz criptocristalina.

En cuanto a los contactos existentes entre los volcánicos pre-mineral y la latita son mediante la andesita basáltica, pudiendo ser transicional a consecuencia de la asimilación (Cajavilca, 2015).

2.1.5.2.2. Brechas post-mineral

Principalmente constituido de clastos redondeados o también sub-redondeados localmente derivados, los cuales fueron alterados y posteriormente mineralizados en rocas volcánicas e intrusivas que fueron contenidas en una matriz fresca de latita porfirítica, en el aspecto local esta matriz puede ser silificada o parcialmente compuesta de las conocidas geodas, conteniendo algunas incrustaciones de cuarzo (Cajavilca, 2015).

2.1.5.2.3. Volcánicos post-mineral

En su gran parte las secuencias piroclásticas son reconocidas en la unidad minera, estas son separadas por la formación denominada quebrada Chuntacala y actualmente por lo propio del minado. Tenemos los volcánicos Hualillas y los volcánicos Chuntacala de los lados sur y norte del yacimiento respectivamente, contando con edades de 17-22 millones de años para el

volcánico Hualillas y 9-14 millones de años para el volcánico Chuntacala (Cajavilca, 2015).

2.1.6. Geología Estructural

En el sur de Perú se tiene una predominante tendencia estructural con orientación noroeste sureste como se puede apreciar en la fosa oceánica del pacifico, batolito de la costa, el planicie costeño, el flanco occidental de los andes y las fallas regionales como el Incapuquio, Micalaco, Viña Blanca y Botiflaca (Bernabé, 2002).

2.1.6.1. Fallas Incapuquio

Estas fallas han sido reconocidas desde el límite con la frontera con Chile, atravesando el departamento de Tacna y gran parte del departamento de Moquegua, y tiene una distancia aproximada de 140 km de largo por 1 km de ancho, tienen un rumbo entre 290° y 310° (Bernabé, 2002).

2.1.6.2. Falla Micalaco

Aflora en las inmediaciones de la unidad minera Toquepala entre la quebrada cortadera y el pueblo de Micalaco, tiene afloramiento de 21 km y potencia de hasta 500 m también tiene un buzamiento subvertical y mayormente esta rellenado por cuarzo, turmalina, sulfuros, diques, brechas, rocas trituradas, ligera alteración hidrotermal y material cizallada (Bernabé, 2002).

2.1.6.3. Falla Viña Blanca

Tiene un afloramiento de 5.5 km en la riolita porfirítica a 3 km al sureste de la mina Cuajone. La falla Viña Blanca no atraviesa las rocas volcánicas postminerales de la formación Huaylillas indicando que esta tiene su ocurrencia en el terciario inferior y no cuenta con reactivaciones posteriores, su dirección con la cual predomina es de N290° y un buzamiento preferencialmente subvertical, esta falla se presenta como una

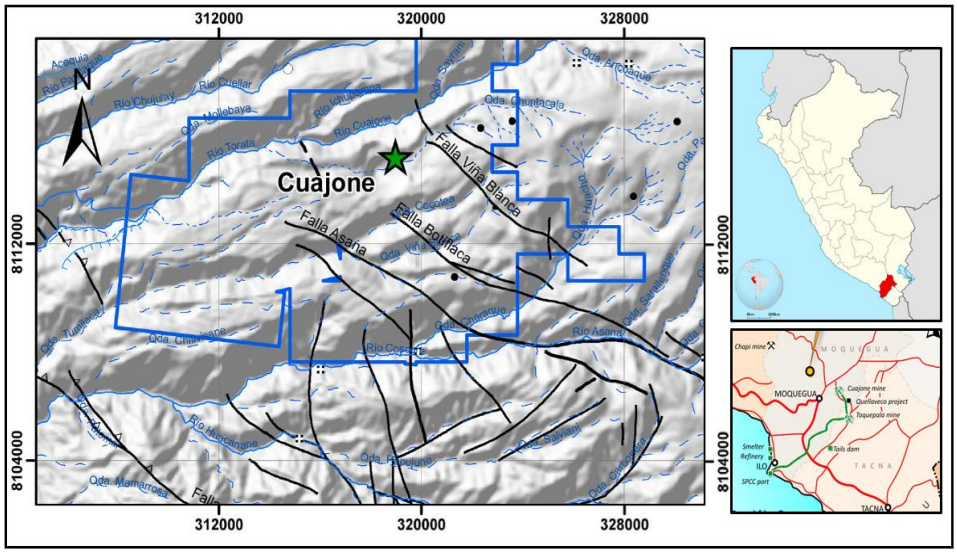
serie de estructuras paralelas y sinuosas que varían con potencia de hasta 2 m y en conjunto pudiendo llegar hasta 20 m (Bernabé, 2002).

2.1.6.4. Falla Botiflaca

Aflora aproximadamente a 2.5 km al suroeste de la mina Cuajone en forma sinuosa y tiene una longitud aproximada de 20 km cruzando las quebradas Cocotea y Torata, su dirección es de N280° y N300° presentando un buzamiento subvertical, la potencia llega hasta 40 m y la falla atraviesa rocas que pertenecen al grupo Toquepala y rocas postminerales volcánicas que pertenecen a la formación Huaylillas (Bernabé, 2002) de la misma manera podemos apreciar las fallas mencionadas en la Figura 1.

Figura 1

Mapa estructural de fallas del yacimiento Cuajone.



Nota: Principales fallas Botiflaca y Viña Blanca pasando por la unidad minera Cuajone. Tomado y editado de: *Boletín serie b: "Geología económica n49"* (p.13), por Ingemmet, 2018.

2.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

2.2.1. Acarreo

El acarreo es llamado a la acción de mover de un lugar a otro el material con o sin valor económico, esta acción por lo general es realizada con la ayuda de volquetes de gran magnitud en caso de la minería a cielo abierto.

2.2.2. Neumático

En el ámbito minero los neumáticos son componentes de seguridad de los volquetes mineros y además son el único elemento que tiene como función principal el contacto entre el suelo y la estructura del volquete, además es este uno de los principales vitales que afecta directamente a los costos de productividad y mantenimiento del volquete.

2.2.3. Estructura de los neumáticos

Los neumáticos esencialmente son un recipiente a presión flexible que utiliza miembros estructurales (nylon, cable de acero, etc.) para contener la tensión circunferencial resultante, el caucho se utiliza como recubrimiento protector y sellador sobre los miembros estructurales y constituye el dibujo de la banda de rodadura que proporciona el medio de desgaste en la interfaz con el suelo, por ello se manejan dos construcciones distintas de llantas aprobadas para todas las máquinas, estos son los neumáticos diagonales y los radiales, los neumáticos radiales se designan con una "R", mientras que un "-" representa un neumático construido de forma diagonal, por ejemplo un neumático 45/65-45 sería de construcción diagonal y un 45/65R45 sería de construcción radial (Caterpillar, 2018, p. 32-2).

2.2.4. Talones

Los talones de las llantas son estructuras de alambres de acero (siendo entre 3 o 4 en llantas más grandes) que son forzados lateralmente

por la presión generada a través del inflado de los neumáticos para encajar firmemente en el talón cónico de la llanta. Las fuerzas inherentes al neumático se transmiten desde el neumático a través de las estructuras de los talones hasta el nailon (Caterpillar, 2018, p. 32-2).

2.2.5. Capas de cuerpo

Las capas de cuerda de nailon acolchada con goma forman la denominada carcasa del neumático, de la misma forma estas capas alternadamente cruzan la línea central de la banda de rodadura en un ángulo (sesgo), además es importante determinar que la clasificación de las capas denota el índice de resistencia del neumático, más no el número real de capas (Caterpillar, 2018, p. 32-2).

2.2.6. Corte en un neumático.

Es un tipo de motivo de desecho del neumático, el corte por lo general se presenta en la banda de rodamiento, también pudiendo darse en el flanco u hombro pero esto en menor porcentaje, la principal causa para que ocurra este tipo de eventos de corte va relacionado muy directamente con el mantenimiento de las vías y la limpieza de los pisos de la pala.

2.2.7. Separación

Según Cajavilca (2015) hace mención a tres tipos de separaciones para los neumáticos de los volquetes mineros, siendo estas:

- ***Separación por corte:*** menciona que este corte por lo general ocurre en la banda de rodamiento y que es ocasionado por las rocas que abren la banda permitiendo que ingrese agua, polvo, etc. esta acción motiva a que estos agentes externos oxiden los cables internos y a un inicio dan paso a una separación localizada que al perdurar del tiempo se convierte en una separación de una sección grande del neumático.

- ***Separación por calor:*** este tipo de separaciones son ocasionados por el exceso de velocidad del volquete permitiendo que se incremente la

temperatura, los neumáticos son diseñados para soportar carga mas no velocidad, aun estando vacío los equipos no deben de superar las velocidades establecidas, la separación de calor se manifiesta mediante un olor a quemado y la separación de la banda de rodado.

- ***Separación mecánica:*** este efecto es ocasionada por sobrecargas, cargas descentradas, maniobras no favorables como en las curvas cerradas o también en las entradas a los depósitos de desmonte a gran velocidad, estas acciones hacen que el neumático no soporte las grandes cantidades de tonelaje aplicadas dando lugar al rompimiento de los cables internos de acero a la altura de los hombros generando protuberancias visibles.

2.2.8. Goma de neumáticos

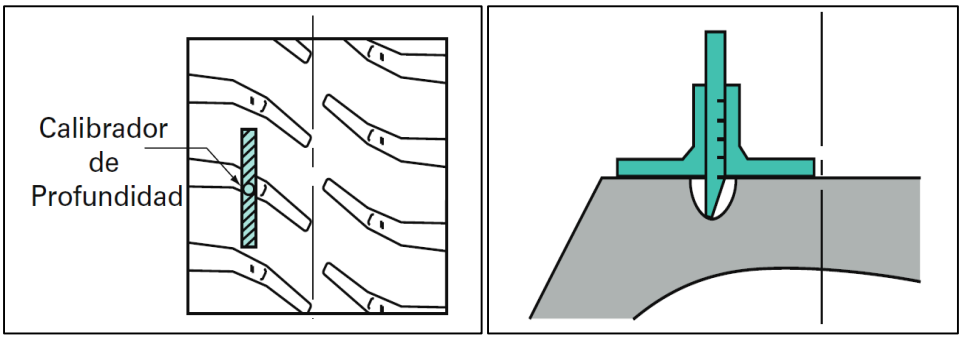
El tipo de goma es el compuesto utilizado para los neumáticos, pudiendo ser estas más resistentes a cortes o más resistente al calor de acuerdo a las necesidades de cada operación, asimismo dependerá de una correcta elección para maximizar el rendimiento del neumático (Alvarado & Malpartida, 2019, p. 23)

2.2.9. Profundidad de banda de rodamiento

Es el método que consiste en medir el grado de abrasión al comparar la ranura de un neumático usado respecto a un nuevo, esta diferencia que existe entre estas dos indica el grado de desgaste (Bridgestone, 2002, p. 32). Para realizar la medición es necesario ubicar en la banda de rodamiento las ranuras de diseño y apoyar en la superficie de la rodadura la base del calibrador de profundidad de tal forma que se logre un ángulo recto entre el instrumento y la banda de rodadura, luego dejamos que la parte interna del instrumento de medición se deslice hasta lo más profundo de la ranura de diseño permitiendo tomar la medida de la altura en milímetros. En la Figura 2 se muestra gráficamente el método de medición.

Figura 2

Método de medición de la altura de remanente.



Nota: Al lado izquierdo una vista de planta de la correcta manera de ubicar el calibrador de profundidad en la banda de rodadura, al lado derecho una vista de perfil realizando la medición en la ranura. Tomado de: *Manual de mantenimiento de neumáticos fuera de carretera* (p.32), por Bridgestone, 2002.

2.2.10. TKPH (Tonelada – Kilómetro por hora)

Al seleccionar los neumáticos adecuados es importante precisar la cantidad de trabajo que realizarán dentro de un rango, y evitar el sobrecalentamiento del neumático, para ello es importante precisar la cantidad de trabajo que se realizará bajo condiciones determinadas y dentro de un determinado rango específico por lo cual esto será expresado como "Ton-kilómetro-por-hora" (Bridgestone, 2002, p. 6).

2.2.11. Peralte

Peralte es la inclinación transversal respecto a la horizontal que está en la calzada hacia la parte interna de una curva, esto con la finalidad de controlar el efecto de la fuerza centrífuga de las maquinas (Agudelo, 2002, p. 286).

2.2.12. Distancia equivalente (EFH)

Refiere a la distancia horizontal que un volquete puede recorrer en la misma magnitud de tiempo que demandará hacerlo sobre una pendiente positiva o negativa (Saldaña, 2013, p. 48).

2.2.13. Tonelaje Nominal

Se le denomina tonelaje nominal al valor que da como resultado del producto de capacidad de carga útil del equipo y un determinado factor de ajuste. El factor de ajuste resulta de la relación existente entre el tonelaje húmedo disminuido el porcentaje de humedad y el tonelaje calculado por el JMineops considerando las toneladas secas (Saldaña, 2013, p. 50).

2.2.14. Incremento de vida útil del neumático

Es la duración estimada que un neumático puede alcanzar cumpliendo correctamente con las funciones para los cuales fue creada, por lo que al incrementarla extenderemos su tiempo de vida estimada y paralelamente su costo operativo se verá disminuido, las dimensiones que miden el incremento se dan en horas de duración secas (Blanco, 2016, p. 47).

2.2.15. Neumáticos retirados a *scrap*

Hace referencia a neumáticos que son descartados o desechados lo cual se envían a un lugar de almacenamiento específico, los motivos para su envío pueden ser distintos: corte, impacto, desgaste, separación térmica, etc. pero el principal motivo que interesa para su envío a desecho tiene que ser por desgaste natural esto luego de haber cumplido con sus horas de vida útil (Blanco, 2016, p. 47).

2.2.16. Costos

Es la cantidad de dinero que una persona o empresa tiene que sacar de su billetera, cartera o cuenta bancaria para comprar algún bien o servicio (Runge, 1998, p. 35).

2.3. COSTOS EN OPERACIONES UNITARIAS

En términos sencillos toda operación minera requiere una determinada cantidad cuantitativa equivalente a un tipo de moneda para ejecutar cada una de las acciones que posteriormente generarán una utilidad o ganancia, entonces podríamos definir los costos como un sacrificio de recursos que vamos a requerir para conseguir nuestros objetivos (como los materiales o insumos requeridos para extraer una tonelada de mineral o cantidad de dinero requerido para acarrearlo), por lo general los costos son medidos como la cantidad monetaria que se requiere para adquirir un bien o un servicio (Horngren, 2012).

Si bien es cierto cuando se habla de costos se tiene o se define el costo general como el total que requerimos para una actividad, pero cuando hablamos de costos unitarios llevaremos a la mínima unidad que requerimos para determinar su costo unitario, la siguiente Ecuación 1 permite realizar este sencillo cálculo, consideremos como ejemplo el costo unitario de diésel requerido para acarrear una tonelada de mineral.

$$\frac{Costo\ Total\ de\ Diésel}{Producción\ total} = \frac{25400\ usd}{200000\ ton} = 0.127\ \frac{usd}{ton} \qquad (1)$$

Entonces podemos concluir que el costo unitario es la relación existente entre el monto total y el objeto que se tendrá como resultado final.

Cuando abordamos el tema de costos en general es importante definir y conocer muy bien la clasificación existente, siendo estas los costos directos e indirectos, de la misma manera la importancia de los métodos que se utilizan para asignar a sus objetivos de costos.

2.3.1. Costos directos

Los costos directos están relacionado con un objeto de costos en particular, este objeto debiendo ser una actividad necesaria o indispensable para la ejecución de la actividad como por ejemplo en la unidad minera Cuajone se tiene diferentes procesos unitarios (perforación, voladura, carguío y acarreo), pero basándonos netamente en la actividad operativa tendríamos los siguientes costos que mostramos en la Tabla 3.

Tabla 3

Principales costos directos por operaciones unitarias.

Operación unitaria	Costos Directos
Perforación	• Diésel • Brocas Perforadoras • Energía • Mano de obra
Voladura	• Nitrato • Emulsión • Diésel • Mano de Obra
Carguío y Acarreo	• Diésel • Costo mant. palas • Costo mant. volquetes • Neumáticos • Energía

Nota: Elaboración Propia.

2.3.2. Costos indirectos

Los costos indirectos son definidos como aquellos costos que se relacionan con un objeto de costo en particular, pero sin embargo estos no son indispensables para la actividad, o podríamos conocerlos como que estos costos no afectan los costos principales, un claro ejemplo que se tiene

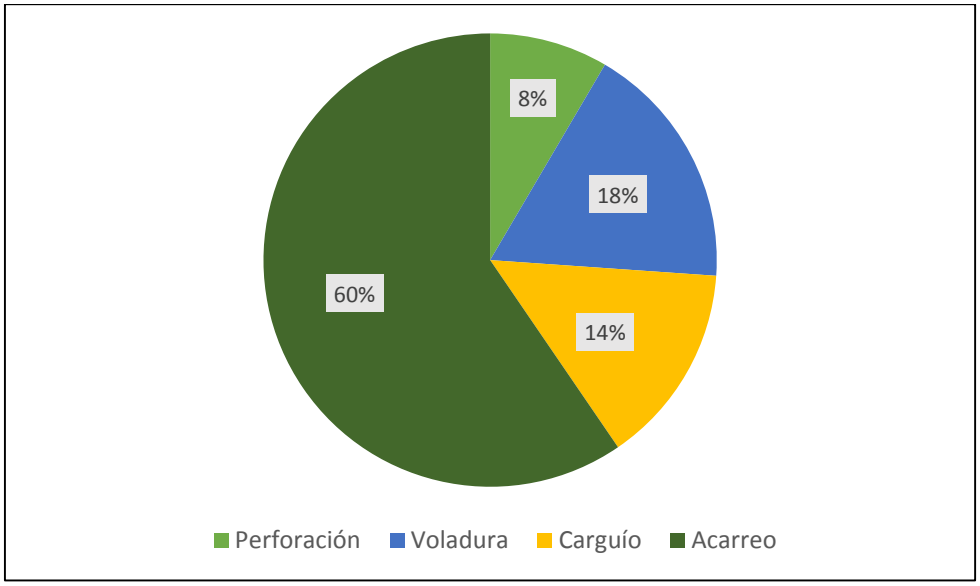
en la operación minera son los costos administrativos, donde podemos notar que estos costos no afectarán el costo operativo de producción.

2.3.3. Costos unitarios de carguío y acarreo

Sin lugar a dudas los costos fijos de carguío y acarreo representan uno de los mayores al momento de realizar actividades para la extracción de mineral. En la siguiente Figura 3 podemos visualizar una distribución aproximada de los costos de las operaciones unitarias que se requiere para la extracción de una tonelada de mineral.

Figura 3

Promedio de distribución de costos en operaciones mineras.



Nota: La distribución de costos mostrada es tomada para la unidad en estudio.

Cuando hablamos de acarreo notamos que según su distribución los mayores vitales que podemos encontrar serán ocupados por el diésel y los neumáticos utilizados para los volquetes para realizar el traslado de mineral desde los diferentes frentes de minado hasta los puntos de descarga final (chancadora primaria o depósitos de desmonte), de la misma manera también los otros costos como energía, mantenimiento, mano de obra, etc.

son sumamente importantes pero según su distribución son vitales de menor porcentaje en respecto a los costos generales.

2.3.4. Costos de perforación y voladura

Los costos unitarios mencionados en actividades unitarias son costos que afectan directamente los resultados finales de la producción, pudiendo ser estas fijas o variables.

Las operaciones unitarias de perforación y voladura representan por lo general la cuarta parte de los costos generales de acuerdo a la Figura 3, y enfocándonos en perforación se consideran por lo general los insumos como son los aceros de perforación, equipos, y otros materiales necesarios, también se le adiciona los costos de mano de obra requeridos para la actividad, y si nos referimos a voladura tenemos los principales costos distribuidos en nitrato de amonio, emulsión, diésel, accesorios de voladura y otros insumos necesarios.

2.4. NEUMÁTICOS OTR PARA ACARREO Y TRANSPORTE (OFF THE ROAD)

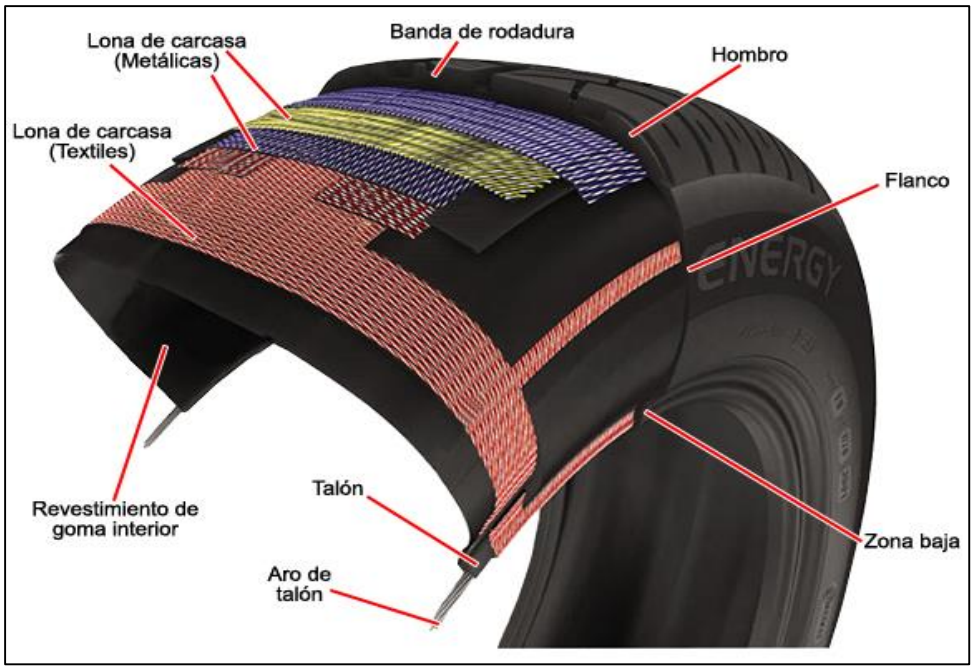
2.4.1. Partes del neumático

Los neumáticos están constituidos de caucho que proporciona la flexibilidad y otros componentes que aportan la rigidez de la estructura. Su función principal es la de permitir un adecuado contacto y adherencia en las vías de acarreo. Al ser el único contacto que existen entre los volquetes y el suelo depende netamente del comportamiento dinámico del volquete, esto quiere decir de cómo se mueve el vehículo sobre el terreno, asimismo también dependerá del neumático realizar las otras funciones como tracción, amortiguamiento de golpes, soporte de carga, estabilidad, dirección, etc. (Blanco, 2016).

El neumático está constituido de diferentes materiales y esto hace que cada parte del neumático tenga una función principal, en la Figura 4 podemos visualizar las partes del neumático.

Figura 4

Partes del neumático.



Nota: Tomado de Tesis: *"Aumento de vida útil de los neumáticos para la flota de transporte de minera centinela"*, Morales (2020).

Lonas de cima:

Son cables de acero muy fino y resistente, cruzados oblicuamente y pegados unos a otros de manera que formen triángulos indeformables. Esta estructura garantiza al mismo tiempo robustez y flexibilidad (Blanco, 2016).

Talón

Parte interior del neumático que se ajusta a las llantas, está compuesto por alambres de acero de alta tecnología formando un cable trenzado y circular, esto facilita el ajuste del neumático y las llantas evitando que patine en ella (Blanco, 2016).

Revestimiento de goma interior

Es la capa de goma más interna y sirve para retener el aire en el interior del neumático facilitando la estanqueidad (Blanco, 2016).

Banda de rodadura

La banda de rodadura proporciona amortiguación y agarre, su diseño y compuesto determinan muchas de las características de rendimiento más importantes de su neumático. La banda de rodadura puede incluir diferentes compuestos para el centro y la zona de los hombros (Blanco, 2016).

Lonas de carcasa:

Son cables de fibras textiles en arcos dispuestos en ángulos rectos y pegados al caucho de las cubiertas y permiten al neumático resistir la presión (Blanco, 2016).

Lonas de cima

Son cables de acero muy fino y resistente, cruzados oblicuamente y pegados unos a otros de manera que formen triángulos indeformables, esta estructura garantiza al mismo tiempo robustez y flexibilidad (Blanco, 2016).

Talón

Parte interior del neumático que se ajusta a las llantas, está compuesto por alambres de acero de alta tecnología formando un cable trenzado y circular, esto facilita el ajuste del neumático y las llantas evitando que patine en ella (Blanco, 2016).

Revestimiento de goma interior

Es la capa de goma más interna y sirve para retener el aire en el interior del neumático facilitando la estanqueidad (Blanco, 2016).

Banda de rodadura

La banda de rodadura proporciona amortiguación y agarre, su diseño y compuesto determinan muchas de las características de rendimiento más importantes de su neumático. La banda de rodadura puede incluir diferentes compuestos para el centro y la zona de los hombros (Blanco, 2016).

2.4.2. Tipos de construcciones de neumáticos

2.4.2.1. Neumáticos macizos

Su estructura consta de una pila de cauchos que tienen como principal función la de dar adherencia y tracción, también se podría decir que estos no son neumáticos dado que no tienen aire en su interior este tipo de neumáticos lo podemos encontrar en montacargas, carretillas u elevadoras, este tipo de neumático presenta un gran inconveniente por su uso constante, tiende a calentarse rápidamente al pasar por obstáculos, provocando que estas se puedan romper (Paredes, 2008).

2.4.2.2. Neumáticos convencionales

Está conformado por capas textiles de nylon, ubicadas o colocadas de forma cruzada una sobre otra y unidas con caucho formando una estructura de forma diagonal, las limitaciones que presenta este tipo de neumáticos son: calentamiento por la fricción existente entre capa y capa perjudicando notablemente su rendimiento, también provoca que se genere una deformación en la superficie de contacto, conllevando esto a una menor adherencia y un desgaste acelerado, del mismo modo se puede decir que la banda de rodamiento es sensible a las perforaciones que puedan generarse (Cajavilca, 2015).

2.4.2.3. Neumáticos radiales

Los neumáticos radiales están estructurado por capas textiles o metálicas que inician en un talón y terminan en el otro talón, la cima también es reforzada con acero indeformable. El tipo radial reduce ampliamente el

consumo de energía y el roce, incrementa la adherencia y esto se ve reflejado en su reducción al desgaste, mientras que debido al acero que refuerza su estructura es más resistente a las perforaciones (Cajavilca, 2015).

2.4.2.4. Neumáticos radial tubeless

Los neumáticos de este tipo son los más usados en el ámbito minero por los volquetes de gran capacidad, estos se caracterizan que son montados sin cámara. Este neumático radial tubeless es denominado neumático tube type. La fabricación de estas es idéntica visto desde el punto de vista arquitectónico pero en la parte interna de la cubierta la goma especial llamada butil proporciona la estanqueidad total, existen bastantes ventajas para el uso de este tipo de neumáticos (Cajavilca, 2015):

- El riesgo de pellizco de la cámara desaparece completamente.
- El aire que hay entre la cámara y el neumático es inexistente.
- La pérdida de aire es lenta permitiendo esto que la reparación no sea insitu mas por lo contrario permite que este llegue tranquilamente a los talleres de mantenimiento.

2.4.3. Parámetros que influyen en su cuidado

2.4.3.1. Temperatura:

Mientras que el neumático se encuentra trabajando tiende a incrementar su temperatura debido al trabajo que viene realizando. La temperatura crítica interna del aire en un neumático marca el límite para la existencia de un peligro inherente.

Al existir en la parte interna del neumático la ausencia de fuentes térmicas exteriores, se dice que la temperatura crítica se logra alcanzar cuando el aire interno llega a los 80°C siendo esta por lo general menor a la temperatura interna del mismo neumático, por ello es importante realizar la comprobación constantemente.

2.4.3.2. Presión

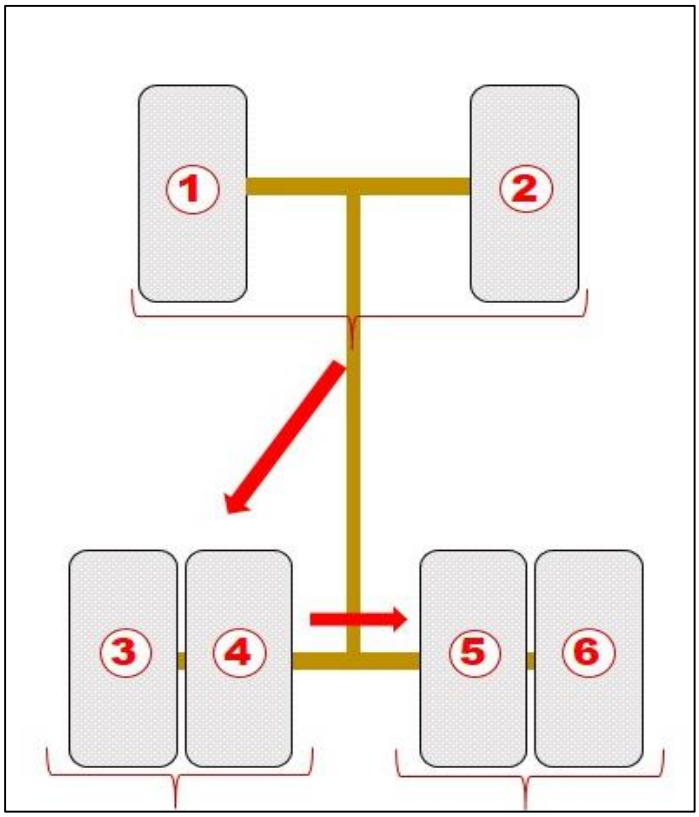
La vida útil de los neumáticos por lo general dependen del mantenimiento de las presiones de inflado correcto, la presión adecuada se determina en función al tipo de volquete, la distribución de la carga y la velocidad de conducción.

2.4.3.3. Posiciones del neumático en el volquete

De acuerdo al tiempo estimado de los neumáticos es importante definir un sistema de rotación considerando el trabajo que se realiza en cada una de las posiciones y también el desgaste del remanente que se tienen en cada posición, por lo general un tipo de rotación adecuado es según se muestra en la Figura 5.

Figura 5

Diagrama de posiciones del neumático.



Nota: Elaboración propia.

Según la Figura 5 se considera tres grupos para la ubicación de los neumáticos, para las posiciones 1 y 2 son considerados los neumáticos nuevos con 0 horas de trabajo, luego de acuerdo al desgaste del remanente se empieza a rotar a las posiciones 3 o 4 cumpliendo con su tiempo de vida intermedia para que finalmente culminen su vida en las posiciones 5 o 6 esto debido a que en las operaciones mineras se encuentran con dirección al talud a fin de evitar posibles accidentes en caso se reviente el neumático.

2.4.3.4. Estado y diseño de las vías de acarreo

Las vías de acarreo cumplen uno de los principales roles al momento de cuidar los neumáticos: las curvas son diseñadas en función a cada volquete que circulará sobre ellas, por ello se considera la velocidad de ingreso, la pendiente, y sobre todo para un cuidado adecuado establecer el peralte de las vías de acarreo.

La gradiente de una vía es de vital importancia para el cuidado de los neumáticos ya que de ello dependerá el tiempo de vida de las mismas, si la pendiente es demasiada el trabajo será mayor, por lo mismo que los neumáticos incrementarán su temperatura y su desgaste es más rápido, por consiguiente también determinará la eficiencia en la capacidad de frenado; la pendiente para una mayor eficiencia deben ser calculado por tramos debido a la topografía irregular existente en las operaciones mineras. Algunos aspectos importantes a considerar para determinar la gradiente:

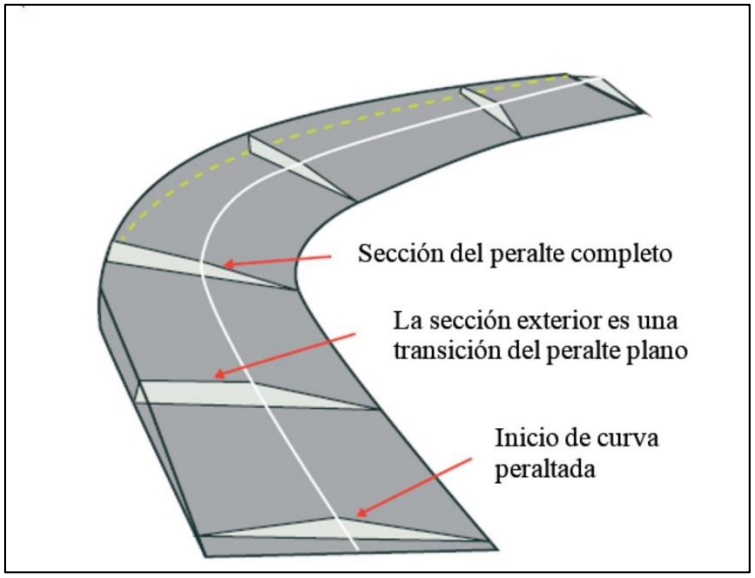
- Ser compatible con la capacidad de frenado de los volquetes (factor de seguridad).
- La pendiente debe ser compatible con los rendimientos de los equipos que circularán por ella.
- Capacidad de vehículo para operar en condiciones húmedas.

El peralte es una consideración de diseño particularmente importante en las curvas de las vías de acarreo ya que normalmente se tiene un radio de giro pequeño, un peralte adecuado evita el derrame de material y cuida los

neumáticos de posibles separaciones mecánicas, en la figura 6 se aprecia un diseño adecuado para los peraltes en una curva.

Figura 6

Diseño de vías de acarreo- curva peraltada.



Nota: Diseño de vía de acarreo considerando los peraltes adecuados en una curva. Tomado y editado de: *Health and safety at Opencast Mines, Alluvial Mines and Quarries* (p.32), por New Zealand Government, 2015.

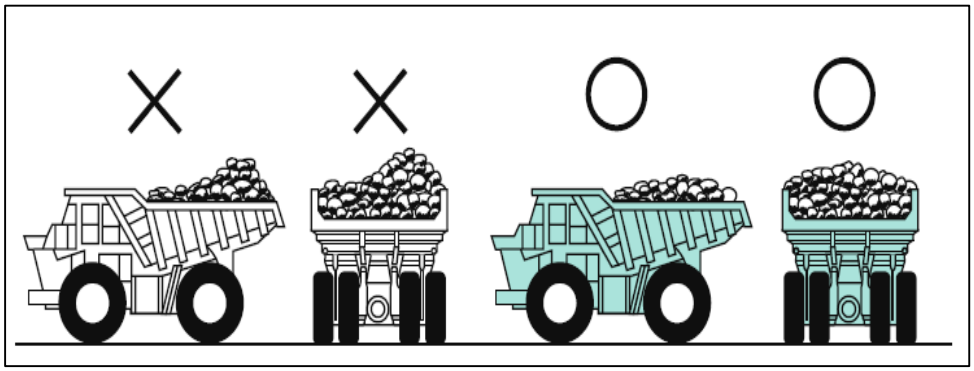
2.4.3.5. Centrado de cargas

Un mal carguío conlleva a realizar un sobretrabajo a un determinado neumático por lo que permitirá un incremento de temperatura que en esencia genera un mayor desgaste en dicha posición, es por ello que se tiene que realizar un carguío bien centrado para una correcta distribución de fuerzas, en la Figura 7 podemos visualizar la comparación entre una carga centrada y otra que se encuentra de manera inadecuada.

El centrado de cargas dependerá en su gran parte de las habilidades de carguío que tiene el personal encargado de la maniobrabilidad de los equipos de carguío (pala hidráulica, pala eléctrica, cargador frontal, etc.), no obstante es de gran importancia el adecuado entrenamiento del personal para el cuidado de los neumáticos de los volquetes.

Figura 7

Precauciones al momento de cargar.



Nota: Las imágenes al lado izquierdo indican un mal carguío del mineral a comparación de las figuras del lado derecho que tienen la carga correcta. Tomado de: *mantenimiento neumáticos fuera de carretera* (p.17), Bridgestone, 2002.

2.4.4. Principales motivos de desecho de un neumático

Las principales causas para que un neumático sea considerado para su envío a *scrap* o declarado inservible para su uso para el cual fue diseñado son clasificadas en cuatro tipos:

- Separaciones por corte
- Separaciones por calor
- Separaciones mecánicas
- Desgaste final

2.4.4.1. Separación por corte

Generalmente los cortes en los neumáticos de este tipo son ocasionados por las condiciones de las vías y sobre todo en los pisos de las palas en los frentes de minado, los fragmentos de rocas abren las bandas de rodamiento dando lugar a que ingresen mediante esas aberturas polvo y agua que favorecerán una oxidación en los aceros y separación de la estructura interna de los neumáticos, al principio la separación es pequeña y localizada tal como podemos ver en la Figura 8, pero a medida que incrementa su uso

la separación es ocupada por grandes secciones del neumático (Cajavilca, 2015).

Figura 8

Neumático con salida a scrap por corte.



Nota: En la figura se ve claramente un corte en la banda de rodamiento que se encuentra localizada. Conde, 2020.

2.4.4.2. Separación por calor

Este tipo de separación es ocasionado por el exceso de velocidad en los volquetes, sobrepasando la temperatura nominal de diseño de los neumáticos. Cada neumático es diseñado para soportar una determinada carga pero no son diseñados para soportar altas velocidad es por ello que es de gran importancia un adecuado control de velocidades, siendo estas como máximo 40 km/h (dependiendo de la topografía del lugar) a fin de no perjudicar la capacidad de disipación de calor, las consecuencias de las malas prácticas que ocasionan altas temperaturas se puede percibir al olfato con un olor a quemado y dando a lugar la separación de las capas de la estructura interna dejándola inservible, en la Figura 9 visualizamos una imagen de una separación por calor con separaciones internas. (Cajavilca, 2015).

Figura 9

Neumático con separación por temperatura.



Nota: En la figura podemos visualizar que los cortes por temperatura a principio no son notados por los diseños del remanente ya que el daño es por lo general interno al desprenderse sus capas. Conde, 2020.

2.4.4.3. Separación mecánica

Las separaciones mecánicas por lo general son ocasionadas por las malas maniobras de los encargados de conducir los volquetes, pudiendo ser estos: excesos de velocidades al ingresar a las curvas sin peralte y sobretodo con un radio de giro bastante mínimo o a su vez llevar carga por encima de lo nominal. Al tener una carga excesiva la estructura interna de los neumáticos no soportan la carga aplicada dándose a lugar el rompimiento de los cables de acero, estos se puede visualizar a través de protuberancias, a consecuencia de estas se puede concluir que los neumáticos que sufren este tipo de separación por lo general están con remanente bastante optimo y sus tiempo de vida útil están por encima de los targets de vida final.

2.4.4.4. Desgaste Final

Los neumáticos que llegan a este tramo por lo general cumplen con el tiempo de vida promedio para lo cual fueron diseñados, por ello se considera que es una de las maneras correctas en que se debe de dar de baja a todos los neumáticos.

2.5. TKPH DE NEUMÁTICOS

2.5.1. Métodos de cálculo de TKPH operacional

La tarea fundamental de los neumáticos es la de llevar mayor cantidad de toneladas de mineral o desmonte según corresponda en distancias más largas y a menor tiempo posible, estos requerimientos inevitablemente generarán un incremento de la temperatura y debido a que los neumáticos solo tienen una limitada resistencia al calor es posible que el deterioro de estas inicie a una etapa muy prematura, en consecuencia al momento de realizar una selección es importante precisar la cantidad de trabajo que estas van a realizar dentro de un rango seguro para posteriormente evitar sobrecalentamiento, la cantidad de trabajo realizado bajo las condiciones determinadas y dentro de un rango de seguridad es expresado como "Ton-Kilometro-Por-Hora" el cual será determinado de la siguiente manera según la Ecuación 2.

$$TKPH = Qm * Vm \tag{2}$$

Donde:

Qm = Carga Promedio por neumático (Ton).

Vm = Velocidad Promedio (Km).

Carga promedio por neumático

Es obtenida de la relación en la Ecuación 3:

$$Qm = \frac{Qc + Qv}{2} \tag{3}$$

Donde:

Qc = Sumatoria de peso por neumático y vehículo con carga (Ton).

Qv = Sumatoria de peso por neumático y vehículo Vacío (Ton).

Carga promedio por neumático

Es obtenida de la relación según la Ecuación 4:

$$Vm = \frac{L}{H} \tag{4}$$

Donde:

L = Distancia recorrida en un determinado ciclo, de referencia considerar el ciclo con una mayor velocidad promedio (km).

H = Duración del ciclo (hrs).

2.5.2. Cálculo TKPH según Bridgestone

De acuerdo a Bridgestone el cálculo sufrirá una ligera incorporación de respecto a la temperatura ambiente a considerar en las operaciones donde se encuentre trabajando los neumáticos, por lo cual la Ecuación 5 quedará de la siguiente manera:

$$TKPH_{nominal} * F = TKPH_{operacional} \tag{5}$$

Se incorpora el factor (F) que es obtenida mediante el uso de un escalador detallado según la tabla indicada en el Anexo 1 se considera también que el TKPH corresponde a una temperatura ambiente de 38 °C.

2.5.3. Cálculo TKPH según Michelin

Según Michelin se incorpora dos variables, indicándose que las variables representan la diferencia en distancia de los ciclos y a su vez se considera el factor de temperatura. Con lo cual la Ecuación 6 quedará de la siguiente manera:

$$TKPH = Qm * Vm * K1 * K2 \tag{6}$$

Donde:

K1 = El factor relaciona la distancia en km de los ciclos de acarreo, indicándose que si la distancia es menos a 5 km el valor es 1, y si la distancia es mayor el valor será obtenida de acuerdo al Anexo 2.

K2 = De acuerdo a Michelin esta variable es proporcionado por la temperatura ambiente del lugar donde opera el neumático, además se tiene que considerar las velocidades medias y los valores para esta variable serán obtenidas de la Tabla del Anexo 3.

2.5.4. Información requerida para el cálculo de TKPH

Cuando realizamos el cálculo de TKPH operacional necesitamos la siguiente información

- ***Distancia de ciclos ida y vuelta:*** Esta distancia tiene que ser en kilómetros.

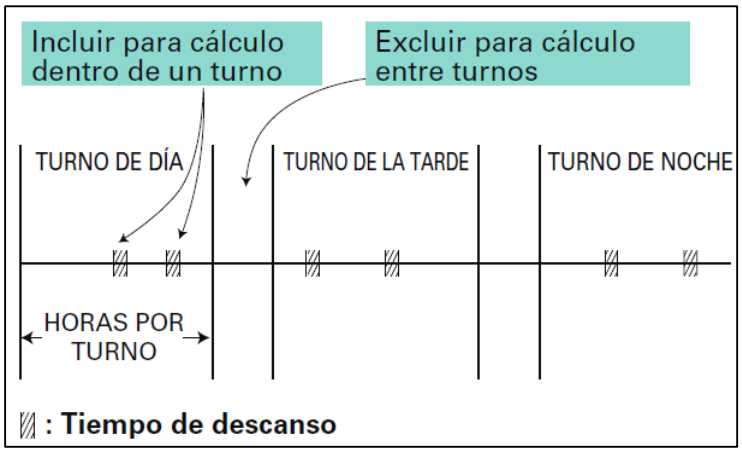
- ***Turnos:*** Es importante conocer el tiempo de trabajo en horas, dentro de ellas las disponibilidades mecánicas, tiempos de descanso u otras actividades que se realiza dentro de ella.

- ***Tiempo de ciclo:*** Se considera tiempos de carga, de acarreo, descarga, retorno, espera en cola y tiempo total de ciclo tal como se muestra en la Figura 10.

- ***Carga de neumáticos:*** La distribución de pesos es sumamente importante, considerando estas cuando está vacío y cargado.

Figura 10

Tiempos para cálculo de TKPH.



Nota: La imagen detalla los tiempos a considerar para calcular el TKPH operacional. Tomado de: *mantenimiento Neumáticos fuera de carretera* (p.8), Bridgestone, 2002.

2.6. MANTENIMIENTO EN OPERACIONES MINERAS

2.6.1. Mantenimiento vías de acarreo

Las vías de acarreo son la principal causa de desecho de los neumáticos por lo que es importante considera los siguientes:

Radios de giro:

Importante considerar en una vía los radios de giro de acuerdo a los equipos utilizados.

Peraltes:

Definir de acuerdo a los radios de giro y las velocidades establecidas en cada tramo.

Pendientes:

Establecer una adecuada pendiente según las características de los volquetes u equipos que circulen en ellas.

Nivelación de vías:

La ausencia de nivelación de vías afectará en diversos componentes de los equipos siendo una de ellas los neumáticos, dando a lugar a cortes.

Limpieza constante:

En ocasiones las vías se encuentran afectadas por presencia de rocas a consecuencia de un inadecuado carguío o exceso de carga o en algunas ocasiones desprendimientos de taludes por lo que la importancia de la limpieza constante de vías es fundamental.

Por lo que también es importante implementar un plan de mantenimiento de vías de acuerdo a la actividad y la frecuencia con que se circula sobre ellas.

2.6.2. Mantenimiento equipos de acarreo

El mal estado de los equipos de acarreo y transporte influirá directamente en el tiempo de vida de los neumáticos

- Paralelismo incorrecto de las ruedas directrices en los volquetes mineros.
- Frenos en mal estado, estos influyen directamente en la rápida suba de temperatura por lo cual los neumáticos también se ven afectados.
- Holguras en mangueras, pivotes, rotulas, etc.

2.7. SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO Y MONITOREO DE DATOS

2.7.1. Funcionamiento de software de monitoreo de temperatura

En las operaciones mineras la importancia de la temperatura de los neumáticos son de gran impacto es por ello que existen sistemas que hacen posible la toma de estos datos.

Su funcionamiento básicamente son mediante sensores insertados al interior de los neumáticos, los mismos que se encargan de enviar la temperatura interna a través de conexión inalámbrica a los diferentes centros de control que son encargados de recepcionar y detectar alguna anomalía existente a fin de prevenir alguna alta temperatura debido a exceso de velocidades.

2.7.2. Sistema de monitoreo de flotas

La optimización para la administración adecuada de los equipos de acarreo son realizados mediante un sistema de administración de flota. Hoy en día la tecnología avanza rápidamente por lo que su incorporación en las operaciones mineras es de vital importancia

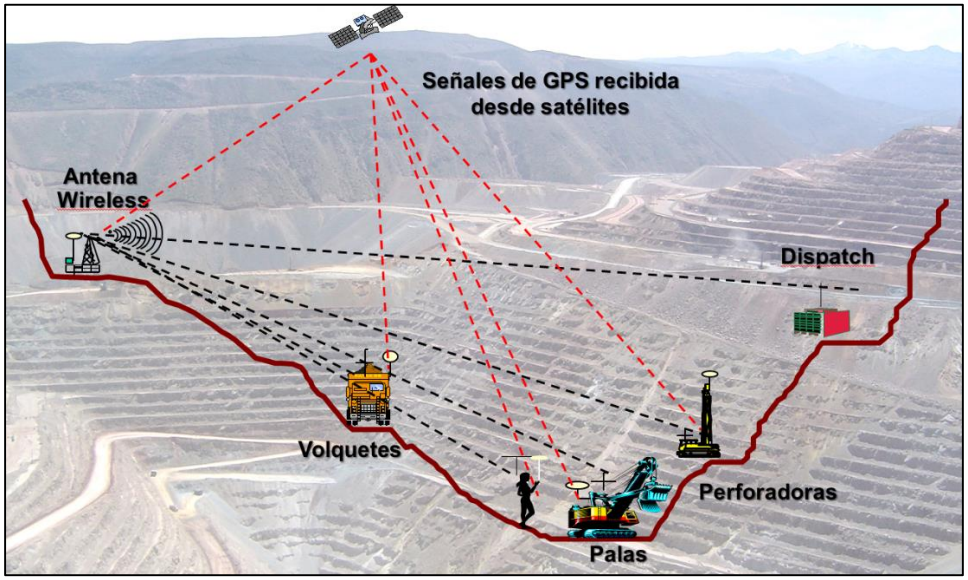
El funcionamiento es mediante GPS, sensores y conexión a una red para el envío y almacenamiento de la información proporcionada por cada equipo. Cada volquete en campo alimenta de información como velocidades, tonelaje, estado, tipo de material, ubicación, etc. al sistema por lo que es fácil conocer la información en tiempo real. En la Figura 11 se detalla gráficamente un diagrama que explica la funcionalidad de todo el sistema.

Para la utilización de estos sistemas se puede considerar usarlo de manera dinámica u convencional, esto dependerá de las condiciones de la topografía y los planes de minado que se tenga contemplado, pero es

importante mencionar que estos sistemas están diseñados para que a medida que se avanza sean cada vez más inteligentes.

Figura 11

Diagrama de funcionamiento del sistema de administración de flota.



Nota: El diagrama muestra la conexión que existe entre los equipos de mina y el área de despacho en mina. Tomado de: *Administración Dispatch SPCC.*

2.8. SEGUIMIENTO DE HORAS DE VIDA DE LOS NEUMÁTICOS

A fin de cuidar los neumáticos se hace un seguimiento muy de cerca para su optimización, por lo que en el área de enllante cuenta en gran parte de las operaciones mineras el software que hace seguimiento netamente del historial de las mismas, recolectando datos como: horas de trabajo, presión, tonelaje cargado, temperatura, fechas de cortes en caso hubiese, las posiciones en las cuales se encuentra, tipo de volquete en el que se encuentra, etc.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 . TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de Investigación

De acuerdo a la finalidad el tipo de investigación es aplicada porque se buscará resolver el problema del generado en el proceso de acarreo de mineral, siendo el rápido desgaste de los neumáticos tomando en cuenta aquellas variables que optimizarán el tiempo de vida de las mismas, en consecuencia busca como resultado la optimización de los costos de acarreo y transporte de mineral.

3.1.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación aplicado en el proyecto de investigación es descriptiva comparativa que recolecta información relevante en varias muestras a un mismo fenómeno o aspecto de interés y luego caracteriza este fenómeno en base a los datos recogidos, de tal manera que se pueda hacer esta comparación con los datos globales o en alguna categoría de ellos (Condori Ojeda & Paniagua Machicao, 2018, pág. 34).

El esquema correspondiente para el siguiente diseño de investigación es la siguiente.

$$\begin{bmatrix} M_1 & O_1 \\ M_2 & O_2 \\ M_3 & O_3 \\ M_n & O_n \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} O_1 & \sim & O_2 & \sim & O_3 & \sim & O_n \\ O_1 & = & O_2 & = & O_3 & = & O_n \\ O_1 & \neq & O_2 & \neq & O_3 & \neq & O_n \end{bmatrix}$$

Donde:

- M_1, M_2,M_3, … , M_n = Muestras
- O_1, O_2, O_3,…, O_n = Comparaciones entre las distintas muestras
- (=) = Observaciones, resultados, o informaciones similares
- (∼) = Resultados semejantes
- (≠) = Resultados diferentes

Las muestras (M_1, M_2, $M_{3,...,}$ M_n) para la investigación son representados por la flota de volquetes komatsu 980E y Cat 797F en el cuales se aplica el uso de TKPH operativo para cada una de ellas, a continuación se especifica la distribución para la realización del análisis según la recolección de datos.

- **Velocidad**: Una de las variables de gran importancia para el cálculo de TKPH es la velocidad con la que circulan los volquetes en las diferentes rutas de mina, es por ello que se consideró para la investigación la siguiente flota de volquetes: Komatsu 980E con 6 volquetes y Caterpillar 797F con 18 volquetes, ambos con un tonelaje nominal de 360, los mismos que en este periodo brindará los datos relevantes.

- **Tonelaje**: Para determinar el tonelaje movido por los volquetes se consideró la distribución de cargas en cada neumático de acuerdo a su posición, esta información es proporcionada por los volquetes que brinda la información a través del sistema de administración de flota (Hexagón Mine Operate), por ello se consideró el tamaño de neumático utilizado en cada volquete (59/80R63).

- **Tiempo**: El recorrido de los volquetes a través de los ciclos de acarreo se registró mediante el sistema de administración de flota (Hexagón Mine Operate), información proporcionada por cada volquete en estudio, asimismo la variable registrada se consideró en minutos/ciclo en las diferentes rutas considerando el material acarreado (mineral o desmonte).

- **Ciclo de acarreo:** Los ciclos de acarreo son de suma importancia por los que se consideró para el estudio las siguientes: los puntos de inicio de ciclo fueron ubicadas en los frentes de minado, lugar donde se encuentran las palas P01(P&H 2800XPB), P03(P&H 4100A), P04(Bucyrus 495BII), P05(Bucyrus 495HR), P06(Bucyrus 495HR) y P07(P&H 4100 XPC), de la misma manera los destinos finales considerados son Chancadora (CH-1), depósito de desmonte Cocotea, depósito de desmonte Torata oeste y depósito Torata este.

- **Costos:** Los costos globales de neumáticos en el sistema de acarreo en el proyecto luego del estudio de cálculo de TKPH en cada ruta, se marcan mediante un análisis de comparabilidad en cuanto a costos.

3.1.3. Nivel de investigación

En cuanto al nivel de investigación se aplicará el diseño correlacional, este diseño busca conocer el grado de asociación o la relación existente entre dos a mas variables, en estos diseños se busca medir y analizar la asociación que existe entre las categorías o variables para un tiempo determinado (Hernández, Fernández, & Pilar, 2014, p. 81).

3.2. ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL

La unidad minera Cuajone es un yacimiento tipo pórfido de cobre y molibdeno Cu-Mo que se encuentra demarcado en el distrito de Torata, provincia Mariscal Nieto, departamento de Moquegua, y está ubicado dentro de los cuadrángulos (34U) y Moquegua (35U), su ubicación se puede visualizar a detalle en la Figura 12, asimismo de acuerdo a sus coordenadas se ubica en la zona UTM 19 tal como se ve detallado en la Tabla 4, el tajo tiene una elevación entre 2950-3880 m.s.n.m. (INGEMMET, 2018).

Tabla 4

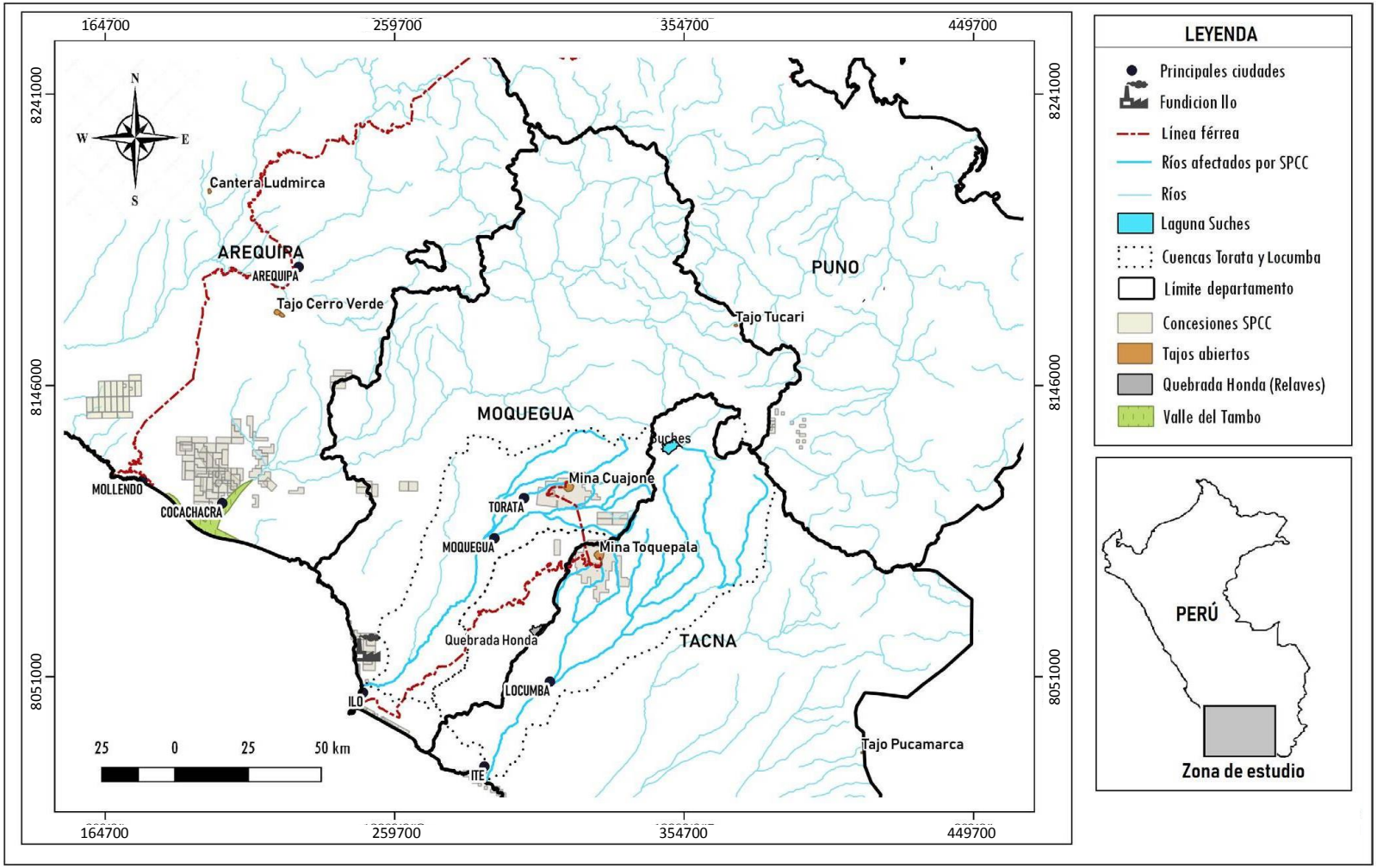
Ubicación en coordenadas UTM WGS84

ESTE	NORTE
317685	8117350
319515	8115815

Nota: Tomada de "*Caracterización petromineralógica de yacimiento Toquepala y Cuajone"* (p.13), por INGEMMET boletín serie b: geología estructural, 2018

Figura 12

Mapa de ubicación de la unidad minera Cuajone.



Nota: Mapa de ubicación de la unidad minera Cuajone. Tomada y editada de *"Impacto ambiental de la Compañía minera Southern Perú Cooper Corporation en América Latina: Una aproximación histórica de comienzos del siglo XX a la actualidad"* (p. 493), por S. Perez, 2018, Revista geográfica de america central 61E (3).

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. La población

La población para el proyecto de investigación está conformado por las flotas de volquetes que son utilizados para transportar el mineral o desmonte en el tajo de la unidad minera Cuajone tal como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5

Población

Flota de volquetes	Cantidad	Capacidad
Komatsu 980E	6 Volquetes	360 Ton
Caterpillar 797F	18 Volquetes	360 Ton

Nota: Elaboración Propia.

3.3.2. Muestra

La muestra para el presente proyecto de investigación está conformado por 144 neumáticos de los volquetes de la flota Komatsu 980E y Cat 797F, siendo estas las que nos brindarán los datos de velocidad, distancia y tonelaje, los mismos que son analizados entre los meses de setiembre y octubre del 2021.

3.4. PROCEDIMIENTO

3.4.1. Método, procedimiento o proceso

En el proceso de acarreo de mineral se tiene diversos procedimientos que intervienen, siendo estas los procedimientos:

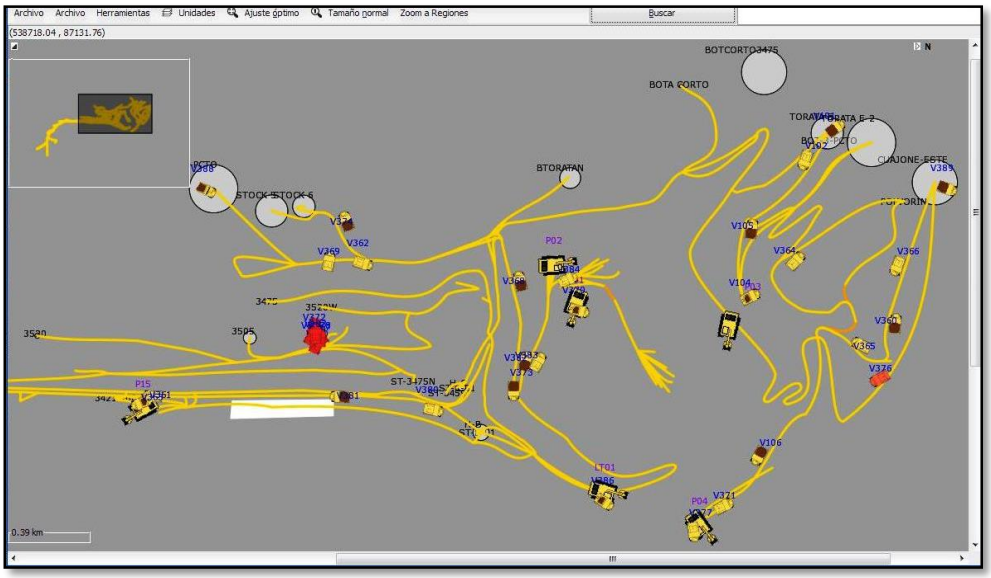
3.4.1.1. Asignación de equipos control mina:

Los inicios de guardia contemplan tareas que marcan el trabajo programado durante todo el día, la importancia de ello en el proceso de acarreo es fundamental. Se asignan operadores de volquetes indicándole las

ubicaciones de las mismas, mediante el sistema de administración de flota Héxagon Mine Operation tal como se puede visualizar en la Figura 13, de la misma manera se realiza la correcta distribución de operadores según sus habilidades.

Figura 13

Vista de equipos distribuidos correctamente.



Nota: En la figura la distribución de los volquetes de acuerdo al plan de minado diario y el requerimiento óptimo para cada pala. Tomada y editada de: *sistema de administración de flota Hexagon Mine Operation*.

El área encargado de este proceso es el de control mina perteneciente a operaciones, quien a su vez gestionan la disponibilidad de los equipos, abastecimiento de combustible, restricción de rutas, actualización de topografía mina, entre otros que se vienen presentando. Todo el proceso de área de control mina es realizado mediante el sistema de administración de flota.

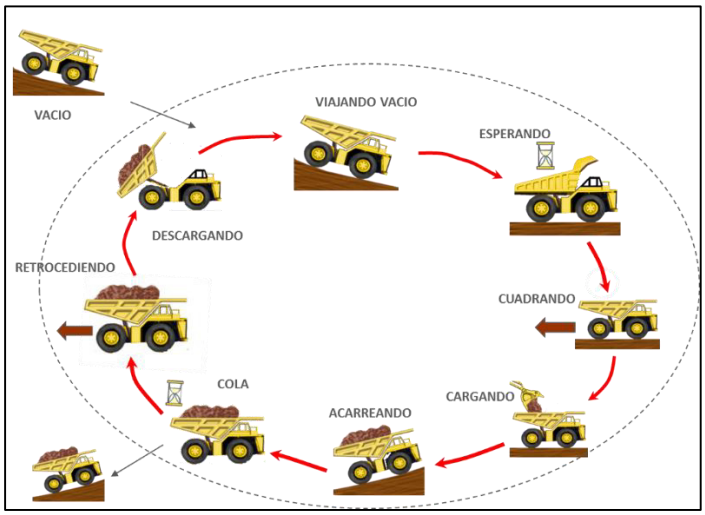
3.4.1.2. Acarreo de material

El acarreo es el proceso fundamental en las operaciones mineras, ya que de ella depende la producción y por consiguiente generará en los costos un gran impacto al ser uno de las actividades de mayor influencia.

Una vez que el volquete es asignado por a una pala para iniciar con el proceso de carguío el operador del volquete inicia el proceso tal como se muestra en la Figura 14, el sistema funciona de manera automática haciendo que el operador del volquete únicamente siga las instrucciones establecidas siendo estas: el destino del material, material transportado, velocidades, tiempo promedio, etc.

Figura 14

Ciclo de acarreo de volquetes



Nota: En la figura se establece el ciclo que siguen todos los volquetes durante sus horas operativas al estar asignado a una pala en un frente de minado. Tomada y editada de: *sistema de administración de flota Hexagon Mine Operation*.

3.4.1.3. Soporte de sistema

Mientras el equipo de acarreo envía la información, es imprescindible una actividad que hace posible la recolección de los datos, la comunicación continua del sistema wireles. El área de tecnología es el encargado de que esta comunicación no se pierda, teniendo en cuenta el funcionamiento correcto del sistema. El área de Tecnología verifica los monitores volquetes en campo constantemente para una comunicación óptima entre equipos y control mina.

3.4.1.4. Almacenamiento y gestión de datos

Administración dispatch es el área encargado de la gestión de los datos enviados por los volquetes, por lo que su procedimiento consta en validar la información recibida, limpiar los datos en caso sea necesaria y posteriormente tratarlas para medir los principales indicadores de mina. Esta información podemos visualizarla a través del sistema de flota, tal como se ve en la Figura 15 donde se detalla el material acarreado por guardia.

Figura 15

Vista de gestión acumulada de producción en área dispatch.

MineOPS - Mineral a concentradora

Archivo Datos

Fecha de Inicio	02/24/21	Fecha Final	02/24/21	Cargar
Inicio de Turno	A	Fin de Turno	B	

Pala	Nivel	Poligono	Descarga	Cu %	Mo %	RHI	Toneladas
				0.767	0.022	17.697	94435.000
CFC991	ST-CH2	ST-CH2/O	CHANCADORA 1	0.802	0.024	16.340	1075.000
LT01	3040-661	3040-661/O	CHANCADORA 1	0.430	0.013	18.600	1030.000
LT01	3040-626	3040-626/O	CHANCADORA 1	1.070	0.031	17.600	2275.000
LT01	ST-CH2	ST-CH2/O	CHANCADORA 1	0.802	0.024	16.340	5020.000
LT01	3040-662	3040-662/O	CHANCADORA 1	1.120	0.025	16.200	6825.000
LT01				0.960	0.025	16.620	15150.000
LT02	3040-661	3040-661/O	CHANCADORA 1	0.430	0.013	18.600	3430.000
LT02	3040-662	3040-662/O	CHANCADORA 1	1.120	0.025	16.200	3900.000
LT02	3040-626	3040-626/O	CHANCADORA 1	1.070	0.031	17.600	10030.000
LT02				0.955	0.026	17.483	17360.000

Nota: De acuerdo a la figura también se almacena la producción, velocidades, tiempos de ciclo, tipo de material, ley de mineral, etc. Tomada y editada de: *sistema de administración de flota Hexagon Mine Operation*.

3.5. TÉCNICA E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la recolección de datos se tomará información de manera documental esto quiere decir (medición directa, reportes de sistema de administración de flota, reporte de velocidades, y registros) los registros se realizaran durante los ciclos de acuerdo a cada ruta de acarreo, de la misma manera se tomará datos directamente para determinar los TKPH máximo para cada ruta, se busca igualmente recolectar datos desde el mismo sistema de acarreo, asimismo se trabajará con información antes de la aplicación del

uso de TKPH operativo para luego realizar la tomas de decisiones pertinentes.

En cuanto a la recolección de datos consideraremos los siguientes:

- Distancias equivalentes de rutas de acarreo
- Tonelaje acarreado
- Velocidades máximas
- Tiempos de ciclo

3.5.1. Distancias equivalentes

Las distancias de las rutas son medidas que usaremos para la comparación de rutas óptimas de acarreo y se realizará mediante la medida lineal del segmento por el factor de distancia equivalente de acuerdo a la siguiente Ecuación 7:

$$EFH = Distancia\ de\ la\ ruta\ (km) * factor\ EFH \quad (7)$$

Donde:

- EFH = distancia equivalente
- Para el cálculo del factor nos basaremos en la Ecuación 8 siguiente

$$Factor\ EFH = \frac{velocidad\ en\ plano(km/hr)}{velocidad\ en\ pendiente\ (km/hr)} \quad (8)$$

También se puede utilizar la siguiente Tabla 6 para determinar el factor de distancia equivalente.

Tabla 6

Tabla para cálculo de factor de distancia equivalente

Pendiente	Velocidad en pendiente	Factor (velocidad en plano / velocidad en pendiente)
<= -9	12	3.50
>9<-7	22	1.91
>=-7<-5	22	1.91
>=-5<5	42	1.00
>=5<7	22	1.91
>=7<9	16	2.63
>=9	12	3.50

Nota: El cálculo de factor según la tabla se puede utilizar para pendientes positivas y negativas, Tomada de "*manual técnico de reportes mina"*, por Hexagon Mine Operation.

Para la investigación en cálculo de las rutas consideraremos las distancias equivalentes de acarreo cargado y distancias equivalentes de acarreo vacío para determinar las posibles variaciones de TKPH en una misma ruta de acarreo.

3.5.2. Tonelajes

Cada uno de los volquetes cuenta con un sensor de balanza incorporada que permitirá el cálculo de tonelaje en tiempo real, en esta sección utilizaremos una técnica llamada distribución de cargas para conseguir el tonelaje acarreado por cada neumático de acuerdo a su posición, usaremos la siguiente Tabla 7 para buscar el factor de conversión de acuerdo a su distribución de pesos.

Tabla 7

Factor de distribución de peso de acuerdo a la posición del neumático.

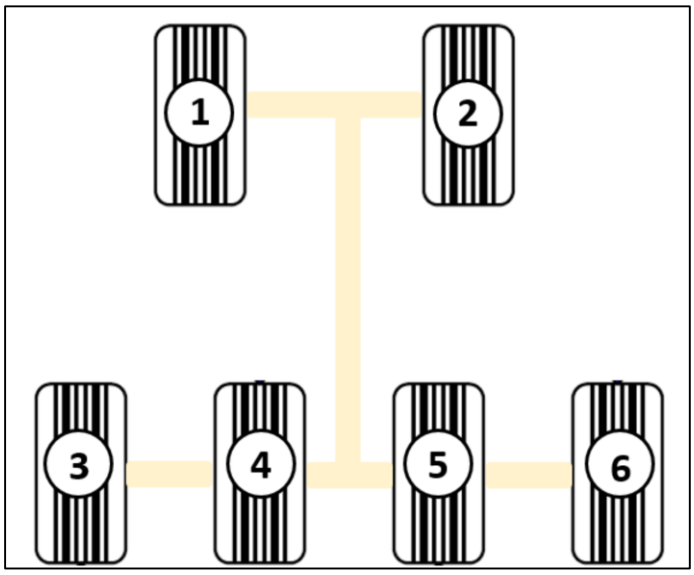
Flota de volquete	POSICIÓN DE NEUMÁTICO					
	1	2	3	4	5	6
CAT-797F	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17
KOM-980E	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17

Nota: Factor a usar para el cálculo de distribución de peso.

Los factores que usaremos para nuestros volquetes serán considerados en dos momentos, una distribución de pesos mientras el volquete se encuentre vacío y el otro cálculo mientras está cargado. Las ubicaciones de los neumáticos en los volquetes inician desde la parte delantera contándose de izquierda a derecha, tal como lo visualizamos en la Figura 16.

Figura 16

Ubicación de neumáticos en un volquete.



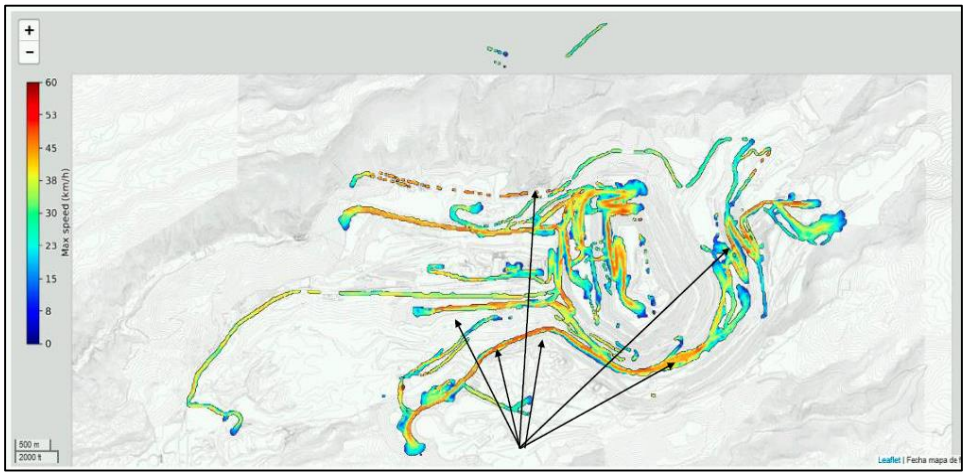
Nota: Posiciones 1 y 2 pertenece al eje delantero y posiciones 3, 4,5 y 6 pertenecen al eje posterior del volquete.

3.5.3. Velocidades

Para el control de las velocidades de nuestros equipos se trabajará con los software de monitoreo y control Mems Evolution 4 que realiza el cálculo mediante el sistema de posicionamiento por GPS a los sensores instalados al interior de los neumáticos, tomando ubicaciones cada 5 segundos de manera continua, la información recepcionada de todos nuestros neumáticos trazarán un mapa de calor en el sistema donde se visualiza las diferentes zonas de mina con velocidades promedios, esta representación gráfica lo visualizamos en la Figura 17.

Figura 17

Mapa de calor de velocidades.



Nota: En el mapa de calor los áreas de color rojo donde señalan las flechas son las vías con mayor índice de velocidad superándose los 50 Km/h, tomado de: Mems Evolution 4.

3.5.4. Tiempos

Los tiempos de acarreo son obtenidos de la misma forma que la velocidad mediante su posicionamiento por lo que estos datos son enviados al sistema de administración de flota Héxagon Mine Operation.

3.6. ANÁLISIS DE DATOS

Para el análisis de datos del presente proyecto de investigación se utilizará las siguientes técnicas:

Con la utilización del software *Héxagon Mine Operation* analizaremos los datos de: rutas de acarreo, tonelaje movido por cada volquete, tiempo de ciclo y velocidades; el software *Klinge* lo utilizaremos para que nos brinde la información de ubicación de los neumáticos y sus respectivas posiciones de rotación en el volquete así como también el respectivo número de horas en cada posición, toda la información será analizada en el programa Excel para poder calcular los siguientes:

- Toneladas movidas por cada posición de neumático.
- Velocidades medias por cada ruta de acarreo.
- Análisis unitario de costos operativos referente a operaciones unitarias
- Análisis de productividad según posición de neumático.
- Cálculo de tiempos de acarreo para cada ruta.
- Cálculo de distancias equivalentes por rutas.
- Evaluación de resultados respecto a años anteriores en números de horas referentes al tiempo de vida del neumático.

3.6.1. Observación directa

Mediante la información obtenida a través del área de mantenimiento – taller de enllante y el área de Dispatch se revisará información correspondiente a tonelaje acarreado y posición en los volquetes correspondiente da cada neumático y correspondiente los meses en estudio y se procede a determinar los TKPH óptimos para cada ruta de acarreo.

3.6.2. Análisis estadístico

Los resultados del estudio son mostrados a través de gráficos, tablas dinámicas de análisis estadísticos, gráficos interactivos, entre otros que puedan ser utilizados para presentar datos finales y de acuerdo como se detalla en la Tabla 8.

Tabla 8

Tipos de Pruebas estadísticas a usar.

Hipótesis Específica	Prueba estadística	Hipótesis nula (H_0)	Hipótesis alterna (H_1)
H_A	Paramétrica de regresión lineal múltiple y de comparación	Identificando el impacto del TKPH máximo en el tonelaje de producción diario no se logra optimizar los costos de acarreo y transporte	Identificando el impacto del TKPH máximo en el tonelaje de producción diario se logra optimizar los costos de acarreo y transporte
H_B	Paramétrica de regresión lineal múltiple y de comparación	Determinando el impacta del TKPH máximo, no se optimiza su tiempo de vida y los costos por hora de acarreo de mineral de los neumáticos.	Determinando el impacta del TKPH máximo, se optimiza su tiempo de vida y los costos por hora de acarreo de mineral de los neumáticos.
H_C	Paramétrica de comparación ANOVA	Estableciendo el impacto de costos de acarreo y la variación de TKPH entre las distintas rutas no se logra reducir los costos de acarreo	Estableciendo el impacto de costos de acarreo y la variación de TKPH entre las distintas rutas se logra reducir los costos de acarreo

Nota: Elaboración Propia.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. TKPH RUTAS DE ACARREO

Las vías de acarreo están determinadas por las distancias en kilómetros entre los diferentes frentes de minado y las áreas o zonas de descarga siendo esta chancadora primaria o depósitos de desmonte, primero es de gran importancia identificar las rutas de acarreo y sus destinos tal como podemos visualizar en la Tabla 09, cada ruta es identificado mediante un Id.

Para los estudios se utilizó las rutas que corresponden netamente a mineral, en total se consideran 3 rutas de acarreo considerándose sus puntos de partida y sus destinos finales así como también los niveles en el cual se encuentran mientras se toma los datos, el detalle gráfico de las rutas lo encontramos en el Anexo 4.

Tabla 9

Rutas de acarreo de mineral y desmonte.

ID RUTA	INICIO	FIN	NIVEL
R - 01	P-01	Chancadora	3295
R - 02	P-04	Chancadora	3280/3295
R - 03	P-05	Chancadora	3025/3040

Nota: En la tabla se visualiza los detalles de las rutas de acarreo considerándose su inicio, fin y sus niveles.

Para cada una de las rutas por las cuales se acarrea mineral se realizó el cálculo de TKPH nominal que sirve como target para el cuidado del neumático mientras se circula por las vías de acarreo en estudio. Las variables consideradas para el cálculo de TKPH de cada ruta son tomadas y actualizadas semanalmente, se analizaron en total 1379 ciclos para calcular el TKPH para cada ruta, los resultados como tal variarán constantemente durante cada semana a medida que las palas avancen en sus frentes de minado, las variables consideradas para el cálculo son la distancia equivalentes de los ciclos de acarreo, tiempos (detallados en los Anexos 6

para la semana 1, Anexo 7 para la semana 2, Anexo 8 para la semana 3, Anexo 9 para la semana 4, Anexo 10 para la semana 5, Anexo 11 para la semana 6 y Anexo 12 para la semana 7) y tonelaje tales que son calculados mediante la consideración de las pendientes (8%) estas variables proporcionaran un dato importantísimo de distancia equivalente en Km por cada ruta; también otro dato de gran importancia es el tiempo el cual fue medido mediante GPS y finalmente para el cálculo de tonelaje se consideró los tonelajes nominales siendo 360 Ton de acarreo por cada ciclo. En la siguiente Tabla 10 se muestra los resultados para cada ruta, los detalles para su cálculo se ven en los Anexos 6 al 12 y en la Figura 18 el desempeño de TKPH por posición vs el TKPH nominal del neumático durante las semanas del proyecto.

Tabla 10

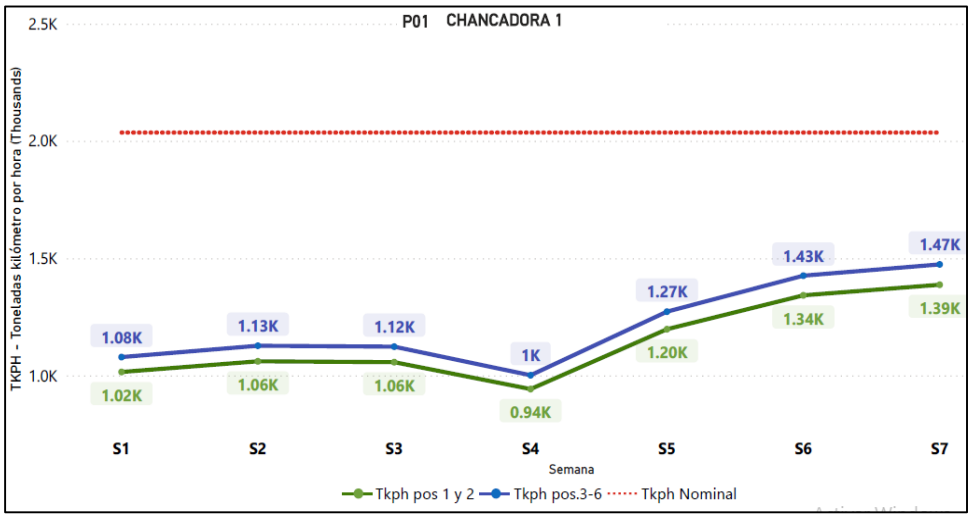
TKPH nominal para R-01 (P01-Chancadora).

SEMANA	DIST. (Km)	DIST. Eq. (Km)	TIEMPO CICLO CARGADO (Min)	TON. NOMINAL (Ton)	VELOCIDAD (Km/h)	TKH (Pos. 1 y 2)	TKH (Pos. 3 - 6)
S1	1.09	1.37	4.7	360	17.6	1015	1079
S2	1.18	1.43	4.7	360	18.4	1061	1127
S3	1.37	1.63	5.3	360	18.4	1057	1123
S4	1.28	1.54	5.7	360	16.4	943	1001
S5	1.35	1.57	4.5	360	20.8	1198	1273
S6	1.69	1.94	5.0	360	23.3	1342	1426
S7	1.63	1.88	4.7	360	24.1	1387	1474

Nota: Resultados de TKPH nominal para ruta de acarreo R-01.

Figura 18

Distribución semanal de TKPH nominal para R-01 (P01-Chancadora).



Nota: Comportamiento del TKPH durante el estudio, manteniendo siempre por debajo del nominal establecido para el neumático según fabricante.

Para R-02 se consideró como punto de inicio la ubicación de la pala 04 que está ubicada en los niveles Nv 3280 y posteriormente procede a movilizarse subiendo un nivel por lo que en las siguientes semanas estuvo ubicado en el Nv 3295 ambos niveles ubicados en la fase 08, los resultados por semana lo encontramos en la Tabla 11 y los resultados para cada posición de neumático para R-02 podemos visualizarlo en la Figura 19.

Tabla 11

TKPH nominal para R-02 (P04-Chancadora).

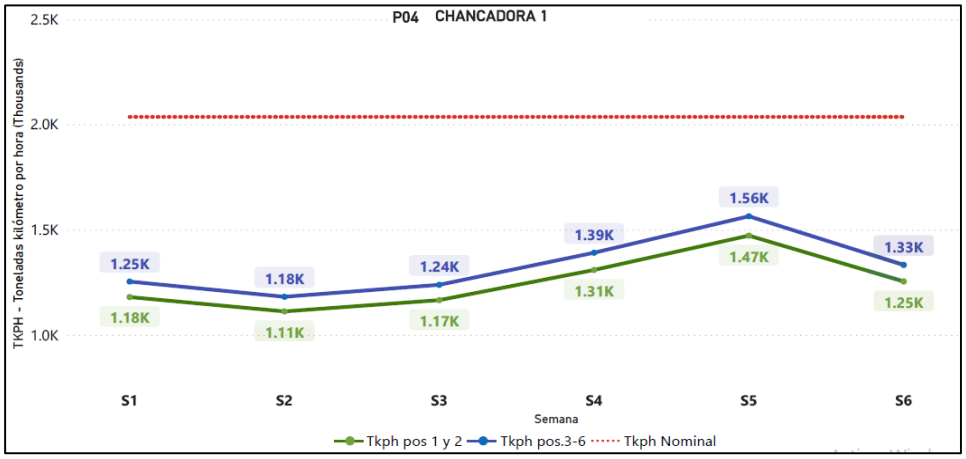
SEMANA	DIST. (Km)	DIST. Eq. (Km)	TIEMPO CICLO CARGADO (Min)	TON. NOMINAL (Ton)	VELOCIDAD (Km/h)	TKPH (Pos. 1 y 2)	TKPH (Pos. 3 - 6)
S1	1	1.65	4.8	360	20.5	1180	1254
S2	1	1.58	4.9	360	19.3	1112	1181
S3	2	2.23	6.6	360	20.2	1166	1238
S4	2	2.39	6.3	360	22.7	1309	1391
S5	2	2.44	5.7	360	25.6	1472	1564
S6	2	2.11	5.8	360	21.8	1254	1333

Nota: Resultados de TKPH nominal para ruta de acarreo R-02.

En cuanto a la ruta R-02 corresponde netamente a acarreo de mineral por lo que la pala 04 se encuentra minando en los niveles Nv 3280 y Nv 3295, en la Tabla 11 también los detalles del resultado de TKPH durante cada semana.

Figura 19

Distribución semanal de TKPH nominal para R-02 (P04-Chancadora).



Nota: El TKPH nominal para la ruta R-02 está siempre por debajo del TKPH del neumático.

La tercera ruta de acarreo se considera como su punto de inicio el frente de minado ubicado en el nivel 3490 y 3505 ambos ubicados en la fase 6 de la mina, los TKPH para esta ruta están ligeramente más cerca al nominal tal como lo vemos en la Figura 18, esto debido a que la fase 6 se encuentra en lo más profundo de la mina, y alcanza un TKPH más alto en la primera semana, pero siempre por debajo de lo nominal que corresponde al fabricante del neumático, en cuanto a los tiempo podemos ver los detalles en la Tabla 12.

Tabla 12

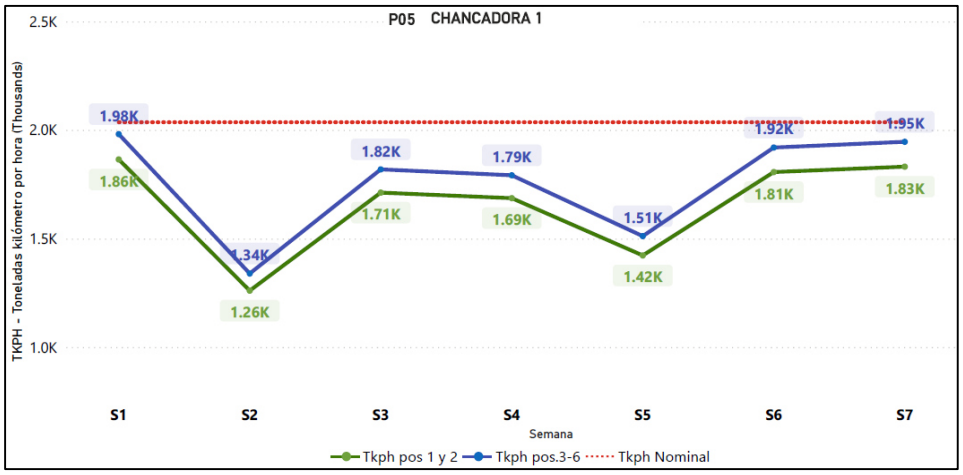
Distribución semanal de TKPH nominal para R-03 (P05-Chancadora).

SEMANA	DIST. (Km)	DIST. Eq. (Km)	TIEMPO CICLO CARGADO (Min)	TON. NOMINAL (Ton)	VELOCIDAD (Km/h)	TKPH (Pos. 1 y 2)	TKPH (Pos. 3 - 6)
S1	4.07	9.66	17.9	360	32.4	1865	1981
S2	3.93	6.78	18.6	360	21.9	1261	1339
S3	4.07	9.34	18.9	360	29.7	1712	1819
S4	3.86	9.09	18.6	360	29.3	1686	1792
S5	3.31	6.66	16.2	360	24.7	1423	1512
S6	3.81	9.61	18.4	360	31.4	1807	1920
S7	4.10	10.23	19.3	360	31.8	1832	1946

Nota: El TKPH nominal para la ruta R-03 está siempre por debajo del TKPH del neumático.

Figura 20

Distribución semanal de TKPH nominal para R-03 (P03-Chancadora).



Nota: El TKPH nominal para la ruta R-03 está siempre por debajo del TKPH del neumático.

4.2. TKPH OPERATIVO

La importancia del proyecto está enfocado en la aplicación del TKPH operativo implementado mediante la tecnología de sistema de administración de flota, para ello se consideró realizar su aplicabilidad por cada ruta considerando dos flotas de volquetes, siendo estas Komatsu 980E

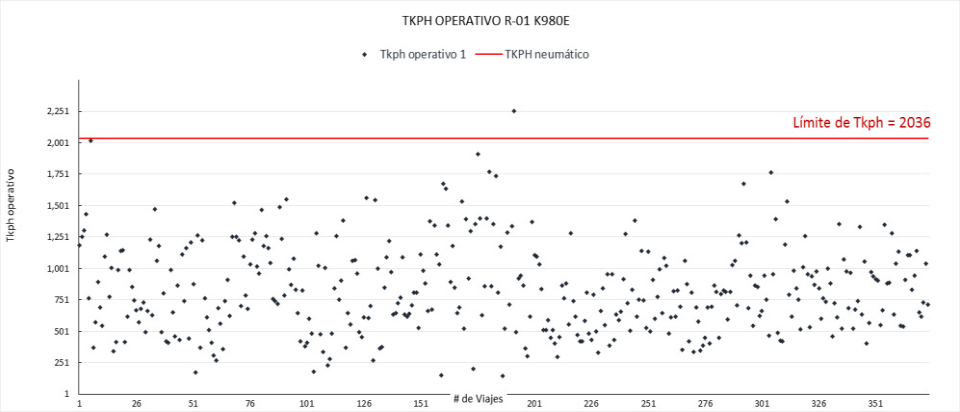
y Cat 797F, los resultados de los análisis son considerados independientemente para cada ruta de acarreo mencionada anteriormente

Ruta de acarreo R-01 flota Komatsu 980E:

Para el análisis fueron considerados para esta ruta en total 374 viajes realizados por los volquetes de la flota komatsu 980E para lo cual se recolectó datos de tiempos de acarreo, distancias y tonelajes de 06 volquetes, considerándose para esta ruta un tiempo de 6 semanas de toma de datos, todos en turno A y B. Se obtienen 3 tipos de TKPH que denominamos de la siguiente manera: el primero conocido como TKPH de la ruta el cual resulta del análisis estadístico para cada ruta de acarreo y es calculado con un rango de tiempo de 7 días, estas fueron analizadas, calculadas y mostrado mediante los resultados en el paso anterior, el segundo TKPH conocido es el del neumático que viene diseñado por fábrica el cual podemos encontrarlo en el Anexo 5, y el tercero es con el que trabajamos operacionalmente denominado TKPH operativo, esta información se calculó y monitoreo en tiempo real por lo que los cálculos del TKPH operativos son inmediatos, en la Figura 21 se visualiza la toma total de 374 ciclos registrados, cada uno indica el TKPH operativo, asimismo se detectaron 01 eventos de TKPH superior al TKPH nominal del neumático siendo esto un total de 0.0027% respecto a los ciclos totales, de la misma manera el único valor que superó el TKPH del neumático (2036) se reasigna a una ruta con menor TKPH de ruta a fin de reducir el esfuerzo de la misma y bajar la temperatura.

Figura 21

Distribución de TKPH operativo de flota Komatsu 980E respecto al TKPH del neumático.



Nota: En la figura los puntos denotan el TKPH operativo registrado por los volquetes Komatsu 980E y el segmento de color rojo es el TKPH nominal del neumático.

Para los resultados anteriores se muestra en la siguiente Tabla 13 la desviación estándar promedio de los datos analizados es de 334 obtenidas de los datos de TKPH operativos por cada semana.

Tabla 13

Desviación estándar de los datos de la flota Komatsu 980E.

Semana	Promedio TKPH	Media (μ = ∑x/N)	Desviación (X-μ)	desviación al cuadrado (X-μ)^2	desviación estándar σ^2=∑(X-μ)^2/N	# de Ciclos
S1	1364.1	848.5	1.215E-13	121621.0	348.7	51.0
S2	1408.2	817.6	2.55E-13	120648.5	347.3	103.0
S3	1531.8	968.3	2.15E-13	225286.9	474.6	57.0
S4	1198.1	713.0	-3.83E-14	65323.8	255.6	43.0
S6	1634.2	799.8	-2.52E-13	85342.0	292.1	80.0
S7	1639.4	863.5	-1.14E-14	63564.0	252.1	40.0

Nota: Resultados de desviación estándar calculadas independientemente considerándose el número de ciclos realizados por semana.

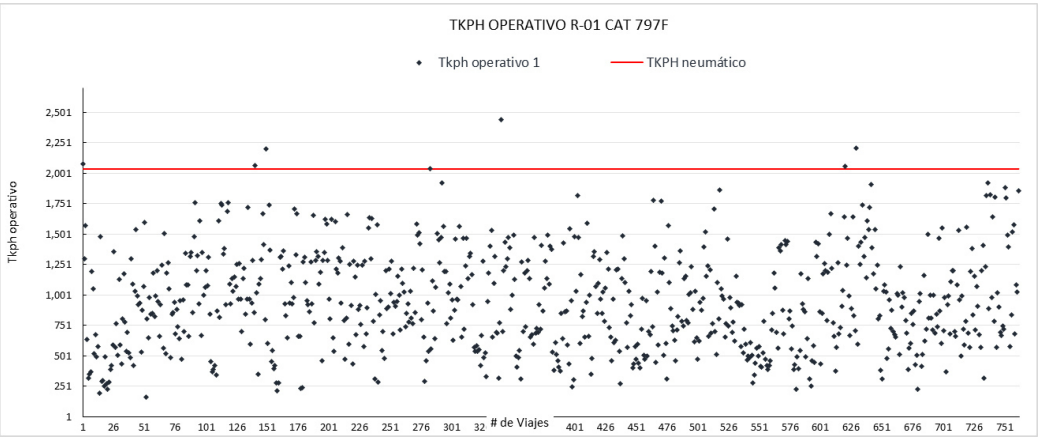
Ruta de acarreo R-01 flota Cat 797F:

Para esta ruta de acarreo se consideraron 18 volquetes de la flota Cat 797F cada uno de ellos con una capacidad nominal de 360 ton, para esta flota se consideró siete semanas de recolección de datos donde se tomaron en total información necesaria de 795 ciclos de acarreo en los cuales se consideraron los tiempos de acarreo, distancias y el tonelaje respectivo.

Del total de ciclos observados el 1% de ellos presentó un TKPH operativo por encima del TKPH nominal del neumático siendo el máximo valor alcanzado de 2442 para esta ruta de acarreo, este porcentaje representa un total de 6 ciclos que requirieron una reasignación inmediata luego de haber sobrepasado el límite máximo, de la misma forma se concluye que el 94% de los ciclos estuvieron dentro de los límites establecidos para la ruta, en la Figura 22 se aprecia en una línea el TKPH del neumático y los demás puntos indican el registro del TKPH operativo alcanzado.

Figura 22

Distribución de TKPH operativo de flota Cat 797F R-01.



Nota: Distribución de TKPH operativo para R-01.

Los 795 ciclos realizados por los volquetes presentan una desviación estándar por semana de 390.3, 445.8, 711.2, 376.9, 341.3, 357.4 y 448.1 respectivamente. A continuación en la Tabla 14 se detalla los resultados de desviación estándar de los datos tomados.

Tabla 14

Desviación estándar de los datos de la flota Cat 797F.

Semana	Promedio TKPH	Media (μ = ∑x/N)	Desviación (X-μ)	desviación al cuadrado (X-μ)^2	desviación estándar σ^2=∑(X-μ)^2/N	# de Ciclos
S1	1364.1	848.5	1.215E-13	121621.0	348.7	51.0
S2	1408.2	817.6	2.55E-13	120648.5	347.3	103.0
S3	1531.8	968.3	2.15E-13	225286.9	474.6	57.0
S4	1198.1	713.0	-3.83E-14	65323.8	255.6	43.0
S6	1634.2	799.8	-2.52E-13	85342.0	292.1	80.0
S7	1639.4	863.5	-1.14E-14	63564.0	252.1	40.0

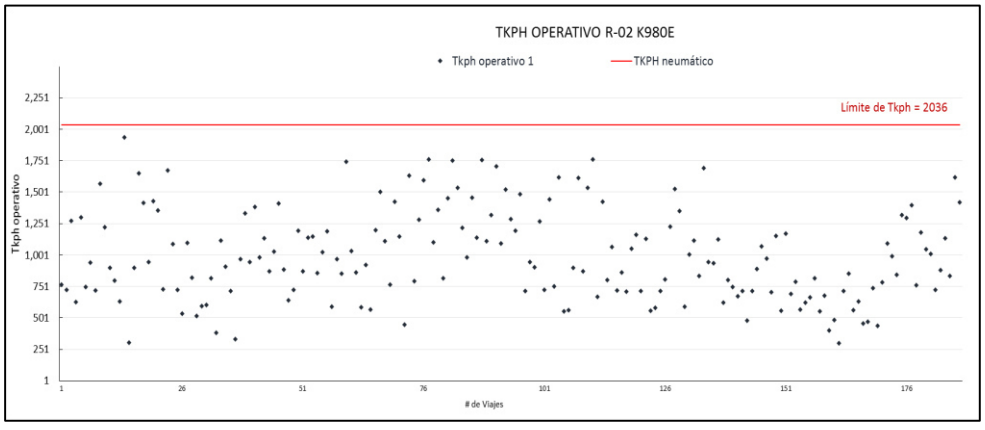
Nota: Resultados de desviación estándar calculadas independientemente considerándose el número de ciclos realizados por semana.

Ruta de acarreo R-02 flota Komatsu 980E:

La ruta R-02 comprende como inicio los niveles 3280 y 3295 perteneciente a la fase 07, en el frente de minado se encuentra ubicado la Pala Bucyrus 495HR (P05), de la misma manera también se consideró a los 6 volquetes de la flota komatsu 980E; en total se realizaron 355 ciclos de acarreo de mineral, distribuidos entre 5 semanas respectivamente, en la Figura 23 se visualiza los TKPH operativos calculados para los volquetes que circularon en la ruta R-02.

Figura 23

Distribución de TKPH operativo de flota Komatsu 980E R-02.



Nota: Distribución de TKPH operativo para R-02.

De los 355 ciclos monitoreados el 100% de ellos se mantiene por debajo del TKPH nominal del neumático, sin presentar ningún evento de TKPH para esa ruta de acarreo, asimismo de los datos analizados y calculados se obtiene las siguientes desviaciones estándar mostradas en la Tabla 15.

Tabla 15

Desviación estándar de los datos de la flota Komatsu 980E.

Semana	Promedio TKPH	Media (μ = ∑x/N)	Desviación (X-μ)	desviación al cuadrado (X-μ)^2	desviación estándar σ^2=∑(X-μ)^2/N	# de ciclos
S1	969.9	969.9	1.323E-13	119186.4	345.2	55.0
S2	-	-	-	-	-	-
S3	1162.0	1162.0	1.83E-13	131271.4	362.3	49.0
S4	918.9	918.9	2.64E-14	85979.7	309.1	28.0
S5	826.6	826.6	-1.89E-14	98744.2	314.2	36.0
S6	989.8	989.8	8.39E-14	114533.1	339.9	187.0
S7	-	-	-	-	-	-

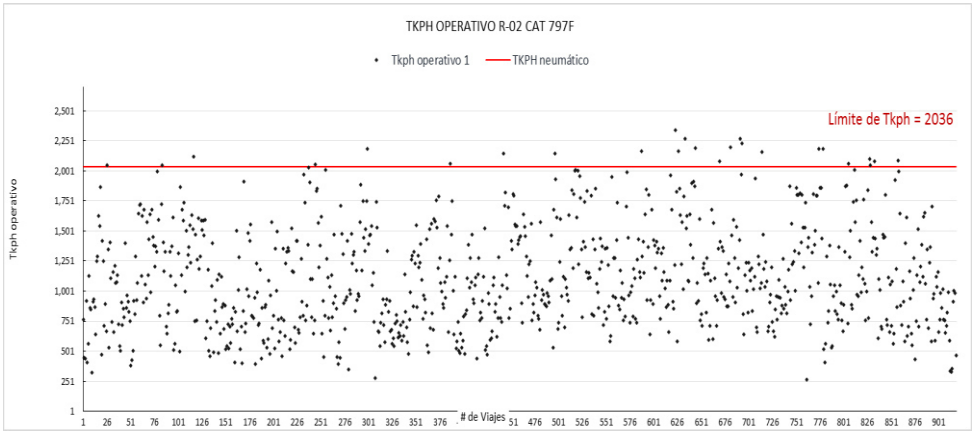
Nota: Resultados de desviación estándar calculadas por el número de ciclos realizados por semana.

Ruta de acarreo R-02 flota Cat 797F

Se tomaron para esta ruta de acarreo un total de 919 viajes alcanzándose un TKPH máximo de 2340 que ampliamente supera el nominal del neumático, del total de viajes realizados 25 superan el límite máximo de TKPH del neumático de acuerdo y tal como se muestra en la Figura 24.

Figura 24

Distribución de TKPH operativo de flota Cat 797 R-02.

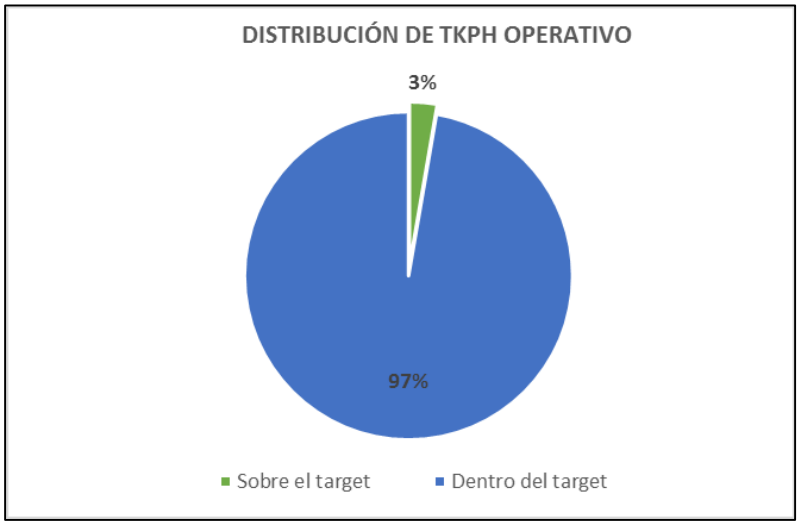


Nota: distribución de TKPH operativo para R-02.

De acuerdo a su distribución porcentual el 3% de los ciclos de acarreo realizado superaron el TKPH nominal el cual según fabricación del neumático corresponde a 2036, asimismo el 97% se mantuvo debajo del target, en la siguiente Figura 25 se visualiza su distribución porcentual.

Figura 25

Distribución de TKPH porcentual de flota Cat 797F R-02.



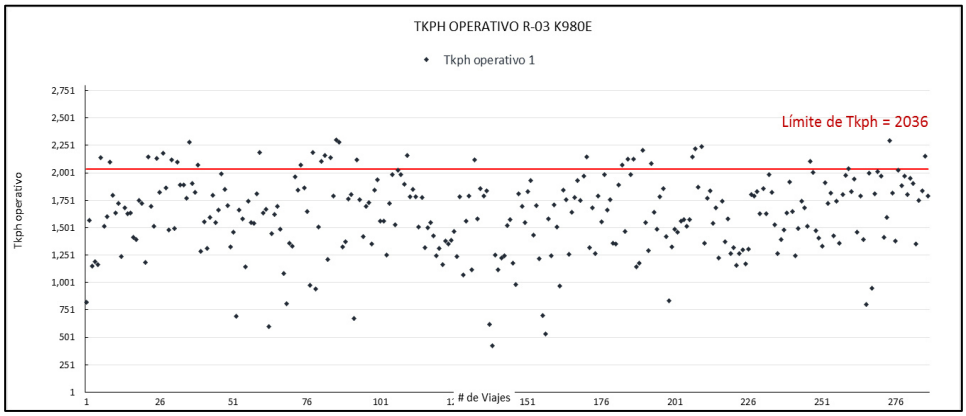
Nota: Distribución en porcentaje de TKPH operativo por debajo y sobre el target.

Ruta de acarreo R-03 flota Komatsu 980E

La ruta R-03 comprende desde los niveles 3025 y 3040 ubicados respectivamente en lo más profundo de la mina conocido como la fase 6 iniciándose como punto de inicio el frente de la pala Bucyrus 495HR (P05) hasta chancadora ubicado en la Fase 6, asimismo en total fueron registrados, analizados y calculados el TKPH para 287 ciclos de acarreo, todos realizados por 6 volquetes de la flota komatsu 980E, en esta ruta luego del análisis se logró determinar 33 ciclos por encima del TKPH del neumático tal como se puede apreciar en la Figura 26 mostrada a continuación.

Figura 26

Distribución de TKPH operativo de flota Komatsu 980E R-03.

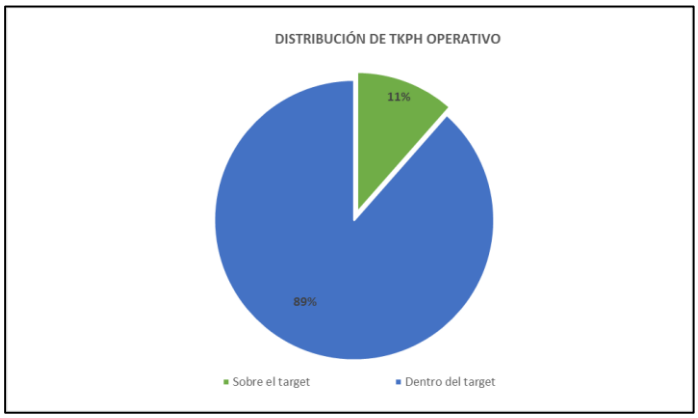


Nota: Distribución de TKPH operativo para R-03.

En total de los viajes el 11 % sobrepasó el TKPH operativo y el resto 89% de mantuvo por debajo según la Figura 27, de la misma manera el valor calculado más alto fue de 2296, superando considerablemente los límites.

Figura 27

Distribución en porcentaje de TKPH operativo de flota Komatsu 980E.



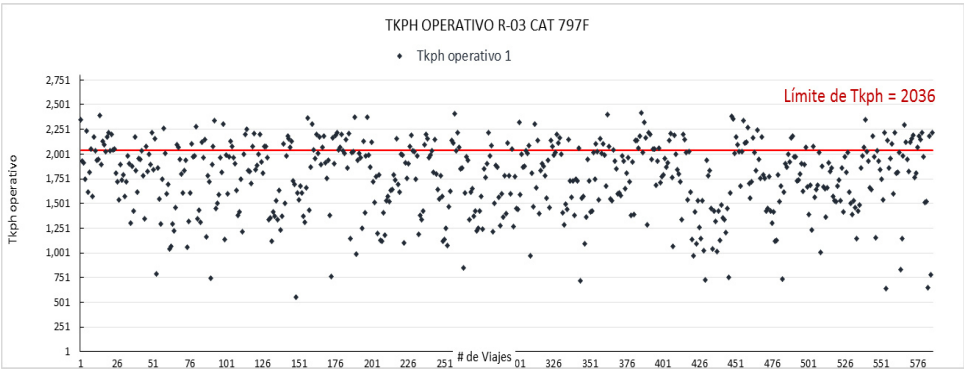
Nota: Distribución en porcentaje de TKPH operativo por debajo y sobre el target.

Ruta de acarreo R-03 flota Cat 797F

En esta ruta de acarreo se consideraron 586 ciclos de acarreo con la flota de volquetes Cat 797F donde se consideraron 18 volquetes en ruta acarreando mineral, de tal forma se tienen los siguientes resultados, se obtuvieron 146 ciclos de acarreo superando el target o TKPH del neumático (2036) tal como lo mostramos en la Figura 28, del mismo modo el valor más alto alcanzado es de 2415 el cual se encuentra muy por encima respecto al límite máximo.

Figura 28

Distribución de TKPH operativo de la flota Cat 797F R-03.

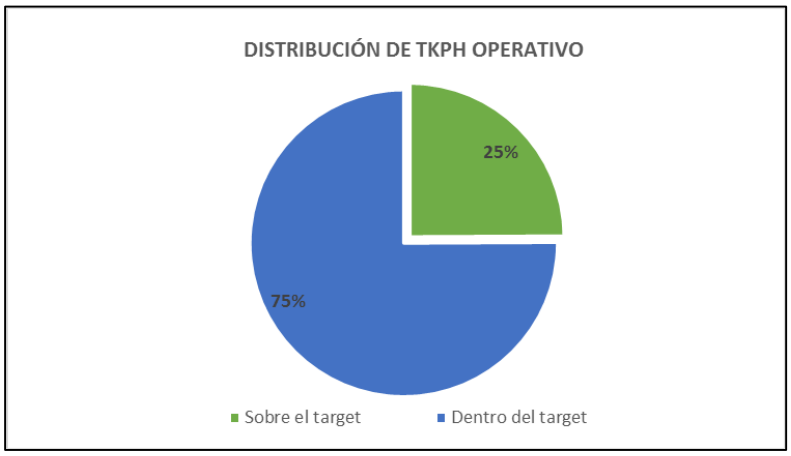


Nota: Distribución de TKPH operativo para R-03.

En cuanto a sus distribución porcentual el 25% corresponde a eventos que superaron el TKPH del neumático y la diferencia de 75% estuvo dentro del margen, en la Figura 29 se visualiza gráficamente la distribución.

Figura 29

Distribución en porcentaje de TKPH operativo de flota Cat 797F R-03.



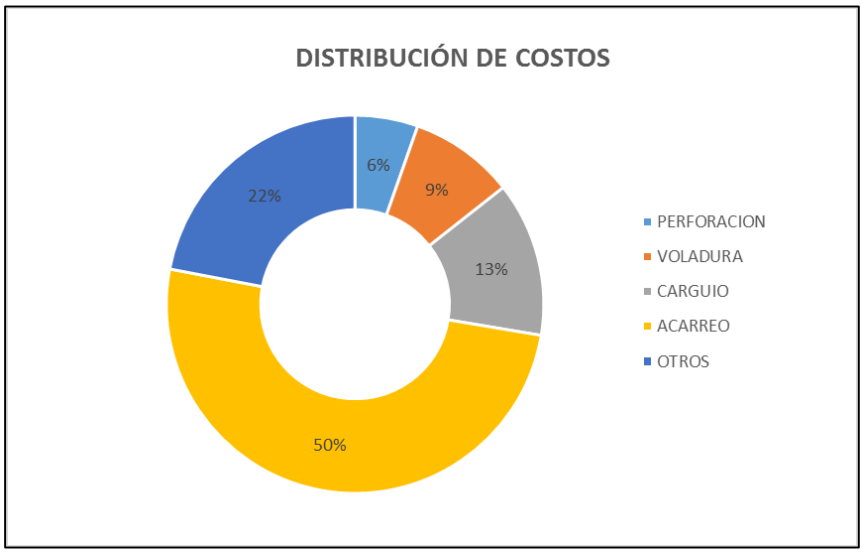
Nota: Distribución en porcentaje de TKPH que superó el target.

4.3. COSTOS DE ACARREO

Para los costos operativos los promedios son distribuidos de la siguiente manera: el área de perforación con un 5% del total, voladura 9%, carguío 13%, y otros representado por un total de 20%, los costos de acarreo y transporte corresponde a uno de los de mayor influencia siendo este un total de 50% promedio, en la siguiente Figura 30 se aprecia claramente la distribución de las mismas.

Figura 30

Distribución de costos operativos



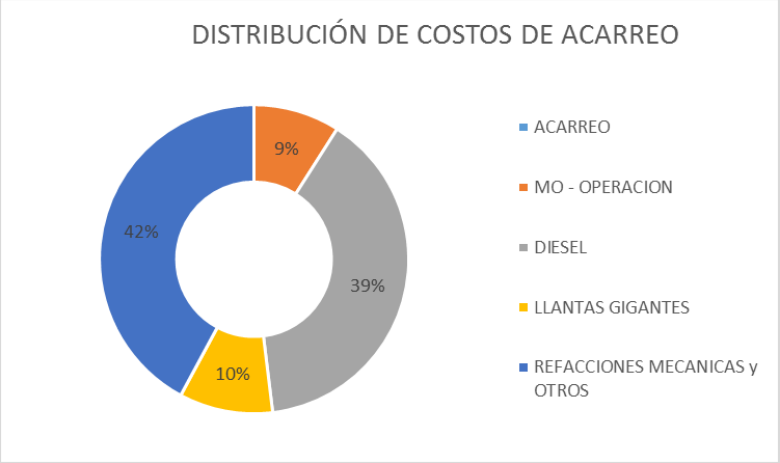
Nota: Distribución porcentual de costos operativos.

Si consideramos solamente el área de acarreo se obtiene una distribución porcentual para mano de obra de 9%, en cuanto al diésel que es uno de los vitales más importantes con un 39 %, mantenimiento, refacciones y otros representado por 42 % y el resto correspondiente a 10% pertenece a los costos de neumáticos.

Los costos operativos de acarreo por cada tonelada corresponden a 0.60 usd/ton para la flota Cat 797F y 0.61 usd/ton para la flota Komatsu 980E, en la Figura 31 a continuación vemos la distribución de costos de acarreo.

Figura 31

Distribución de costos de acarreo.



Nota: Distribución porcentual de costos operativos.

Los costos de acarreo son diferentes para cada flota en particular por lo que se obtuvieron resultados para cada uno, siendo entonces para los volquetes komatsu 980E un costo promedio de 0.47 usd/ton para el mes 1 y para el mes siguiente 0.57 usd/ton, estos costos se encuentran descritos en la Tabla 16, asimismo del 10 % de los neumáticos retirados representa a un promedio de 2 neumáticos por mes que son retirados por separación por calor, en la Figura 32 podemos encontrar el costo por mes de los neumáticos por cada tonelada acarreada respecto al promedio contemplado considerándose solamente los neumáticos de medida 59/80R63.

Tabla 16

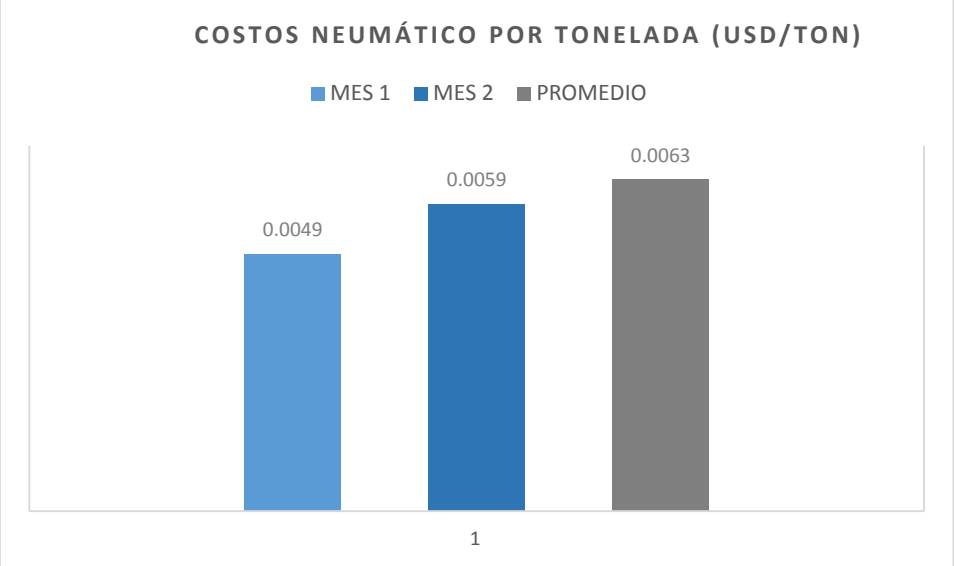
Distribución de costos de acarreo.

	PROMEDIO ACARREO (USD TON)		
FLOTA	MES1	MES2	PROMEDIO
Komatsu 980E	0.47	0.57	0.61
Cat 797F	0.73	0.65	0.73

Nota: Costos de acarreo por mes durante ejecución del proyecto y el promedio.

Figura 32

Resultado de costo de neumáticos de flota komatsu 980 E por tonelada.

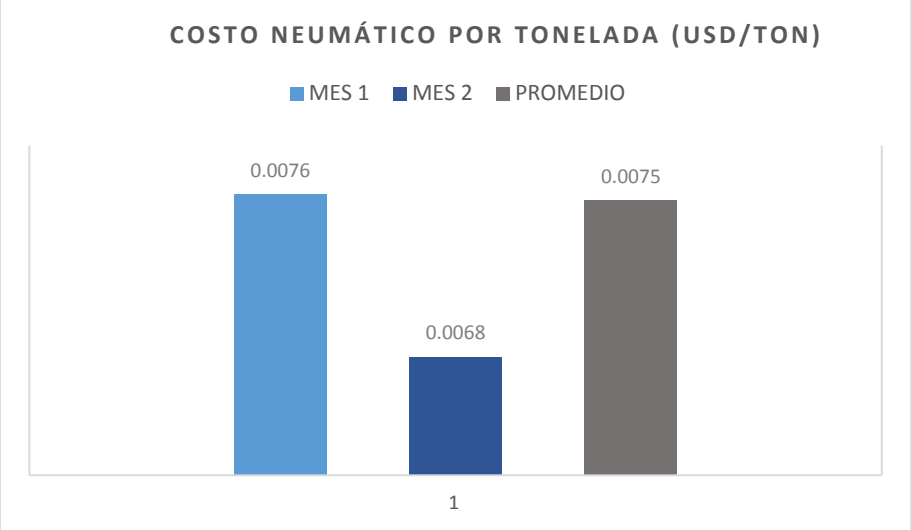


Nota: Resultados de costos unitarios respecto a neumáticos de la flota Komatsu 980E por cada tonelada acarreada, los costos solo representan neumáticos que fueron retirados únicamente por separación por calor.

Para la flota Cat 797F se tiene asimismo un costo de acarreo para el primer mes de 0.73 usd/ton y para el mes siguiente 0.65 usd/ton de acuerdo a la Tabla 16, ahora tomando específicamente los costos de neumáticos que representan en el costo unitario de acarreo corresponde a un 10%, en la siguiente Figura 33 se visualiza el costo unitario del neumático de la flota 797 por cada tonelada de acarreada, para el mes 1 se tiene un costo de 0.0076 usd por cada tonelada acarreada que corresponde a neumáticos que salen solamente por separación producto del exceso de TKPH, y de la misma manera se tiene para el mes siguiente 0.0068 usd/ton.

Figura 33

Resultado de costo de neumáticos de la flota Cat 797F por tonelada.



Nota: Resultados de costos unitarios respecto a neumáticos de la flota Cat 797F por cada tonelada acarreada, los costos solo representan neumáticos que fueron retirados por separación por calor.

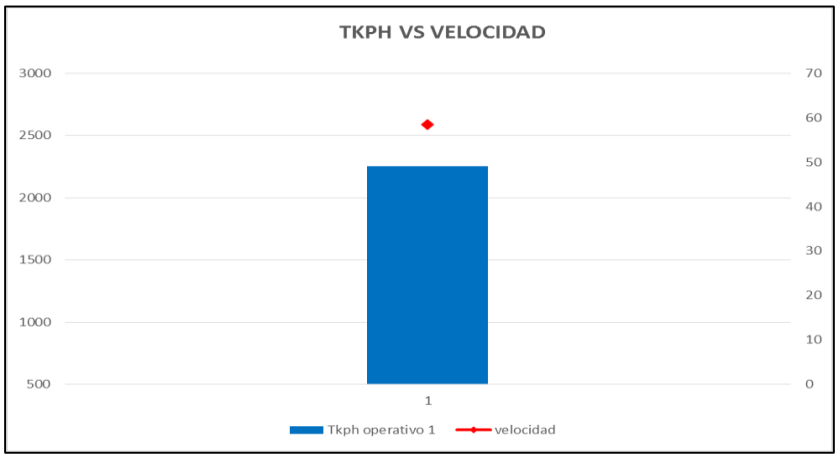
4.4. VELOCIDAD VS TKPH

La velocidad de los volquetes es un indicador de gran importancia a la hora de medir el TKPH por lo que en los siguientes gráficos analizamos el comportamiento de la velocidad respecto al TKPH y sus influencia, los viajes analizados para este segmento son solamente considerados aquellos que sobrepasaron el límite de 2036 de TKPH de acuerdo al máximo del neumático.

Para la ruta de acarreo R-01 con la flota 980E de acuerdo al análisis anterior solo se tiene un evento que sobrepasa el límite de TKPH siendo este valor de 2253 alcanzando una velocidad de 58 km/h, en la siguiente Figura 34 visualizamos los datos analizados.

Figura 34

Análisis de velocidad vs TKPH, para R-01 flota Komatsu 980E

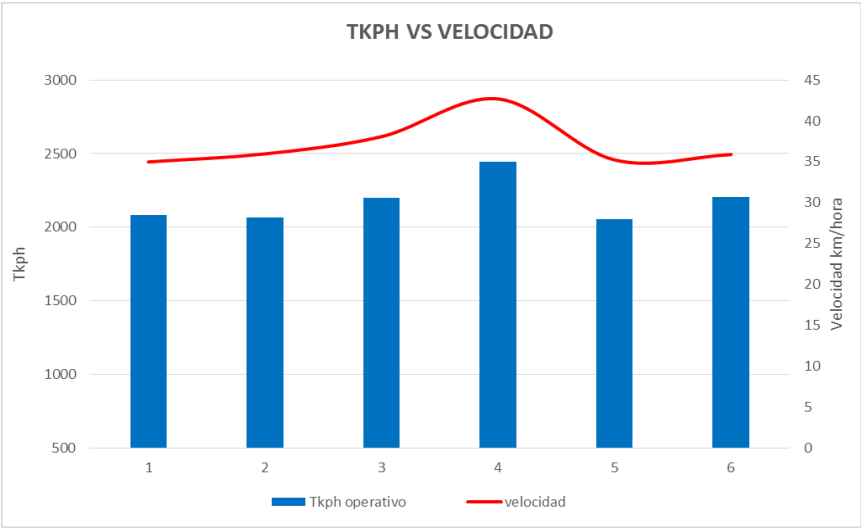


Nota: En la gráfica se muestra el único viaje que sobrepasa el límite de TKPH para la flotaK980E en la ruta de acarreo R-01.

En cuanto a los volquetes de la flota Cat 797F en la misma ruta se registraron 06 viajes que sobrepasan el TKPH y también se alcanza un TKPH máximo de 2442 siendo esta de 20% encima de lo establecido como máximo, asimismo se obtiene una velocidad máxima de 42 km/hr la variación de velocidades y TKPH lo vemos en La Figura 35.

Figura 35

Análisis de velocidad vs TKPH, para R-01 flota Cat797F.

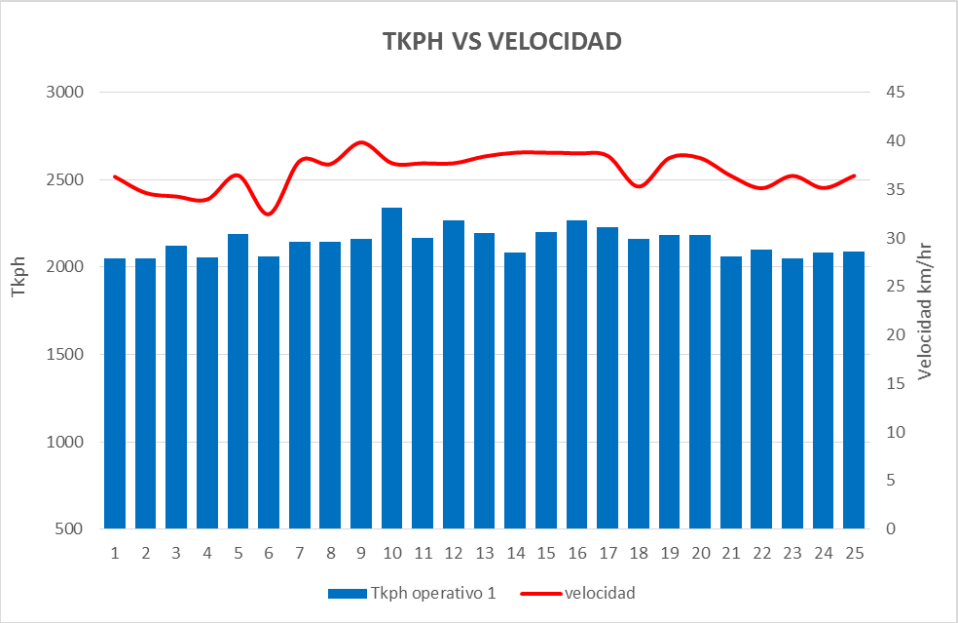


Nota: En la figura los 06 viajes que sobrepasan el límite de TKPH del neumático para la flota Cat 797F en R-01 y su influencia de velocidad.

En la ruta 02 para el análisis de P04-chancadora solamente se consideraron viajes que sobrepasan el límite de TKPH para la flota de volquetes Cat 797F, en el cual 25 volquetes superaron el límite, alcanzando así un máximo de 2341 estando en un 15% por encima del target de TKPH del neumático, asimismo se alcanza una velocidad máxima de 39 km/hr, el análisis TKPH vs velocidad lo vemos a continuación en la Figura 36.

Figura 36

Análisis de velocidad vs TKPH, para R-02 flota Cat797F.

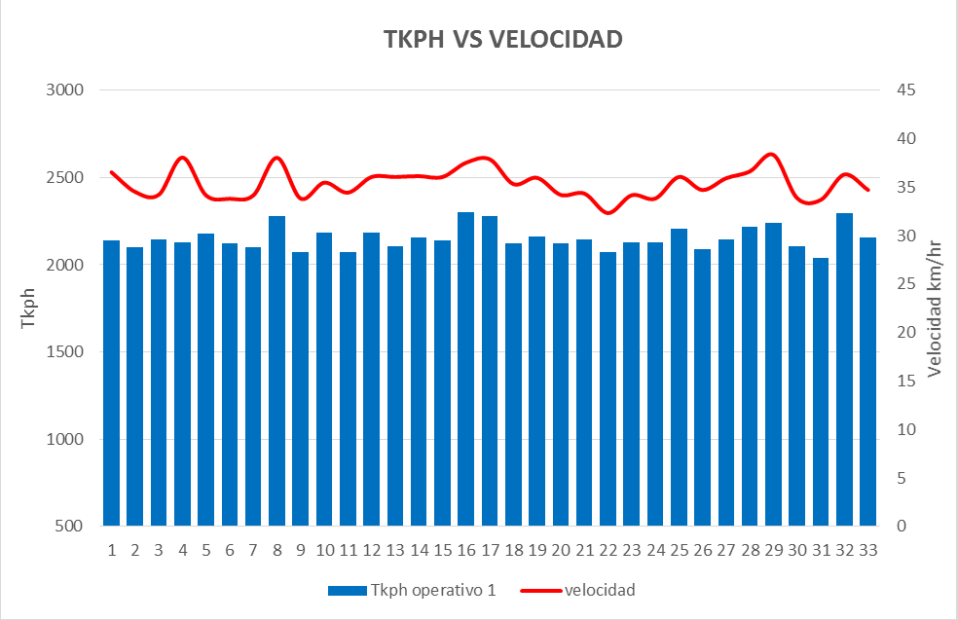


Nota: Para esta ruta de acarreo se consideran los 25 viajes que sobrepasa el límite de TKPH del neumático correspondiente para la flota Cat 797F.

En la ruta R-03 considerada desde la P05 hasta chancadora se tiene un tramo con alto TKPH por lo que existe mayor cantidad de eventos que sobrepasan los límites máximos de TKPH del neumático, siendo así que para la flota K980E se tiene 33 eventos, registrándose como máximo un TKPH de 2300 estando 13% por encima del límite establecido, del mismo modo se obtuvo una velocidad máxima de 38 km/h, el análisis de TKPH respecto a la velocidad lo vemos en la Figura 37.

Figura 37

Análisis de velocidad vs TKPH, para R-03 flota K980E.

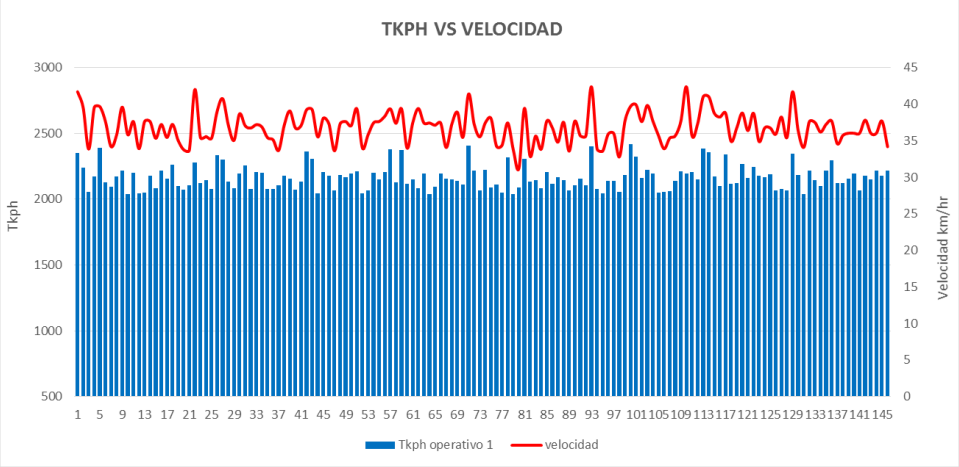


***Nota*:** En la gráfica el registro de 33 viajes que sobrepasa el límite de TKPH para la flota k980E en R-03.

Para esta misma ruta R-03 con la flota Cat 797F se obtuvieron la más alta cantidad de eventos durante las 7 semanas, siendo un total de 146 que sobrepasan el límite, considerándose dentro de ellas como el valor máximo de TKPH alcanzado de 2415 estando 20% por encima del target de TKPH del neumático, de la misma manera se alcanza una velocidad máxima de 42 km/hr. En la Figura 36 siguiente podemos ver el análisis de TKPH vs velocidad.

Figura 38

Análisis de velocidad vs TKPH, para R-03 flota Cat 797F.



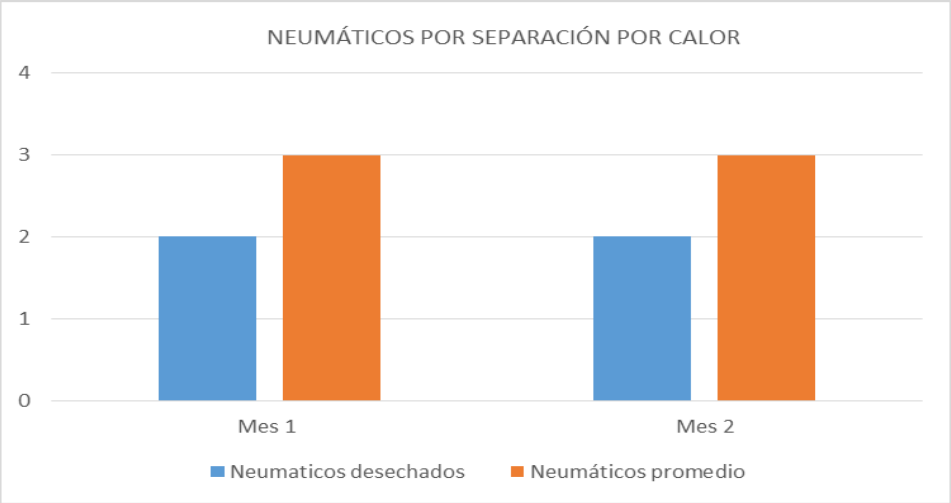
***Nota*:** En la imagen se muestra únicamente los 146 viajes que sobrepasan el límite de TKPH para la flota Cat 797F en R-03.

4.5. ANÁLISIS NEUMÁTICOS

El promedio de neumáticos de tamaño 59/80R63 retirados por separación térmica corresponde a 3 neumáticos por mes, por lo que mediante la aplicabilidad de TKPH por ruta se obtienen los siguientes resultados mostrados en la Figura 39.

Figura 39

Neumáticos por separación vs promedio.



Nota: Neumáticos que son retirados por separación por calor vs promedio.

En cuanto a las horas de vida de los neumáticos se tiene un promedio evaluándose los meses anteriores de 5511 horas correspondiéndose este valor a los retirados únicamente por desgaste natural, pero cuando ocurrieron los eventos por separación térmica debido a un exceso de TKPH se obtuvieron los siguientes resultados, para la semana 1 se evidencia que el neumático uno sale con 3444 horas, el neumático dos 4675 horas, y en cuanto corresponde al mes 2 se evidenció la salida de los neumáticos con 4534 y 4955 horas respectivamente, asimismo se evidencia pérdidas totales por estos neumáticos de 49,301 dólares únicamente por neumáticos con exceso de TKPH , en la Tabla 17 podemos apreciar más detalles de los neumáticos en salida únicamente por esta modalidad de separación por calor.

Tabla 17

Análisis de velocidad vs TKPH, para R-03 flota K980E.

EQUIPO	DISEÑO	HORAS	HORAS PROMEDIO	DIFERENCIA HORAS	PÉRDIDAS
V-133	VRPS	3444	5511	2067	27410.6
V-130	VRPS	4675	5511	836	7744.8
V-136	XDR3	4534	5511	977	9406.9
V-160	XDR3	4955	5511	556	4739.2

***Nota*:** Pérdidas por neumáticos producto del TKPH elevado.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. TKPH DE RUTAS DE ACARREO

Las 3 rutas de acarreo en estudio todas con un mismo punto de llegada la chancadora primaria, presentan una evolución semanal de TKPH debido a los movimientos de avance en los frentes de minado pudiendo incrementarse o disminuirse, pero claramente podemos concluir mencionando que la ruta R-01 presenta un menor TKPH debido que la distancia de ciclo es inferior a las otras dos rutas, la ruta R-02 se encuentra con un TKPH promedio de 1286 siendo la segunda ruta más corta para acarrear mineral y por último la ruta R-03 es la ruta más larga y llega en lo general a presentar un TKPH promedio de 1604.5. El conocimiento del TKPH de las rutas permite una toma de decisiones rápida al momento de asignar un volquete que haya sobrepasado su TKPH del neumático asignándole a una ruta menos penalizante y poder reducir las altas temperaturas de sus neumáticos y evitar las separaciones térmicas de la estructura interna.

5.2. TKPH OPERATIVO

El análisis de TKPH operativo es evaluado constantemente mientras los volquetes se encuentran acarreando, de tal forma se concluye que para los volquetes de la flota Komatsu 980E sus índices promedios de sobrepasar los TKPH nominales del neumático es de 1.89 por cada volquete y por cada ruta de acarreo, en cuanto a la flota Cat 797F su índice promedio es de 3.28 veces por cada volquete y por cada ruta, el cálculo solo corresponde para los meses en estudio, de la misma manera también se concluye que la ruta R-01 es la que menor excesos de TKPH presentan debido a su corta distancia, también la mayor cantidad de eventos de TKPH es presenciada en la ruta R-03, por lo que al identificar estos exceso se actúa con rapidez al hacer un cambio de frente de minado a los volquetes a una ruta de acarreo con menor TKPH.

5.3. COSTOS DE ACARREO

La distribución de costos operativos sin duda es representado en su mayor parte 50% por costos de acarreo por lo que dentro de ella se subdividen en materiales de refacciones mecánicas y costos de mantenimiento 42%, diésel 39%, llantas 10% y mano de obra 9%, pero cuando nos referimos a neumáticos para el estudio solo consideramos neumáticos de medida 59/80R63 y que salen a *scrap* producto de altas temperaturas que son provocados a consecuencia de excesos de TKPH siendo esta su distribución, por desgaste natural 87%, separación térmica 11% y cortes 2%, los que son retirados por separación térmica representa mensualmente a 3 neumáticos que sin duda mediante la aplicabilidad del TKPH se logra la reducción del promedio mensual siendo para estos dos meses de estudio 2 neumáticos que salen por esa condición, del mismo modo se puede concluir que solo para la aplicación en rutas de mineral se reduce un 33% de la salida por motivo de alta temperatura, generando ahorros de 60,560.00 usd.

5.4. VELOCIDAD VS TKPH

Una de las variables para el cálculo de TKPH es la velocidad de los volquetes por lo que al analizar solamente las velocidades de los que sobrepasan el límite de TKPH del neumático se puede notar que los volquetes en la ruta R-01 solamente registran 06 eventos con la flota Cat 797F y 01 con la flota komatsu 980E por lo que la distancia en su ruta es corta y consecuentemente su índice de TKPH se mantiene por debajo, en cambio para la R-03 los eventos aumentan drásticamente generándose 33 eventos para la flota Komatsu 980E donde los que sobrepasan el límite de TKPH tienen una velocidad promedio de 33 km/h, de la misma forma para los volquetes Cat 797F se obtienen 146 ciclos por encima del nominal del neumático estos eventos superiores registran una velocidad promedio de 36 km/h. como resultado se ve que a mayor distancia y una mayor velocidad el límite de TKPH puede ser superado notablemente poniendo en riesgo los

neumáticos y sus características estructurales para los cuales fueron diseñados.

5.5. TIEMPO DE VIDA DE LOS NEUMÁTICOS

Sin duda los neumáticos que son retirados por consecuencia de separación térmica no llegan a cumplir sus horas de vida promedio, para el caso de estudio la hora promedio corresponde a 5511 horas, durante los dos meses de estudio se nota que en promedio solo se llega a la utilización de 80% respecto a las horas de vida de un neumático, por lo que en promedio 1109 horas del neumático (20%) son considerados como pérdida por consecuencia de un retiro por alta temperatura.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

- Respecto a los costos unitarios de acarreo y transporte por cada tonelada de mineral para el mes 1 (0.00624 usd/ton) se logra una reducción de 10% respecto al promedio mensual (0.00694 usd/ton), y en consiguiente para el mes 2 se logra una disminución de 8.86% con respecto al promedio, cumpliéndose con el objetivo principal del estudio.

- En cuanto al impacto del TKPH en la producción no es posible cuantificarlo mediante la aplicación de las dos flotas de volquetes estudiadas, es necesario medir su impacto con todos los equipos involucrados y considerarse también rutas de desmonte.

- Se logra identificar el TKPH para la ruta R-01 ubicada en fase 07 y se tiene un promedio de TKPH de 1202.50, la ruta R-02 en fase 07 es de 1286.50 y finalmente la ruta ubicada en fondo de mina fase 06 tiene un TKPH promedio de 1704.70, información fundamental para el cambio de ruta en caso se supere el TKPH nominal del neumático, considerándose el cambio a una de menor TKPH respecto a la ruta que está circulando.

- En cuanto al impacto de TKPH en el tiempo de vida de los neumáticos se logra que el 33% de estos no sean retirado por separación térmica, por consiguiente este porcentaje pasa a cumplir con su tiempo de vida promedio, en tal sentido su tiempo de vida es incrementado en un 20 % correspondiente a 1109 horas adicionales, ahorrándose 60,560.00 usd equivalente a 5.91 usd por hora.

- Del análisis de eventos que sobrepasan el límite del TKPH del neumático se concluye que la flota komatsu 980E alcanza un índice de incidencia de 1.89, mientras que para la flota Cat 797F su índice de incidencia corresponde a 3.28, para ambos casos es considerado en cada ruta y para cada volquete de manera independiente, de la misma manera no es de manera proporcional para cada ruta, si no se tiene que considerarse las distancias y velocidades.

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

En base al análisis realizado durante el proceso de ejecución de la tesis se recomienda los siguientes:

- Implementar un área dedicado exclusivamente a la búsqueda de la mejora continua aprovechando las herramientas tecnológicas que se tienen al alcance.

- Mediante el análisis realizado se recomienda implementar el análisis de TKPH para las diferentes rutas de manera permanente considerándose rutas de acarreo de mineral, óxidos y desmonte.

- Continuar con las capacitaciones constantes a los colaboradores en temas de análisis de datos y búsqueda de oportunidades de mejora.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUDELO, J. J. (2002). *Diseño geométrico de vías.* UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, Medellin.

ALBORNOZ, R. I. (2022). *Modelos predictivos basados en técnicas de aprendizaje de máquinas para el análisis de procesos de desgaste en neumáticos de camiones mineros (Tesis).* UNIVERSIDAD DE CHILE, Chile.

ALVARADO, Y. & MALPARTIDA, H. (2019). *Sistema de gestión de mantenimiento para la durabilidad de los neumáticos o.t.r. para camiones de acarreo en mina con soporte informático. Marcona (Tesis).* UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN, Huánuco.

BLANCO, J. R. (2016). *Incremento de la vida útil de neumáticos para reducir costos de operación en camiones Caterpillar 797F en Toromocho - Chinalco Perú (Tesis).* UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, Moquegua.

BRIDGESTONE (2002). *Mantenimiento neumático fuera de carretera.* BRIDGESTONE CORPORATION, Tokyo.

BRIDGESTONE (2022). *Data book of the road tires.* BRIDGESTONE CORPORATION, Japan.

CAJAVILCA, G. J. (2015). *Implementación del sistema Michelin earthmover management system evolution 2 en flota de volquetes mina Cuajone (Tesis).* UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN, Arequipa.

CATERPILLAR (2018). *Caterpillar performance handbook.* CAT CORPORATION, Illinois.

CONAE. *Manual de información técnica de neumáticos*. Dirección de transporte Conae, México D.F.

CONDORI, O. (2018). *Investigación científica en educación*. JULIACA.

CRUZ, C. M. (2021). *Aplicación del análisis TKPH para determinar los neumáticos OTR óptimos para la operación en la flota de acarreo Caterpillar 793F – mina constancia (Informe).* UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, Moquegua.

GAGLUIFFI E., P. & VERA HOLGADO (2018). *Caracterización petromineralógica de los yacimientos Toquepala y Cuajone*. INGEMMET, boletín serie B: geología económica.

GUTIÉRREZ, E. O. (2020). *Implementación de un sistema tpms y su impacto en la vida útil de neumáticos gigantes de camiones caterpillar 793 en una empresa minera, 2020. (Tesis).* UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE, Trujillo.

HERNANDEZ, S. R., FERNANDEZ, C. C., & PILAR, B. L. (2014). *Metodología de investigación. 5ta. México:* INTERMAERICANA EDITORS S.A.

LIVIAZ, H. R. (2020). *Diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la eficiencia en tiempo de vida de los neumáticos 53/80r63 Michelin en camiones Komatsu 930e, en la empresa minera "las bambas (Tesis).* UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO, Trujillo.

MICHELIN (2009) *Technical data earthmover tyres - Edición 2009.* Michelin the corporation, NORTH AMERICA.

MINAYA, M. A. (2021). *Implementación de la metodología six sigma para mejorar la vida útil de neumáticos de camiones mineros en el proyecto mina justa (Tesis).* UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN, Arequipa.

MORALES, J. I. (2020). *Aumento de vida útil de los neumáticos para la flota de transporte de minera centinela (tesis).* UNIVERSIDAD DE CHILE, Chile.

NEW ZELAND GOVERNMENT (2015). *Health and safety at Opencast Mines, Alluvial Mines and Quarries, New Zeland*.

PEREZ, S. (2018) *Impacto ambiental de la Compañía minera Southern Perú Cooper Corporation en América Latina: Una aproximación histórica de comienzos del siglo XX a la actualidad,* Revista geográfica de América central, 61E (3), 489-503. http://dx.doi.org/10.15359/rgac.61-3.25.

RUNGE, I. (1998). *Mining economics and strategy*. Society for mining, metallurgy, and exploration, Inc, UNITED STATE OF AMERICA.

SALDAÑA, A. D. (2013). *Productividad en el ciclo de carguío y acarreo en el tajo Chaquicocha bajo clima severo - minera Yanacocha (Tesis).* UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA, Lima.

TAQUIMA, M. A. (2017). *Eficiencia en el rendimiento de neumáticos de camiones gigantes mediante el sistema de administración de movimiento de tierra Michelin MEMS. evolución 2 mina Antapaccay." (Informe).* UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AUGISTÍN, Arequipa.

TEODORO, C. A. (2019). *Plan de monitoreo para reducir costos de consumo de neumáticos en operación de camiones Komatsu 930E – 4SE minera las Bambas. (Tesis).* UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN, Arequipa.

ANEXOS: TKPH

Anexo 1

Coeficiente de ajuste (α)

Temperatura Ambiente		Neumático Convencional		Neumático Radial	
		Sección del Neumático		Sección del Neumático	
°C	°F	2700 y menos	3000 y mas	2700 y menos	3000 y mas
14	57	1.144	1.120	1.240	1.216
15	59	1.138	1.115	1.230	1.208
16	61	1.132	1.110	1.220	1.198
18	64	1.120	1.100	1.000	1.180
20	68	1.108	1.090	1.180	1.162
22	72	1.010	1.080	1.160	1.144
21	75	1.008	1.070	1.140	1.126
26	779	1.077	1.060	1.120	1.108
28	82	1.060	1.050	1.100	1.090
30	86	1.048	1.040	1.080	1.072
32	90	1.036	1.030	1.060	1.054
34	93	1.024	1.020	1.040	1.036
36	97	1.012	1.010	1.020	1.018
38	100	1.000	1.000	1.000	1.000
40	104	0.988	0.990	0.980	0.982
42	108	0.976	0.980	0.960	0.964
44	111	0.964	0.970	0.940	0.946
46	115	0.952	0.960	0.920	0.928
48	118	0.940	0.950	0.900	0.910
50	122	0.928	0.940	0.880	0.892

***Nota*:** Mantenimiento de neumático fuera de carretera Bridgestone.

Anexo 2

Coeficiente K de distancia

K1 = Coeficientes de distancia - Michelin					
L (km)	L (ml)	K 1	L (km)	L (ml)	K 1
			26	16.20	1.20
			27	16.80	1.21
			28	17.40	1.21
			29	18.00	1.21
5	3.1	1.0	30	18.60	1.21
6	3.7	1.0	31	19.30	1.21
7	4.3	1.1	32	19.90	1.21
8	5.0	1.1	33	20.50	1.22
9	5.6	1.1	34	21.10	1.22
10	6.2	1.1	35	21.70	1.22
11	6.8	1.1	36	22.40	1.22
12	7.4	1.1	37	23.00	1.22
13	8.0	1.2	38	23.60	1.22
14	8.7	1.2	39	24.20	1.22
15	9.3	1.2	40	25.00	1.22
16	9.9	1.2	41	25.50	1.23
17	10.6	1.2	42	26.10	1.23
18	11.2	1.2	43	26.70	1.23
19	11.8	1.2	44	27.30	1.23
20	12.4	1.2	45	28.00	1.23
21	13.0	1.2	46	28.60	1.23
22	13.7	1.2	47.0	29.2	1.2
23	14.3	1.2	48.0	29.8	1.2
24	14.9	1.2	49.0	30.4	1.2
25	15.5	1.2	50.0	31.0	1.2

***Nota*:** Technical Data Earthmover Tyres.

Anexo 3

Coeficiente K de temperatura

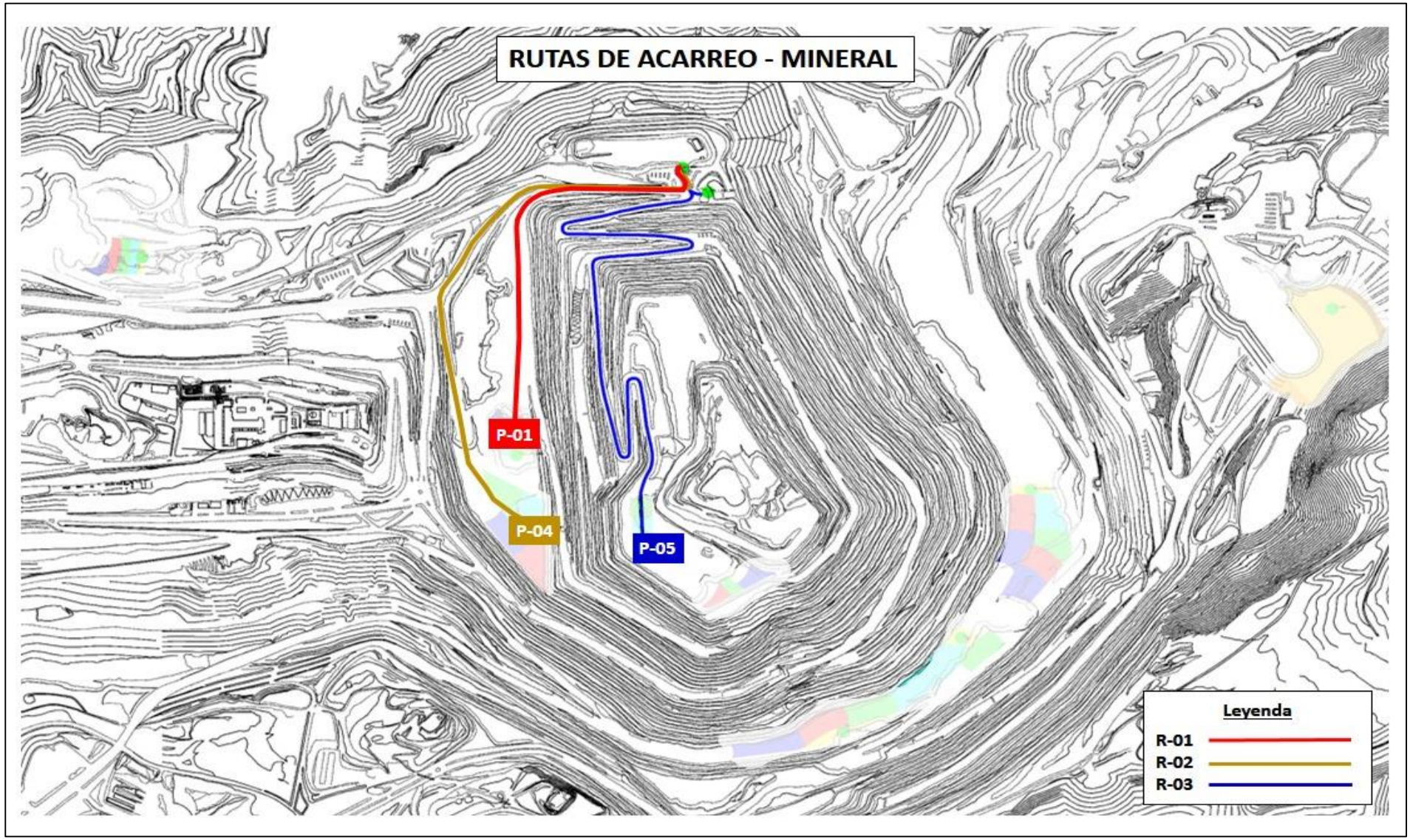
Vmedia (Km/h)	*Temperatura ambiente(°C)*						
	20	22.5	25	27.5	30	35	38
1	0,690	0,721	0,755	0,792	0,833	0,930	1
2	0,690	0,721	0,755	0,792	0,833	0,930	1
3	0,690	0,721	0,755	0,792	0,833	0,930	1
4	0,690	0,721	0,755	0,792	0,833	0,930	1
5	0,690	0,721	0,755	0,792	0,833	0,930	1
6	0,690	0,721	0,755	0,792	0,833	0,930	1
7	0,690	0,721	0,755	0,792	0,833	0,930	1
8	0,690	0,721	0,755	0,792	0,833	0,930	1
9	0,690	0,721	0,755	0,792	0,833	0,930	1
10	0,690	0,721	0,755	0,792	0,833	0,930	1
11	0,708	0,739	0,771	0,807	0,845	0,936	1
12	0,727	0,756	0,787	0,821	0,857	0,941	1
13	0,742	0,769	0,799	0,832	0,866	0,945	1
14	0,757	0,783	0,812	0,842	0,875	0,949	1
15	0,768	0,794	0,821	0,851	0,882	0,952	1
16	0,780	0,805	0,831	0,859	0,889	0,955	1
17	0,790	0,814	0,839	0,866	0,895	0,958	1
18	0,800	0,823	0,847	0,873	0,900	0,960	1
19	0,808	0,830	0,853	0,879	0,905	0,963	1
20	0,816	0,838	0,86	0,884	0,909	0,964	1
21	0,824	0,844	0,866	0,889	0,913	0,966	1
22	0,830	0,850	0,871	0,893	0,917	0,967	1
23	0,836	0,855	0,876	0,897	0,920	0,969	1
24	0,842	0,861	0,881	0,901	0,923	0,970	1
25	0,847	0,865	0,885	0,905	0,926	0,971	1
26	0,852	0,870	0,889	0,908	0,929	0,972	1

***Nota*:** Technical Data Earthmover Tyres.

ANEXOS: RUTAS DE ACARREO

Anexo 4

Rutas de acarreo



***Nota*:** Rutas de acarreo – Ingenieria Mina.

Anexo 5

Tabla de TKPH nominal del neumático.

Tire Size	Pattern	LI/SS	Star Rating	TRA Code or Application	Spec	TKPH	TMPH	Approximate Inflated Dimensions				OTD	imun Dual Spa	Recomended Rim/Flange Height inch
								OD mm - inch	OW mm - inch	SLR mm - inch	SLW mm - inch	mm - inch	mm - inch	
50/80R57 Tubeless	VREV		★2	E4	E2A E1A E3A	992 1122 1333	679 769 913	3595 141.5	1218 48	1582 62.3	4385 54.5	95	1430 56.3 1450 57.1	32.00/6.0 29.00/6.0 34.00/5.0 34.00/6.0
	VREV		★2	E4	E2A E1A E3A	992 1122 1333	679 769 913	3595 141.5	1218 48	1555 61.2	1407 55.4	95	1453 57.2	32.00/6.0 (34.00/5.0) (34.00/6.0) (29.00/6.0)
50/90R57 Tubeless	VRPS		★2	E4	E2A E1A E3A	884 1092 1278	605 748 875	3840 151.2	1283 50.5	1702 67	1471 57.9	107	1562 61.5	32.00/6.0 34.00/6.0 32.00/6.5 34.00/6.5
60/80R57 Tubeless	VSDL			L5	D2A			3952 155	1491 58.7	1738 68.4	1755 69.1	118		47.00/6.0
63"														
53/80R63 Tubeless	VRPS		★2	E4	E2A E1A E3A	974 1150 1408	667 788 964	3828 150.7	1304 51.3	1657 65.2	1511 59.5	110	1626 64	36.00/5.0
	VRPS		★2	E4	E2A E1A E3A	1080 1276 1562	740 874 1070	3814 150.2	1311 51.6	1616 63.6	1557 61.3	110	1659 65.3	(38.00/5.0)
59/80R63	VRF		★2	E3	E1A E3A	1784 2050	1222 1404	4022 158.3	1467 57.8	1737 68.4	1714 67.5	71	1762 69.4	44.00/5.0
	VRF		★2	E4	E2A E1A E3A	1228 1515 1773	841 1038 1214	4017 158.1	1467 57.8	1710 67.3	1712 67.4	116	1780 70	44.00/5.0
					E2A E1A E3A	1160 1431 1675	795 980 1147							41.00/5.0
	VRPS		★2	E4	E2A E1A E3A	1228 1515 1773	841 1038 1214	4017 158.1	1467 57.8	1725 67.9	1701 67	1747 68.8		44.00/5.0
					E2A E1A E3A	1160 1431 1675	795 980 1147							41.00/5.0
	VREV		★2	E4	E2A E1A E3A	1410 1740 2036	996 1192 1395	4021 158.3	1467 57.8	1727 68	1701 67	118	1747 68.8	44.005.0

***Nota*:** Bridgestone data book – off the road tires.

ANEXOS: TIEMPOS CICLOS

Anexo 6

Tiempos de ciclos de acarreo

PALA	DESCARGA	DIST.	DIST. Eq.	DURACIÓN	VACIO	ESPERANDO	CUADRANDO	CARGANDO	ACARREANDO	ESPERANDO DESCARGAR	RETROCEDIENDO	DESCARGANDO
P01												
	CHANCADORA 1	1,087	1,368	19.1	4.7	1.6	0.5	3.4	4.7	1.8	1.1	1.4
P04												
	CHANCADORA 1	1,378	1,654	18.8	5.9	1.8	0.2	2.2	4.8	1.8	1.1	1.1
P05												
	CHANCADORA 1	4,073	9,663	38.8	11.6	2.1	0.3	2.3	17.9	2.1	1.2	1.4

***Nota*:** Tiempos semana 1.

Anexo 7

Tiempos de ciclos de acarreo

PALA	DESCARGA	DIST.	DIST. Eq.	DURACIÓN	VACIO	ESPERANDO	CUADRANDO	CARGANDO	ACARREANDO	ESPERANDO DESCARGAR	RETROCEDIENDO	DESCARGANDO
P01												
	CHANCADORA 1	1,183	1,429	21.1	6.4	2.0	0.6	3.4	4.7	2.1	0.8	1.1
P04												
	CHANCADORA 1	1,372	1,580	21.7	7.4	1.8	0.3	2.4	4.9	2.5	1.2	1.2
P05												
	CHANCADORA 1	3,929	6,782	38.6	11.5	1.5	0.3	2.4	18.6	2.2	1.0	1.1

***Nota*:** Tiempos semana 2.

Anexo 8

Tiempos de ciclos de acarreo

PALA	DESCARGA	DIST.	DIST. Eq.	DURACIÓN	VACIO	ESPERANDO	CUADRANDO	CARGANDO	ACARREANDO	ESPERANDO DESCARGAR	RETROCEDIENDO	DESCARGANDO
P01												
	CHANCADORA 1	1,371	1,632	21.5	6.0	1.9	0.7	3.4	5.3	2.0	0.9	1.2
P04												
	CHANCADORA 1	1,731	2,234	21.9	6.8	1.3	0.2	2.0	6.6	2.4	1.5	1.0
P05												
	CHANCADORA 1	4,066	9,343	39.8	12.3	1.5	0.3	2.1	18.9	2.1	1.2	1.5

***Nota*:** Tiempos semana 3.

Anexo 9

Tiempos de ciclos de acarreo

PALA	DESCARGA	DIST.	DIST. Eq.	DURACIÓN	VACIO	ESPERANDO	CUADRANDO	CARGANDO	ACARREANDO	ESPERANDO DESCARGAR	RETROCEDIENDO	DESCARGANDO
P01												
	CHANCADORA 1	1,281	1,544	20.6	5.4	1.6	0.2	3.1	5.7	2.4	1.1	1.1
P04												
	CHANCADORA 1	1,768	2,390	21.6	6.7	1.3	0.2	2.2	6.3	2.4	1.5	1.1
P05												
	CHANCADORA 1	3,856	9,088	40.4	12.7	1.4	0.3	2.2	18.6	2.4	1.4	1.4

***Nota*:** Tiempos semana 4.

Anexo 10

Tiempos de ciclos de acarreo

PALA	DESCARGA	DIST.	DIST. Eq.	DURACIÓN	VACIO	ESPERANDO	CUADRANDO	CARGANDO	ACARREANDO	ESPERANDO DESCARGAR	RETROCEDIENDO	DESCARGANDO
P01												
	CHANCADORA 1	1,346	1,574	21.1	6.5	1.7	0.3	3.1	4.5	1.7	0.7	2.5
P04												
	CHANCADORA 1	1,753	2,435	22.5	7.7	1.3	0.3	1.8	5.7	2.4	0.6	2.7
P05												
	CHANCADORA 1	3,314	6,657	38.7	13.3	1.9	0.4	2.9	16.2	1.7	0.9	1.5

***Nota*:** Tiempos semana 5.

Anexo 11

Tiempos de ciclos de acarreo

PALA	DESCARGA	DIST.	DIST. Eq.	DURACIÓN	VACIO	ESPERANDO	CUADRANDO	CARGANDO	ACARREANDO	ESPERANDO DESCARGAR	RETROCEDIENDO	DESCARGANDO
P01												
	CHANCADORA 1	1,688	1,939	20.2	4.9	1.9	0.6	3.2	5.0	2.2	1.3	1.2
P04												
	CHANCADORA 1	1,608	2,111	22.2	7.0	1.0	0.4	2.2	5.8	2.7	1.9	1.1
P05												
	CHANCADORA 1	3,814	9,608	42.3	12.6	2.8	0.7	3.0	18.4	2.2	1.4	1.3

***Nota*:** Tiempos semana 6.

Anexo 12

Tiempos de ciclos de acarreo

PALA	DESCARGA	DIST.	DIST. Eq.	DURACIÓN	VACIO	ESPERANDO	CUADRANDO	CARGANDO	ACARREANDO	ESPERANDO DESCARGAR	RETROCEDIENDO	DESCARGANDO
P01												
	CHANCADORA 1	1,628	1,884	21.3	6.1	2.0	0.7	3.4	4.7	1.8	1.3	1.2
P05												
	CHANCADORA 1	4,100	10,228	40.3	11.8	1.8	0.4	2.1	19.3	1.9	1.5	1.5

***Nota*:** Tiempos semana 7.

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	: Eugenio Basilio Davila Paca
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N°	: 70495112
Correo electrónico	: Davilapacabasilio@gmail.com
Teléfono/Celular	: 930498696

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 : "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"
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : 1.05.06
c) Fecha de publicación : 20 de diciembre del 2022

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : Christ Jesus Barriga Paria
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 44331713
c) ORCID : 0000 – 0002 – 7130 – 9297

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 70495112
NOMBRES Y APELLIDOS : Eugenio Basilio Davila Paca

"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 : 70495112

NOMBRES Y APELLIDOS : Eugenio Basilio Davila Paca

FECHA : 20 de diciembre del 2022

