

**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Ciencias e Ingeniarías Físicas y Formales**  
**Escuela Profesional de Ingeniería de Minas**



**ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA DE RENDIMIENTO DE NEUMÁTICOS DE DIMENSIÓN 59/80R63 EN VOLQUETES CATERPILLAR 797F Y KOMATSU 980E-4 EN UNA MINA DEL SUR DEL PERÚ.**

Tesis presentada por el Bachiller:

**Postigo Bellido, Nicolás**

Para optar el Título Profesional de:

**Ingeniero de minas**

Asesor:

**Dra. López Casaperalta Patricia Yaneth**

**Arequipa - Perú**

**2022**

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**INGENIERIA DE MINAS**  
**TITULACIÓN CON TESIS**  
**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 03 de Diciembre del 2021

**Dictamen: 001439-C-EPIM-2021**

Visto el borrador del expediente 001439, presentado por:

**2014220271 - POSTIGO BELLIDO NICOLAS**

Titulado:

**ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA DE RENDIMIENTO DE NEUMÁTICOS DE DIMENSIÓN 59/80R63  
EN VOLQUETES CATERPILLAR 797F Y KOMATSU 980E-4 EN UNA MINA DEL SUR DEL PERÚ.**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**3119 - REATEGUI ORDOÑEZ FULTON CARLOS PASTOR  
DICTAMINADOR**



**7873 - DELGADO PONCE MARIA AZUCENA  
DICTAMINADOR**



**9571 - BERNEDO TITO EDWIN JOSE  
DICTAMINADOR**



*Dedicatoria*

*A mis padres, Carlos Postigo y Elizabeth Bellido, mi hermana Daniela Postigo y mi abuela  
Rosario Lopera, por su apoyo incondicional en el camino para lograr mis metas  
personales y profesionales.*



## *Agradecimientos*

*Mis más sinceros agradecimientos a la Jefatura General de Mina de la unidad minera de estudio y a los ingenieros que confiaron en mí, por el apoyo desinteresado y por la enseñanza que me brindaron durante mi año de becario.*

*Al personal de Neuma Perú S.A., así como al Lic. Javier Kuong de Bridgestone por su asesoramiento y apoyo incondicional. A los asesores particulares por su acompañamiento durante el desarrollo de la presente investigación.*

*Finalmente agradezco a los docentes de la Escuela de Ingeniería de Minas por impartir sus conocimientos durante nuestro paso en la Universidad Católica de Santa María, brindándonos una formación integral.*

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se analizó el rendimiento de los neumáticos de dimensión 59/80R63 utilizados por las flotas de volquetes Caterpillar 797F y Komatsu 980E-4 en una mina al Sur del Perú, debido a que se detectó que muy pocos neumáticos llegaban al final de su vida útil y la mayoría eran desechados por daños operacionales. Por ello, se determinó analizar la situación y proponer medidas para incrementar el rendimiento de dichos neumáticos, para de esa manera reducir el costo operacional de los volquetes.

Para la realización del presente trabajo se realizó una investigación de tipo aplicada, esperando mejorar la situación encontrada con las propuestas planteadas; utilizando como población todos los neumáticos de dimensión 59/80R63 desechados por la empresa minera desde enero de 2018 hasta noviembre de 2019. Se utilizó la técnica documental con una base de datos como instrumento principal, además de informes y documentos relacionados; también se utilizó la técnica de observación durante el periodo que el investigador laboró en la unidad minera.

Durante el análisis de la situación de la unidad minera, se encontraron diferentes factores los cuales perjudicaban la vida útil de los neumáticos tales como: la presión, temperatura, operación del equipo, rotación de neumáticos, entre otros. De esta manera, se aplicaron diversas medidas correctivas tomando en consideración todos los factores identificados anteriormente. Gracias a las medidas adoptadas, se logró incrementar el rendimiento en horas de los neumáticos 59/80R63, además de reducir el costo remanente de los neumáticos desechados y lograr una reducción en el costo por hora de cada neumático.

### Palabras Clave

Optimización, neumáticos, rendimiento, dimensión 59/80R63.

## ABSTRACT

In the present research work, the performance of the 59 / 80R63 dimension tires used by the Caterpillar 797F and Komatsu 980E-4 dump truck fleets in a mine in southern Peru was analyzed, since it was detected that very few tires reached the end of their useful life and most were scrapped due to operational damage. Therefore, it was determined to analyze the situation and propose measures to increase the performance of those tires, in order to reduce the operating cost of the dump trucks.

To carry out this work, an applied research was carried out, hoping to improve the situation found with the proposed proposals; using as population all the tires of size 59 / 80R63 discarded by the mining company from January 2018 until November 2019. The documentary technique was used with a database as the main instrument, in addition to related reports and documents; The observation technique was also used during the period that the researcher worked in the mining unit.

During the analysis of the situation of the mining unit, different factors were found which impaired the useful life of the tires, such as: pressure, temperature, equipment operation, tire rotation, among others. In this way, various corrective measures were applied taking into consideration all the factors identified above. Thanks to the measures adopted, it was possible to increase the performance in hours of the 59/80R63 tires, in addition to reducing the remaining cost of discarded tires and achieving a reduction in the cost per hour of each tire.

### Keywords

Optimization, tires, performance, 59/80R63 dimension.

## INTRODUCCIÓN

Como toda empresa, especialmente en el mercado de commodities, siempre se busca la reducción de costos para incrementar el beneficio y para lograrlo se deben buscar soluciones eficientes a sus problemas. En la minería el producto final, en este caso de estudio, el cobre, realiza un recorrido por diferentes procesos para su obtención. Uno de esos procesos unitarios es el acarreo de material, desde la mina hasta chancadora o botaderos. Dentro del mencionado proceso unitario, uno de los mayores costos operativos son los neumáticos utilizados para los volquetes, los cuales representan inversiones millonarias cada año, y puede representar grandes pérdidas cuando no se logran buenos rendimientos en su utilización. Este es el caso de la mina de estudio, la cual presenta grandes pérdidas económicas por una mala gestión de neumáticos y desechando la mayor parte de ellos debido a cuestiones operacionales sin que ellos lleguen al final de su vida. Por ello, en esta investigación se analizará y propondrá mejoras en el rendimiento de los neumáticos 59/80R63 utilizados en las flotas de volquetes Caterpillar 797F y Komatsu 980E-4 para una mina en el sur del Perú.

La presente investigación está conformada por los siguientes capítulos:

En el primer capítulo se realizó el planteamiento del problema, así como el planteamiento de los objetivos a cumplir con el presente trabajo de investigación y el aporte que éste representará para la unidad minera de estudio y para el rubro en general.

En el segundo capítulo presentaremos los antecedentes de investigaciones relacionadas, tanto locales, nacionales e internacionales. Además, se desarrollará toda la base teórica de la investigación, finalmente planteando las variables de la misma.

El tercer capítulo presenta la metodología y técnicas utilizadas, las limitaciones presentes durante el desarrollo del trabajo de investigación, así como la población utilizada para la misma e información general de la mina de estudio.

El cuarto capítulo desarrolla el diagnóstico situacional del rendimiento de los neumáticos 59/80R63 durante el año 2018, además, se identifican y definen los factores que influyen en el rendimiento de los neumáticos relacionando su injerencia en el rendimiento analizado en el diagnóstico situacional.

Finalmente, en el quinto capítulo se desarrollan las propuestas de mejora propuestas respecto a los factores analizados anteriormente y se analizan sus resultados. Por otro lado, se realiza el análisis comparativo de rendimiento y costos.



## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>vii</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Planteamiento del problema .....	1
1.2. Objetivos .....	3
1.2.1. General .....	3
1.2.2. Específicos .....	3
1.3. Preguntas de investigación .....	3
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>4</b>
<b>2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b> .....	<b>4</b>
2.1. Antecedentes de Investigación .....	4
2.1.1. Antecedentes locales .....	4
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	5
2.1.3. Antecedentes internacionales .....	9
2.2. Bases Teóricas .....	10
2.2.1. Neumático .....	10
2.2.2. Dispositivos TPMS .....	23
2.2.3. Factores que influyen en la vida del neumático .....	27
2.2.4. Razones de desecho de neumáticos .....	40
2.3. Hipótesis .....	43
2.4. Variables .....	43
2.4.1. Variable dependiente .....	43
2.4.2. Variable independiente .....	43
2.4.3. Cuadro de operabilización de variables .....	43
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>44</b>
<b>3. MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>44</b>

3.1. Alcances y Limitaciones .....	44
3.2. Tipo y Diseño de la Investigación .....	44
3.3. Población y Muestra Universo .....	44
3.4. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	44
3.5. Plan de análisis estadístico de los datos .....	45
3.6. Información General .....	45
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>47</b>
<b>4. ANÁLISIS SITUACIONAL E IDENTIFICACIÓN DE FACTORES .....</b>	<b>47</b>
4.1. Diagnóstico situacional de los neumáticos .....	47
4.2. Determinación de factores críticos en el rendimiento de los neumáticos .....	51
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>73</b>
<b>5. IMPLEMENTACIÓN DE PROPUESTAS 2019 Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>73</b>
5.1. Temperatura y presión .....	73
5.2. Capacitación de operadores .....	76
5.3. Rotación de neumáticos .....	85
5.4. Vías de transporte de la mina .....	86
5.5. Análisis comparativo de los años 2018 y 2019 .....	91
5.6. Análisis de rendimiento de neumáticos 59/80R63 .....	93
5.7. Análisis de relación desgaste prematuro con desgaste teórico. ....	95
5.8. Costo de la implementación .....	100
5.9. Relación TKPH con los dispositivos TPMS .....	102
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>105</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>107</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>111</b>
Anexo 1: T-student para horas útiles.....	111
Anexo 2: T-student para costo remanente .....	112
Anexo 3: Ficha técnica de neumático Michelin XDR 3.....	113
Anexo 4: Ficha técnica de neumático Bridgestone VRPS.....	116
Anexo 5: Especificaciones del volquete Caterpillar 797F .....	120

<b>Anexo 6: Especificaciones del volquete Komatsu 980E-4.....</b>	<b>123</b>
<b>Anexo 7: Guía rápida de instalación del sistema MEMS 4 .....</b>	<b>126</b>
<b>Anexo 8: Manual de Operador del sistema MEMS 4.....</b>	<b>127</b>



## Índice de Figuras

Figura 1 Deformación de neumático radial. ....	11
Figura 2 Razón de altura vs. ancho de neumático 59/80R63. ....	11
Figura 3 Partes del neumático. ....	12
Figura 4 Posición de neumáticos en un volquete minero. ....	14
Figura 5 Lectura del flanco de un neumático. ....	15
Figura 6 Distribución de la carga con el volquete vacío y cargado. ....	16
Figura 7 Soporte de carga. ....	17
Figura 8 Absorbe golpes del camino. ....	17
Figura 9 Transfiere la tracción al suelo. ....	18
Figura 10 Cambia la dirección del viaje. ....	18
Figura 11 Consideraciones para elegir un neumático. ....	19
Figura 12 Coeficiente de la longitud del ciclo. ....	21
Figura 13 Coeficiente de temperatura ambiente. ....	22
Figura 14 Componentes del sistema MEMS. ....	24
Figura 15 Características MEMS 4. ....	25
Figura 16 Funcionalidades del MEMS 4. ....	26
Figura 17 Facilidades administrativas de MEMS 4. ....	27
Figura 18 Degradación del rendimiento del neumático en función a la presión. ....	29
Figura 19 Diferencia entre neumáticos con y sin patinaje. ....	31
Figura 20 Puntos ciegos del volquete minero. ....	32
Figura 21 Sentido de rotación de neumáticos. ....	33
Figura 22 Afiche de cuidado de neumáticos. Afiche de cuidado de neumáticos. Fuente: Bridgestone, (2019). ....	34
Figura 23 Carga descentrada. ....	34
Figura 24 Carga a un lado de la tolva. ....	35
Figura 25 Inclinación de la vía. ....	36
Figura 26 Distribución de cargas debido a inclinación. ....	37
Figura 27 Relación entre radio y velocidad. ....	38

Figura 28 Relación entre velocidad, radio y peralte.....	38
Figura 29 Afiche de cuidado de neumáticos. Fuente: Bridgestone, (2019). .....	39
Figura 30 Razones de desecho de neumáticos según Bridgestone.....	40
Figura 31 Razones de desecho de neumáticos según Michelin.....	41
Figura 32 Muestra de base de datos. ....	47
Figura 33 Gráfico de valor residual por tipos de desecho año 2018. ....	49
Figura 34 Gráfico de distribución de tipos de desecho año 2018.....	49
Figura 35 Factores que afectan el rendimiento de neumáticos.....	52
Figura 36 Gráfico de velocidades promedio 2018.....	56
Figura 37 Carga descentrada. ....	57
Figura 38 Daños en neumático por sobrecarga. ....	58
Figura 39 Precipitaciones mensuales y Rendimiento de neumáticos 59/80R63 – 2018. ....	59
Figura 40 Principales rutas de acarreo.....	60
Figura 41 Neumático con daños en flanco.....	62
Figura 42 Ancho de vía en la Rampa Oeste. ....	63
Figura 43 Ancho de vía en la Rampa Este. ....	64
Figura 44 Pendiente de la Rampa Este entre cotas 2845 - 3055.....	65
Figura 45 Pendiente de la Rampa Este entre cotas 3070 - 3250.....	66
Figura 46 Pendiente de la Rampa Oeste entre cotas 3145 - 3244. ....	66
Figura 47 Neumáticos en contacto con rocas. ....	69
Figura 48 Condición del Piso de Pala 04.....	70
Figura 49 Presencia de rocas en la vía.....	70
Figura 50 Ondulaciones en la vía. ....	71
Figura 51 Material penalizante en zona de descarga.....	71
Figura 52 Sensores de Sistema MEMS.. ....	73
Figura 53 Interfaz MEMS 3. ....	74
Figura 54 Interfaz MEMS 4. ....	75
Figura 55 Gráfico comparativo desechos por separación.....	75
Figura 56 Capacitación sobre cuidado de neumáticos.....	77

Figura 57 Gráfico de desechos por corte vs. promedio .....	79
Figura 58 Fotografía de corte roca. ....	80
Figura 59 Tonelaje promedio Vs. Tonelaje nominal flota CAT 797F. ....	80
Figura 60 Tonelaje promedio Vs. Tonelaje nominal flota Komatsu 980E-4. ....	81
Figura 61 Distribución normal de cargas en flota CAT 797F. ....	82
Figura 62 Distribución normal de cargas en flota Komatsu 980E-4. ....	82
Figura 63 Fotografía de separación mecánica. ....	85
Figura 64 Fotografía de ruta de acarreo. ....	87
Figura 65 Fotografía de ruta de acarreo lastrada. ....	88
Figura 66 Fotografía Botadero QH lastrado .....	88
Figura 67 Neumático con desgaste final de tipo Chunking. ....	89
Figura 68 Gráfico de precipitaciones vs rendimiento mensual de neumáticos 59/80R63....	91
Figura 69 Gráfico comparativo 2018 y 2019. ....	94
Figura 70 Gráfico comparativo de las horas y costo por hora. ....	96
Figura 71 Gráfico comparativo del costo remanente. ....	97
Figura 72 Gráfico de dispersión de las horas útiles. ....	98
Figura 73 Gráfico de dispersión del costo remanente .....	99
Figura 74 Gráfico de dispersión TKPH vs. Temp. °C. ....	103

## Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Razones de desecho de neumáticos año 2018</i> .....	2
Tabla 2 <i>Volquetes</i> .....	46
Tabla 3 <i>Neumáticos desechados por la ocurrencia de un accidente</i> .....	50
Tabla 4 <i>Rotación convencional</i> .....	72
Tabla 5 <i>Neumáticos desechados por separación térmica</i> .....	76
Tabla 6 <i>Neumáticos desechados por corte roca</i> .....	78
Tabla 7 <i>Regla 10/10/20 flota CAT 797F</i> .....	82
Tabla 8 <i>Regla 10/10/20 flota Komatsu 980E-4</i> .....	83
Tabla 9 <i>Neumáticos desechados por separación mecánica</i> .....	84
Tabla 10 <i>Rotación convencional y sugerida de neumáticos</i> .....	86
Tabla 11 <i>Neumáticos desechados por desgaste final</i> .....	89
Tabla 12 <i>Resumen de neumáticos desechados en 2018 y 2019</i> .....	92
Tabla 13 <i>Resumen promedio de horas 2018 y 2019</i> .....	94
Tabla 14 <i>Comparación entre periodos de las horas, costo por hora y costo remanente</i> .....	96
Tabla 15 <i>T-student para horas útiles</i> .....	98
Tabla 16 <i>T-student para costo remanente</i> .....	99
Tabla 17 <i>Costos de implementación de propuestas</i> .....	100
Tabla 18 <i>Diferencia inversión vs. ahorro</i> .....	101
Tabla 19 <i>Resumen de datos obtenidos en estudio de Temperatura vs. TKPH</i> .....	104

## CAPÍTULO I

### 1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Planteamiento del problema

En la última década se ha vuelto de vital importancia para las empresas mineras generar valor agregado a su producto para poder seguir siendo competitivas en el mercado de los commodities. Para lograrlo deben buscar soluciones a sus problemas, los cuales les permitan reducir sus costos de operación.

En la Unidad Minera de estudio, se detectó que muchos de los neumáticos utilizados principalmente en las flotas de Caterpillar 797F y Komatsu 980E-4 no eran utilizados hasta el final de su vida útil, debido a que sufrían distintos daños operacionales, como separaciones térmicas, separaciones mecánicas y cortes no reparables, lo cual provocaba el desecho prematuro de los mismos. Al observar los datos obtenidos en el año 2018, observamos que solo el 25% de neumáticos lograron utilizarse completamente hasta llegar al desgaste final, mientras que el 75% fueron desechados debido a daños operacionales.

En la presente investigación se analizará los factores que influyen en el descarte prematuro de los neumáticos y a raíz de ello, se propondrá alternativas de solución para que los neumáticos puedan llegar a un desgaste final

De acuerdo con una presentación de la Dirección General de Operaciones de American Mining Corporation el costo de los neumáticos, representa el 13% de del costo de acarreo. Esto representa millones de dólares anuales; además el costo de cada neumático de dimensión 59/80R63 representa una inversión de aproximadamente 40 000 dólares. (Americas Mining Corporation, 2019)

En la Tabla 1 podemos observar la cantidad y el motivo de desecho de los neumáticos de dimensión 59/80R63 desechados en la Unidad Minera de estudio.

Tabla 1

*Razones de desecho de neumáticos año 2018*

<b>Razón de desecho</b>	<b>Cantidad</b>
Accidente	6
Corte roca	49
Separación mecánica	93
Separación térmica	29
Desgaste final	60
<b>Totales</b>	<b>237</b>

Nota. Cantidad de neumáticos de dimensión 59/80R63 por cada razón de desecho entre los meses de enero a noviembre del año 2018. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2020

Como se observa en la Tabla 1, el número de neumáticos que llegan al desgaste final es menor al número de neumáticos desechados por algún accidente operacional, es por eso que se consideró de vital importancia analizar y proponer opciones de mejora para contribuir en la reducción de costos operativos.

La finalidad de la presente investigación se centra en reducir los daños operacionales de los neumáticos 59/80R63, para de esta manera reducir los neumáticos desechados anualmente y por consiguiente disminuir los costos operativos.

Se espera que mediante el control y seguimiento de los distintos factores que afectan a la vida útil de los neumáticos, además de la utilización de dispositivos de tipo Tire Pressure Monitoring System (TPMS), se incremente el porcentaje de neumáticos desechados por desgaste final respecto a los desechados por daños operacionales, también se espera que se incremente el promedio de horas utilizadas por los neumáticos antes de ser desechados.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. General

Analizar y proponer la mejora de rendimiento de neumáticos de dimensión 59/80R63 en volquetes Caterpillar 797F y Komatsu 980E-4 en una mina del sur del Perú.

### 1.2.2. Específicos

- Diagnosticar la situación actual de los neumáticos de dimensión 59/80R63.
- Identificar los factores que afectan al rendimiento de los neumáticos de dimensión 59/80R63.
- Proponer las acciones de mejora para incrementar el rendimiento de los neumáticos 59/80R63 en el rango de un 15 % a 35 %.

## 1.3. Preguntas de investigación

- ¿Cuál es el estado situacional de los neumáticos de dimensión 59/80R63 al 2018?
- ¿Cuáles son los factores afectan al rendimiento de los neumáticos de dimensión 59/80R63?
- ¿Qué acciones de mejora se deben adoptar para incrementar el rendimiento de los neumáticos 59/80R63 entre un 15% y 35%?

## CAPÍTULO II

### 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1. Antecedentes de Investigación

##### 2.1.1. Antecedentes locales

Tejada, en su tesis titulada: Metodología del cambio de posiciones 1 y 6 de neumáticos gigantes 793-D, para incrementar la vida útil y reducir costos en SM. Cerro Verde – Arequipa, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa – Perú.

La tesis de Tejada buscó explicar la influencia de la rotación de neumáticos en los volquetes mineros, utilizando los volquetes Caterpillar 793D de la mina Cerro Verde. La investigación revisó cuales eran los factores que influían directamente sobre el rendimiento de dichos neumáticos y su importancia para la longevidad de los mismos.

La investigación concluyó que al incrementar la cantidad de horas de los neumáticos en las posiciones 1, 2, 3 y 4 se prolonga su vida útil entre un 2 y 5%. Además, halló que entre los factores más influyentes están el estado de las vías de acarreo y el control de sobrecargas y distribución de las mismas en los camiones (Tejada, 2014).

Taquima, en su tesis titulada: Eficiencia en el rendimiento de neumáticos de camiones gigantes mediante el sistema de administración de movimiento de tierra Michelin (M.E.M.S. Evolution 2) mina Antapaccay, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa – Perú.

La siguiente tesis considera que el rendimiento final de los neumáticos utilizados por volquetes mineros está relacionado principalmente al TKPH, por lo que postula que, mediante la utilización del dispositivo MEMS (Michelin Earthmover Management System), monitoreando la presión y temperatura de los neumáticos, se logrará una vida útil más larga.

El investigador concluyó que la responsabilidad de mantener el TKPH en valores aceptables depende netamente del operador del equipo de acarreo; siendo él el responsable de mantener la velocidad adecuada y evitar los esfuerzos

longitudinales en los neumáticos debido a giros bruscos. Así mismo, parte de la responsabilidad del cuidado de neumáticos, recae en el operador del equipo de carguío, quien debe centrar la carga correctamente y evitar superar la capacidad nominal del volquete. (Taquima, 2017)

Cajavilca, en su tesis titulada: Implementación del sistema Michelin Earthmover Management System 2 en flota de volquetes mina Cuajone, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa – Perú.

La siguiente investigación describe la implementación del sistema MEMS Evolution 2 en los neumáticos de los volquetes de la mina Cuajone. Luego realiza un estudio económico de los beneficios que la instalación de dicho sistema generó al reducir las separaciones térmicas y mecánicas de los neumáticos.

La tesis concluye que con la aplicación del sistema MEMS Evolution 2 la empresa logró reducir los costos de enllante significativamente. Al mismo tiempo, hace notar que este sistema contribuye con nuevos procedimientos más seguros y sencillos para la inspección y mantenimiento de los neumáticos. (Cajavilca, 2015)

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Blanco, en su tesis titulada: Incremento de la vida útil de neumáticos para reducir costos de operación en camiones Caterpillar 797F en Toromocho – Chinalco Perú, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo – Perú.

El investigador estudió la influencia del incremento de la vida útil de los neumáticos en los costos operativos de la empresa en cuestión. Para ello estableció nuevos controles en los factores que influyen en el desgaste prematuro de neumáticos. La investigación se realizó tomando en cuenta la flota de volquetes Caterpillar 797F con 23 volquetes.

La investigación concluyó en que lograron incrementar el rendimiento de los neumáticos debido a que se determinaron nuevas estrategias para controlar los factores internos y externos que influyen en el desgaste de los mismos. También

se logró dicho incremento en el rendimiento debido al control, seguimiento y planificación de la empresa contratista Neuma. (Blanco, 2016)

Veliz, en su tesis titulada: Estudio del rendimiento de neumáticos en camiones de acarreo de mineral con capacidad de 240 toneladas, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú.

La investigación buscó establecer nuevas herramientas y establecer nuevas bases de administración para mejorar el rendimiento de los neumáticos de sus volquetes. Utilizaron 20 volquetes Komatsu 830E y 8 volquetes Caterpillar 793D.

La investigación encontró que la presión de los neumáticos no debería ser constante, y debería depender de las condiciones a las que cada volquete es sometido durante el acarreo. En otras palabras, la tesis propone utilizar diferentes presiones de neumáticos dependiendo de la ruta específica que esté utilizando, siendo el principal factor la pendiente de dicha ruta. (Veliz, 2005)

Mauricio, en su tesis titulada: Mejoramiento de performance de rendimiento de neumáticos de CAT 789A&B y 793D Cerro Verde, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú.

La investigación se realizó en Arequipa en la unidad minera cerro verde, la cual buscó el rendimiento de los neumáticos utilizados por sus flotas Caterpillar 789 A&B y 793D. Como principal herramienta utilizaron la capacitación y especialización de sus operadores de equipos. Así mismo, utilizaron nuevas tecnologías para lograr el incremento de horas de los neumáticos.

La investigación encuentra que sus principales razones de éxito para lograr incrementar las horas de vida de los neumáticos fueron, entre otros, el mantenimiento adecuado de las vías de acarreo; la rectificación de la geometría de las carreteras y la participación de los operadores de volquetes mediante retribuciones a los más cuidadosos con sus llantas. Además, se encontró un aumento de entre 21% y 26% en el rendimiento de los neumáticos estudiados. (Mauricio, 2009)

Barrientos, en su tesis titulada: Aumento del rendimiento y disminución de costos al utilizar neumáticos reencauchados en la tracción en camiones CAT 785C, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú.

Esta investigación se realizó en la Mina Pierina, perteneciente a Barrik. La investigación plantea utilizar neumáticos reencauchados con el objetivo de evitar la rotación prematura de los neumáticos utilizados en posiciones 1 y 2 del volquete debido a algún daño operacional en alguna de las otras cuatro llantas. Con esto, buscan incrementar el rendimiento general de los neumáticos utilizados en la mina.

El trabajo de investigación encontró que uno de los factores más influyentes y paralizantes para el desgaste de los neumáticos es la geometría de las rutas de acarreo, con pendientes muy elevadas, curvas cerradas o peraltes muy pequeños, entre otros. Por otro lado, encontraron que los neumáticos en posiciones 1 y 2 sufren menor desgaste que en las otras cuatro posiciones, por lo que recomiendan mantener los neumáticos mayor tiempo en posiciones 1 y 2. Así mismo, encontraron que los neumáticos reencauchados le suman aproximadamente 2500 horas extras a la vida del neumático. (Barrientos, 2014)

Ccoñas, en su tesis titulada: Control de desgaste de neumáticos para reducir costos de operación en volquetes FAW – 360 – empresa ICCGSA – Quinua I – Ayacucho, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo – Perú.

La tesis presentó una investigación acerca de llevar una mejorada y más eficiente administración del desgaste de los neumáticos mediante programas de control de neumáticos y de esa manera buscar reducir costos operativos y mejorar la productividad de la empresa. La investigación se llevó a cabo en la empresa Ingeniero civiles y Contratistas Generales S.A. en la provincia de Ayacucho.

La investigación concluyó que con la inspección y reporte de los neumáticos se logró mejorar la administración de los mismos en la empresa; además, con el constante seguimiento y control de los neumáticos, lograron identificar las causas de pérdidas económicas y así generar un ahorro considerable. (Ccoñas, 2014)

Vargas y Hermoza, en su tesis titulada: Sistema de Información para Monitoreo de neumáticos del área de despacho (Dispatch), en una Compañía Minera, Universidad Inca Garcilaso de la Vega, Lima – Perú.

El siguiente artículo académico describe la implementación y puesta en marcha de un sistema de monitoreo en tiempo real para los neumáticos de los volquetes de una compañía minera anónima, con el objetivo de generar valor y mejor rentabilidad a la empresa.

El artículo concluye en que al realizar la instalación del sistema de monitoreo en tiempo real cumplió con los requerimientos de la empresa, proporcionándole la posibilidad al despachador de recibir alertas y monitorear el estado de los neumáticos para una mejor administración. (Vargas & Hermoza, 2014)

Zamora, en su tesis titulada: Reducción de costos en operación de maquinaria pesada en minera Yanacocha – Cajamarca mediante el incremento de la vida útil de neumáticos, 2018, Universidad César Vallejo, Chiclayo – Perú.

La presente investigación analizó la información previa al estudio acerca de las razones por las cuales los neumáticos eran enviados a desecho; a partir de dicha información, analizó cuales eran los factores a mejorar para lograr un incremento en la vida útil de los neumáticos en la Unidad Minera Yanacocha, con el fin de reducir los costos operacionales.

La investigación brinda como conclusión que el incremento de la vida útil del neumático está sujeto a cuatro factores principales, los cuales son: la presión de neumáticos, una rotación de neumáticos adecuada, una adecuada inspección y los cuidados que el mismo operador pueda tener para con la llanta. Aplicando control en los cuatro factores mencionados, el investigador logró reducir el costo horario de los neumáticos. (Zamora , 2019)

### 2.1.3. Antecedentes internacionales

Silva, en su tesis titulada: Maximización del rendimiento de las llantas de los camiones 240T y 320T mediante el análisis y mejoramiento de las condiciones de las vías en carbones del Cerrajón Limite, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga – Colombia.

El trabajo se centró en utilizar herramientas de telemetría para la identificación de imperfecciones en las rutas de acarreo de sus volquetes, para de esa manera reducir los daños operacionales que perjudicaban la integridad de sus neumáticos. Con la identificación de las zonas donde se necesitaba mantenimiento de vías, planificaban las reparaciones necesarias. De esta manera buscaron la reducción de costos de enllante para lograr que la empresa fuera más competitiva en el mercado.

La investigación no detalló el número de neumáticos utilizados como muestra, pues trabajó únicamente con porcentajes, encontrando que al mejorar el mantenimiento de las rutas de acarreo lograron reducir significativamente las separaciones por corte, las cuales eran el principal motivo de desecho de neumáticos en dicha unidad minera con 71.2% de los casos de desecho. Por otro lado, también observaron que mejoró la productividad de la mina, debido a que los vehículos de acarreo ahora podían alcanzar mayor velocidad sin temor a poner en riesgo la estructura del equipo o de los neumáticos; dicha tesis no especificó cuanto mejoró la productividad. Adicionalmente, se dieron cuenta que también contribuyeron en la seguridad y salud en el trabajo disminuyendo las enfermedades laborales de los operadores relacionadas a la ergonomía, específicamente, reduciendo la lumbalgia entre sus operadores gracias a la menor exposición a vibraciones causadas por baches en la vía. (Silva, 2015)

Pabon, en su tesis titulada: Análisis de fallas de llantas OTR (off the road) en la flota de camiones mineros de la mina calenturitas vía la loma de Cesar, Universidad Francisco de Paul Santander Ocaña, Ocaña – Colombia.

La siguiente investigación utiliza la metodología de análisis de causa raíz para reconocer las principales causas o acciones que producen daños a los neumáticos

y reducen su vida útil. La investigación se llevó a cabo debido a que la empresa Kaltire S.A. presentaba problemas para el control y recopilación de la información para llevar una administración adecuada de sus neumáticos.

El investigador logró definir y organizar las causas por las cuales los neumáticos dañados iban a desecho. De esa manera, implementó nuevos protocolos para de esa manera disminuir los desechos y aumentar las horas de rodaje de dichos neumáticos. (Pabon, 2017)

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Neumático**

#### **2.2.1.1. Definición**

Un neumático es, según la Real Academia Española RAE, (2019) “Pieza de caucho con cámara de aire o sin ella, que se monta sobre la llanta de una rueda” (párr. 2). Es decir, cuando hablamos de un neumático nos referimos al objeto hecho de caucho, o goma, que tiene contacto con el suelo al momento de rodar.

#### **2.2.1.2. Neumático de dimensión 59/80R63**

Podemos encontrar distintos tipos de neumáticos diferenciándolos tanto por su estructura como por sus dimensiones. Para los fines de la presente investigación, se utilizarán neumáticos radiales de dimensiones 59/80R63.

La estructura del neumático radial, según Michelin corresponde al entrelazado de capas metálicas que cruzan de un talón al otro; además cuentan con un cinturón de capas de acero paralelas a la banda de rodamiento que le dan un reforzamiento extra al neumático (Michelin, 2019).

Michelin refiere que entre las principales ventajas de utilizar ese tipo de neumáticos se encuentra la mínima deformación de la banda de rodamiento en respuesta a la carga sobre el neumático, esto resulta en mayor superficie de contacto con el suelo y mayor tracción; asimismo, la capa de acero extra brinda mayor resistencia a las perforaciones. (Michelin, 2012)

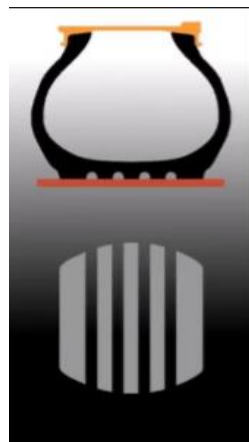


Figura 1 Deformación de neumático radial. Deformación de la banda de rodamiento de neumáticos radiales debido a esfuerzo. Como se puede observar, mantiene mayor superficie de contacto con el suelo. Fuente: Michelin, (2019).

Los neumáticos también son clasificados según su relación de altura (H) sobre el ancho (S) del mismo, como principales razones de (H/S), tenemos: serie 100, con una razón (H/S) igual a 1; serie 80 con razón de (H/S) igual a 0.8; serie 65 con razón (H/S) igual a 0.65 y serie 90 con razón (H/S) igual a 0.9. Observar Figura 2.

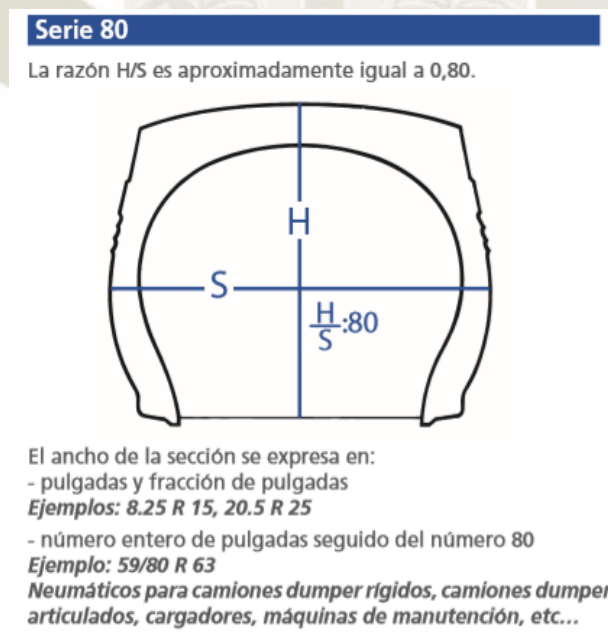


Figura 2 Razón de altura vs. ancho de neumático 59/80R63. Razón de altura vs. ancho de neumáticos 59/80R63. Fuente: Michelin, (2012).

### 2.2.1.3. Partes del neumático radial

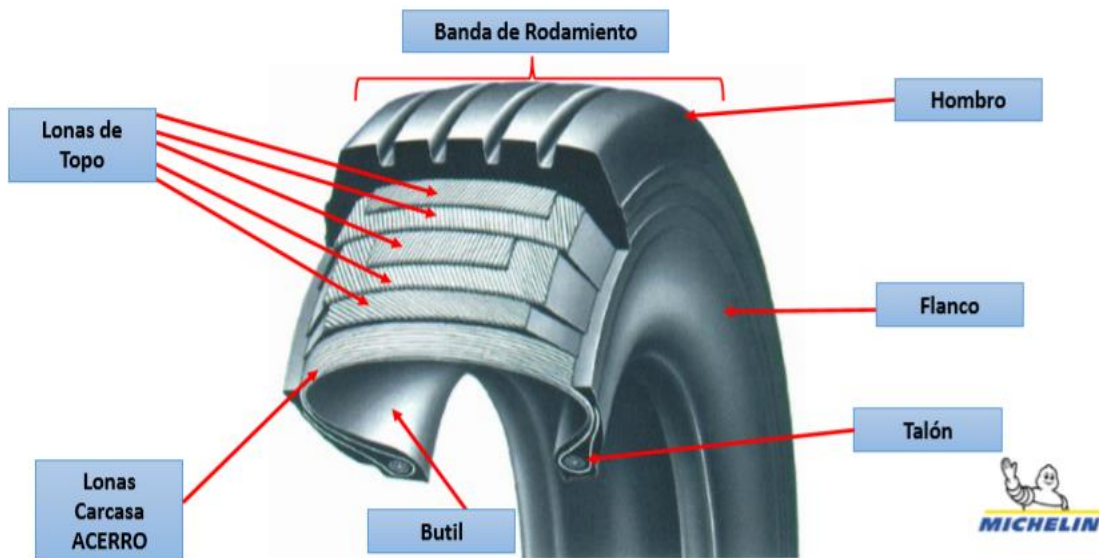


Figura 3 Partes del neumático. Podemos apreciar las partes interiores y exteriores del neumático radial. Fuente: Michelin, (2019).

#### 2.2.1.3.1. Banda de rodamiento

Está conformada por toda la goma que está directamente en contacto con el suelo. Pardo refiere a que esta parte del neumático es de suma importancia debido a que es mediante la banda de rodamiento que la tracción es transmitida, por ende, si el diseño (cocada) no es el más adecuado, generará pérdidas de tracción, lo cual se traduce en desgaste prematuro. (Pardo Allemant, 2018)

#### 2.2.1.3.2. Flanco

Se puede decir que es la parte lateral del neumático. Esta parte es la que flexiona y sufre las deformaciones del neumático cuando éste se encuentra rodando. Para Blanco es la parte donde podemos encontrar la información del mismo neumático y del fabricante (Blanco, 2016).

#### **2.2.1.3.3. Hombro**

El hombro es la parte comprendida entre la banda de rodamiento y el flanco del neumático. Para Blanco es la parte más gruesa del neumático no solo por su posición en el vértice, sino también porque es el área más propensa a recibir golpes de los obstáculos de la carretera (Blanco, 2016).

#### **2.2.1.3.4. Talón**

Según Blanco es la parte del neumático que se introduce y está en contacto con el aro metálico. Esta parte garantiza la fijación del neumático con el aro (Blanco, 2016).

#### **2.2.1.3.5. Butilo**

Debido a que estos neumáticos no utilizan una cámara para retener el aire, el butilo cumple dicha función. Es el “revestimiento de goma multicapa con aditivos especiales para contener el aire de inflado dentro del neumático y separarlo de los cables e la cubierta del neumático” (Pardo, 2018, párr. 7).

#### **2.2.1.3.6. Carcasa de acero**

Está compuesta de cables de acero que se extienden de un talón al otro. Según Blanco estos cables contribuyen a poder soportar la presión del neumático. En la parte inicial y final de estos cables, en la parte del talón, presentan una curvatura llamada retorno; ésta permite que los cables de acero estén sujetos firmemente al caucho y además le proporcionan una resistencia extra al talón. (Blanco, 2016)

#### **2.2.1.3.7. Lonas de cima**

“Son cables de acero muy finos y resistentes, cruzados oblicuamente y pegados unos a otros de manera que formen triángulos indeformables. Esta estructura garantiza al mismo tiempo robustez y flexibilidad” (Blanco, 2016, p. 16).

#### 2.2.1.4. Posición de los neumáticos en el volquete

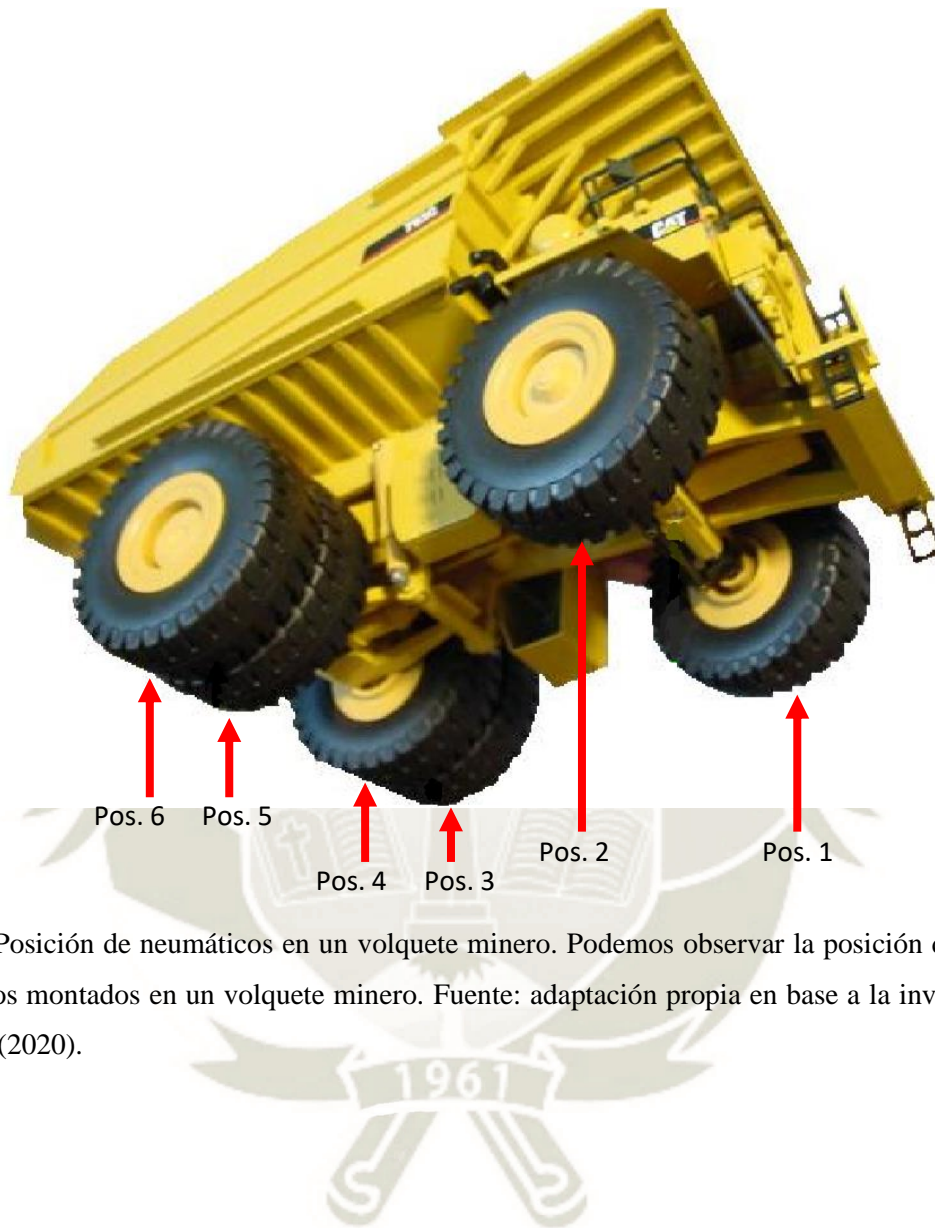


Figura 4 Posición de neumáticos en un volquete minero. Podemos observar la posición de los seis neumáticos montados en un volquete minero. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada (2020).

### 2.2.1.5. Lectura de códigos y símbolos del neumático


 ¡Leer el flanco de un neumático para saber todo de él!



Figura 5 Lectura del flanco de un neumático. En la figura podemos encontrar la lectura de los diferentes códigos que presentan los neumáticos en su flanco, los cuales brindan toda la información técnica del mismo. Fuente: Michelin, (2012).

Los neumáticos cumplen cuatro funciones principales según Pro-Activos, las cuales son:

#### 2.2.1.5.1. Soportar la carga

La distribución de la carga de los volquetes está dada por el diseño del mismo camión; los fabricantes nos brindan dichos porcentajes de distribución de carga en las fichas técnicas de los volquetes.

Podemos dividir dos tiempos cuando hablamos de la distribución de carga en el volquete. Cuando éste está vacío, la carga se distribuye, aproximadamente, la mitad en el eje delantero y la otra mitad en el eje trasero. Considerando que en el eje posterior tenemos cuatro neumáticos, entonces inferimos que los neumáticos delanteros reciben el doble de carga que los neumáticos del eje trasero. Cuando el volquete se encuentra

cargado, dos tercios del peso total, aproximadamente, son soportados por el eje trasero; es por eso que los volquetes de acarreo utilizan cuatro neumáticos en su segundo eje. De esta manera, cada neumático del volquete recibe el 16.7% de la carga total, aproximadamente. Se llama Pitch a “la diferencia entre los totales de presiones de puntal de ambos [*sic*] ruedas delanteras y ambas ruedas traseras; por diseño, carga por eje debe generar presiones del puntal trasero iguales a aproximadamente el doble de las presiones del puntal delantero” (Ferreyros, 2019, pág. 2).



Figura 6 Distribución de la carga con el volquete vacío y cargado. Cuando el volquete se encuentra vacío, los neumáticos delanteros reciben el doble de carga que los neumáticos traseros; sin embargo, cuando está cargado, el peso recae en el eje posterior y genera una carga igual para todos los neumáticos, teóricamente Fuente: Pro-Activos,( 2012).



Figura 7 Soporte de carga. El neumático cumple la función de soporte de la carga. Fuente: Pro-Activos, (2012).

Las carreteras y rampas dentro de una mina son irregulares y presentan ondulaciones, baches u obstáculos. Los neumáticos radiales absorben estos golpes del camino mediante la flexión del flanco (Ferreyros, 2019).

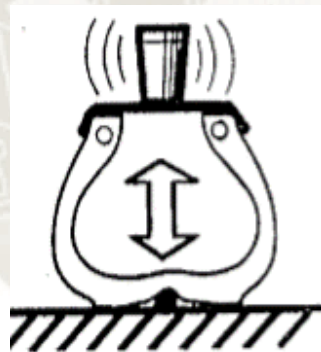


Figura 8 Absorbe golpes del camino. El neumático cumple la función de absorber los golpes del camino. Fuente: Pro-Activos, (2012).

“Es el neumático que transmite todos los esfuerzos del vehículo a la superficie de rodado. La potencia del motor se transmite al neumático por los torques motor / frenos al aro” (Taquima, 2017, p. 75).

Consideramos que existen diversos factores que influyen sobre la función de tracción del neumático, entre ellos: el diseño y profundidad de la cocada, la velocidad, el estado de la vía, entre otros.

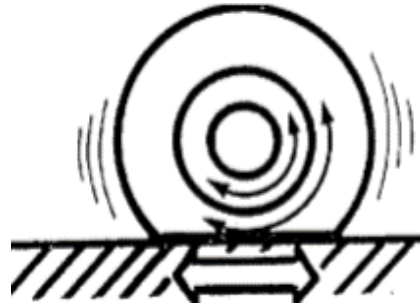


Figura 9 Transfiere la tracción al suelo. El neumático cumple la función de transferir la tracción y el frenado al suelo. Fuente: Pro-Activos, (2012).

#### 2.2.1.6. Cambiar y mantener la dirección del viaje

Los neumáticos permiten al vehículo poder girar en las curvas. Al realizar esta función los neumáticos se someten a fuerzas transversales que tienen un impacto directo en su rendimiento si se hacen a excesiva velocidad; esto se explicará más adelante (Pro-Activos, 2012).

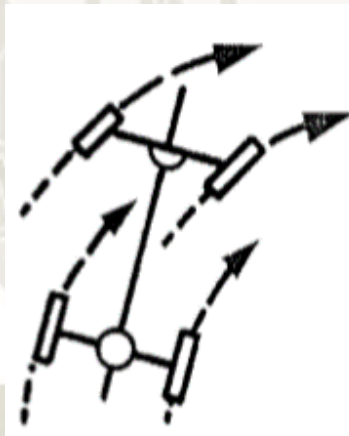


Figura 10 Cambia la dirección del viaje. El neumático cumple la función de cambiar la dirección del viaje y mantener el rumbo. Fuente: Pro-Activos, (2012).

### 2.2.1.7. Consideraciones para elección de neumático

Michelin indica que: “un neumático debe ajustarse con precisión al uso previsto. Elegir un neumático implica mediar entre todas las restricciones para identificar cual el más adecuado para el ambiente de trabajo” (Michelin, 2012, pág. 73).

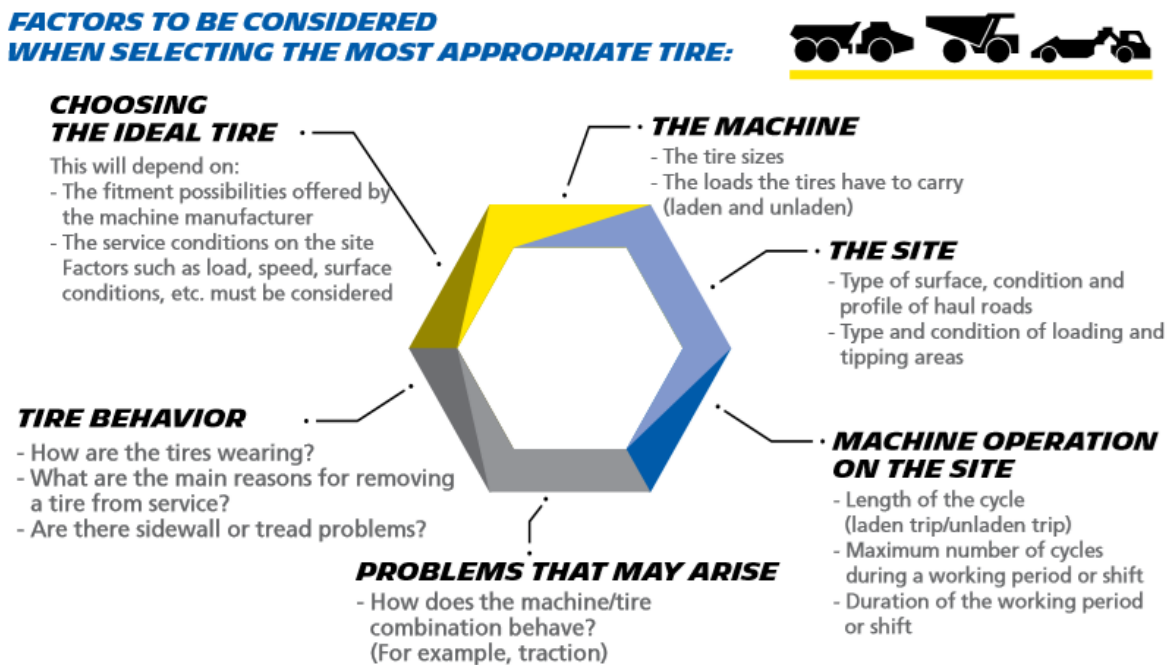


Figura 11 Consideraciones para elegir un neumático. Podemos observar los seis factores a considerar al momento de elegir el neumático adecuado para el volquete de acarreo. Fuente: Michelin, (2019).

El TKPH (Ton Kilometer Per Hour), por sus siglas en inglés, es un valor adimensional que representa la capacidad de trabajo de un neumático considerando, como su nombre lo dice, las toneladas, la distancia recorrida y el tiempo.

Según Blanco, el TKPH depende de la misma fabricación del neumático, de los compuestos y las diferentes dimensiones de los mismos. Es decir, puede haber neumáticos de la misma dimensión, pero de diferente compuesto, esto hace que su TKPH sea diferente y sean dos neumáticos distintos para diferentes condiciones de trabajo.

Es necesario aclarar que no existe una única forma de calcular el TKPH, pues el cálculo de éste varía dependiendo del razonamiento de cada empresa proveedora de neumáticos. En el caso de la minera en cuestión, se utilizan neumáticos de marca Michelin y Bridgeston en una proporción de 70% y 30% respectivamente. Debido a esto, desarrollaremos la metodología de cálculo de Michelin (Blanco, 2016).

El TKPH debemos desglosarlo en dos: el TKPH básico y el TKPH operacional o real.

#### 2.2.1.7.1. TKPH básico

Este TKPH refleja los requerimientos mismos de los neumáticos de acuerdo a la carga promedio que deben soportar y a la velocidad promedio del volquete. Se considera una temperatura ambiente teórica de 38°C. De tal forma, el TKPH básico está dado por:

$$TKPH \text{ básico} = Q_m \times V_m$$

Donde:

$Q_m$  = Carga promedio por neumático

$V_m$  = Velocidad promedio del ciclo

Además:

$$Q_m = \frac{Q_c + Q_v}{2}$$

Donde:

$Q_c$  = Carga por neumático con el vehículo cargado

$Q_v$  = Carga por neumático con el vehículo descargado

También:

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

Donde:

L = Longitud del ciclo

H = Duración de un ciclo en horas

### 2.2.1.7.2. TKPH operacional

El TKPH operacional o real, considera dos factores de corrección dados por: k1 y k2, por distancia y por temperatura ambiente respectivamente.

a. Factor k1

Se utiliza cuando la distancia recorrida por cada ciclo excede los 5 kilómetros y está dado por la siguiente tabla.



<b>K1 COEFFICIENTS</b>														
L (km)	L (ml)	K1	L (km)	L (ml)	K1	L (km)	L (ml)	K1	L (km)	L (ml)	K1	L (km)	L (ml)	K1
			11	6.8	1.13	21	13	1.19	31	19.3	1.21	41	25.5	1.23
			12	7.4	1.14	22	13.7	1.19	32	19.9	1.21	42	26.1	1.23
			13	8	1.15	23	14.3	1.20	33	20.5	1.22	43	26.7	1.23
			14	8.7	1.16	24	14.9	1.20	34	21.1	1.22	44	27.3	1.23
5	3.1	1.00	15	9.3	1.16	25	15.5	1.20	35	21.7	1.22	45	28	1.23
6	3.7	1.04	16	9.9	1.17	26	16.2	1.20	36	22.4	1.22	46	28.6	1.23
7	4.3	1.06	17	10.6	1.17	27	16.8	1.21	37	23	1.22	47	29.2	1.23
8	5	1.09	18	11.2	1.18	28	17.4	1.21	38	23.6	1.22	48	29.8	1.23
9	5.6	1.10	19	11.8	1.18	29	18	1.21	39	24.2	1.22	49	30.4	1.23
10	6.2	1.12	20	12.4	1.19	30	18.6	1.21	40	25	1.22	50	31	1.23

L = Cycle length in kilometers and in miles.

Figura 12 Coeficiente de la longitud del ciclo. Tabla de coeficiente k1 en relación a la longitud del ciclo. Fuente: Michelin, (2019).

Como se mencionó anteriormente, el TKPH básico considera una temperatura ambiente de 38°C, sin embargo, el factor k2 corrige el TKPH en función a la temperatura ambiente y a la velocidad media por ciclo. De forma simplificada, se toma como referencia la siguiente tabla (Michelin, 2019).

<b>K2 COEFFICIENTS</b>															
<b>Vm</b>	<b>Ambient temperature</b>														
	<b>15 °C</b>	<b>17,5 °C</b>	<b>20 °C</b>	<b>22,5 °C</b>	<b>25 °C</b>	<b>27,5 °C</b>	<b>30 °C</b>	<b>32,5 °C</b>	<b>35 °C</b>	<b>37,5 °C</b>	<b>40 °C</b>	<b>42,5 °C</b>	<b>45 °C</b>	<b>47,5 °C</b>	<b>50 °C</b>
<b>Km</b>	<b>59° F</b>	<b>63.5° F</b>	<b>68° F</b>	<b>72.5° F</b>	<b>77° F</b>	<b>81.5° F</b>	<b>86° F</b>	<b>90.5° F</b>	<b>95° F</b>	<b>99.5° F</b>	<b>104° F</b>	<b>108.5° F</b>	<b>113° F</b>	<b>117.5° F</b>	<b>122° F</b>
<b>(miles)</b>															
<b>10 (6)</b>	0.635	0.661	0.690	0.721	0.755	0.792	0.833	0.879	0.930	0.988	1.087	1.220	1.389	1.613	1.923
<b>12 (7)</b>	0.676	0.701	0.727	0.756	0.787	0.821	0.857	0.897	0.941	0.990	1.071	1.176	1.304	1.463	1.667
<b>14 (9)</b>	0.709	0.732	0.757	0.783	0.812	0.842	0.875	0.911	0.949	0.991	1.061	1.148	1.250	1.373	1.522
<b>16 (10)</b>	0.736	0.757	0.780	0.805	0.831	0.859	0.889	0.921	0.955	0.992	1.053	1.127	1.212	1.311	1.429
<b>18 (11)</b>	0.758	0.778	0.800	0.823	0.847	0.873	0.900	0.929	0.960	0.993	1.047	1.111	1.184	1.268	1.364
<b>20 (12,5)</b>	0.777	0.796	0.816	0.838	0.860	0.884	0.909	0.936	0.964	0.994	1.042	1.099	1.163	1.235	1.316
<b>21 (13)</b>	0.785	0.804	0.824	0.844	0.866	0.889	0.913	0.939	0.966	0.994	1.040	1.094	1.154	1.221	1.296
<b>22 (14)</b>	0.793	0.811	0.830	0.850	0.871	0.893	0.917	0.941	0.967	0.994	1.038	1.089	1.146	1.209	1.279
<b>24 (15)</b>	0.807	0.824	0.842	0.861	0.881	0.901	0.923	0.946	0.970	0.995	1.034	1.081	1.132	1.188	1.250
<b>26 (16)</b>	0.819	0.835	0.852	0.870	0.889	0.908	0.929	0.950	0.972	0.995	1.032	1.074	1.121	1.171	1.226
<b>28 (17)</b>	0.830	0.845	0.862	0.878	0.896	0.914	0.933	0.953	0.974	0.996	1.029	1.069	1.111	1.157	1.207
<b>30 (19)</b>	0.839	0.854	0.870	0.886	0.902	0.920	0.938	0.956	0.976	0.996	1.027	1.064	1.103	1.145	1.190
<b>32 (20)</b>	0.848	0.862	0.877	0.892	0.908	0.924	0.941	0.959	0.977	0.996	1.026	1.060	1.096	1.135	1.176
<b>34 (21)</b>	0.855	0.869	0.883	0.898	0.913	0.928	0.944	0.961	0.978	0.996	1.024	1.056	1.090	1.126	1.164
<b>36 (22)</b>	0.862	0.875	0.889	0.903	0.917	0.932	0.947	0.963	0.980	0.997	1.023	1.053	1.084	1.118	1.154
<b>38 (24)</b>	0.869	0.881	0.894	0.907	0.921	0.935	0.950	0.965	0.981	0.997	1.022	1.050	1.080	1.111	1.145
<b>40 (25)</b>	0.874	0.886	0.899	0.912	0.925	0.938	0.952	0.967	0.982	0.997	1.020	1.047	1.075	1.105	1.136
<b>42 (26)</b>	0.880	0.891	0.903	0.916	0.928	0.941	0.955	0.968	0.982	0.997	1.019	1.045	1.071	1.099	1.129
<b>44 (27)</b>	0.884	0.896	0.907	0.919	0.931	0.944	0.957	0.970	0.983	0.997	1.019	1.043	1.068	1.095	1.122
<b>46 (28)</b>	0.889	0.900	0.911	0.922	0.934	0.946	0.958	0.971	0.984	0.997	1.018	1.041	1.065	1.090	1.117
<b>48 (29)</b>	0.893	0.904	0.914	0.925	0.937	0.948	0.960	0.972	0.985	0.997	1.017	1.039	1.062	1.086	1.111
<b>50 (31)</b>	0.897	0.907	0.917	0.928	0.939	0.950	0.962	0.973	0.985	0.998	1.016	1.037	1.059	1.082	1.106

Vm = number of km (miles) covered per hour.

Interpolation is allowed between the temperatures shown in the column headings.

Figura 13 Coeficiente de temperatura ambiente. Tabla de coeficiente k2 en relación a la temperatura ambiente. Fuente: Michelin, (2019).

### 2.2.2. Dispositivos TPMS

Los dispositivos TPMS, como su nombre lo indica (Tire Pressure Monitoring System), son dispositivos de monitoreo de presión del neumático. En sus inicios, desarrollados como un dispositivo de seguridad en Estados Unidos, fue utilizado netamente para informar acerca de presiones bajas en neumáticos; sin embargo, estos dispositivos fueron evolucionando, en el rubro minero, para apuntar a recopilar información durante un tiempo determinado para luego entregar un consolidado de sus datos, usualmente mensual.

En siguientes generaciones estos dispositivos fueron capaces de entregar información de presión y temperatura en tiempo real, tal es el caso del MEMS 3, dispositivo utilizado en la presente investigación. En la actualidad, se cuenta con dispositivos TPMS más sofisticados, como el MEMS 4 que aporta mayor cantidad de datos importantes para lograr un performance óptimo de los neumáticos. Existen diferentes empresas que desarrollan sus propios dispositivos TPMS, sin embargo, en la presente investigación se desarrollará el sistema MEMS (Michelin Earthmover Management System) debido a que es el sistema utilizado en la mina de estudio.

El sistema MEMS consta principalmente de un sensor colocado en cada uno de los neumáticos, una unidad receptora (transceiver), el servidor principal y un dispositivo de monitoreo.

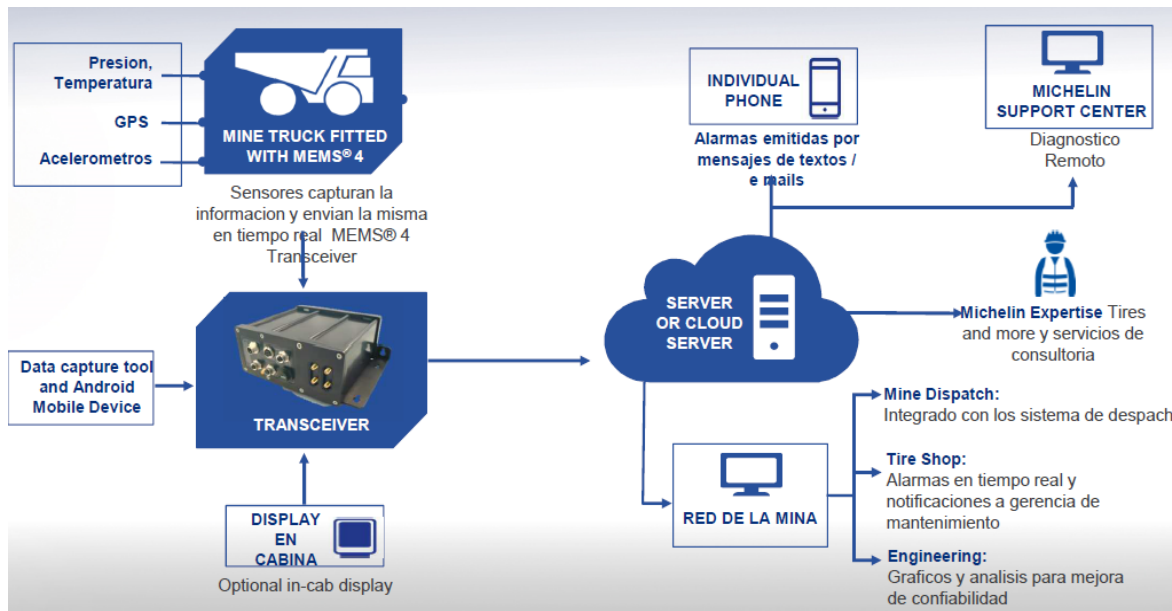


Figura 14 Componentes del sistema MEMS. Componentes y funciones de las partes que conforman el sistema MEMS, en este caso la versión 4. Fuente: Michelin, (2019).

Esta versión de MEMS, es capaz de monitorear la presión y temperatura del neumático en tiempo real y ser visualizada en una pantalla por el controlador de la mina. Es capaz de enviar alertas, amarilla y roja, dependiendo de la severidad de la anomalía, tanto al controlador como al conductor.

#### 2.2.2.1. MEMS 4

La siguiente generación de dispositivos TPMS, como el MEMS 4, brinda opciones de centrado de alarmas, mapas de aceleración, geofencing, entre otros. Estas opciones permitirán un mayor control sobre los factores que influyen en el rendimiento de los neumáticos.

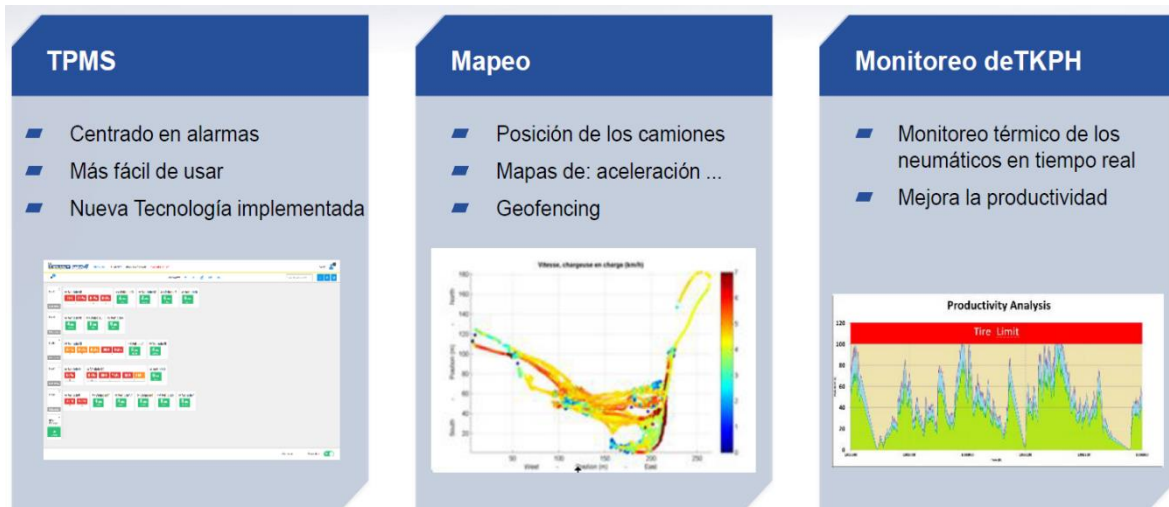


Figura 15 Características MEMS 4. Características que ofrece el sistema MEMS 4 para el monitoreo de neumáticos. Fuente: Michelin, (2019).

Como podemos observar en la Figura 63, acerca de las funciones que tiene el sistema MEMS 4, ya no solo es un sistema de monitoreo de presión y temperatura, ahora con acelerómetros y funciones GPS se puede generar por ejemplo mapas de aceleración.

Un mapa de aceleración se genera mediante la utilización del mapa de la mina y la ubicación por GPS de los volquetes, recopilando datos de velocidad y aceleración, para que el producto final sea un mapa con escala de colores para identificar las zonas o rutas con mayores velocidades y aceleraciones.

Otra herramienta que brinda la última versión MEMS es el geofencing, el cual permite crear zonas de la mina con límites de velocidad máximos, de tal manera que al operador le genere una alerta en la cabina si se excede la velocidad permitida. Esto ayuda a evitar el exceso de cargas dinámicas en las curvas, las cuales provocan las separaciones mecánicas.

**USO DE GPS Y ACELERÓMETROS PARA EL ANÁLISIS DE CICLOS (REPORTE)**

**POSICIÓN DEL CAMIÓN**

Cada camión es geolocalizado en tiempo real en un mapa con sus niveles de alarma

**GEOFENCING**

Perímetro virtual para que una zona geográfica real reaccione cuando no se respeta una regla preestablecida basada en la localización, como la velocidad en las curvas, la alerta de zona de seguridad, la baja presión .....

Figura 16 Funcionalidades del MEMS 4. Nuevas funciones del sistema MEMS 4 que permiten la geolocalización de los volquetes y la creación de áreas con restricciones específicas. Fuente: Michelin, (2019).

Además, permite un mayor control de parte de la supervisión, ya que el MEMS 4 permite alertas también con dispositivos móviles como celulares. Contando con el aplicativo de MEMS 4 en el teléfono, se puede ver el estado e información de cada neumático al estar cerca del volquete.

Por otro lado, esta nueva generación otorga la posibilidad de visualizar diferentes informes y estadísticas para facilitar la gestión de los neumáticos y mejorar los rendimientos.



Figura 17 Facilidades administrativas de MEMS 4. MEMS 4 otorga facilidades administrativas y gestión de datos para mejorar el performance de los neumáticos. Fuente: Michelin, (2019).

**2.2.3. Factores que influyen en la vida del neumático**

Definir cada uno de los factores internos y externos que tienen injerencia en el desgaste de un neumático sería extremadamente extenso y estaría sujeto a las diferentes condiciones propias de cada lugar geográfico; debido a eso, solo se trataran siete factores, los cuales consideramos que son los más relevantes.

**2.2.3.1. Presión y temperatura**

La presión es un factor crítico para cualquier tipo de neumático tanto por un inflado excesivo o uno insuficiente. Según Michelin: la presión excesiva produce, además de un desgaste irregular del neumático, también un desgaste precoz de la banda de rodadura, así como, mayor sensibilidad a golpes y cortes; por otro lado, una presión insuficiente produce mayor flexión de los flancos del neumático, lo cual produce el incremento de temperatura y por ende una falla estructural del neumático. (Michelin, 2012)

Si hablamos de los neumáticos de dimensión 59/80R63, la presión de inflado nominal por los fabricantes es de 102 psi, es decir, que cada neumático tendría una carga de 100 toneladas aproximadamente. Sin embargo, el tema de la

presión de neumáticos es variable y tiene también factores que lo afectan, sobre todo la temperatura y la carga que deben soportar.

Para la mina en cuestión, la presión recomendada por los fabricantes es de 116 psi en frío, debido a las condiciones de carga que deben soportar los neumáticos.

El control de máximo y mínimo de presión que deben tener los neumáticos también depende de cada operación en específico, sin embargo, hablando de la operación minera tratada en esta investigación, el dispositivo TPMS alerta a despacho mina cuando la presión alcanza 80 psi como mínimo. Si hablamos de la presión máxima, ésta se encuentra sujeta a la ley general de gases, en donde encontramos que, a mayor temperatura, mayor presión, por ende, este dato no se suelte tomar mucho en cuenta, pues hablando de máximos, es de mayor preocupación el valor de la temperatura que el de la presión; sin embargo, algunos dispositivos TPMS exigen un valor máximo, el cual se encuentra próximo a los 135 psi.

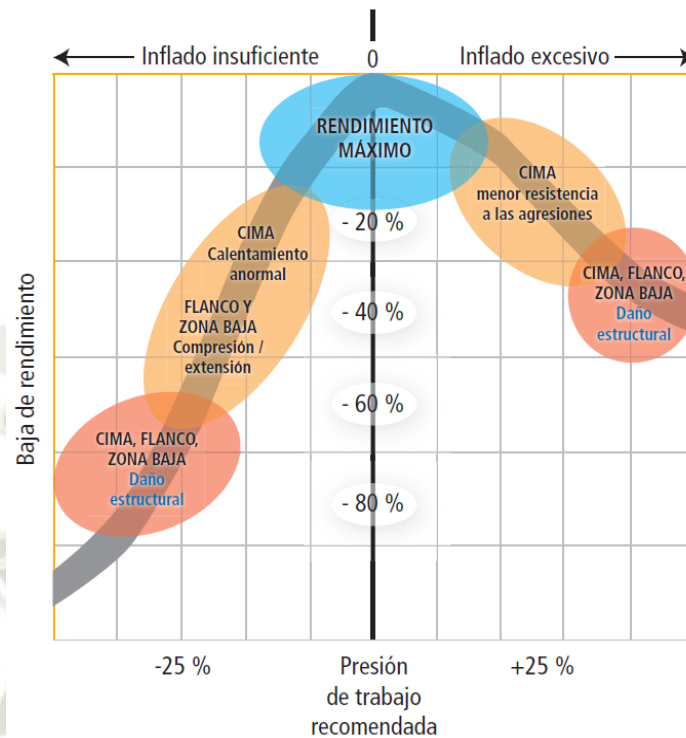


Figura 18 Degradación del rendimiento del neumático en función a la presión. Baja de rendimiento debido a un inflado insuficiente o excesivo y sus riesgos potenciales asociados. Fuente: Michelin, (2012).

Por otro lado, podemos considerar la temperatura como el factor más crítico que puede afectar la integridad del neumático pues esta es la causa de los daños por separación térmica y también contribuye en las separaciones mecánicas.

La temperatura interna del neumático se eleva principalmente debido a las fuerzas dinámicas que actúan permanentemente sobre el mismo mientras el volquete se encuentra realizando su labor, y también debido a la transferencia de calor a partir del sistema de frenado del vehículo.

Según Michelin, una vez que la temperatura del neumático llega al umbral crítico, de 80°C o 176°F, se vuelve un peligro para la integridad del neumático, esto debido a que una vez que el aire alcanza dicha temperatura, quiere decir que los componentes del neumático se encuentran a una temperatura incluso mayor, corriendo el riesgo de la degradación del caucho.

Los dispositivos TPMS juegan su rol más importante en el control de la temperatura. Éstos cuentan con sensores en el interior de los neumáticos, permitiendo la medición de presión y temperatura en tiempo real. Como se mencionó anteriormente, el incremento de temperatura puede ser considerado el factor más crítico, en cuanto al cuidado de neumáticos; por eso, en el caso de la operación minera tomada en consideración para la presente investigación, los dispositivos TPMS presentan una primera alerta de temperatura a los 80°C, y una alerta crítica a los 85°C. (Michelin, 2012)

#### **2.2.3.2. Condición climática**

El clima puede afectar principalmente de dos maneras a los neumáticos. Primeramente, cuando existe presencia de precipitaciones, el caucho de los neumáticos se vuelve mucho más suave, por ende, se vuelve más propenso a sufrir cortes de rocas. Contrariamente, cuando el clima es seco, el caucho de los neumáticos es más duro y menos afecto a los cortes.

En segundo lugar, las precipitaciones afectan el estado de las vías, llenándolas de lodo. Debido a ello, los volquetes de acarreo muy frecuentemente patinan, generando desgaste irregular en los neumáticos. Además, al momento de patinar, muchas veces golpean contra las bermas laterales o central, pudiendo ocasionar cortes en el flanco del neumático.

## DIFERENCIA ENTRE LLANTAS CON PATINAJE Y SIN PATINAJE



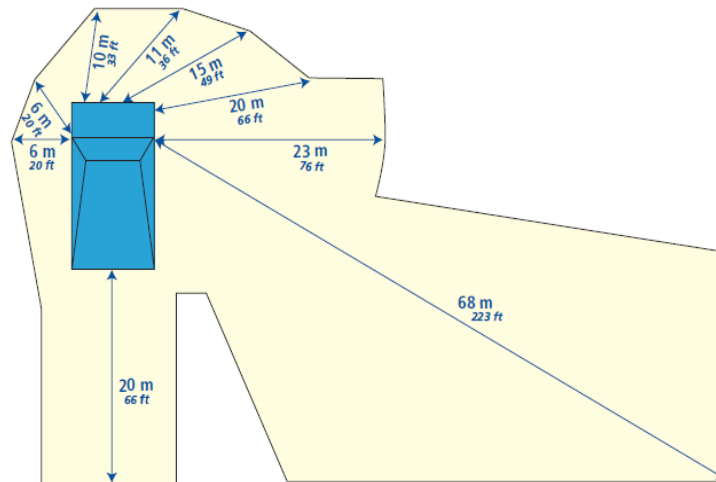
Figura 19 Diferencia entre neumáticos con y sin patinaje. Diferencia entre un neumático sin patinaje y con patinaje. Adaptado de "Formación de operadores - neumáticos" por Michelin, 2005, p. 26.

La posición de cada uno de los seis neumáticos que utiliza un volquete minero presenta una tasa de desgaste diferente al resto, especialmente hablando entre el eje delantero y el eje trasero. Mientras el eje delantero permite poder direccionar el vehículo, el eje trasero brinda la tracción.

Al ser los agentes por los cual la potencia del motor es transferida al suelo y permiten el movimiento, los cuatro neumáticos del eje trasero presentan una mayor tasa de desgaste que los delanteros, es decir que rinden menos milímetros por hora trabajada. Pueden existir excepciones a la regla, como por ejemplo: cuando existe una ruta con pendiente negativa en la que el volquete transita cargado; lo cual es muy poco usual, en tal caso, la mayor tasa de desgaste podría presentarse en los neumáticos delanteros.

La posición de los neumáticos también afecta en cuanto a los golpes y cortes que pueden recibir los neumáticos durante la operación del equipo. Podemos encontrar dos causas para esto: los puntos ciegos del equipo y la operación misma.

Los volquetes mineros cuentan con puntos ciegos muy grandes, los cuales no permiten visualizar en su totalidad el área por el que se mueven.



*Zonas de no visibilidad para un conductor de camiones dumper rígidos (volquetes rígidos) de gran tamaño*

Figura 20 Puntos ciegos del volquete minero. Zonas no visibles para el operador de un volquete minero. Adaptado de "Guía de utilización y mantenimiento de los neumáticos de ingeniería civil" por Michelin, 2012, p. 94.

Como se puede observar en la figura anterior, las posiciones 5 y 6 son las que tienen mayores ángulos ciegos, por lo tanto, también son las más propensas a recibir golpes de rocas.

Por otro lado, la operación misma del equipo requiere que tanto para carga y descarga de material, los volquetes ingresen al frente de minado o al botadero en reversa; lugares en donde es muy probable encontrar rocas de gran tamaño que pueden ocasionar daño a los neumáticos. (Michelin, 2019)

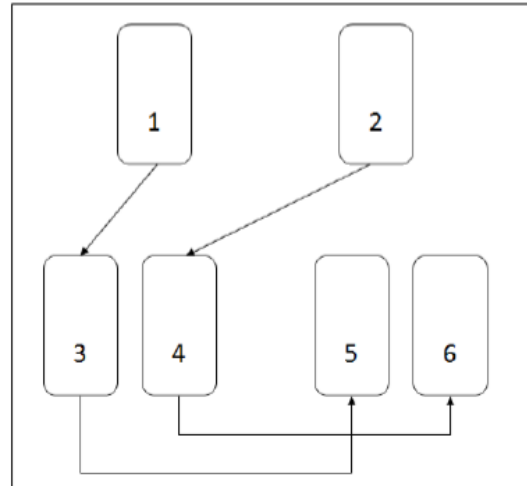


Figura 21 Sentido de rotación de neumáticos. Flujo de rotación de neumáticos en un volquete minero.  
Fuente: A. Tejada, (2014).

### 2.2.3.3. Carga

#### 2.2.3.3.1. Sobrecarga

Cada modelo de volquete de acarreo tiene una carga nominal, sobre la cual se realizan los cálculos para la carga que debe llevar cada neumático. En el caso de la presente investigación, se tomaron en cuenta los volquetes CAT 797F y Komatsu 980E-4, ambos con una carga nominal de 363 toneladas métricas.

Según Taquima, se origina un aumento de temperatura debido al incremento de flexión del neumático, además, se desgasta más rápido la banda de rodadura y los flancos se hacen más propensos a daños.

Una señal típica observable en un neumático de que ha sido sobrecargado son daños en el talón, ocasionados por el exceso de flexión del flanco, haciendo que el neumático se “muerda” con el aro. (Taquima, 2017)



Figura 22 Afiche de cuidado de neumáticos. Afiche de cuidado de neumáticos. Fuente: Bridgestone, (2019).

#### 2.2.3.3.2. Carga descentrada

Las tolvas de los volquetes están diseñadas de forma que el peso del material cargado sea distribuido de manera uniforme en los neumáticos del vehículo, sin embargo, esto está sujeto a la destreza del operador del equipo de carguío, el cual debe centrar la carga en la tolva.

Cuando la carga no está bien centrada en la tolva, la fuerza no es distribuida adecuadamente entre los seis neumáticos y por consiguiente unos trabajan más que otros (Michelin, 2019).

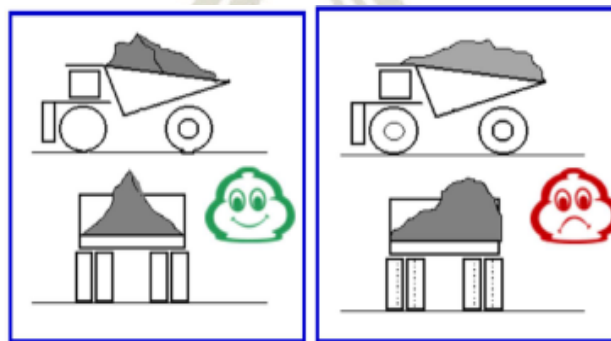


Figura 23 Carga descentrada. Ejemplo de carga centrada adecuadamente y carga descentrada. Fuente: Michelin, (2019).

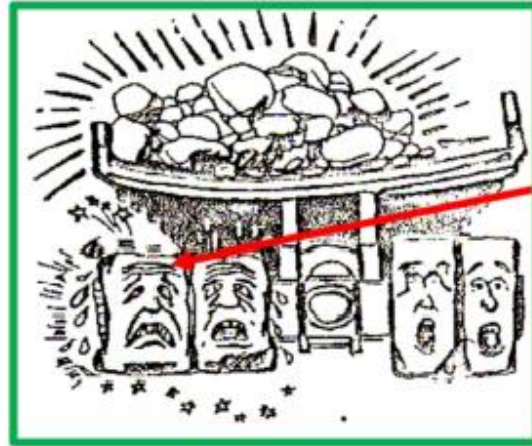


Figura 24 Carga a un lado de la tolva. Ejemplo de carga a un lado de la tolva, poniendo bajo mayor esfuerzo a ciertos neumáticos. Fuente: Michelin, (2019).

#### 2.2.3.4. Estado de vías

##### 2.2.3.4.1. Pendiente

Según el Ministerio de Energía y Minas en el D.S. 024-2016-EM, Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, en el inciso b) menciona que: “las vías principales (rampas, accesos o zigzags) las gradientes no sean mayores al doce por ciento (12%)” (art. 262) (Ministerio de Energía y Minas, 2016).

La pendiente en exceso puede provocar el patinaje del vehículo, ocasionando un desgaste irregular; además, los cambios de marchas del volquete en las pendientes originan flexiones en los neumáticos que provocan la generación de calor.

La recomendación de los fabricantes indica que las pendientes deben tener un máximo de 8% y según Michelin por cada 1% de pendiente puede afectar un 10% de rendimiento del neumático (Michelin, 2012).

##### 2.2.3.4.2. Inclinación y ancho de la vía

Según el Ministerio de Energía y Minas en el D.S. 024-2016-EM, Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, en el inciso c)

menciona que se deben “construir rampas o vías amplias de no menos de tres veces el ancho del vehículo más grande de la mina en vías de doble sentido y no menos de dos veces el ancho en vías de un solo sentido” (art. 262) (Ministerio de Energía y Minas, 2016).

Por otro lado, la inclinación de la vía en teoría no debe superar el 3%, debido a que si el ángulo de inclinación es mayor puede generar daños a los neumáticos y a la suspensión del vehículo de acarreo. Por el contrario, si la inclinación es muy baja, se acumulará el agua de las precipitaciones.

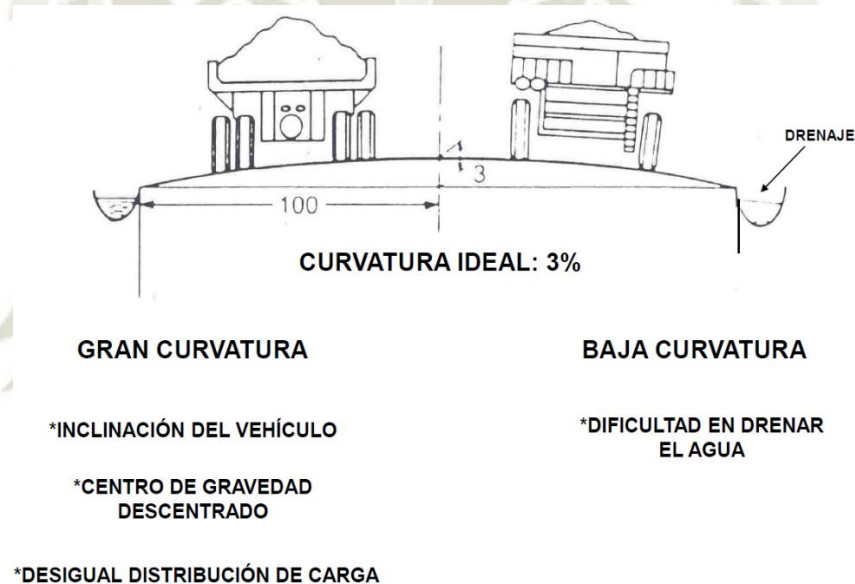


Figura 25 Inclinación de la vía. Inclinación de la vía para drenaje; también llamado "lomo de corvina". Fuente: Pro-Activos, (2012).

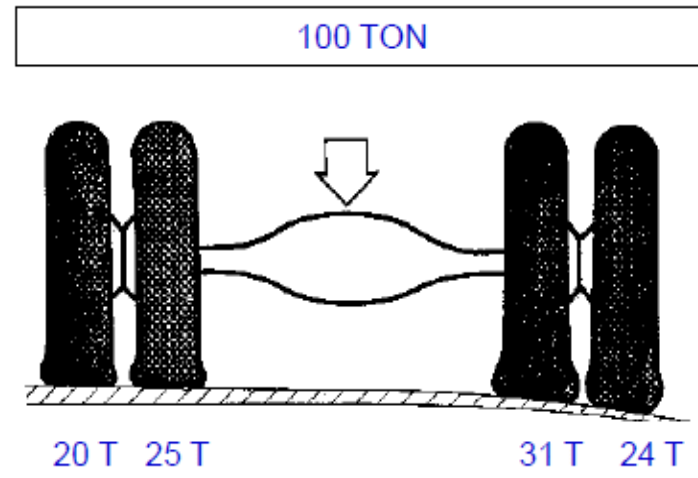


Figura 26 Distribución de cargas debido a inclinación. Distribución de carga debido a una inclinación excesiva en la vía. Fuente: Michelin, (2019).

#### 2.2.3.4.3. Radio y peralte

Mientras menor sea el radio de curvatura, el volquete girará más bruscamente, por lo tanto, generará mayor fuerza lateral, afectando directamente la estructura interna del neumático.

Es por eso que en las curvas se suele tener un peralte, que es una cierta inclinación cuya función es que la fuerza aplicada por inercia a los neumáticos al momento de girar, no sea una fuerza lateral, sino perpendicular al suelo.

Radio mínimo		Velocidad máxima	
15 m	50 ft	8 km/h	5 mph
25 m	80 ft	10 km/h	6 mph
50 m	165 ft	15 km/h	9 mph
75 m	245 ft	20 km/h	12 mph
100 m	330 ft	25 km/h	15 mph
200 m	655 ft	30 km/h	20 mph

**Para curvas sin peralte**

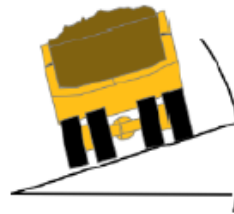


Figura 27 Relación entre radio y velocidad. Relación entre velocidad máxima y radio mínimo de curvatura. Fuente: Michelin, (2019).

Relación entre radio, velocidad y peralte para deriva cero													
Radio		Velocidad											
		km/h	15	20	25	30	35	40	45	50	55	65	
		mph	9	12	15	20	22	25	28	31	35	40	
(m)	(ft)	Peralte											
50	165		3,5	6	10								
60	195		3	5	8	12							
70	230		2,5	4,5	7	10							
80	260		2	4	6	9	12						
90	295		2	3,5	5,5	8	10,5						
100	330		1,5	3	5	7	9,5						
125	410			2,5	3,5	5,5	7,5	10					
150	490			2	3	5	6,5	8,5	10,5				
175	575				2,5	4	5,5	7	9	11			
200	655					3,5	5	6	8	10	12		
250	820						4	5	7	8	10		
300	985							3	4	5	6	8	10

Figura 28 Relación entre velocidad, radio y peralte. Relación entre velocidad, peralte y radio de curvatura. Fuente: Michelin, (2019).

Las condiciones de la vía pueden afectar tanto por cortes por presencia de rocas, como por separaciones mecánicas debido a sobrecargas dinámicas. En general, el mantenimiento de vías comprende:

- Limpieza de las vías, tanto de rampas, zonas de carga y zonas de descarga, evitando la presencia de rocas que puedan cortar los neumáticos
- Evitar las ondulaciones en las vías debido a que generan sobrecargas dinámicas.
- Evitar la excesiva presencia de agua, debido a que puede generar patinajes que generan desgaste irregular en los neumáticos (Michelin, 2019).



Figura 29 Afiche de cuidado de neumáticos. Fuente: Bridgestone, (2019).

#### 2.2.3.5. Operación del equipo

Michelin, dice que los neumáticos pierden su vida útil dramáticamente cuando existe una forma inapropiada de manejar el volquete minero; desde aceleraciones violentas, frenadas bruscas, y tomar curvas a alta velocidad (Michelin, 2012).

#### 2.2.3.6. Almacenamiento

Los neumáticos de por si tienen un periodo de caducidad, y si son almacenados incorrectamente se pueden deteriorar con mayor rapidez. Según Michelin (2012) afirma:

La humedad, las temperaturas elevadas, así como las grandes variaciones de temperatura y la luz son factores de aceleración del envejecimiento de la

goma; factores que se amplifican en zonas muy soleadas y/o expuestas a tormentas frecuentes (presencia de ozono). (p. 2)

Debido a ello, la recomendación general es almacenarlos bajo techo; sin embargo, es posible almacenarlos al aire libre con ciertas condiciones como: cubrirlos con lonas, mantener el área limpia, que no estén en contacto con otros agentes y por una duración máxima de cuatro meses.

#### 2.2.4. Razones de desecho de neumáticos

Cada fabricante de neumáticos utiliza su propia clasificación para separar los tipos de daños en los neumáticos y también las razones de desecho.

RAZONES DE BAJA DE NEUMÁTICOS			
GLOSARIO BRIDGESTONE			
RAZON PRINCIPAL (MAIN REASON)	SUB RAZON	BS CODE	POSIBLES CAUSAS
CORTES DE ROCA (ROAD HAZARD)	CORTE EN BANDA DE RODAMIENTO	TREAD CUT	ROCAS EN LA VÍA
	CORTE PASANTE (BANDA DE RODAMIENTO)	CUT THROUGH	
	IMPACTO EN EL HOMBRO	SHOULDER IMPACT	
	CORTE EN EL FLANCO	SWC	
	IMPACTO	IMPACT CUT BURST	
	SEPARACIÓN POR CORTE	CSEP	OBJETOS EXTRAÑOS EN LA VÍA
CORTES OBJETOS AJENOS: rieles, patines, otros objetos metálicos, etc.	ACCIDENT		
DESGASTE FINAL (WORN OUT)	DESGASTE FINAL, RODO LONAS	WO	DESGASTE DE LA BANDA DE RODAMIENTO
	DESGASTE IRREGULAR	IRRW	
	ABRASIÓN	CHUNKING	
SEPARACIONES	SEPARACIÓN TÉRMICA	HSEP: HEAT SEPARATION	VELOCIDAD, SOBRE CARGA, EXCEDE TKPH
	SEPARACIÓN MECÁNICA:	MSEP	FATIGA DE CARCASA POR SOBRE ESFUERZO EN GIROS, SOBRE CARGA DINAMICA, ETC.
	BURBUJA EN TALÓN	BEAD BULGE	SOBRE ESFUERZO DE ESTA ZONA POR SOBRE CARGA Y SOBRE CARGA DINAMICA
	DAÑO EN TALÓN	BEAD DAMAGE	
	SEPARACIÓN FIN DE CINTURON (Sep. Mec. Hombro)	BES: Belt End Separation	FATIGA DE CARCASA POR SOBRE ESFUERZO EN GIROS, SOBRE CARGA DINAMICA, ETC.

Figura 30 Razones de desecho de neumáticos según Bridgestone. Clasificación de razones de desecho según Bridgestone. Fuente: Bridgestone, (2019).

Motivo de Baja	Sub Motivo	Posibles Causas
Desgaste	Rodo Lonas	Desgaste BDR
	Desgaste irregular	
Separaciones	Térmicas	Incremento de TKPH
	Mecánicas	Sobrecarga Mal centrado de cargas Ondulaciones en vías Aceleraciones laterales fuera de rango Maniobras cerradas con volquete cargado.
Cortes /Impactos	Corte Banda	Estado de vías y pisos de los frentes de carga y descarga.
	Corte Flanco	
	Impacto	
	Sep. Por Corte	

Figura 31 Razones de desecho de neumáticos según Michelin. Clasificación de razones de desecho según Michelin. Fuente: Bridgestone, (2019).

Según acuerdo del Comité de Llantas de la mina en cuestión, la categorización a utilizar para la clasificación de los neumáticos desechados es la siguiente:

#### 2.2.4.1. Desgaste final

También conocido como “Rodo Lonas”, y como su nombre lo indica, se da cuando el neumático culmina su vida útil debido al desgaste natural del mismo. Para desechar un neumático como desgaste final, se considera su porcentaje de desgaste dado por la siguiente formula:

$$\frac{(Cocada\ inicial - (promedio\ de\ la\ cocada\ actual))}{(Cocada\ inicial * Porcentaje\ máximo\ de\ aprovechamiento\ del\ neumático)} = \%desgaste$$

Donde:

Porcentaje máximo de aprovechamiento del neumático = 0.85 u 85%

El desgaste máximo de un neumático es del 85% debido a cuestiones de seguridad, pues, llegado ese porcentaje de desgaste empieza a notarse la exposición de cables y existen arrancamientos de goma, poniendo en riesgo la integridad del neumático.

#### **2.2.4.2. Corte roca**

Cualquier tipo de corte en el neumático producto del impacto de una roca. Pueden ser clasificados por la parte del neumático en donde se presenta el corte. Por otro lado, cuando se detecta la presencia de un corte, lo más importante es distinguir si es un corte superficial o un corte pasante.

Se considera un corte pasante cuando la perforación traspasó el butilo; es decir, que perforo hasta el interior del neumático. En este caso el daño es irreparable y el neumático debe ser desechado. Si el corte no llegó a perforar hasta el interior, pero llegó a tocar las cuerdas de la carcasa, también se deberá desechar el neumático. Dependiendo de la unidad minera y sus regulaciones de seguridad, se podría considerar reparar un neumático en el que el corte tocó cuerdas, sin embargo, ya no se considera un neumático seguro.

En el caso de cortes que no fueron lo suficientemente profundos para tocar cuerdas, deben ser reparados. De no ser reparados a tiempo, dichos cortes pueden ocasionar una separación por corte; es decir que, a partir del corte, se irán separando las capas internas del neumático y será desechado.

#### **2.2.4.3. Separación mecánica**

Es la separación de las capas internas del neumático debido a fatigas por sobreesfuerzo, sobreesfuerzo en giros, sobrecarga dinámica, entre otros.

Una vez detectada una separación mecánica, el daño es irremediable y el neumático debe ir a desecho; de lo contrario, puede ocasionar una pérdida de presión rápida o “reventón”, poniendo en riesgo al equipo y al personal.

#### **2.2.4.4. Separación térmica**

Se da cuando el TKPH del neumático es superado ya sea por velocidad o sobrecarga.

Por exceso de temperatura, superior a 85°C, el caucho del neumático empieza a degradarse y causa la separación de las capas del mismo. El neumático sufre un daño irreparable.

### 2.2.4.5. Accidente

Cualquier otra razón por la cual el neumático pueda sufrir algún daño y pueda ser desechado.

## 2.3. Hipótesis

Dado que los neumáticos de dimensión 59/80R63 utilizados en las flotas de volquetes Caterpillar 797F y Komatsu 980E-4 de la mina de estudio muestran un bajo rendimiento, es probable que mediante un análisis y propuestas de mejora se logre mejorar dicho rendimiento.

## 2.4. Variables

### 2.4.1. Variable dependiente

Rendimiento de neumáticos

### 2.4.2. Variable independiente

Propuesta de mejora

### 2.4.3. Cuadro de operabilización de variables

<i>Variables</i>	<i>Dimensiones</i>	<i>Indicadores</i>	<i>Sub indicadores</i>	<i>Técnicas</i>	<i>Instrumentos</i>
Rendimiento de neumáticos (DEPENDIENTE)	Tiempo de vida	Horas de utilización	T(vida util) = 4,296 hrs.	Análisis documental	Guía de análisis
	Evaluación del rendimiento	Costo por hora	9.31 \$/h.	Cálculo matemático.	Ficha de resultado
		Costo remanente	\$3,985,282	Cálculo matemático.	Ficha de resultado
Propuesta de mejora (INDEPENDIENTE)	Estrategias convencionales	Capacitación a colaboradores	-	Análisis documental	Guía de análisis
		Nivel de mejora en infraestructura vial	-	Análisis documental	Guía de análisis
	Estrategia de implementación para monitoreo. (TPMS)	Nivel de temperatura	-	TPMS	MEMS
		Nivel de presión	-		

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Alcances y Limitaciones

El presente proyecto es viable debido a que se cuenta con la información necesaria para realizar el análisis de datos, además, se conoce la realidad problemática debido a que el investigador se encontró laborando en el lugar durante el año 2019. La recopilación de datos corresponde a una mina ubicada en la región de Tacna y la realización del presente proyecto tomará entre cuatro y cinco meses.

El investigador cuenta con la disposición económica para solventar los gastos necesarios para el desarrollo del presente borrador.

#### 3.2. Tipo y Diseño de la Investigación

La investigación será de tipo descriptiva, no experimental porque busca realizar un planteamiento de mejora sin alterar sus variables. Se trata de una investigación no experimental de corte transversal. Debido a que el investigador no puede manipular la realidad del año 2019, sin embargo, se realizará una mejora a partir de ello. Se evaluará a través de una estadística no probabilística.

#### 3.3. Población y Muestra Universo

La población incluye a todos los neumáticos de dimensión 59/80R63 desechados por la empresa minera desde enero hasta noviembre del 2019, cifra que asciende a 197 unidades, adicionalmente, con fines comparativos se utilizará el registro de desechos de neumáticos de enero hasta noviembre de 2018; por lo tanto, se habla de un muestreo no probabilístico censal debido a que se considerará el total de la población porque el investigador cuenta con el acceso a toda la información necesaria.

#### 3.4. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

- Técnica documental con base de datos como instrumento: la investigación aplicara la técnica documental, es decir que revisará los informes y detalles que presenta la empresa Neuma Perú S.A.C. a partir de lo cual se creará como instrumento la base de datos de los neumáticos.

- Técnica de observación con guía de observación como instrumento: durante el periodo laborado el investigador ha podido observar de primera mano cómo se da el uso de los neumáticos y cuál es su rendimiento.

### 3.5. Plan de análisis estadístico de los datos

Se empleó la estadística descriptiva para mostrar los datos obtenidos sobre el rendimiento de los neumáticos a lo largo del periodo 2019, estos resultados se mostrarán en tablas y graficas de agrupación porcentual y de frecuencia.

También se empleará estadística inferencial al comparar muestras del rendimiento de los neumáticos con dispositivo TPMS y los neumáticos sin dispositivo TPMS, a través del estadístico t de student, para evidenciar si existe diferencias estadísticamente significativas.

### 3.6. Información General

La mina de estudio se encuentra en el sur del Perú, región de Tacna, provincia de Jorge Basadre, distrito de Ilabaya, muy cercana a la frontera regional con el departamento de Moquegua.

Su localización exacta está dada por:

17°13' Latitud Sur; 70°36' Longitud Oeste

El acceso a la Unidad Minera se da mediante la carretera Panamericana Sur, aproximadamente a la altura del kilómetro 1200, donde se encuentra el centro poblado Alto Camiara. Desde ahí se toma un desvío directo al campamento minero de aproximadamente 63 kilómetros.

Un segundo acceso a la Unidad minera es mediante una trocha de aproximadamente 73 kilómetros desde la ciudad de Moquegua. Además, el campamento minero cuenta con una pequeña pista de aterrizaje para avionetas, la cual se encuentra en desuso.

Por último, la mina también cuenta con acceso de un ferrocarril que la une con el puerto de Ilo.

La mina en cuestión se encuentra produciendo concentrado de cobre desde 1960, después de haber entrado en operaciones en 1957. Para finales del 2019, después de una expansión de su planta concentradora, la mina procesa aproximadamente 120 mil toneladas métricas de mineral por día. Además, realiza un movimiento de material de entre 670 a 700 mil toneladas por día.

La operación de tajo abierto trabaja con tres fases simultáneas; en diciembre de 2019 la Fase 4, casi al final de su vida, Fase 5 y Fase 6. Por otro lado, el mineral enviado a chancadora tiene una ley promedio aproximada de cobre de 0.63%.

La flota de equipos cuenta con 9 palas eléctricas, 88 volquetes, 3 cargadores, 17 perforadoras, 13 tractores de orugas, 14 tractores de ruedas, 3 excavadoras, 4 motoniveladoras y 5 tanques de regadío. El detalle de los equipos se explicará más adelante.

Tabla 2  
*Volquetes*

Flota	Cantidad	Capacidad (TM)
CAT 793D	13	218
CAT 794C	4	290
<b>CAT 797F</b>	<b>31</b>	<b>363</b>
KOM 930E-1	3	290
KOM 930E-3	9	290
KOM 930E-4	15	290
KOM930E-4SE	2	290
<b>KOM980E-4</b>	<b>11</b>	<b>363</b>
<b>Total</b>	<b>88</b>	

Nota. Resumen de equipos de acarreo utilizados en la mina de estudio; las flotas CAT 797F y KOM 980E-4 resaltadas en la tabla, corresponden a los equipos que utilizan los neumáticos de estudio. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2020

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS SITUACIONAL E IDENTIFICACIÓN DE FACTORES

#### 4.1. Diagnóstico situacional de los neumáticos

Para realizar el diagnóstico situacional de los neumáticos se utilizó una base de datos que almacena la información respecto al desecho de todos los neumáticos de dimensión 59/80R63 del año 2018; la base de datos nos brindó información referente a motivos de desecho, horas trabajadas por cada neumático por cada posición en el volquete, kilómetros recorridos, cocadas remanentes y costo remanente. Esta información fue trabajada en hojas de cálculo para identificar el promedio de rendimiento de los neumáticos y la incidencia de cada motivo de desecho.

Nº	Número Interno	Dimensión, Marca y Tipo	Horas	Distancia en KM,	Cocada Remte H.I. - H.D	Razón de Cambio	Fecha de Retiro	Costo Remanent	Equipo	Posición	% Rodó Lonas
198	11611140	59/80R63, BS, VRPS E2A, 2"	5,174	83,694	43:43	RODO LONAS	3/01/2018	\$16,632.64	C68	6	70.14%
199	11611107	59/80R63, BS, VRPS E2A, 2"	5,512	91,992	33:31	RODO LONAS	18/01/2018	\$12,710.00	C76	5	77.78%
200	11711009	59/80R63, BS, VRPS E2A, 2"	5,769	89,756	36:37	RODO LONAS	28/02/2018	\$10,974.33	C68	6	74.65%
201	11711129	59/80R63, BS, VRPS E2A, 2"	5,829	91,517	38:30	RODO LONAS	16/08/2018	\$9,620.36	C111	6	76.55%
202	11711060	59/80R63, BS, VRPS E2A, 2"	5,574	88,073	33:30	RODO LONAS	7/09/2018	\$8,647.84	C103	6	78.13%
203	11711155	59/80R63, BS, VRPS E2A, 2"	6,418	101,189	20:25	RODO LONAS	22/09/2018	\$5,902.45	C79	6	84.48%

Figura 32 Muestra de base de datos. Muestra de base de datos utilizada para el diagnóstico situacional de neumáticos referente a los desechos del año 2018. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2020

La información contenida en la base de datos en cuestión fue recolectada durante todo el año 2018 por personal de Neuma Perú. En referencia a la columna “Horas”, se considera 24 horas al día desde la instalación del neumático nuevo hasta el día de su desecho. Para la columna “Distancia en KM”, se toma como referencia el odómetro del volquete.

Para la medición de la “Cocada” del neumático se considera la Cocada izquierda (H.I.) y la Cocada derecha (H.D.) debido a que el desgaste puede ser irregular. En el caso que se necesite utilizar la cocada como dato, se considera el promedio de ambas.

La “Razón de cambio” hacer referencia al tipo de daño por el cual se da como desecho al neumático, pudiendo ser por: Desgaste final o Rodo Lonas, Separación Térmica, Separación Mecánica, Corte Roca o Accidente.

Finalmente, el Costo Remanente es calculado con la siguiente fórmula:

$$(\text{Costo Inicial} - (\text{Porcentaje de Desgaste} * \text{Costo Inicial})) = \text{Costo Residual}$$

Resaltando que el Porcentaje de Desgaste fue explicado anteriormente en el Marco Teórico. Por ende, considerando que el porcentaje de desgaste por neumático debe ser de un 85% y el costo inicial de un neumático es aproximadamente 40 000 dólares; al aplicar la fórmula de costo residual, el objetivo de costo residual para los neumáticos 59/80R63 es menor o igual que 6000 dólares.

A partir de la información contenida en la base de datos en cuestión, se obtuvo lo siguiente:

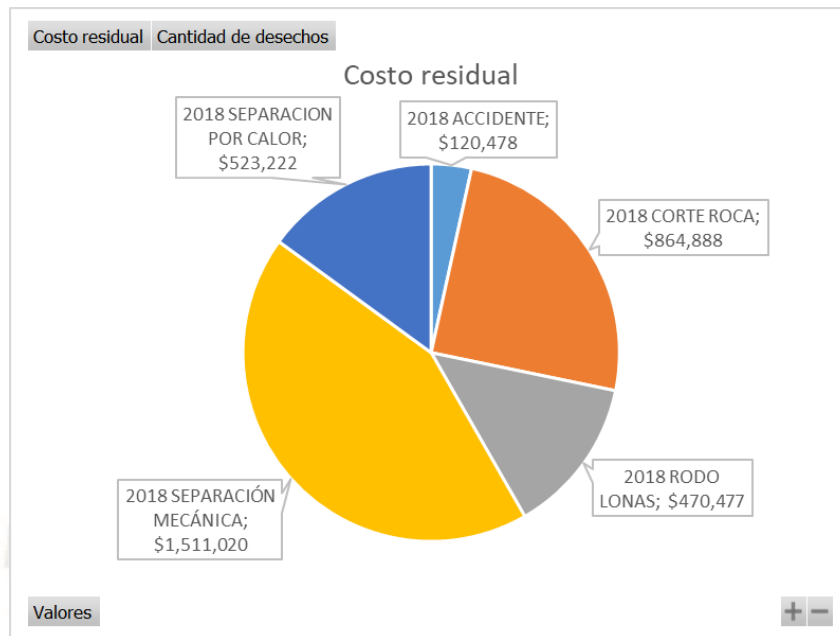


Figura 33 Gráfico de valor residual por tipos de desecho año 2018. Gráfico circular que muestra la razón de desecho de los neumáticos 59/80R63 del año 2018 y el valor residual que representaron a fin de año. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2020

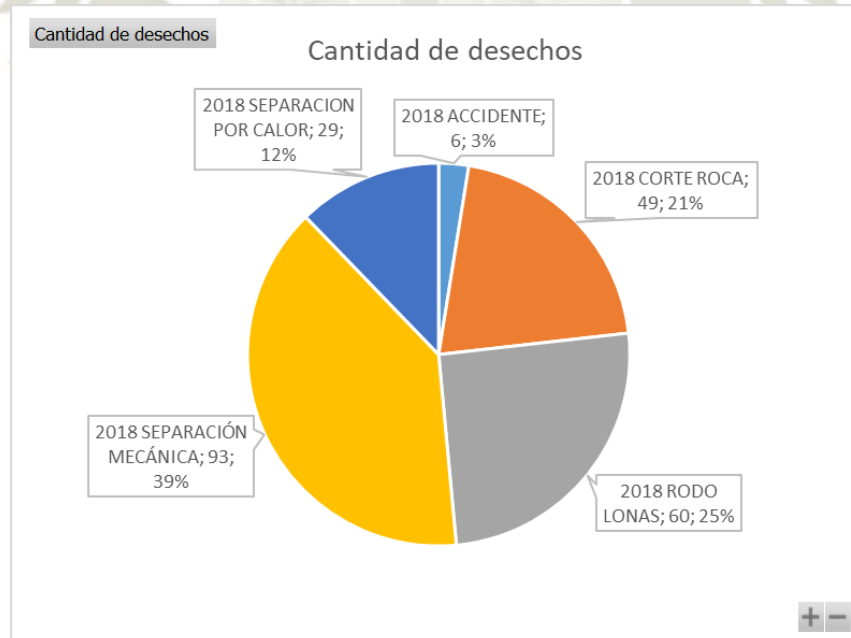


Figura 34 Gráfico de distribución de tipos de desecho año 2018. Gráfico circular que muestra la razón de desecho de los neumáticos 59/80R63 del año 2018, la cantidad por cada tipo de desecho y el porcentaje que representan. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2020

De los gráficos anteriores obtenemos en primer lugar que la razón de desecho que dejó un mayor costo residual fue la Separación Mecánica, por lo cual se dejaron de utilizar \$1 511 020 (US dólares) que quedaron de remanente en los neumáticos al momento de su desecho. Seguido de la separación mecánica estuvo el Corte Roca, dejando \$864 888 (US dólares) sin utilizar. La Separación por Calor dejó un remanente de \$523 222 (US dólares) y el Desgaste Final o Rodo Lonas dejó \$470 477(US dólares).

Respecto al costo residual que dejó el tipo de desecho: Desgaste Final, determinamos que los más de quinientos mil dólares que restaron se encuentran dentro del rango de 80% a 85% de aprovechamiento regular de los neumáticos, pues, ese factor es utilizado netamente para el cálculo del porcentaje de desgaste mas no para el cálculo de costo residual.

Por otro lado, el tipo de desecho: Accidente, se refiere a un único evento ocurrido en diciembre del año 2018, en donde un volquete de la flota 797F tuvo un grave accidente que dio como resultado la pérdida total de sus seis neumáticos.

Tabla 3

*Neumáticos desechados por la ocurrencia de un accidente*

Número interno	Dimensión, Marca y Tipo	Horas	Costo Remanente	Posición
11711226	59/80R63, BS, VRPS E2A	6166	\$ 9,575	5
11811201	59/80R63, BS, V066Z E2A	944	\$ 33,775	1
11811202	59/80R63, BS, V066Z E2A	944	\$ 33,119	2
11811024	59/80R63, MICH, XDR2 B4	4894	\$ 8,540	6
11811121	59/80R63, MICH, XDR2 B4	3098	\$ 17,813	3
11811138	59/80R63, MICH, XDR2 B4	2656	\$ 17,656	4
<b>Total</b>			<b>\$ 120,478</b>	

Nota. Detalle de neumáticos desechados debido al accidente de un volquete en el año 2018. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2020

Observando el gráfico de la Figura 34, se determinó que el motivo de desecho más incidente fue la Separación Mecánica, representando el 39% de desechos del año

2018; seguidamente se encuentra Rodo Lonas con 25%, Corte Roca con 21% Separación por Calor 12% y Accidente con 3%.

Considerando que todo tipo de desecho, sin considerar el Desgaste Final, es un desecho operacional, tenemos que el 75% de neumáticos fueron desechados prematuramente debido a motivos operacionales, dejando de aprovechar el total de la inversión del neumático.

#### **4.2. Determinación de factores críticos en el rendimiento de los neumáticos**

Los factores influyentes en el rendimiento de los neumáticos 59/80R63 fueron determinados en base a bibliografía, tanto por manuales como por investigaciones previas; así mismo, se utilizó la consulta con especialistas de la empresa Neuma Perú, quienes brindaron información de manera verbal durante la estadía del investigador en la faena minera.

Taquima, en su tesis titulada: Eficiencia en el rendimiento de neumáticos de camiones gigantes mediante el sistema de administración de movimiento de tierra Michelin (M.E.M.S. Evolution 2) Mina Antapaccay, Arequipa Perú; menciona los Factores que influyen en la duración de vida de los neumáticos, los cuales considera: temperatura interna de funcionamiento, la presión, condiciones climáticas, posición de los neumáticos en el camión, diferencia entre los diámetros de los neumáticos montados sobre el vehículo, la sobrecarga, la conducción de la máquina, velocidad excesiva, duración y longitud de los ciclos, mantenimiento mecánico del camión y mantenimiento de vías.

Por otro lado, Tejada en su tesis: Metodología del cambio de posiciones 1 y 6 de neumáticos gigantes 793-D, para incrementar la vida útil y reducir costos en SM. Cerro Verde – Arequipa, Perú; hace referencia a los “Factores que influyen el incremento de vida útil de los neumáticos” considerando: temperatura interna de funcionamiento, presión de inflado, condiciones climáticas, posición de los neumáticos en el camión minero, diferencia de diámetros de los neumáticos montados sobre el camión minero, sobrecarga, conducción de la máquina, duración y longitud de ciclos, mantenimiento mecánico de los camiones y trazado y mantenimiento de pistas.

Así mismo, Blanco en su tesis titulada: Incremento de vida útil de neumáticos para reducir costos de operación en camiones Caterpillar 797F en Toromocho – Chinalco Perú; realiza una diferenciación entre factores internos y externos, siendo presión y temperatura los factores internos y mencionando las vías de transporte de la mina, ciclo de transporte, clima carga excesiva y operatividad del equipo como factores externos.

Por su parte, Michelin, en su Manual de Mantenimiento y Cuidado de neumáticos nos brinda el siguiente gráfico, señalando los factores que influyen en la vida de un neumático.

## *Factores que afectan la duración de vida de los neumáticos*



Figura 35 Factores que afectan el rendimiento de neumáticos. Listado de factores que afectan la vida útil de un neumático según Michelin. Fuente: Michelin, (2012).

Tomando en consideración la Figura anterior, y para los fines de la presente investigación, los factores mencionados en dicha Figura, fueron agrupados de la siguiente manera:

Numeración	Subtitulo
4.2.1.1.	Temperatura
4.2.1.2.	Presión
4.2.1.3.	Operación de equipos
4.2.1.4.	Carga del volquete
4.2.1.5.	Factor climático
4.2.1.6.	Estado de vías
4.2.2.7.	Rotación de neumáticos

Vida del neumático			
Aplicaciones	Proceso	Tipo de neumático	Mantenimiento
Condiciones climáticas	Modos operatorios	Estructura del neumático	Mantenimiento de las pistas
Tipo y pendiente de la pista	Frecuencia de las sobrecargas	Tipo de escultura	Mantenimiento de las áreas de carga
Longitud de los ciclos	Velocidad máxima	Profundidad de la escultura	Mantenimiento de las áreas de descarga
Trazado de las pistas	Habilidad del operador	Elección de los neumáticos	Control de las presiones de inflado
Trazado de las curvas	Conducción de la máquina		Examen de las máquinas
Tipo y tamaño de las maquinas			Examen periódico de los neumáticos
Velocidad en curva			Reparación de los neumáticos
Velocidad media			Redibujado
Densidad de los materiales transportados			Recauchutado
Repartición de la carga			
Posición de la rueda del vehículo			

No se consideró ningún factor de la categoría “Tipo de neumático” debido a que esta investigación trata específicamente a los neumáticos 59/80R63; así mismo, tampoco se consideraron factores inherentes a la operación minera tales como tipo y tamaño de máquinas o longitud de ciclos, ya que no es posible tener injerencia sobre ellos.

De igual manera, dada la experiencia del investigador durante el año 2019 y con asesoría del personal de Neuma Perú, encargados directos del mantenimiento de los neumáticos, se determinó que se debía considerar la **temperatura** como un factor en el desgaste de los neumáticos, por lo cual se consideró en el punto 4.2.1.1.

#### **4.2.1.1. Temperatura**

La forma de obtener la temperatura de los neumáticos en tiempo real es mediante dispositivos TPMS, los cuales miden la presión y temperatura de cada uno de los neumáticos en los que está instalado el dispositivo.

Para finales del año 2018, solo 18 volquetes de la flota CAT 797F contaban con dispositivo TPMS, MEMS 3. Para el resto de la flota CAT 797F y Komatsu 980E-4 no era posible realizar el seguimiento de temperatura y presión en tiempo real.

Es por ello que no se cuenta con un historial de temperaturas registradas para el año 2018; sin embargo, podemos inferir que por lo menos 29 neumáticos de los 237 totales del año 2018, es decir el 12%, presentaron temperaturas extremadamente altas, lo cual derivó en que dichos 29 neumáticos fueran desechados al presentar separaciones por calor. El hecho de que los neumáticos llegaran a una temperatura tan alta para que el daño sea irreversible, es atribuible a la falta de control y monitoreo de dichas temperaturas para lo cual es necesario de sistemas TPMS.

#### **4.2.1.2. Presión**

Al igual que con la temperatura, la presión puede ser monitoreada con dispositivos TPMS, en este caso, Michellin earthmover management system 3 y 4 (MEMS 3 y MEMS 4.)

Principalmente las alarmas dan aviso de presiones bajas, las cuales se dan por fugas de aire debido a cortes. Las alertas por presión alta son menos comunes, debido a que la presión está estrictamente relacionada a la temperatura del neumático. A mayor temperatura, mayor presión dentro del neumático; las alertas por presión alta, siempre van de la mano con alertas por temperatura.

Debido a la carencia de datos históricos del año 2018, no es posible relacionar directamente el factor presión a ninguno de los neumáticos desechados, a pesar que pudo haber injerido en algún caso de separación mecánica, pues este factor produce cargas dinámicas en los neumáticos producto de la flexión excesiva del neumático ocasionando la separación entre las capas del mismo. Debido a esto, 93 neumáticos fueron desechados prematuramente el 2018.

#### **4.2.1.3. Operación de equipos**

El operador del volquete es el responsable directo por cualquier daño al neumático, esto debido a que es el único que tiene control sobre el equipo y tiene el poder de decisión.

Principalmente, el factor de la operatividad del vehículo se basa en la velocidad del mismo. En la mina, como en cualquier ruta para vehículos de transporte se cuenta con rectas y curvas, algunas más cerradas que otras; también se cuenta con zonas de alto riesgo como son los botaderos y el área de carguío.

Los neumáticos están diseñados para recorrer una cierta distancia por hora y a cierta velocidad; si esa velocidad es sobrepasada, se puede sobrepasar el TKPH y por ende se elevará la temperatura del neumático, corriendo el riesgo de derivar en una separación térmica. Lo anterior principalmente en las rectas.

En curvas, entran en juego las cargas dinámicas debido a la inercia del volquete y su carga. Cuando un volquete realiza un giro a gran velocidad, el flanco del neumático se flexionará en exceso, deformando la estructura interior del neumático, dando pie a una separación mecánica. Además, la

flexión del flanco hace que éste entre en contacto con el aro, ocasionándole daños.

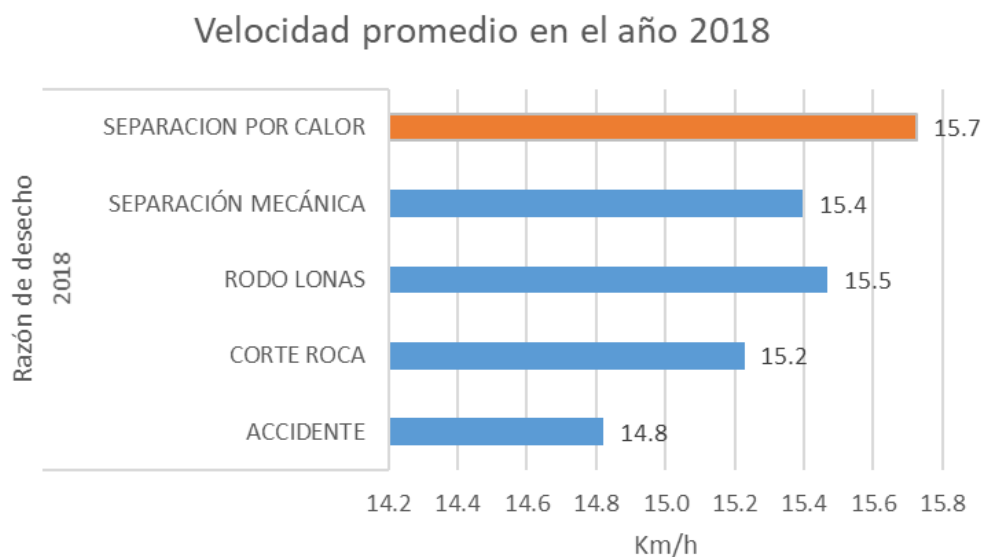


Figura 36 Gráfico de velocidades promedio 2018. Gráfico de barras que evidencia las velocidades promedio durante el año 2018 clasificadas de acuerdo al tipo de daño por el cual fueron desechados los neumáticos. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2020

En el gráfico anterior queda en evidencia que durante el año 2018 la velocidad promedio de los neumáticos que sufrieron daños por calor fueron las más elevadas.

Por otro lado, el operador también debe ser cuidadoso en las zonas críticas antes mencionadas, botaderos y frentes de minado. Para el cuidado de neumáticos, el operador no debe golpear la berma de seguridad en el botadero al momento de retroceder, de igual manera, en el frente de minado debe ser cuidadoso de no subirse en los residuos que deja la pala al minar el frente. Además, durante todo el ciclo de minado el operador es responsable de no pisar con los neumáticos alguna roca que le pueda generar un daño a los mismos.

Durante diversas inspecciones realizadas por Michelin en el año 2018, se mencionan prácticas penalizantes de parte de los operadores de volquetes al subirse sobre material en el frente de minado y también en las bermas de los

botaderos. Además, la supervisión observó que algunos operadores no respetaban la velocidad máxima en curvas y zonas críticas.

#### 4.2.1.4. Carga del volquete

La operación de carguío, a cargo del operador de la pala, es otro factor de importancia en cuanto al cuidado de neumáticos. Como se mencionó anteriormente, las cargas mal centradas ejercen mayor fuerza sobre uno u otro neumático; siendo penalizante no solo para los neumáticos, sino también para la misma estructura del volquete.

En la operación, se observó de primera mano, además de ser mencionado en diversos informes de Michelin, la falta de homogeneización en centrado de cargas, pues a pesar que muchas estaban correctamente posicionadas, había otras que se encontraban descentradas, perjudicando la vida útil de los neumáticos.



Figura 37 Carga descentrada. Fotografía de volquete con carga descentrada dentro de la unidad minera de estudio. Fuente: Michelin, (2018).



Figura 38 Daños en neumático por sobrecarga. Daños en talón y flanco del neumático producto de sobrecarga del volquete. Fuente: Michelin, (2018).

#### 4.2.1.5. Factor climático

El factor climático influye específicamente con la presencia de precipitaciones, éstas al humedecer el caucho reducen su dureza y lo hacen más propenso a cortes. Además, al formarse lodo en la vía, los volquetes pierden tracción provocando derrapes, generando desgaste en la banda de rodamiento y a su vez provocando contacto de los neumáticos con las bermas, provocando cortes.

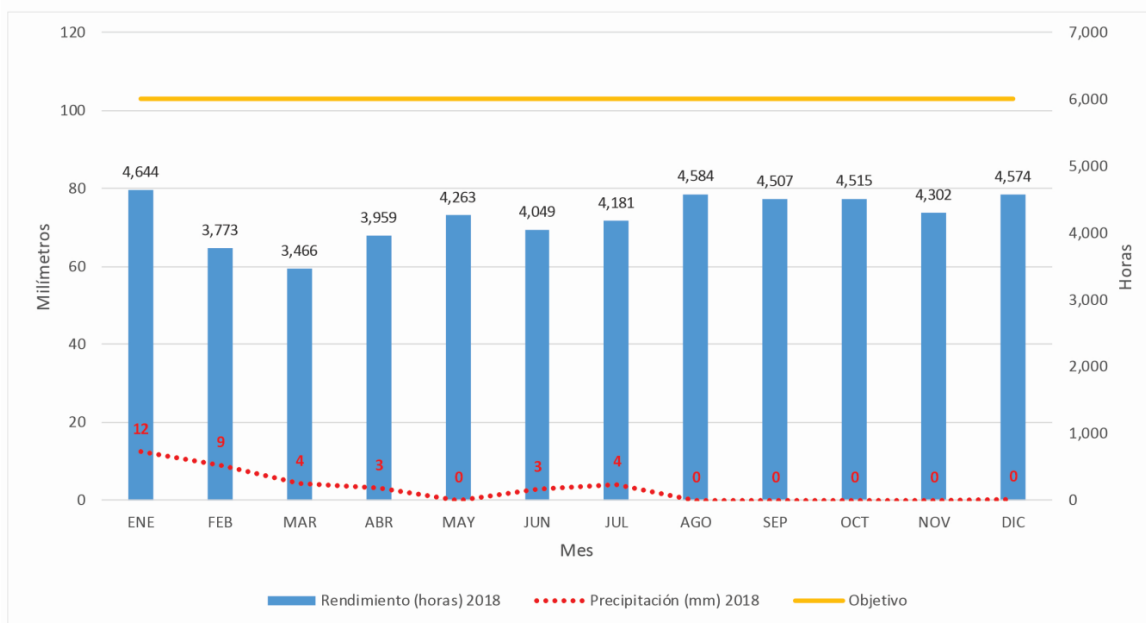


Figura 39 Precipitaciones mensuales y Rendimiento de neumáticos 59/80R63 – 2018. Gráfico que representa la cantidad de precipitaciones por cada mes del año junto con los rendimientos mensuales de los neumáticos 59/80R63 del año 2018. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2020

Dado que la mina de estudio se encuentra en la sierra peruana, presenta precipitaciones durante el verano, es decir entre enero, febrero y se puede extender hasta marzo. En el caso del año 2018, excepcionalmente se presentaron precipitaciones durante invierno también, lo cual no se considera representativo debido a su extrañeza.

#### 4.2.1.6. Estado de las vías

El segundo tipo de daño operacional que más desechos de neumáticos causó fue el Corte Roca; y la única razón para que ocurran los cortes es debido a la presencia de rocas, lo cual se atribuye netamente al mantenimiento de vías. La empresa en cuestión, no cuenta con un supervisor o área de equipos auxiliares o de mantenimiento de vías, por lo que los supervisores de operaciones mina deben encargarse de supervisar las zonas de carguío, botaderos y las vías a la vez. Por otro lado, no se cuenta con un equipo compactador (rodillo), usualmente empleado en otras unidades mineras para mejorar la condición del suelo en los botaderos, donde el material es abrasivo.

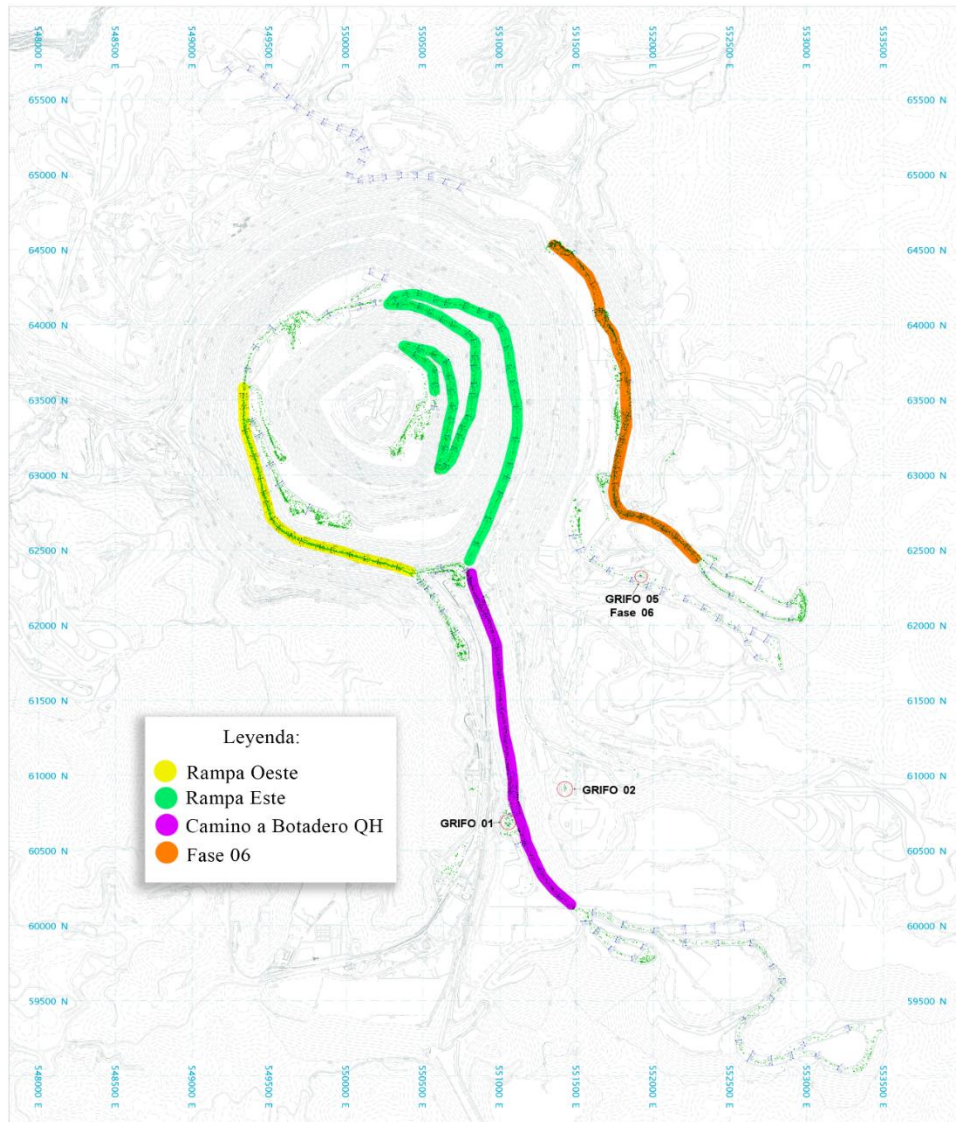


Figura 40 Principales rutas de acarreo. Principales rutas de acarreo de la mina de estudio. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019

En la mina de estudio se cuenta con cuatro rutas de acarreo principales:

- Rampa Oeste: comunica la Fase 05 con la Chancadora primaria, la Chancadora de material lixiviable y con el camino a Botadero QH.
- Rampa Este: comunica el fondo de mina, Fase 04, con las dos chancadoras y con el camino a Botadero QH.
- Camino QH: comunica al tajo con el botadero de material lixiviable y otros botaderos.

- Fase 06: la Fase 06 tiene una ruta principal que une a las tres palas que se encuentran trabajando en la zona y además, distintas rutas que se dirigen a diferentes botaderos; no se envía mineral ni leach de esta fase aún.

Los volquetes Caterpillar 797F y Komatsu 980E-4 no utilizan la Rampa Este debido a las dimensiones más angostas de dicha ruta que baja hasta el fondo de mina.

La ruta más crítica es la Rampa Oeste debido a la presencia de la falla Yarito Micalaco, la cual presenta movimientos diarios de entre 1cm a 3cm debido al movimiento natural de la falla y hasta de 20 cm cuando se realiza una voladura cercana, ocasionando desniveles en la rampa de acarreo.

Acerca del estado de las rutas de acarreo, se observaron dos factores penalizantes para los neumáticos de los volquetes:

#### **4.2.1.6.1. Ancho de vías**

Teniendo en consideración que los volquetes que utilizan los neumáticos 59/80R63, es decir los volquetes CAT 797F Y Komatsu 980E-4, tienen un ancho aproximado de 10.5 metros; teóricamente todas las vías de la mina deberían tener 37.5 metros de ancho, de tal manera que permitan tener un carril de ida, uno de vuelta y todas las medidas de seguridad como bermas centrales y bermas de seguridad, aptas para dichos vehículos.

El ancho de vías afecta en el rendimiento del neumático ocasionándole cortes. Mientras la vía es más angosta, es más común que los neumáticos de estos volquetes entren en contacto con las bermas; las bermas contienen rocas punzocortantes, las cuales perforan al neumático. Esto incluso se incrementa durante la temporada de lluvias, debido a que los volquetes pierden tracción y golpean las bermas con mayor frecuencia.

A finales del 2018 se solicitó al área de ingeniería un plano de la mina con los anchos de vías de las Rampas Este y Oeste. Según éste, en la Rampa Oeste solo se podía encontrar un pequeño tramo menor a 100 metros con el ancho debido, todo el resto de la rampa se encontraba por debajo de 37.5 metros de

ancho, encontrando tramos de hasta 29 metros. En la Rampa Este, de la misma manera, solo un tramo menor a 100 metros de largo tenía el ancho necesario, el resto de la rampa tenía un ancho menor a 37.5 metros, encontrando anchos de hasta 26 metros.

Es debido a poco ancho de vías que los neumáticos presentan cortes en el flanco del neumático, algunos siendo pasantes y enviando al neumático directamente a desecho; algunos otros son reparables, lo cual de igual manera implica detener el volquete para cambiarle de neumático, afectando la producción.



Volq.	Pos.	Observación
72	6	Evidencia de roce de neumático con la berma y daños en flanco.

Figura 41 Neumático con daños en flanco. Neumático del volquete 72 posición 6 con indicios de roce con las bermas de seguridad, presentando daños en el flanco debido al poco ancho de las vías de acarreo. Fuente: Michelin, (2018).

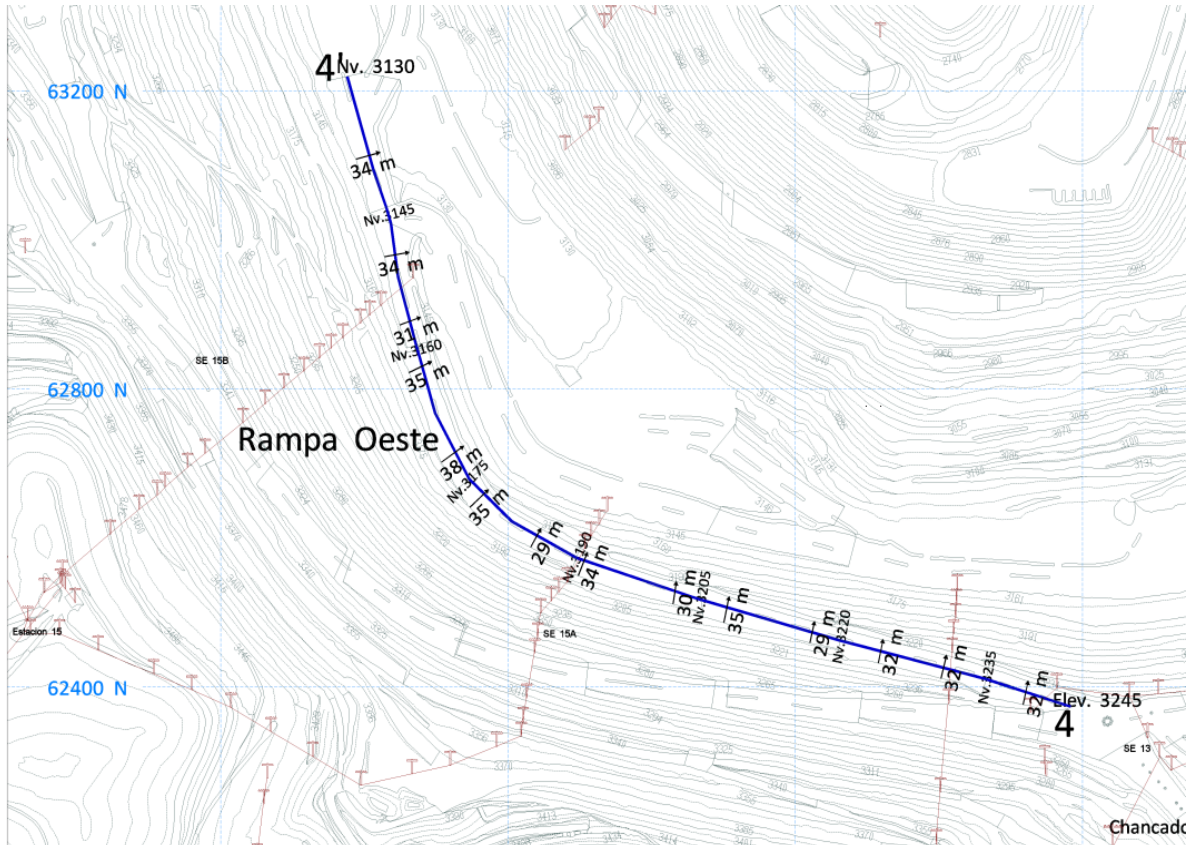


Figura 42 Ancho de vía en la Rampa Oeste. Se puede observar el ancho de vía que tiene la Rampa Oeste cada 15 metros de cota; siendo el Nivel 3175 el único tramo con el ancho deseado. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019.

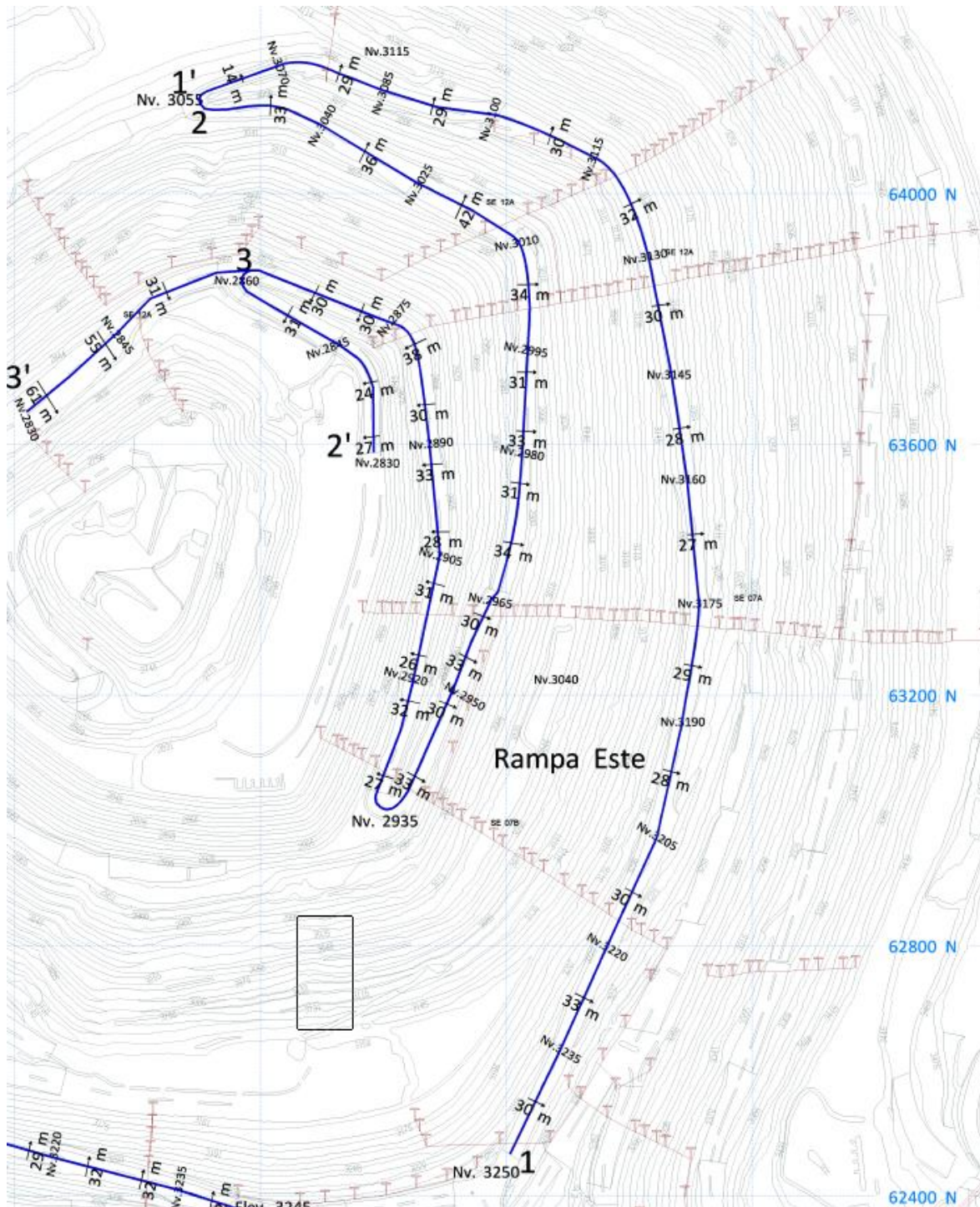


Figura 43 Ancho de vía en la Rampa Este. Se puede observar el ancho de vía que tiene la Rampa Este cada 15 metros de cota; siendo el Nivel 3025 el único tramo con el ancho deseado. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019.

En la ruta de acarreo de la Fase 06 no se encontraron problemas de ancho de vía.

#### 4.2.1.6.2. Pendiente y resistencia a la rodadura de la vía

Como se mencionó en el punto 2.2.3.4.1., la pendiente sugerida por los fabricantes de neumáticos debe ser de 8%; pendiente que está estandarizada en la mina de estudio. A continuación, se muestran cortes transversales tanto de la Rampa Este como de la Rampa Oeste, en donde podemos apreciar la pendiente entre cotas.



Figura 44 Pendiente de la Rampa Este entre cotas 2845 - 3055. Se puede observar la pendiente que tiene la Rampa Este cada 15 metros de cota. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019.



Figura 45 Pendiente de la Rampa Este entre cotas 3070 - 3250. Se puede observar la pendiente que tiene la Rampa Este cada 15 metros de cota. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019.

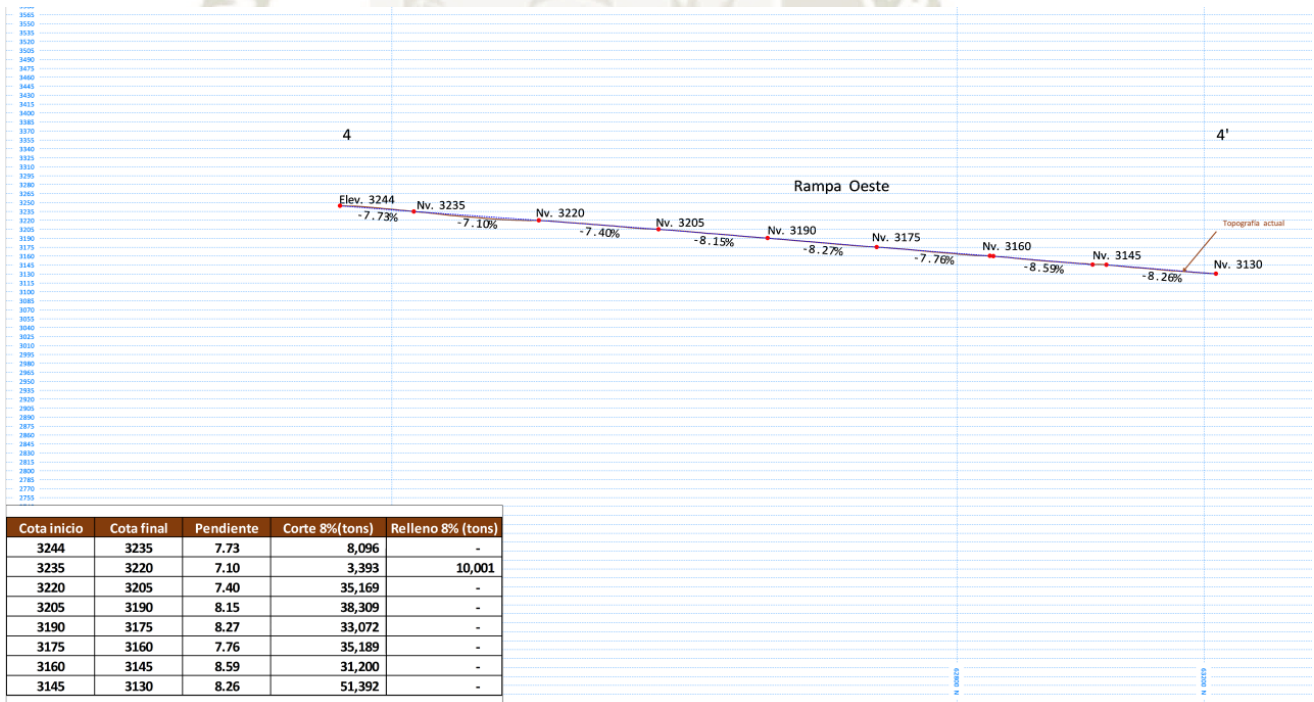


Figura 46 Pendiente de la Rampa Oeste entre cotas 3145 - 3244. Se puede observar la pendiente que tiene la Rampa Oeste cada 15 metros de cota. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019.

Promediando las pendientes de ambas rampas obtenemos que: la pendiente promedio de la Rampa Este es de 8.16% y la pendiente de la Rampa Oeste es de 7.91%. Observamos que la pendiente de la Rampa Este se encuentra por encima del estándar de 8% por lo cual debería ser corregida, mientras que la Rampa Oeste se encuentra por debajo del 8% por lo que es ideal para el cuidado de los neumáticos.

Por otro lado, respecto a la resistencia a la rodadura, fuerza de fricción entre los neumáticos y la superficie de las vías de transporte, es un factor que varía de acuerdo al peso del equipo, la pendiente de la ruta y las condiciones de la vía de transporte, por lo cual es difícil calcular su valor real en la mina de estudio; incluso dicho valor cambiará respecto a la época del año, es decir, a la presencia de precipitaciones.

Según Adriazola, en la mayoría de las minas del mundo la resistencia a la rodadura de sus rutas de transporte es desconocida y se utilizan valores que pueden estar muy lejos del valor real. La buena mantención de los caminos impacta fuertemente en la productividad óptima de los camiones (Adriazola, 2014).

Usualmente dicho valor es utilizado para el cálculo de flotas de equipos o el rendimiento de los mismos, pues es un factor que influye directamente con la potencia del equipo para vencer la resistencia al movimiento con la superficie; sin embargo, no existe evidencia de su injerencia respecto al rendimiento de los neumáticos, el cual es el tema central de la presente investigación, por lo cual la resistencia a la rodadura no será tomada en cuenta.

#### **4.2.1.6.3. Mantenimiento de la vía**

El mantenimiento de las vías de acarreo puede afectar el rendimiento de los neumáticos ocasionándoles tanto cortes por derrames en la carretera, así como separaciones mecánicas, debido a las cargas dinámicas que genera en el neumático las ondulaciones de la vía.

En diversas unidades mineras el mantenimiento de vías de acarreo es diferenciado del mantenimiento de los sectores de carga y descarga, es decir los frentes de minado y botaderos; esto debido al tipo de daño que pueden causar en los neumáticos; mientras en la vía de acarreo se pueden ocasionar cortes por impacto a velocidad y separaciones mecánicas debido a ondulaciones, en los frentes de minado y botaderos se pueden presentar cortes debido a la presión que ejerce el peso del volquete sobre los neumáticos y no por impacto. Sin embargo, para la mina de estudio de la presente investigación y con fines de simplificar la investigación, se considerará todo ello como un solo factor, pues en la situación actual de la mina de estudio no existe mayor diferenciación entre el mantenimiento de vías y los sectores de carga y descarga.

En la actualidad se cuenta con 14 tractores de ruedas distribuidos por toda la mina; éstos son utilizados tanto para trabajos auxiliares como para mantenimiento de vías. Al realizar una comparación respecto a otras unidades mineras, podemos identificar que en ellas la presencia de estos equipos en los frentes de minado es mucho más frecuente para realizar la limpieza del piso de pala; sin embargo, en la mina de estudio el procedimiento dicta que el operador de la pala debe solicitar al supervisor del área la presencia del tractor de ruedas para realizar la limpieza y el supervisor debe enviar al equipo más cercano, el cual no siempre esta disponible debido a la realización de otras tareas. Es de mencionar que tampoco se cuenta con un plan de lastrado para el piso de palas ni botaderos, inclusive, no se cuenta con una cantera de material fino para mejoramiento de vías.

En botaderos, los únicos equipos disponibles son los tractores de orugas, los cuales se encargan sobre todo del mantenimiento de la berma de seguridad y de esparcir el material para mantener el ángulo de talud y la cota. No se cuenta con aplanadora para compactar el piso en los botaderos ni se esparce lastre para mejorar sus condiciones.

Durante inspecciones en la primera mitad del año 2018, algunos botaderos y frentes de minado, debido a que son áreas muy dinámicas, no se encontraban con las condiciones propicias para el cuidado de neumáticos y presentaban material grueso que representaba un riesgo para la integridad de los mismos.



Figura 47 Neumáticos en contacto con rocas. Neumáticos en posición 5 y 6 en contacto con rocas en el frente de minado, las cuales pueden ocasionar daños al mismo. Fuente: Michelin, (2018).

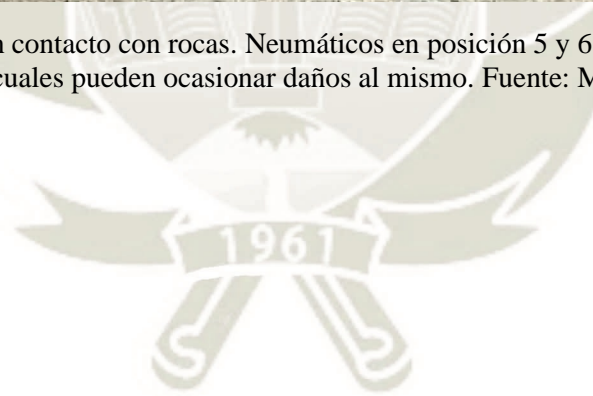




Figura 48 Condición del Piso de Pala 04. Fotografía del Piso de Pala 04 en condiciones no aptas para el cuidado de neumáticos, presentando rocas de gran tamaño. Fuente: Michelin, (2018).

Así mismo, en inspecciones realizadas por Michelin en los meses de julio, se reportaron condiciones penalizantes en la vía para los neumáticos tales como ondulaciones en la vía, material grueso y abrasivo en zonas de descarga de botaderos y pisos de pala.



Figura 49 Presencia de rocas en la vía. Presencia de rocas en la vía de acarreo, perjudiciales para los neumáticos. Fuente: Michelin, (2018).



**Observación**

Ondulación en la curva a la salida de Pala 7

Figura 50 Ondulaciones en la vía. Fotografía que muestra ondulaciones en la salida de Pala 07.  
Fuente: Michelin, (2018).



**Observación**

Piso Botadero QH con material abrasivo y sin compactación

Figura 51 Material penalizante en zona de descarga. Fotografía que muestra rocas de gran tamaño en zona de descarga en Botadero QH, poniendo en riesgo la integridad de los neumáticos. Fuente: Michelin, (2019).

#### 4.2.1.7. Rotación de neumáticos

Existen diferentes posiciones acerca de la rotación de los neumáticos, tanto entre posiciones y también de horas en cada posición. En el caso de la operación minera abordada en esta investigación y según Neuma Perú, el desgaste recomendado por los fabricantes obedece a la regla de rotación: el 30% de desgaste en posiciones 1 y 2, hasta el 60% de desgaste en posiciones 3 y 4 y el resto de su vida útil en posiciones 5 y 6. (Neuma Perú, 2019)

Para realizar la rotación de neumáticos en la mina de estudio se utilizan los porcentajes según el rendimiento histórico de los neumáticos, mas no el teórico planteado en una vida útil de 6000 horas, por lo que las rotaciones se realizan según la Tabla 4; de esta manera, los neumáticos son enviados de posición 1 y 2 a posición 3 y 4 a las 1289 horas, reduciendo sus horas de rodaje en el eje delantero, el cual es el menos penalizante.

Tabla 4  
*Rotación convencional*

Posición	Hrs.		Horas de rodaje actuales	Rp(%) = (VR/VT)
	Teóricas	% desgaste		
1 y 2	1800	30%	1289	71.6%
3 y 4	3600	60%	2578	71.6%
5 y 6	6000	100%	4296	71.6%

Nota. Detalle de la rotación que se practica actualmente. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2020

## CAPÍTULO V

### 5. IMPLEMENTACIÓN DE PROPUESTAS 2019 Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 5.1. Temperatura y presión

Se empezó un plan de implementación de dispositivos TPMS para las flotas CAT 797F y Komatsu 980E-4, para realizar seguimiento y control de la temperatura y presión de los neumáticos 59/80R63; para de esta manera poder tomar acciones correctivas en caso de alertas por temperatura o presión.

Para diciembre de 2019, 29 volquetes de los 42 volquetes de las dos flotas contaban con dispositivo TPMS, entre MEMS 3 y MEMS 4. Cabe resaltar que, durante el año 2019, la flota Komatsu 980E-4 sumó nueve volquetes nuevos, los cuales correspondieron a nueve de los once dispositivos implementados durante el año. Los otros dos dispositivos fueron instalados en volquetes CAT 797F; de esta manera, se logró cubrir hasta el momento el 70% de los volquetes en cuestión con el sistema MEMS.



Figura 52 Sensores de Sistema MEMS. Sensores correspondientes al sistema MEMS que son insertados al interior de los neumáticos 59/80R63 para el seguimiento de presión y temperatura. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019.

El incremento de dispositivos TPMS durante el año 2019 permitió pasar de tener 93 separaciones mecánicas y 29 separaciones térmicas en el año 2018 a 97 separaciones mecánicas y 0 separaciones térmicas en 2019.

La reducción de desechos por separación térmica se da debido a que los dispositivos TPMS envían alertas de temperatura y presión cuando se corre el riesgo de dañar el neumático. De esta manera, al llevar un control en tiempo real se pueden tomar acciones correctivas. Caso contrario, como en el año 2018, no se podía saber si el neumático tenía presión y/o temperatura inadecuada, hasta que sufría daños irreversibles y debía ser desechado.

Al poder tener la información de presión y temperatura en tiempo real se logró eliminar los desechos de neumáticos por separación térmica. Por otro lado, quedó evidenciado que respecto a las separaciones mecánicas no fue muy eficaz dicha información, ya que se necesita de diferentes datos en tiempo real para poder mitigar este tipo de daño.

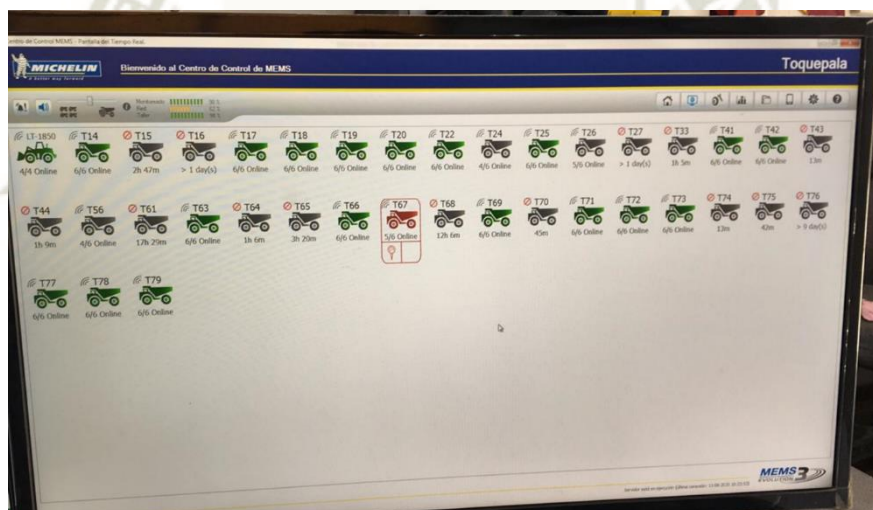


Figura 53 Interfaz MEMS 3. Pantalla principal del sistema MEMS 3, donde se pueden observar los volquetes que cuentan con el sistema y su estado en tiempo real. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019

Así mismo, el sistema MEMS 4 gracias a su función de geofencing cubre las deficiencias del MEMS 3 para reducir las separaciones mecánicas, permitiendo la generación de alertas de velocidad; sin embargo, ello será objeto de un siguiente estudio.

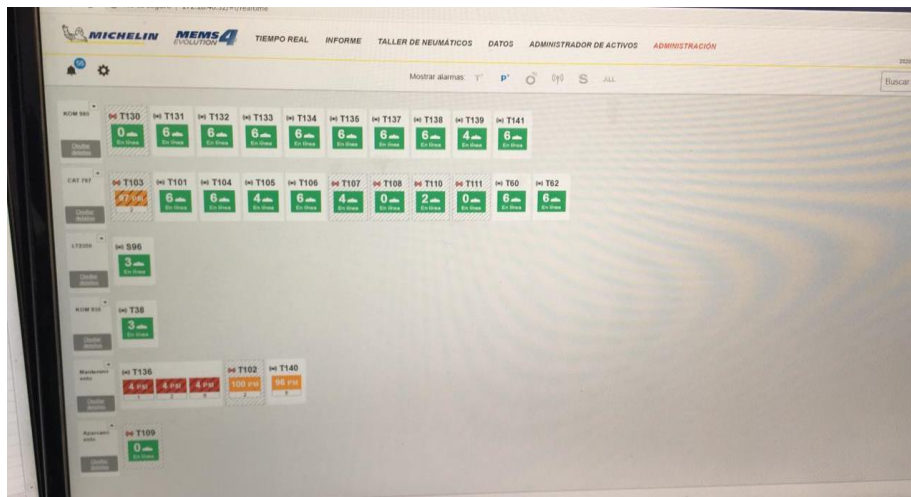


Figura 54 Interfaz MEMS 4. Pantalla principal del sistema MEMS 4, donde se pueden observar los volquetes que cuentan con el sistema y su estado en tiempo real. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019

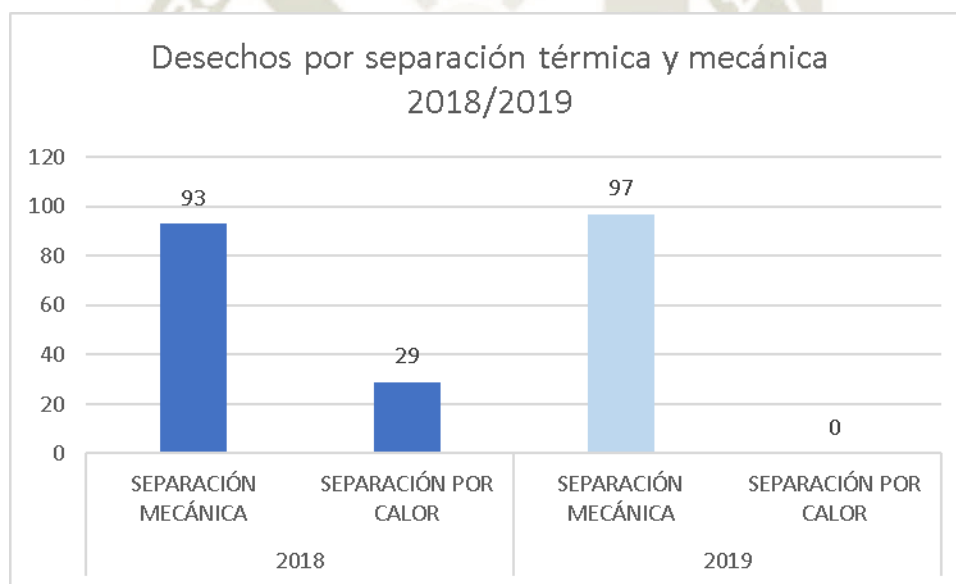


Figura 55 Gráfico comparativo desechos por separación. Comparación de desechos por separación térmica y mecánica entre los años 2018 y 2019 después de implementado parcialmente los dispositivos TPMS. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019.

En el gráfico anterior podemos observar la reducción de desechos por separaciones térmicas en un 100% del año 2018 al año 2019. Sin embargo, en cuanto a las separaciones mecánicas, se observa que los dispositivos del tipo MEMS 3 no fueron eficientes, incrementándose en un 4%, o en 4 unidades más que el año anterior.

Tabla 5

*Neumáticos desechados por separación térmica*

<b>Año</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo remanente total</b>	<b>Promedio de costo remanente</b>	<b>Promedio de horas</b>
2018	29	\$ 523,222	\$ 18,042	3487
2019	0	\$ -	\$ -	-
<b>Total</b>	<b>29</b>	<b>\$ 523,222</b>		

Nota. Comparación entre los años 2018 y 2019 sobre los neumáticos desechados por separación térmica. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2020

Durante el año 2019 no existió un costo remanente por separaciones térmicas, en comparación con el año 2018, donde se perdió más de medio millón de dólares.

## 5.2. Capacitación de operadores

Con la finalidad de concientizar a los operadores, tanto de volquetes en cuanto a manejo y a operadores de pala en cuanto a cargas centradas, el año 2019 se impartió capacitaciones de parte de tres empresas implicadas en el rendimiento de los neumáticos: Michelin, Bridgeston y Neuma Perú. Dichas charlas fueron impartidas durante los cambios de guardia para los siete grupos de operaciones mina.

Las capacitaciones se centraron en crear conciencia en los operadores del costo que implican los neumáticos para la operación y por qué se deben cuidar. Se reforzó en cuanto a velocidades máximas en curvas, manejo adecuado sin pisar rocas punzo cortantes en frentes de minado y botaderos y a reportar derrames de rocas en la vía.



Figura 56 Capacitación sobre cuidado de neumáticos. Capacitación impartida por Bridgestone acerca del cuidado correcto de neumáticos. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019.

Las capacitaciones son una práctica con resultados no medibles directamente, por ello el resultado de estas se verá reflejado en la reducción de neumáticos desechados por cortes de roca, así como, en las mejoras en cuanto a la carga de los volquetes tratada en el punto siguiente.

En la siguiente Tabla, podemos observar la comparación entre los años 2018 y 2019 respecto a los desechos de neumáticos por cortes de roca. En ella presentamos una columna de Costo remanente total, la cual indica el acumulado del costo remanente de todos los neumáticos desechados por corte en cada año. La columna de Promedio de costo remanente, como su nombre lo indica, es el promedio general de los costos remanentes de todos los neumáticos de cada año y finalmente el Promedio de horas, representa el promedio de las horas que fueron utilizados los neumáticos antes de ser desechados para cada año.

Tabla 6

*Neumáticos desechados por corte roca*

<b>Año</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo remanente total</b>	<b>Promedio de costo remanente</b>	<b>Promedio de horas</b>
2018	49	\$ 864,889	\$ 17,651	3714
2019	29	\$ 597,670	\$ 20,609	4082
<b>Total</b>	<b>78</b>	<b>\$ 1,462,559</b>		

Nota. Comparación entre los años 2018 y 2019 sobre los neumáticos desechados por corte roca. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2020

A partir de la Tabla 6, podemos observar la disminución de desechos por cortes de neumáticos en 20 unidades; así mismo, el costo residual, es decir el remanente económico de los neumáticos desechados disminuyó en 267 219 dólares. También se puede observar el incremento del promedio de horas que duraron dichos neumáticos, aumentando en 368 horas más de aprovechamiento.

En cuanto al promedio del costo remanente de los neumáticos, observamos un incremento de 2 958 dólares por neumático desechado; sin embargo, lo consideramos un valor no representativo debido a dos razones; primeramente, el haber realizado una disminución de neumáticos desechados en una cantidad de 20 unidades, ya genera un ahorro al evitarse una inversión de 800 000 dólares en el año 2019 respecto al año 2018, además se logró mejorar el rendimiento de horas promedio, lo cual es un objetivo de la presente tesis. En segundo lugar, el valor de promedio de costo remanente debe ser observado a detenimiento, pues es un valor sensible a picos presentados por algunos neumáticos que fueron desechados por corte muy prematuramente, alterando el promedio. Lo expuesto, lo demostramos en la siguiente figura.

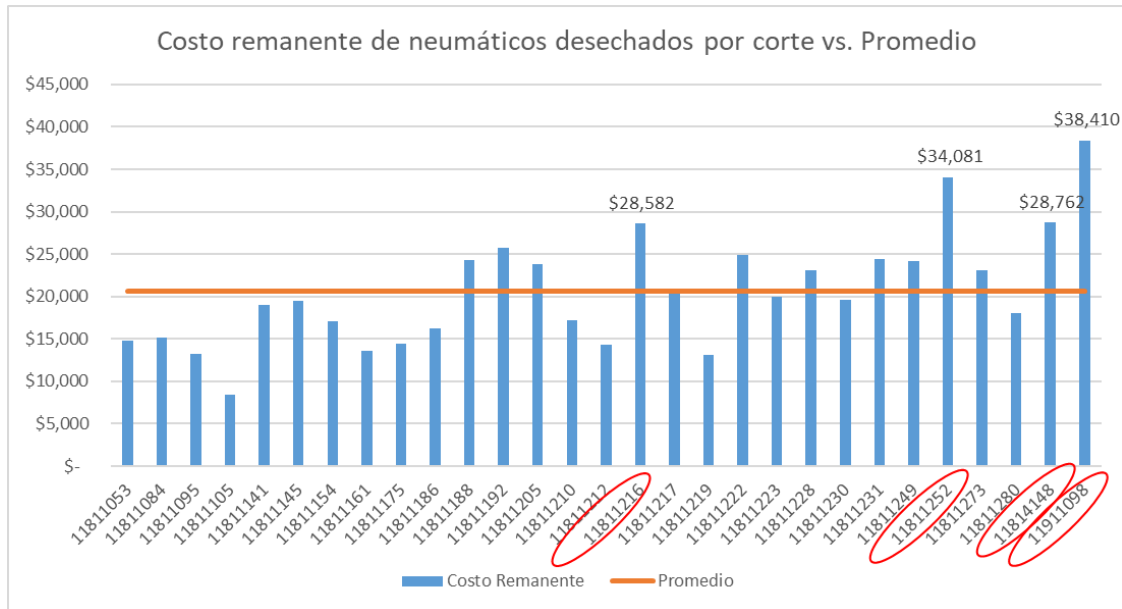


Figura 57 Gráfico de desechos por corte vs. promedio. Gráfico que presenta el costo remanente de cada neumático desechado por corte de roca en el año 2019 en contraste con el promedio del costo remanente de neumáticos desechados por corte. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019.

De la figura anterior, observamos neumáticos que generaron picos en el gráfico, como el neumático 11911098 desechado con 614 horas rodadas, el 11811252 con 1 297 horas, el 11814148 con 3 821 horas y el 11811216 con 2 057 horas.

Si bien es cierto, el ideal es lograr las 6 000 horas promedio y lograr que el costo remanente del neumático desechado sea menor a 6 000 dólares, los cortes de neumáticos son desechos operacionales, es decir que están sujetos a la operación misma y por ende siempre pueden presentarse, reduciendo el promedio de horas de los neumáticos.

Por otro lado, la mejora observada a partir de la última tabla referente a los desechos por corte, además de ser un resultado indirecto de las capacitaciones brindadas a los operadores, también es un resultado sujeto al estado de vías que se tratará en el punto subsiguiente.



Figura 58 Fotografía de corte roca. Fotografía de neumático desechado por corte de roca. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019.

Como parte de la investigación realizada a los factores que influyen en el rendimiento de los neumáticos en el año 2019, se analizó el factor de carga de las flotas CAT 797F y Komatsu 980E-4; ambas flotas con un nominal de 363 TM de carga. De esta manera, al ser la sobrecarga un factor que influye en el rendimiento de neumáticos, especialmente causando separaciones mecánicas, pudimos observar la situación real. A continuación, se muestran gráficos de las cargas promedio de cada mes respecto al nominal de los volquetes entre los meses de enero a agosto del año 2019.

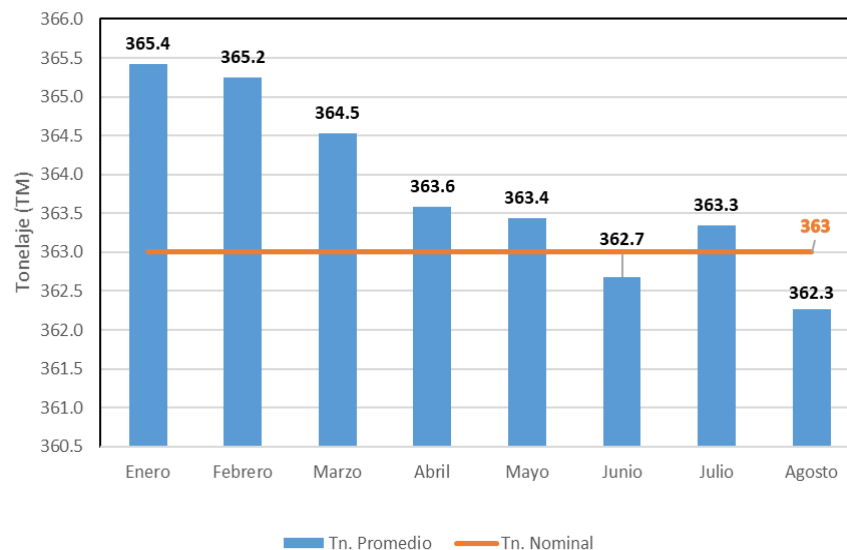


Figura 59 Tonelaje promedio Vs. Tonelaje nominal flota CAT 797F. Gráfico que compara las cargas promedio de los meses de enero a agosto del año 2019 con la carga nominal de los volquetes CAT 797F. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019

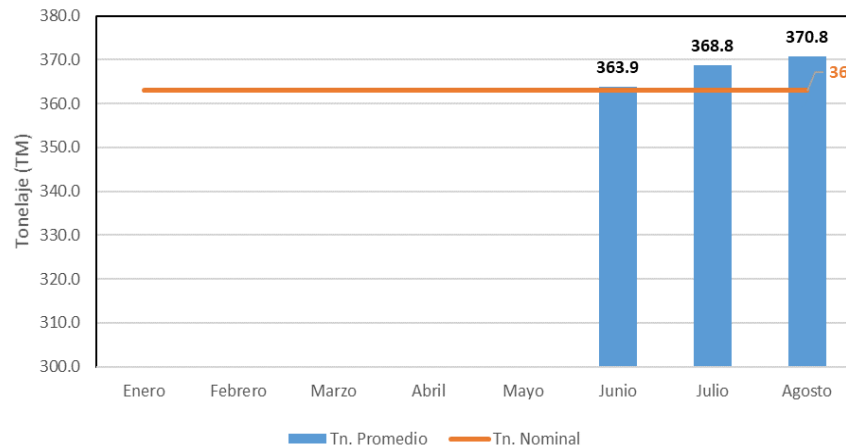


Figura 60 Tonelaje promedio Vs. Tonelaje nominal flota Komatsu 980E-4. Gráfico que compara las cargas promedio de los meses de enero a agosto del año 2019 con la carga nominal de los volquetes Komatsu 980E-4. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019

Cabe resaltar que, debido a problemas técnicos de Dispatch no era posible la toma de datos hasta el mes de mayo.

La empresa de estudio toma en consideración la regla 10/10/20 de Caterpillar como guía para las cargas de los volquetes. La regla dice que el 90% de las cargas deben estar entre el 100% y 110%; no más del 10% debe estar entre 110% y 120% de la capacidad del volquete y no debe haber cargas que superen el 120% del mismo.

Tomando en cuenta lo anterior, a continuación observamos la distribución normal de las cargas de las flotas CAT 797F y Komatsu 980E-4 y la regla 10/10/20 de los meses enero a agosto del 2019.

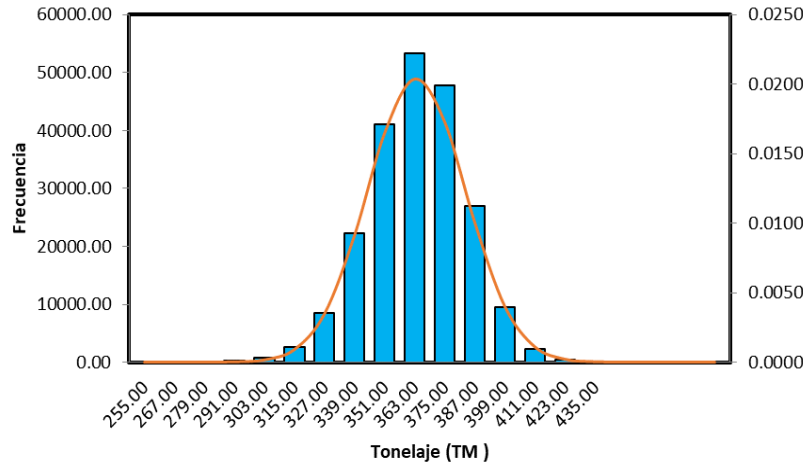


Figura 61 Distribución normal de cargas en flota CAT 797F. Campana de Gauss mostrando la distribución de las cargas de la flota CAT 797F entre los meses de enero a agosto del 2019. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019

Tabla 7

Regla 10/10/20 flota CAT 797F

	<363 TM	363-399.3 TM	399.3-435.6 TM	>435.6 TM
Nro. De Cargas	6902	203365	5829	101
% de Cargas	3%	94%	3%	0%
<b>Ideal</b>	<b>0%</b>	<b>90%</b>	<b>10%</b>	<b>0%</b>

Nota. Regla 10/10/20 de la flota CAT 797F en el periodo de enero a agosto del año 2019. Adaptacion propia en base a la investigacion realizada, 2019

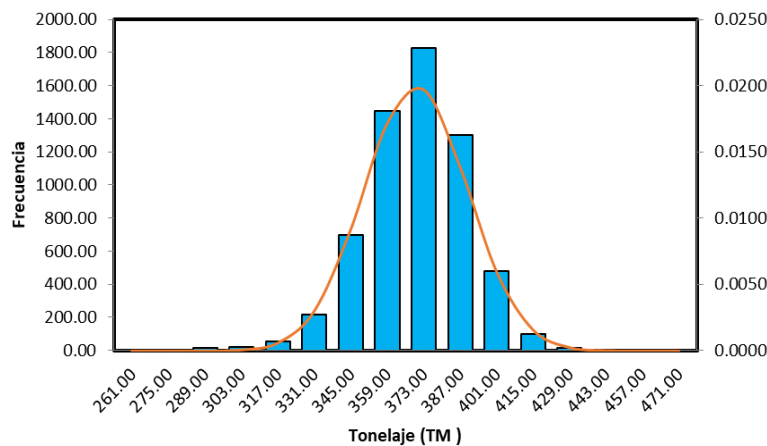


Figura 62 Distribución normal de cargas en flota Komatsu 980E-4. Campana de Gauss mostrando la distribución de las cargas de la flota Komatsu 980E-4 entre los meses de enero a agosto del 2019. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019

Tabla 8

*Regla 10/10/20 flota Komatsu 980E-4*

	<363 TM	363-399.3 TM	399.3-435.6 TM	>435.6 TM
Nro. De Cargas	147	5702	355	5
% de Cargas	2%	92%	6%	0%
<b>Ideal</b>	<b>0%</b>	<b>90%</b>	<b>10%</b>	<b>0%</b>

Nota. Regla 10/10/20 de la flota Komatsu 980E-4 en el periodo de enero a agosto del año 2019. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2020

De lo anterior, observamos que por lo general el tonelaje promedio por mes se encuentra levemente por encima de la capacidad nominal del volquete; y es preciso mencionar que el superar la capacidad nominal del volquete es lo que la supervisión y funcionarios buscan, para de esa manera lograr mejor producción.

Observando la regla 10/10/20, en ambas flotas se cumple la regla al no exceder los porcentajes planteados por la regla. Sin embargo, hablando desde el punto de vista del cuidado de neumáticos, cualquier exceso de carga es perjudicial para el neumático, ya que estos fueron diseñados en base a la carga nominal de los volquetes. Las cargas que superaron el 120% de capacidad del volquete, a pesar de no llegar a sumar el 1%, no deben existir en ninguna circunstancia, pues hablamos de más de 70 TM de exceso, las cuales generan cargas en el neumático que deforman su estructura y se corre el riesgo de llegar a una separación térmica o mecánica.

Al ser la sobrecarga una de las causas básicas de la separación mecánica, junto con la operación de parte del conductor del volquete, a continuación, se presenta la tabla comparativa entre los años 2018 y 2019 de neumáticos desechados por separación mecánica.

Tabla 9

*Neumáticos desechados por separación mecánica*

<b>Año</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo remanente total</b>	<b>Promedio de costo remanente</b>	<b>Promedio de horas</b>
2018	93	\$ 1,511,020	\$ 16,248	4047
2019	97	\$ 1,849,721	\$ 19,069	4390
<b>Total</b>	<b>190</b>	<b>\$ 3,360,741</b>		

Nota. Comparación entre los años 2018 y 2019 sobre los neumáticos desechados por separación mecánica. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2020

A partir de la Tabla 9 observamos que hubo un ligero incremento en la cantidad de neumáticos desechados por separación mecánica, 4 unidades más, aproximadamente un 4% más que en el año 2018 en cuanto a cantidad. Lo mismo se puede observar en cuanto al costo remanente total con 338 701 dólares de más desechados el año 2019 respecto al año 2018; así mismo, el promedio de costo remanente se incrementó en 2 821 dólares, lo que quiere decir que cada neumático desechado por el presente motivo desperdició 2 821 dólares más que el año anterior. Por otro lado, se mejoró en cuanto al promedio de horas de utilización del neumático, lo cual es una buena señal para una oportunidad de mejora.

Como se mencionó anteriormente en la investigación, las separaciones mecánicas se dan principalmente por temas de velocidad excesiva y/o sobrecarga, lo cual genera cargas dinámicas que provocan este tipo de separación. Habiendo sido los operadores de volquete capacitados en cuanto al manejo del equipo, atribuimos la ausencia de mejora en este motivo de desecho principalmente a las sobrecargas. Como pudimos observar con la regla 10/10/20, existieron 106 cargas en total que superaron el 20% de la capacidad del volquete, lo que quiere decir que tenía aproximadamente 70 TM de exceso en la tolva; basta una sola carga excesiva para deformar y dañar los neumáticos de un volquete causando daños irreversibles.

Por otro lado, la mayoría de sensores utilizados durante el año de 2019 correspondían al MEMS 3, el cual solo nos brinda datos de presión y

temperatura en momento real, cosa que ayuda principalmente en cuanto a las separaciones térmicas. Sin embargo, El MEMS 4 podría tener mayor repercusión en las separaciones mecánicas ya que tiene otras funciones específicas para controlar la velocidad de los volquetes en las zonas críticas como curvas y botaderos.



Figura 63 Fotografía de separación mecánica. Fotografía de neumático desechado por separación mecánica. Fuente: Bridgestone, (2019).

### 5.3. Rotación de neumáticos

La rotación convencional de neumáticos se da de la siguiente manera: el 30% de la vida útil del neumático en posiciones 1 y 2; hasta el 60% de desgaste en posiciones 4 y 5; y lo restante en posiciones 5 y 6. Sin embargo, en la práctica, la vida útil del neumático se toma del promedio histórico y no de una línea base teórica. Es decir, el objetivo de duración de los neumáticos 59/80R63 es de 6 000 horas, por lo tanto, el 30% de su vida útil es de 1 800 horas, cantidad de horas que deberían permanecer los neumáticos en el eje delantero, donde existe menos desgaste.

En la práctica, el promedio de duración de los neumáticos 59/80R63 es de 4 296 horas a finales del año 2018, por lo tanto, se considera el 30% de su vida útil a 1 289 horas.

De la manera convencional, los neumáticos se están utilizando aproximadamente 600 horas menos en el eje delantero, el cual representa menor desgaste para el neumático, por lo tanto, se está reduciendo su vida útil. Es por ello que se propone realizar la rotación de neumáticos a las 1 800 horas en vez de a las 1289, de las posiciones 1 y 2, con el objetivo de alcanzar las 6000 horas de vida del neumático.

Tabla 10  
*Rotación convencional y sugerida de neumáticos*

Posición	% desgaste	Horas de rodaje actuales	Horas de rodaje sugeridas
1 y 2	30%	1289	1800
3 y 4	60%	2578	3600
5 y 6	100%	4296	6000

Nota. Comparación entre la rotación actual de neumáticos utilizada en la mina de estudio con la rotación sugerida. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2020

La efectividad de esta medida se puede ver reflejada en el incremento de horas con los cuales los neumáticos que llegaron a desgaste final fueron desechados, incrementando en más de 200 horas por cada neumático, como se puede observar en la Tabla 11 más adelante. Este incremento de horas de duración de los neumáticos es atribuible al conjunto de medidas que se adoptaron y no a una sola, dado que no es posible determinar exactamente con cuantas horas contribuyó una sola medida en específico.

#### 5.4. Vías de transporte de la mina

Como se observó en el capítulo anterior, las condiciones de las rutas de acarreo de la mina de estudio estaban en condiciones precarias, presentando ondulaciones, segmentos muy angostos y material grueso, penalizante para los neumáticos.

Para el año 2019 se implementó una cantera de material fino, “lastre”, para mejorar las condiciones de las vías, incluyendo la pista y las bermas de seguridad, así como

los frentes de carguío y de descarga en botaderos. Esta medida se adoptó con la idea evitar el contacto entre neumáticos y trozos de roca grandes y punzocortantes; de esta manera, a pesar que el neumático tuviera contacto con la berma de seguridad, el material de la berma no ocasionaría daños al neumático.

Además, se rellenaron las ondulaciones existentes en las vías, especialmente la presente sobre la falla Yaritomicalaco, la cual ocasionó importantes deformaciones en la Rampa Oeste.



Figura 64 Fotografía de ruta de acarreo. Fotografía de bermas hechas con lastre para el cuidado de neumáticos en la Rampa Oeste para el cuidado de neumáticos. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019

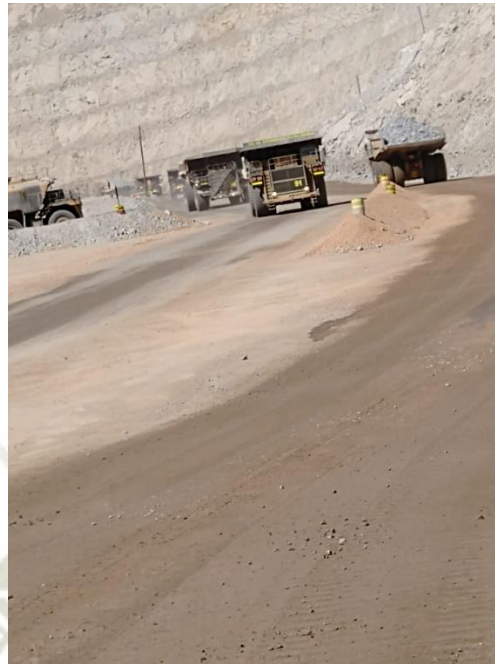


Figura 65 Fotografía de ruta de acarreo lastrada. Rampa Oeste en buenas condiciones para el cuidado de neumáticos. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019



Figura 66 Fotografía Botadero QH lastrado. Botadero QH con el piso lastrado para un mejor cuidado de neumáticos. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019

La mejora en las condiciones de las rutas de acarreo contribuyó a reducir los desechos por corte de roca, los cuales fueron expuestos en el punto 5.2. Pues al haber menos rocas punzo cortantes que entren en contacto con los neumáticos, se presentó menor cantidad de cortes.

Por otro lado, el haber mejorado las pistas y haberlas hecho menos abrasivas para con los neumáticos, se pudo observar una mejora sustancial en cuanto al rendimiento que tuvieron los neumáticos que llegaron al desgaste final. Dada la abrasividad que tenían las carreteras, los neumáticos eran desgastados prematuramente, llegando al desgaste final con menor cantidad de horas rodadas, produciéndose un desgaste de tipo Chunking, el cual se caracteriza por arrancamientos del caucho de la banda de rodamiento.



Figura 67 Neumático con desgaste final de tipo Chunking. Neumático con desgaste final de tipo Chunking con arrancamientos de trozos de la banda de rodamiento. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019

Tabla 11

*Neumáticos desechados por desgaste final*

<b>Año</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo remanente total</b>	<b>Promedio de costo remanente</b>	<b>Promedio de horas</b>
2018	60	\$ 470,477	\$ 7,841	5522
2019	71	\$ 547,501	\$ 7,711	5742
<b>Total</b>	<b>131</b>	<b>\$ 1,017,978</b>		

Nota. Comparación entre los años 2018 y 2019 sobre los neumáticos desechados por desgaste final. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2020

De la Tabla 11, podemos observar que el número de neumáticos que llegaron a desecharse por desgaste final se incrementó en 11 neumáticos, lo cual es algo bueno ya que son desechados habiéndose aprovechado la inversión y no por desecho operacional.

Respecto al costo remanente total en el año 2019 es mayor que en el 2018, sin embargo, esto se puede explicar debido a la mayor cantidad de neumáticos que llegaron al desecho por desgaste final; la sumatoria incluye más neumáticos, por ende, el valor final será mayor. Por otro lado, un dato más claro para observar la diferencia entre ambos años analizados es el promedio del costo remanente, en donde observamos que en el año 2019 es menor al 2018 en 130 dólares por cada neumático desechado. Esto significa que hubo una mejora durante el año 2019, en donde mayor cantidad de neumáticos fueron utilizados con mayor provecho y reduciendo su valor de desecho final; sin embargo, el objetivo final del conjunto de acciones tomadas para mejorar el rendimiento de los neumáticos es llegar a solo un valor remanente de 6 000 dólares, lo que representa el uso del 85% del neumático. El objetivo no ha sido alcanzado dado que es parte de un proceso de mediano plazo, el cual no se puede lograr en un año, no obstante, en los resultados se puede observar una tendencia a la reducción del desecho final, lo cual indica que el proceso está encaminado.

En cuanto al promedio de horas, los neumáticos en 2019 fueron utilizados 220 horas por cada neumático más que en 2018. Cumpliendo con el objetivo de la investigación, observamos que las horas promedio de utilización de los neumáticos se ha incrementado gracias a las acciones tomadas en cuanto a mejora de vías, implementación del sistema TPMS y la concientización e instrucción de operadores. Por otro lado, el objetivo final de rendimiento de los neumáticos es de 6 000 horas; en el periodo 2018-2019 se logró incrementar de 5 522 a 5 742, tomando en cuenta solo de neumáticos desechados por desgaste final. Al igual que con el valor de desecho final, no se logró el valor ideal, aunque se puede observar la tendencia a mejora.

La mejora de rendimiento de los neumáticos 59/80R63 debido al mejoramiento de vías de acarreo también se vio reflejado con el mejor rendimiento durante la época de lluvias, logrando mejor rendimiento en el año 2019 respecto al año 2018.

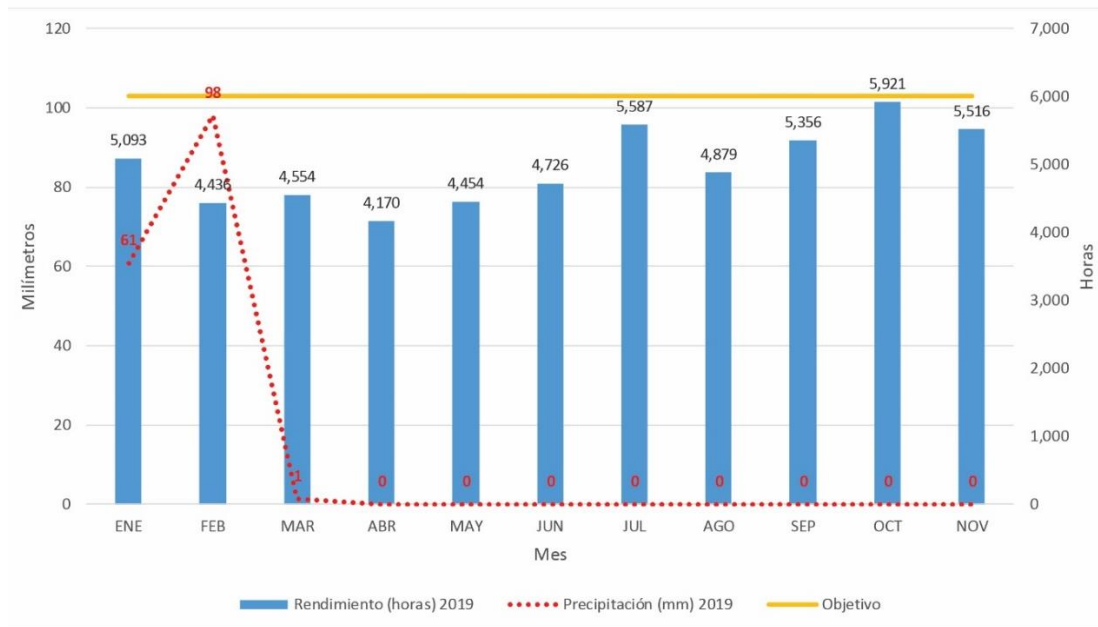


Figura 68 Gráfico de precipitaciones vs rendimiento mensual de neumáticos 59/80R63. Precipitaciones mensuales y rendimiento de neumáticos 59/80R83 - 2019 Gráfico que representa la cantidad de precipitaciones por cada mes del año junto con los rendimientos mensuales de los neumáticos 59/80R83 del año 2019. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019

### 5.5. Análisis comparativo de los años 2018 y 2019

A partir de los datos recopilados, en la siguientes Tablas, podemos observar el resultado de la investigación, en donde se demuestra que con las medidas propuestas para el año 2019 se mejoró el rendimiento de los neumáticos 59/80R63 en la mina de estudio.

Tabla 12

*Resumen de neumáticos desechados en 2018 y 2019*

<b>Año</b>	<b>Motivo de desecho</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo remanente total</b>	<b>Promedio de horas</b>
2018	Accidente	6	\$ 120,478	3117
	Corte roca	49	\$ 864,888	3714
	Rodo Lonas	60	\$ 470,477	5522
	Separación mecánica	93	\$ 1,511,020	4047
	Separación por calor	29	\$ 523,222	3487
<b>Subtotal</b>		<b>237</b>	<b>\$ 3,490,087</b>	
2019	Accidente	0	-	-
	Corte roca	29	\$ 597,670	4082
	Rodo Lonas	71	\$ 547,501	5742
	Separación mecánica	97	\$ 1,849,720	4390
	Separación por calor	0	-	-
<b>Subtotal</b>		<b>197</b>	<b>\$ 2,994,892</b>	
<b>Diferencia</b>		<b>40</b>	<b>\$ 495,195</b>	

Nota. Comparación entre los años 2018 y 2019 sobre los neumáticos desechados. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2020

A partir de la Tabla anterior, podemos observar lo siguiente:

- Contrario al año 2018, no se registró ningún accidente en el año 2019.
- Del tipo de desecho, corte roca, en el año 2019 se desecharon 20 neumáticos menos que en el año 2018, a la vez que se mejoró el promedio de horas en 368 horas más de utilización por neumático. Debido a ello, en el año 2019 fueron ahorrados \$267 218 dólares que no fueron desechados como costo remanente.
- Respecto al motivo, rodo lonas, o desgaste final, en el año 2019 llegaron a desgaste final 11 neumáticos más que en el año 2018; esto es algo bueno debido a que con las condiciones brindadas, mayor cantidad de neumáticos fueron utilizados hasta el final de su vida, sin ser desechados prematuramente. Aquí se puede observar que, en cuanto al costo remanente total, en el año 2019 se incrementa en \$77 024 dólares más que en el año 2018; esto se debe a, como se mencionó anteriormente, más neumáticos llegaron al desgaste final, por lo tanto

a más neumáticos, mayor costo residual. Por otro lado, comparando el promedio de horas de utilización del neumático, el rendimiento se incrementó en 220 horas más, cumpliendo con los objetivos planteados.

- En cuanto a las separaciones mecánicas, en el año 2019 se han desechado 4 neumáticos más por dicho motivo que en el año 2018, esto representa un incremento del 4.3% de incremento. Observando el costo remanente, también se incrementó en el año 2019 en razón de \$338 700 dólares, representando un incremento de 22%, sin embargo, en el rendimiento de horas por neumático, se incrementó la utilización en 343 horas por neumático, siendo esto último algo bueno.
- Las separaciones térmicas para el año 2019 fueron eliminadas en su totalidad, eliminándose el 100% de ellas y representando \$523 222 dólares de ahorro respecto al año anterior.
- Al tomar en cuenta todos los tipos de desecho y comparar rendimiento final de ambos años, observamos que: se desecharon 40 neumáticos menos en el año 2019 respecto al año 2018, reduciendo la inversión en neumáticos nuevos en \$1 600 000 dólares. Así mismo, \$495 195 dólares fueron ahorrados en cuestión de costo remanente en contraste con el año 2018.

#### **5.6. Análisis de rendimiento de neumáticos 59/80R63**

Observando la Tabla 12, se puede afirmar que: se incrementó el promedio de horas de utilización de los neumáticos, es decir su rendimiento, en 572.4 horas, lo que representa un 13% de incremento en el promedio de vida útil de los neumáticos 59/80R63.

Tabla 13

Resumen promedio de horas 2018 y 2019

Año	Promedio de horas
2018	4259.5
2019	4831.9
<b>Total</b>	

Nota. Comparación entre los años 2018 y 2019 sobre el promedio de horas de utilización de los neumáticos. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2020

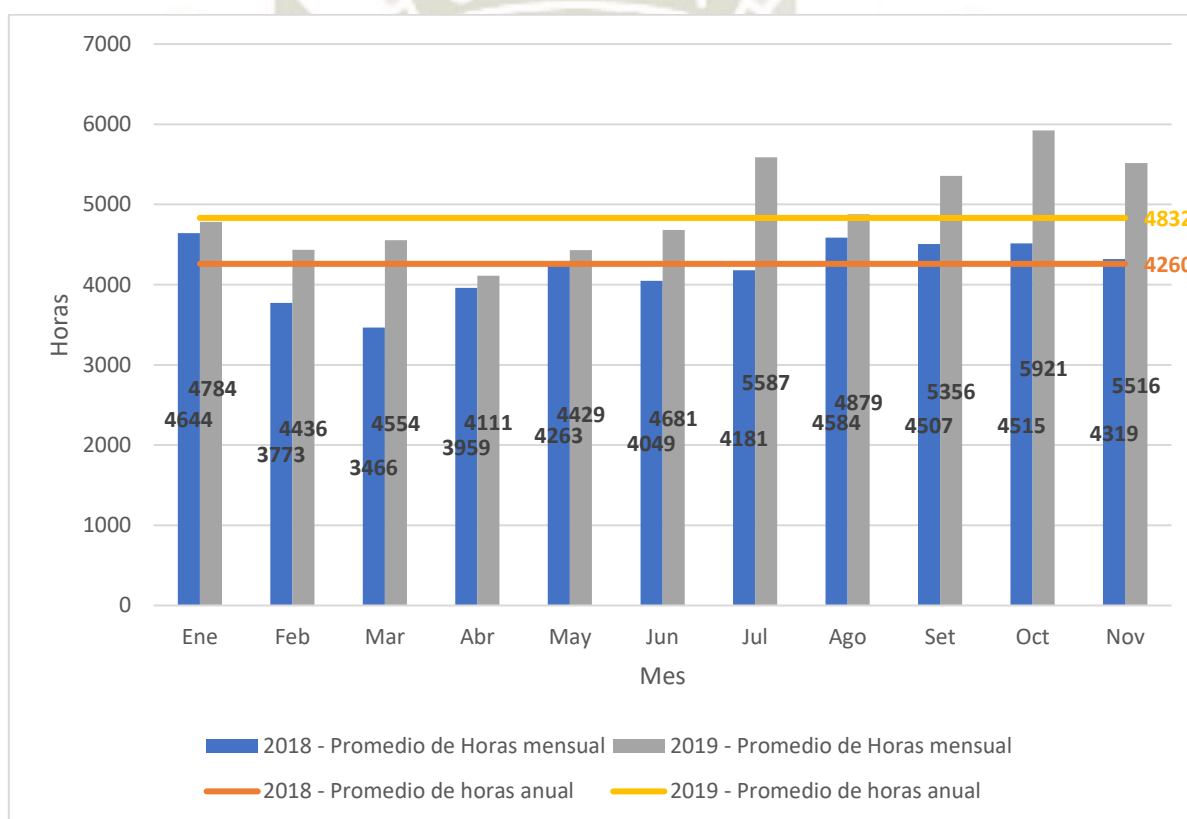


Figura 69 Gráfico comparativo 2018 y 2019. Gráfico que compara el rendimiento de neumáticos 59/80R63 mensual de los años 2018 y 2019. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019

Al observar el gráfico anterior, podemos observar que con las medidas adoptadas para el año 2019 se logró superar el promedio mensual durante todo el año 2019.

Así mismo, es necesario realizar una comparación acerca del costo por hora de los neumáticos, lo cual nos brindará una idea más clara de la mejora del rendimiento.

Considerando un costo de US\$ 40 000 por neumático y la cantidad de horas utilizadas promedio del año 2018:

$$\frac{\$}{h} = \frac{40000}{4260}$$

$$9.39 \text{ \$/h}$$

Considerando un costo de US\$ 40 000 por neumático y la cantidad de horas utilizadas promedio del año 2019:

$$\frac{\$}{h} = \frac{40000}{4832}$$

$$8.28 \text{ \$/h}$$

De lo anterior, podemos observar que el costo por hora de cada neumático se redujo para el año 2019, esto implica que se está ahorrando \$1.11 por hora por cada neumático que está siendo utilizado. Considerando que la mina tiene 42 volquetes que utilizan neumáticos 59/80R63 cada uno con 6 neumáticos, implica 252 neumáticos en uso, ahorrando \$1.11 dólares cada uno por cada hora; en un día son ahorrados: \$ 6 713.

### 5.7. Análisis de relación desgaste prematuro con desgaste teórico.

Al existir diversidad de condiciones a las cuales se pueden enfrentar los neumáticos, debido a que cada mina tiene condiciones de trabajo diferentes, los fabricantes de neumáticos, en este caso Michelin y Bridgestone, no proporcionan un rendimiento en horas nominal de sus neumáticos; pues ellos no pueden garantizar la debida utilización de sus neumáticos de parte de la mina, estando sujetos a desechos operacionales, con los cuales no se les puede responsabilizar. Por ello, se considera como valor nominal al valor histórico de la mina en cuestión; siendo en el presente caso 4296 horas.

En las siguientes Tabla y Figuras, podemos apreciar una comparación en respuesta a la línea base expresada en el cuadro de operabilidad de variables, donde verificamos los siguientes subindicadores: vida útil, costo por hora y costo remanente.

Tabla 14

*Comparación entre periodos de las horas, costo por hora y costo remanente*

Periodo	Horas	Costo por hora	Costo remanente
Histórico	4296	\$9.31	\$3,384,927
2018	4260	\$9.39	\$3,490,087
2019	4832	\$8.28	\$2,994,892

Nota. Comparación entre el promedio de horas, el costo por hora y el costo remanente. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2020

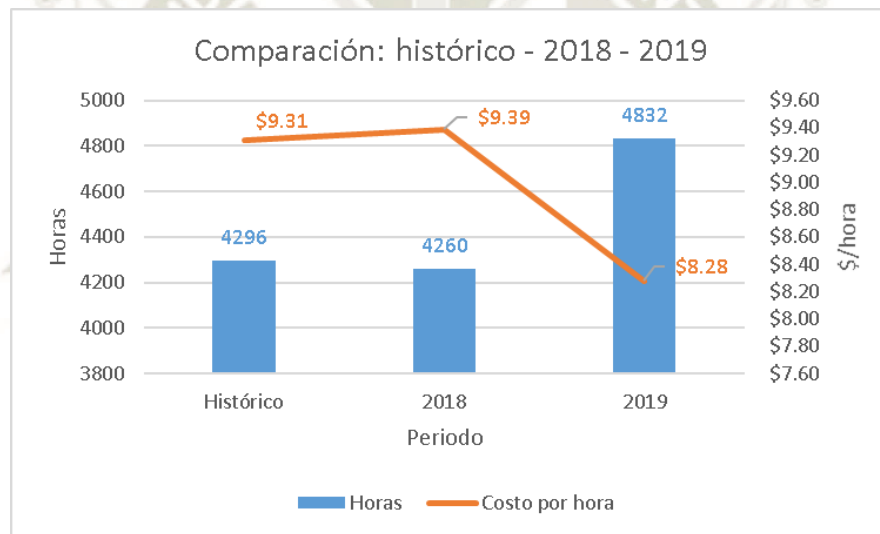


Figura 70 Gráfico comparativo de las horas y costo por hora. Gráfico que compara el rendimiento de neumáticos 59/80R63 de los años 2018 y 2019 respecto al valor histórico. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019

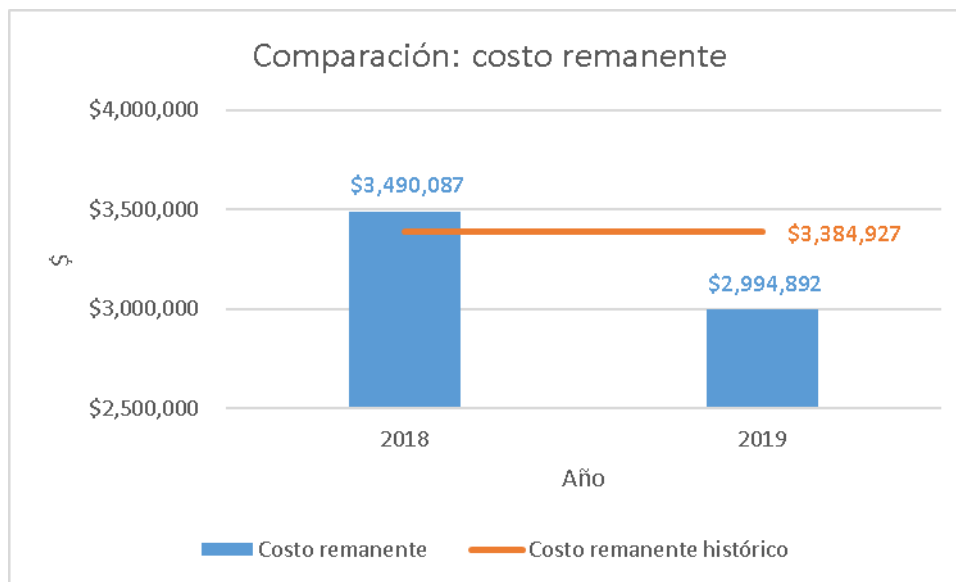


Figura 71 Gráfico comparativo del costo remanente. Gráfico que compara el costo remanente de los neumáticos 59/80R63 de los años 2018 y 2019 respecto al valor histórico. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019

Tal como ha quedado evidenciado en la Tabla 12, en donde se puede apreciar la comparación de las variables: vida útil y el costo remanente, y como se puede apreciar en las figuras 70 y 71 respectivamente, el año 2019 se logró mejorar el rendimiento de los neumáticos 59/80R63 respecto al valor histórico tomado como línea base en el cuadro de operabilización de variables, mejorando en 536 horas más de utilización por cada neumático y en \$390,035 dólares menos que fueron desperdiciados por desechos prematuros.

Así mismo, respecto a el costo por hora, especificado en el cuadro de operabilización de variables, ha quedado evidenciado mediante ecuaciones en el punto 5.6. de la presente investigación y en la Figura 70 la disminución del costo por hora de cada neumático, viéndose reducido en \$1.03 dólares por hora respecto a la línea base planteada.

Por otro lado, con el fin de verificar la relación de las medidas adoptadas con los resultados obtenidos se aplicó la herramienta estadística T-student para las horas útiles de los neumáticos y para el costo remanente.

Tabla 15

*T-student para horas útiles*

2018	2019	%	t-student
4260	4832	13%	0.002

Nota. T-student para horas útiles en relación a la aplicación del sistema MEMS; el valor de 0.002 demuestra que si existe relación. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2020.

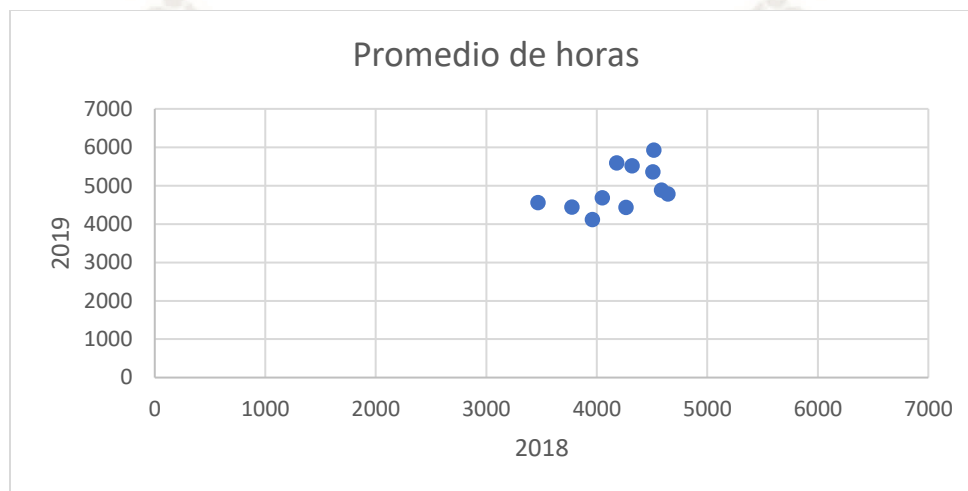


Figura 72 Gráfico de dispersión de las horas útiles. Gráfico que muestra la distribución de los promedios mensuales de horas contrastando el año 2018 con 2019. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019

De la Tabla anterior se observa que existe una diferencia estadísticamente significativa ( $t < 0,05$ ) en el promedio de horas, tras el uso del sensor MEMS, incrementando el promedio de horas en 13% en referencia al año anterior. Los cálculos realizados para hallar el valor 0.002 del T-student se encuentran disponibles en el Anexo 1. Observando el gráfico de dispersión expuesto en la Figura 72, se puede apreciar que los datos se encuentran agrupados, sustentando una tendencia y confirmando la relación estadística entre el uso del sistema MEMS con la mejora del promedio de horas.

De igual manera se aplicó la misma herramienta estadística para la verificar la relación entre la reducción del costo remanente y la aplicación del sistema MEMS, obteniendo lo siguiente.

Tabla 16

*T-student para costo remanente*

2018	2019	%	t-student
\$3,490,087	\$2,994,892	-14%	0.163

Nota. T-student para costo remanente en relación a la aplicación del sistema MEMS; el valor de 0.163 demuestra que no existe relación. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2020.

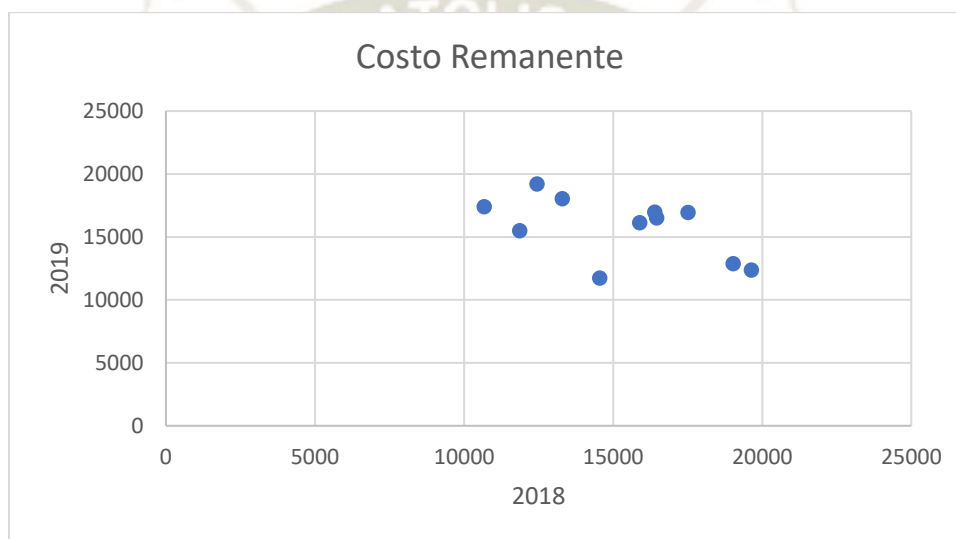


Figura 73 Gráfico de dispersión del costo remanente. Gráfico que muestra la distribución de los promedios mensuales del costo remanente contrastando el año 2018 con 2019. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2019

De lo anterior, podemos observar que el T-student resultó mayor a 0.05, por lo cual se considera no significativo respecto a la relación que tuvo la aplicación del sistema MEMS con el costo remanente de neumáticos. Este resultado era esperado, debido a que el hecho de reducir en un 14% el costo remanente no necesariamente se debe a la implementación de MEMS, sino a las otras medidas adoptadas las cuales no pueden ser medidas cuantitativamente. El hecho de reducir el costo remanente está asociado a medidas cualitativas, como por ejemplo: la mejora de vías o la capacitación de operadores de volquetes respecto al cuidado de neumáticos, factores que no pueden ser medidos directamente; por ende no habrá una relación estadística directa. Los cálculos efectuados para hallar el T-student del costo remanente se encuentran en el

Anexo 2. De igual manera, en el gráfico de dispersión expuesto en la Figura 73, no se observa la agrupación de datos, reafirmando al t-student en que no existe una relación estadística entre el uso del sistema MEMS y la reducción del costo remanente.

### 5.8. Costo de la implementación

En cuanto al costo que representó la implementación de las mejoras propuestas, en la tabla siguiente podemos observar el costo de instalación de los dispositivos TPMS en los 11 volquetes implementados con dicho sistema durante el año 2019, recordando que 18 volquetes ya contaban con los dispositivos previamente.

Tabla 177

*Costos de implementación de propuestas*

Detalle	Precio unitario (USD)	Cantidad (Unid)	Precio total (USD)
Transceiver de aluminio	6,523.00	11	71,753.00
Kit 3G/WIFI/BT/GPS antena-8M	573.00	11	6,303.00
MEMS, 3G/GPS Module	280.00	11	3,080.00
MEMS Active ANTENNA V3	236.00	11	2,596.00
Active Antenna CABLE 10m	76.00	11	836.00
Active ANtenna CABLE 15m	76.00	11	836.00
Sensor LiquidProof (Caja x 06 unid)	2320.00	11	25,520.00
Servicio de instalación	450.00	11	4,950.00
<b>TOTAL</b>	-	-	<b>115,874.00</b>

Nota. Detalle de los costos de implementación del sistema MEMS en camiones de acarreo de la mina de estudio. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2020.

Por otro lado, para la instalación de los dispositivos TPMS, no se considera costo por tiempos muertos, debido a que la instalación se realizaba durante los mantenimientos programados de los volquetes, no representado un costo operativo.

De la misma manera, en cuanto a las capacitaciones brindadas a los operadores por parte de Michelin, Bridgestone y Neuma Perú, no representaron costo alguno debido a que éstas forman parte del servicio brindado a la Acumulación Minera y fueron

realizadas durante el tiempo muerto de cambio de guardia, sin perjudicar las actividades operativas.

Respecto al mejoramiento de vías, se dispuso de equipos auxiliares como motoniveladoras, excavadoras, tractores de ruedas y un cargador frontal, los cuales no representaron un gasto extra para la operación, además los volquetes utilizados para el transporte de material de lastre fueron dos volquetes de modelo Komatsu 830E dados de baja por antigüedad por lo que no se afectó la producción de la mina. El personal implicado fue conformado por los supervisores y trabajadores de operaciones mina, los cuales trabajaron dentro de su horario regular, sin representar gastos extras.

De esta manera podemos demostrar que el costo total de las mejoras propuestas recae dentro de la implementación de nuevos sistemas TPMS representando una inversión de 115, 874.0 dólares americanos. Una inversión que dio resultados reflejados principalmente en la reducción de 29 neumáticos que dejaron de irse a desecho por separación térmica respecto al año 2018, los cuales hubieran representado una inversión de 1,160,000 dólares.

Al comparar el monto total de inversión de todo el proyecto respecto a el ahorro que representó para la unidad minera de estudio se obtuvo:

Tabla 188

*Diferencia inversión vs. ahorro*

	<b>Descripción</b>	<b>\$USD</b>
Monto invertido	Total de inversión	115,874
Monto ahorrado	Neumáticos ahorrados respecto al año anterior por separación térmica (29)	1,160,000
	Neumáticos ahorrados respecto al año anterior por otras razones de desecho (11)	440,000
Diferencia	-	1,484,126

Nota. Detalle del costo de inversión de las propuestas de mejora vs. el ahorro generado para la unidad minera de estudio. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2020.

Finalmente, se obtuvo que el presente proyecto representó un ahorro de 1,484,126 dólares netos a la empresa minera en un año, reduciendo su costo operativo al incrementar el rendimiento de sus neumáticos y desechando menor cantidad de los mismos.

### **5.9. Relación TKPH con los dispositivos TPMS**

Como se menciona anteriormente, el objetivo principal de los dispositivos TPMS es controlar la temperatura de los neumáticos. Según Caterpillar (2009), el TKPH “es un método de clasificar los neumáticos por la cantidad de trabajo que pueden hacer a cierta temperatura. Multiplicando la carga por la velocidad, se obtiene un índice de aumento de la temperatura en los neumáticos” (p. 21-12).

Es decir, que a pesar que en la fórmula de obtención del TKPH no se considera la temperatura del neumático, esta se ve reflejada por la relación entre la velocidad y la carga, ya que dichos factores son los responsables directos de la variación de temperatura en el neumático.

A continuación se presenta un gráfico de dispersión con datos obtenidos en campo, en donde se refleja la relación entre la temperatura del neumático y el TKPH del mismo.

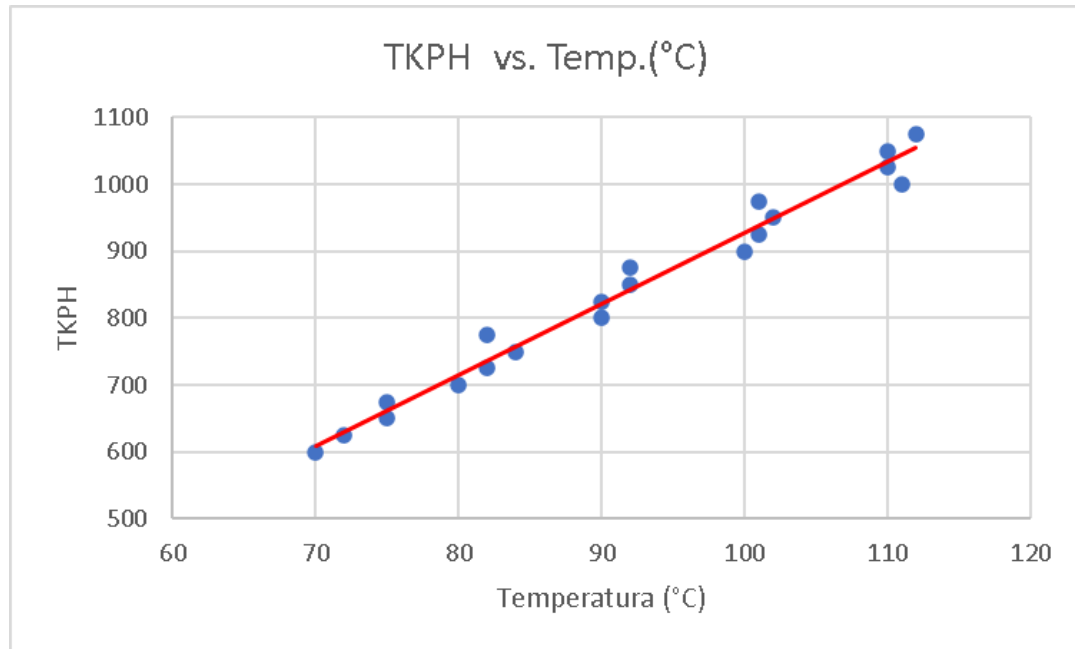


Figura 744 Gráfico de dispersión TKPH vs. Temp. °C. Gráfico que muestra la relación lineal entre el incremento del TKPH respecto a la temperatura del neumático. Fuente: adaptación propia en base a la investigación realizada, 2020.

Tabla 199

*Resumen de datos obtenidos en estudio de Temperatura vs. TKPH*

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>TKPH</b>
70	600
72	625
75	650
75	675
80	700
82	725
84	750
82	775
90	800
90	825
92	850
92	875
100	900
101	925
102	950
101	975
111	1000
110	1025
110	1050
112	1075

Nota. Extracto de datos de estudio de temperatura interna del neumático vs. el TKPH. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2020.

El gráfico anterior muestra datos reales de un estudio en campo por parte de los fabricantes de neumáticos, quedando demostrada la relación lineal que existe entre el incremento de la temperatura y el valor de TKPH; por lo tanto, se comprueba que al controlar la temperatura mediante los dispositivos TPMS, indirectamente estamos controlando que el TKPH no supere los valores límite del neumático, evitando separaciones térmicas.

## CONCLUSIONES

Se realizó el diagnóstico situacional de los neumáticos de dimensión 59/80R63 del año 2018, determinado que durante mencionado año muy pocos neumáticos completaban su vida útil, siendo la principal causa de desecho los daños operativos, llegando a ser 75%, siendo el principal motivo de desecho la separación mecánica, representando el 39% de desechos. Así mismo, el costo remanente que se dejó de utilizar por neumáticos desechados prematuramente fue de \$3 490 078 dólares. Por otro lado, en el año fueron utilizados 237 neumáticos, representando una inversión de \$9 480 000 dólares en neumáticos nuevos.

Se identificó los factores que afectan al rendimiento de los neumáticos de dimensión 59/80R63, mediante el uso de bibliografía y gracias a la experiencia en campo, se determinó que los factores que afectan directamente el rendimiento de los neumáticos 59/80R63 son: temperatura, presión, la operación del equipo, la carga del volquete, el factor climático, el estado de vías y la rotación de los neumáticos.

En la presente investigación propusimos acciones de mejora para incrementar el rendimiento de los neumáticos 59/80R63. Estas fueron implementadas durante el año 2019, considerando diferentes acciones de mejora para tratar cada uno de los factores identificados que repercuten en el rendimiento de los neumáticos; entre ellas encontramos: la implementación de dispositivos TPMS, capacitación a operadores, variación en la rotación de los neumáticos y la mejora de condiciones en las vías de la mina. Gracias a la implementación de dichas propuestas, se logró eliminar los desechos por separación térmica, reducir desechos por corte de roca e incrementar el número de neumáticos que llegaron a desgaste final. De esta manera, se incrementó el rendimiento de los neumáticos en 572.4 horas por neumático respecto al año 2018 y en 536 horas respecto al valor histórico de la mina, representando un incremento de 13% y 12.5% respectivamente; además, se redujo el costo por hora de los neumáticos 59/80R63 en \$1.11 dólares respecto al año 2018 y en \$1.03 dólares respecto al valor histórico. Además, se dejó de invertir en 40 neumáticos nuevos respecto al año anterior representando un ahorro de \$1 600 000 dólares.

Como conclusión al objetivo general y respuesta a la operabilización de las variables planteadas para el desarrollo de esta investigación, en esta tesis se analizó y propuso la mejora de rendimiento de neumáticos de dimensión 59/80R63 en volquetes Caterpillar 797F y

Komatsu 980E-4. Teniendo en cuenta las medidas propuestas se estimó que se incrementó el número de horas útiles de los neumáticos en un 13%, se redujo el costo remanente de desecho en 14.2% y se disminuyó el costo por hora de cada neumático en 12%; de tal manera, la minera en cuestión presentó menores pérdidas por desechos prematuros de neumáticos y necesitó menor inversión por neumáticos nuevos.



## RECOMENDACIONES

A pesar de haber incrementado el rendimiento de los neumáticos 59/80R63 no se logró el objetivo deseado de lograr un 15%, por lo que se recomienda incidir en las propuestas ya planteadas y también evaluar nuevas medidas.

Respecto al diagnóstico situacional, el análisis se limitó a el año 2018, no teniendo acceso a información de años anteriores para realizar un diagnóstico más preciso y con mayor cantidad de datos. Se recomienda que la minera prosiga con el seguimiento y diagnóstico de la situación de neumáticos todos los años para continuar con el progreso alcanzado durante el año 2019.

Habiendo definido los factores que afectan el rendimiento de los neumáticos 59/80R63, se podría realizar un análisis más profundo de ciertos factores; por ejemplo, el hecho de que los neumáticos que llegan a desgaste final, llegan por chunking y deben ser desechados con un cierto porcentaje de cocada remanente y por ende con un costo remanente aún por utilizar. Así mismo, se podría aplicar el mismo criterio para analizar las otras dimensiones de neumáticos como la 53/80R63 utilizada en las flotas de Komatsu 930.

Si bien se observó progreso en la reducción de desechos por corte y por separación térmica, en los desechos por separación mecánica se observó un pequeño incremento del año 2018 al 2019. Por ello, sugerimos el análisis y la implementación de dispositivos TPMS más avanzados, como el MEMS 4, los cuales permiten un seguimiento más detallado de la conducción del volquete en cuestión de velocidad y cargas dinámicas en curvas; creemos que dicho dispositivo es el camino a seguir para poder observar una mejora en cuanto a las separaciones mecánicas.

En cuanto a la mala operación de los equipos, es de especial cuidado la operación del volquete en los depósitos de desmonte, debido a que en dicho lugar es donde los neumáticos pueden estar expuestos a mayor cantidad de rocas punzo cortantes; las malas prácticas se resumen en exceso de velocidad en el botadero, mayor a 10km/h y el golpear las bermas de seguridad con los neumáticos en posiciones 3, 4, 5 y 6 al momento de la descarga, apoyándose sobre la misma. En este sentido, recomendamos un seguimiento específico a las incidencias de este tipo en botaderos para un futuro estudio, esto requeriría de personal netamente abocado a la observación in situ durante un periodo de tiempo determinado para enumerar el tipo de

incidencia, la cantidad, así como reconocer a los infractores para poder tener una estadística para relacionar directamente con la efectividad de las capacitaciones brindadas al personal.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adriazola, P. (2014). *Aplicación del software Minestar CAT en el sistema de acarreo para incrementar la producción y obtener alta rentabilidad en mina Toquepala*. Arequipa.
- Americas Mining Corporation. (2019). *Sinergias 2017-2019*.
- Barrientos, L. (2014). *Aumento del rendimiento y disminución de costos al utilizar neumáticos reencauchados en la tracción en camiones CAT 785C*. Lima.
- Bellido, E. (1960). Geología del Cuadrángulo de Atico. *Com. Carta Geológica Nacional*, 1(2).
- Blanco, J. (2016). *Incremento de la vida útil de neumáticos para reducir costos de operación en camiones Caterpillar 797F en Toromocho - Chinalco Perú*. Huancayo.
- Cajavilca, G. (2015). *Implementación del sistema Michelin Earthmover Managment System 2 en flota de volquetes mina Cuajone*. Arequipa.
- Caterpillar. (2009). *Manual de rendimiento* (39 ed.). Illinois, Estados Unidos.
- Ccoñas, J. (2014). *Control de desgaste de neumáticos para reducir costos de operación en volquetes FAW - 360 - empresa ICCGSA - Quinoa I - Ayacucho*. Huancayo.
- Ferreyros. (2019). *Reporte FPO (fleet productivity optimization)*. Toquepala.
- Flores. (2017). *Comportamiento litológico respecto a la alteración yeso-anhidrita en mina Toquepala*. Arequipa: [Tesis para optar el Título Profesional de ingeniero de minas].
- Mauricio, G. (2009). *Mejoramiento de performance de rendimiento de neumáticos de CAT 789A&B Cerro Verde*. Lima.
- Michelin. (2012). *Guía de utilización y mantenimiento de los Neumáticos de Ingeniería Civil*.
- Michelin. (2019). *Factores área de operación: condiciones de las pistas*. Greenville.
- Michelin. (Agosto de 2019). *Factores de llantas: Fundamentos sobre llantas de minería*. Greenville, Estados Unidos.
- Ministerio de Energía y Minas. (2016). *Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería*. En *D.S. 024-2016-EM*. Lima.
- Neuma Perú. (4 de Junio de 2019). *Información sobre neumáticos*. Tacna, Perú.

- Olazabal. (2014). *Factibilidad del cambio de sistema de control de mina en la unidad minera Toquepala*. – PUCP. Tacna.
- Pabon, J. (2017). *Análisis de fallas de llantas OTR (off the road) en la flota de camiones mineros de la mina calenturitas vía la loma de Cesar*. Ocaña.
- Pardo Allemant, E. (19 de Marzo de 2018). *Bridgestone off-the-road tire Peru*. Obtenido de [www.otr.bridgestone.com.pe](http://www.otr.bridgestone.com.pe): <https://www.otr.bridgestone.com.pe/estructurallanta/>
- Pro-Activos. (2012). Seminario de neumáticos.
- Real Academia Española. (2019). *Real Academia Española*. Obtenido de [dle.rae.es](http://dle.rae.es): <https://dle.rae.es/neum%C3%A1tico>
- Silva, D. (2015). *Maximización del rendimiento de las llantas de los camiones 240T y 320T mediante el análisis y mejoramiento de las condiciones de las vías en carbonos del Cerrajón Limite*. Bucaramanga.
- Taquima, M. (2017). *Eficiencia en el rendimiento de neumáticos de camiones gigantes mediante el sistema de administracion de movimiento de tierra Michelin (M.E.M.S. Evolution 2) Mina Antapaccay*. Arequipa.
- Tejada, A. (2014). *Metodología del cambio de posiciones 1 y 6 de neumáticos gigantes 793-D, para incrementar la vida útil y reducir costos en SM. Cerro Verde - Arequipa*. Arequipa.
- Vargas, E., & Hermoza, A. (2014). *Sistema de Información para Monitoreo de neumáticos del área de despacho (Dispatch), en una Compañía Minera*. Lima.
- Veliz, A. (2005). *Estudio del rendimiento de neumáticos en camiones de acarreo de mineral con capacidad de 240 toneladas*. Lima.
- Zamora , H. (2019). *Rerducción de costos en operaciones de maquinaria pesada en minera Yanacocha*. Chiclayo.

## ANEXOS

### Anexo 1: T-student para horas útiles

#### Estadísticos de grupo

Uso de Sensor	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Promedio de Horas Con MEMS	11	4932.0673	577.30036	174.06261
Sin MEMS	11	4205.3718	368.56144	111.12546

#### Prueba de muestras independientes

	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	Prueba T para la igualdad de medias								
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
Promedio de Horas Se han asumido varianzas iguales No se han asumido varianzas iguales	3.345	.082	3.519	20	.002	726.69545	206.51067	295.92174	1157.46917	
			3.519	16.990	.003	726.69545	206.51067	290.97724	1162.41367	

**Anexo 2: T-student para costo remanente**

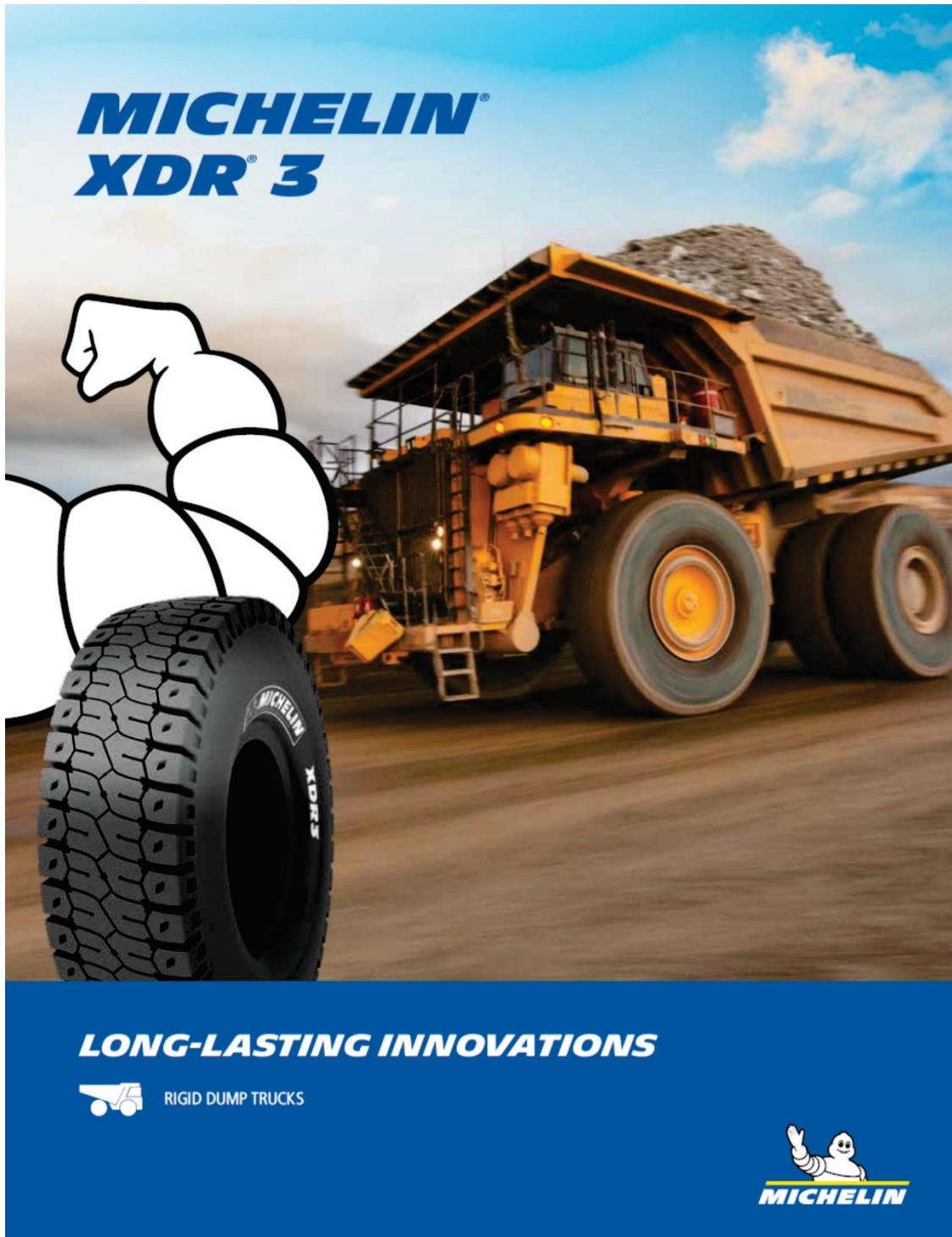
**Estadísticos de grupo**

Uso de Sensor	N	Media	Desviación tıp.	Error tıp. de la media
Costo Remanente Con MEMS	11	272262.8827	70515.74930	21261.29839
Sin MEMS	11	317280.6300	75123.66136	22650.63615

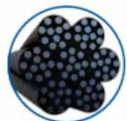
**Prueba de muestras independientes**

	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	Prueba T para la igualdad de medias								
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error tıp. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
Costo Remanente	Se han asumido varianzas iguales No se han asumido varianzas iguales	.003	.958	1.449	20	.163	45017.74727	31065.96412	109820.21288	19784.71834
				1.449	19.920	.163	45017.74727	31065.96412	109836.81813	19801.32358

Anexo 3: Ficha técnica de neumático Michelin XDR 3



# MICHELIN® XDR® 3



**NEW CORROSION-  
PROOF CABLES**

**10%  
STRONGER<sup>1</sup>**



**REVOLUTIONARY  
TREAD PATTERN**



**REVOLUTIONARY  
COMPOUNDS**

Homogeneous mix designed  
to lead to a slower wear rate



**EXCEPTIONAL TIRE  
LIFE, INCREASED BY  
A MINIMUM OF  
8-10%<sup>2,3,4,5,6</sup>**

<sup>1</sup> Vs. MICHELIN® XDR® 2 tire, all sizes.

<sup>2</sup> Projected improvement in tire life based on wear rate improvements based on new MB4MC4 tread compounds and on field performance in 14 customer mine sites over 29 months comparing the tread pattern of the MICHELIN® XDR® tire (on predecessor and prototype tires) to the tread pattern of the MICHELIN® XDR® 2 and MICHELIN® XDR® tires. Additional improvements in tread cuts and tread fatigue anticipated because of 17 degrees F lower tread operating temperature and corrosion-isolating cables. Actual results may vary.

<sup>3</sup> Compared to MICHELIN® XDR® 2 33.00 R 51, average performance by mine site. Projected improvement in tire life based on field performance in customer mine sites over 29 months of the MICHELIN® XDR® 2, MICHELIN® XDR® 250 and MICHELIN® XP 57, 40.00 R 57 and 53/80 R 63, tires that included individual design improvements incorporated into the MICHELIN® XDR® 3.

<sup>4</sup> Compared to MICHELIN® XDR® 2 50/90R57, average performance by mine site. Projected improvement in tire life based on field performance in customer mine sites over 29 months of the MICHELIN® XDR® 2, MICHELIN® XDR® 250 and MICHELIN® XP 57, 40.00 R 57 and 53/80 R 63, tires that included individual design improvements incorporated into the MICHELIN® XDR® 3.

<sup>5</sup> Compared to the MICHELIN® XDR® 2 37.00R57 tire, average performance by mine site. Projected improvement in tire life based on field performance in customer mine sites over 29 months of the MICHELIN® XDR® 2, MICHELIN® XDR® 250 and MICHELIN® XP 57, 40.00R57 and 53/80R63 tires that included individual design improvements incorporated into the MICHELIN® XDR® 3 tire. Actual results may vary.

<sup>6</sup> Without any compromise on TKPH/TMPH.



## MICHELIN® XDR® 3®

COMMERCIAL DESCRIPTION	CAI MSPN	Max. dist./hour km mile	TKPH TMPH	Tread depth mm 32rd
XDR 3 B4 E4R ** TL 33.00R51 Tubeless	089608 5115	20 12.4	620 425	94 118.4
XDR 3 B E4R ** TL 33.00R51 Tubeless	884959 05483	24 14.9	744 510	94 118.4
XDR 3 C4 E4R ** TL 33.00R51 Tubeless	691960 78629	27 16	837 573	94 118.4
XDR 3 B4 E4R TL ** 37.00R57 Tubeless	112553	20 12.4	848 581	102 128.5
XDR 3 B E4R TL ** 37.00R57 Tubeless	651752	24 14.9	1018 697	102 128.5
XDR 3 C4 E4R TL ** 37.00R57 Tubeless	514466	27 16.8	1145 784	102 128.5
XDR 3 C E4R TL ** 37.00R57 Tubeless	168876	30 18.6	1272 871	102 128.5
XDR 3 MB4 E4R ** TL 40.00R57 Tubeless	133439 07678	20 12.4	960 658	98 123.5
XDR 3 MB E4R ** TL 40.00R57 Tubeless	349567 40866	24 14.9	1152 789	98 123.5
XDR 3 MC4 E4R ** TL 40.00R57 Tubeless	843163 54268	27 16.8	1296 888	98 123.5
XDR 3 MC E4R ** TL 40.00R57 Tubeless	861130 02582	30 18.6	1440 986	98 123.5
XDR 3 MB4 E4R TL ** 50/90R57 Tubeless	283806 39092	20 12.4	1248 855	98 123.5
XDR 3 MB E4R TL ** 50/90R57 Tubeless	744229 45751	24 14.9	1498 1026	98 123.5
XDR 3 MC4 E4R TL ** 50/90R57 Tubeless	650162 09945	28 17.4	1747 1197	98 123.5
XDR 3 MC4 E4R ** TL 53/80R63 Tubeless	031154 06229	28 17.4	1848 1266	110 138.6
XDR 3 MC E4R ** TL 53/80R63 Tubeless	709804 99718	30 18.6	1980 1356	110 138.6
XDR 3 MB4 E4R ** TL 53/80R63 Tubeless	176236 05149	20 12.4	1320 904	110 138.6
XDR 3 MB E4R ** TL 53/80R63 Tubeless	302446 26004	24 14.9	1584 1085	110 138.6
XDR 3 MB4 E4R TL ** 59/80R63 Tubeless	430321 73530	20 12.4	1600 1096	110 138.6
XDR 3 MB E4R TL ** 59/80R63 Tubeless	774172 20068	24 14.9	1920 1315	110 138.6
XDR 3 MC4 E4R TL ** 59/80R63 Tubeless	502804 83942	28 17.4	2150 1473	110 138.6

Copyright ©2020 Michelin North America, Inc. All Rights Reserved.  
The Michelin Man is a registered trademark owned by Michelin North America, Inc.



## Anexo 4: Ficha técnica de neumático Bridgestone VRPS

### VRPS™ - NEUMÁTICO

#### V-STEEL ROCK PREMIUM SERVICE

[E-4] El neumático radial V-Steel Rock Premium Service (VRPS) tiene una cubierta ultraduradera para una gran resistencia al desgaste, al corte y a la generación de calor. Se recomienda usar este neumático OTR en minas de cobre, hierro, oro, carbón y de otros tipos que requieran protección extra contra el desgaste, los cortes y las perforaciones de los neumáticos.



## CARACTERÍSTICAS ESPECIALIZADAS



- 1 Poca generación de calor
- 2 Gran resistencia al desgaste y los cortes para lograr un rendimiento extrarresistente en minería
- 3 Cubierta ultraduradera

TIPO DE MÁQUINA	Camión de transporte rígido, Camión de transporte
NÚMERO DE ARTÍCULO	430892
TAMAÑO DE NEUMÁTICO	59/80R63
COMPUESTO	E1A
CLASIFICACIÓN DE CAPA/ESTRELLAS	CLASIFICACIÓN 2*
TRA	E-4 EARTHMOVER
PROFUNDIDAD DE LA BANDA DE RODAMIENTO (MM)	115.9
PESO BRUTO (KG)	5747



**VRPS** E-4

V-STEEL ROCK PREMIUM SERVICE

Low heat generation

High resistance to wear and  
cutting for extra-heavy-duty  
mining performance

Ultra-durable casing



CATEGORY	SIZE	PLY/STAR RATING	COMPOUND/ CONSTRUCTION	TRA	ARTICLE #	AVG. WT.	OTD (32ND)	OVERALL DIAMETER	OVERALL WIDTH
GIANT TUBELESS	46/90R57	2*	E1A	E-4	429430	8,450	122	140.7	45.1
	46/90R57	2*	E2A	E-4	429447	8,450	122	140.7	45.1
	46/90R57	2*	E2A LS	E-4	429481	8,450	122	140.7	45.1
	46/90R57	2*	E3A	E-4	429464	8,450	122	140.7	45.1
	50/90R57	2*	E1A	E-4	429634	10,830	135	151.2	50.5
	50/90R57	2*	E2A	E-4	429651	10,830	135	151.2	50.5
	50/90R57	2*	E2A HL	E-4	429668	10,830	135	151.2	50.5
	50/90R57	2*	E3A	E-4	429685	10,830	135	151.2	50.5
	53/80R63	2*	E2A	E-4	429396	10,600	139	150.7	51.3
	59/80R63	2*	E1A	E-4	430892	11,500	146	158.1	57.8
	59/80R63	2*	E2A	E-4	430909	11,500	146	158.1	57.8
	59/80R63	2*	E2A LS	E-4	430977	11,500	146	158.1	57.8

Tire Size	Pattern	LI/SS	Star Rating	TRA Code or Application	Spec	TKPH	TMPH	Approximate Inflated Dimensions				OTD mm	Minimum Dual Spacing mm inch	Recommended Rim/Flange Height inch						
								OD	OW	SLR	SLW									
								mm inch	mm inch	mm inch	mm inch									
<b>63"</b>																				
53/80R63 Tubeless	VRF		★2	E3	-	-	-	3741	1322	1615	1524	64.0	1626 64.0	36.00/5.0 (38.00/5.0)						
					E1A	1330	911	147.3	52.0	63.6	60.0									
					E3A	1626	1115													
	VRPS		★2	E4	E2A	974	667	3828	1304	1657	1511	110.0	1626 64.0							
					E1A	1150	788	150.7	51.3	65.2	59.5									
					E3A	1408	964													
59/80R63 Tubeless	VRF		★2	E3	E1A	1784	1222	4022	1459	1710	1712	71.0	1780 70.0	44.00/5.0						
					E3A	2050	1404	158.3	57.4	67.3	67.4			41.00/5.0						
					E1A	1686	1155													
					E3A	1937	1327													
					VRPS		★2	E4	E2A	1228	841			4017	1467	1710	1712	116.0	1780 70.0	44.00/5.0
									E1A	1515	1038			158.1	57.8	67.3	67.4			41.00/5.0
	E3A	1773	1214																	
	E2A	1160	795																	
	E1A	1431	980																	
	E3A	1675	1147																	



## Anexo 5: Especificaciones del volquete Caterpillar 797F

### Especificaciones del Camión de Minería 797F

#### Motor

Modelo de motor	Cat C175-20	
Potencia bruta – SAE J1995	2.983 kW	4.000 hp
Potencia neta – SAE J1349	2.828 kW	3.793 hp
Calibre	175 mm	6,9 pulg
Carrera	220 mm	8,7 pulg
Cilindrada	106 L	6.469 pulg <sup>3</sup>

- Las clasificaciones de potencia se aplican a 1.750 rpm cuando se someten a prueba en las condiciones indicadas para la norma especificada.
- Clasificaciones basadas en condiciones de aire estándar de la norma SAE J1995 a 25 °C (77 °F) y 99 kPa (29,32 Hg) de presión barométrica. Potencia basada en el combustible con una densidad API de 35 a 16 °C (69 °F) y un LHV de 42.780 kJ/kg (18.390 BTU/lb) cuando se utiliza el motor a 30 °C (88 °F).
- No se requiere una reducción de potencia del motor según la configuración de altitud baja (LAA) hasta los 2.134 metros (7.000 pies) de altitud.
- No se requiere una reducción de potencia del motor según la configuración de gran altitud (HAA) hasta los 4.877 metros (16.000 pies) de altitud.
- Cumple con las normas de emisiones Tier 2 de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

#### Pesos – Aproximados

Peso bruto de la máquina en orden de trabajo (GMW)	623.690 kg (1.375.000 lb)
Rango de peso de la caja	41.368-61.235 kg (91.200-135.000 lb)
Rango de peso del chasis	210.630-219.146 kg (464.359-483.134 lb)

- Consulte la Póliza de Carga Útil 10/10/20 del Camión de Minería Caterpillar para conocer los límites máximos de peso bruto de la máquina.
- El peso de la caja varía según la configuración del revestimiento y la caja. Rango de peso para aplicaciones conocidas.
- El peso del chasis lleno de combustible, con el dispositivo de levantamiento, el grupo de montaje de la caja, los aros y los neumáticos.

#### Especificaciones de operación

Capacidad nominal de carga útil	363 toneladas	400 toneladas cortas
Capacidad colmada SAE (2:1)	240-267 m <sup>3</sup>	314-350 yd <sup>3</sup>
Velocidad máxima con carga	67,6 km/h	42 millas/h
Ángulo de dirección	40 Grados	
Diámetro de espacio libre de giro de la máquina	42 m	138 pies

#### Mandos finales

Relación de diferencial	12,76:1
Relación de engranajes planetarios	16,67:1
Relación de reducción total	21,26:1

- Reducción doble, planetaria con ejes completamente flotantes.

#### Transmisión

Avance 1	11,3 km/h	7 millas/h
Avance 2	15,2 km/h	9,5 millas/h
Avance 3	20,5 km/h	12,7 millas/h
Avance 4	27,7 km/h	17,2 millas/h
Avance 5	37,2 km/h	23,1 millas/h
Avance 6	50,3 km/h	31,2 millas/h
Avance 7	67,6 km/h	42 millas/h
Retroceso	11,9 km/h	7,4 millas/h

#### Suspensión

Carrera de cilindro efectiva – Delantero	313,6 mm	12,3 pulg
Carrera de cilindro efectiva – Trasero	165,1 mm	6,5 pulg
Oscilación del eje trasero	±4,0 grados	

#### Levantamientos de la caja

Caudal de la bomba – Velocidad alta en vacío	1.200 L/min	317 gal/min
Ajuste de la válvula de alivio – Levantamiento	24.200 kPa	3.510 lb/pulg <sup>2</sup>
Tiempo de subida de la caja – Velocidad alta en vacío	25 Segundos	
Tiempo de bajada de la caja en velocidad alta en vacío – Posición libre	19 Segundos	

#### Frenos

Número de discos por lado – Parte delantera	10	
Número de discos por lado – Parte trasera	15	
Diámetro externo	1.067 mm	42 pulg
Superficie de freno	330.517 cm <sup>2</sup>	51.243 pulg <sup>2</sup>
Normas	J-ISO 3450 JAN88, ISO 3430-1996	

#### Pesos aproximados – MSD II

Eje delantero – Vacío	47,2%
Eje delantero – Cargado	33,3%
Eje trasero – Vacío	52,8%
Eje trasero – Cargado	66,7%

#### Distribuciones de peso – Aproximadas

Eje delantero – Vacío	47,2%
Eje trasero – Vacío	52,8%
Eje delantero – Cargado	33,3%
Eje trasero – Cargado	66,7%

#### Capacidad – MSD II – Factor de llenado de 100%

A ras	188-213 m <sup>3</sup>	246-290 yd <sup>3</sup>
Colmado (SAE 2:1)	240-267 m <sup>3</sup>	314-350 yd <sup>3</sup>

- Consulte a su distribuidor Cat local acerca de las recomendaciones para la caja del camión.

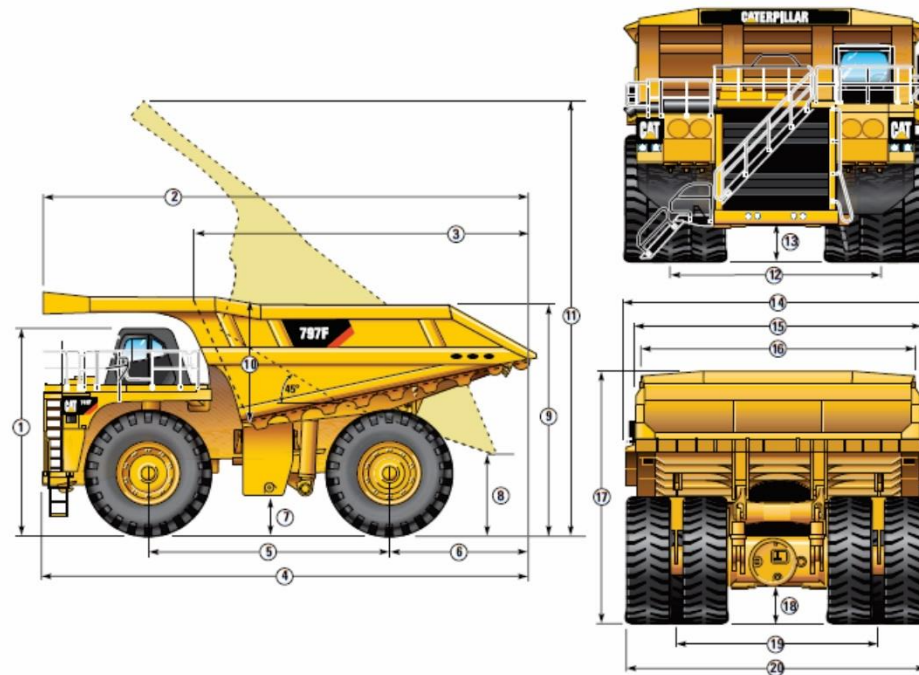
Capacidades de llenado de servicio			Neumáticos		Ruido	
Tanque de combustible	3.785 L	1.000 gal	Neumático	59/80R63 – Michelin o Bridgestone	Normas de ruido	
Sistema de enfriamiento	1.160 L	306 gal	<ul style="list-style-type: none"> <li>La capacidad de producción del Camión de Obras 797F es tal que, en determinadas condiciones de trabajo, podría exceder la capacidad de los neumáticos estándar en toneladas por km/h (TKPH) o toneladas por mph (TMPH) y, por lo tanto, habría que limitar la producción.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Cuando se ha instalado correctamente la cabina ofrecida por Caterpillar y se le han realizado los procedimientos de mantenimiento establecidos, el nivel de presión del ruido para el operador, medido con las puertas y ventanas cerradas y de acuerdo con los procedimientos del ciclo de trabajo especificados en la norma ISO 6394 y 6396, es de 76 dB(A).</li> <li>Puede necesitarse protección para los oídos cuando se trabaja mucho tiempo con las puertas/ventanas de la cabina abiertas, en lugares muy ruidosos o si la cabina no tiene el mantenimiento correcto.</li> </ul>	
Cárter	319 L	84 gal	ROPS		Dirección	
Ruedas delanteras, cada una	61 L	16 gal	Normas para ROPS		Normas para la dirección	
Mandos finales, cada uno	185 L	49 gal	<ul style="list-style-type: none"> <li>La ROPS (Estructura de Protección Antivuelco) para la cabina que ofrece Caterpillar cumple con los criterios ISO 3741:1994 ROPS.</li> <li>La FOPS (Estructura de Protección contra Caída de Objetos) cumple con la norma ISO 3449:1992 Nivel II FOPS.</li> </ul>		SAE J1511 OCT90, ISO 5010:1992	
Diferenciales	1.176 L	311 gal				
Tanque del sistema de dirección	254 L	67 gal				
Sistema de dirección (incluye tanque)	355 L	94 gal				
Tanque hidráulico de freno/levantamiento	825 L	28 gal				
Sistema de frenos/levantamiento (incluye tanque)	1.670 L	441 gal				
Tanque del freno/levantamiento	830 L	219 gal				
Sumidero del convertidor de par	303 L	80 gal				
Sistema de transmisión/convertidor de par (incluye sumidero)	629 L	166 gal				

## Especificaciones del Camión de Minería 797F

### Dimensiones

Todas las dimensiones son aproximadas.

Las dimensiones corresponden a una máquina con la Caja 290-6420 estándar.



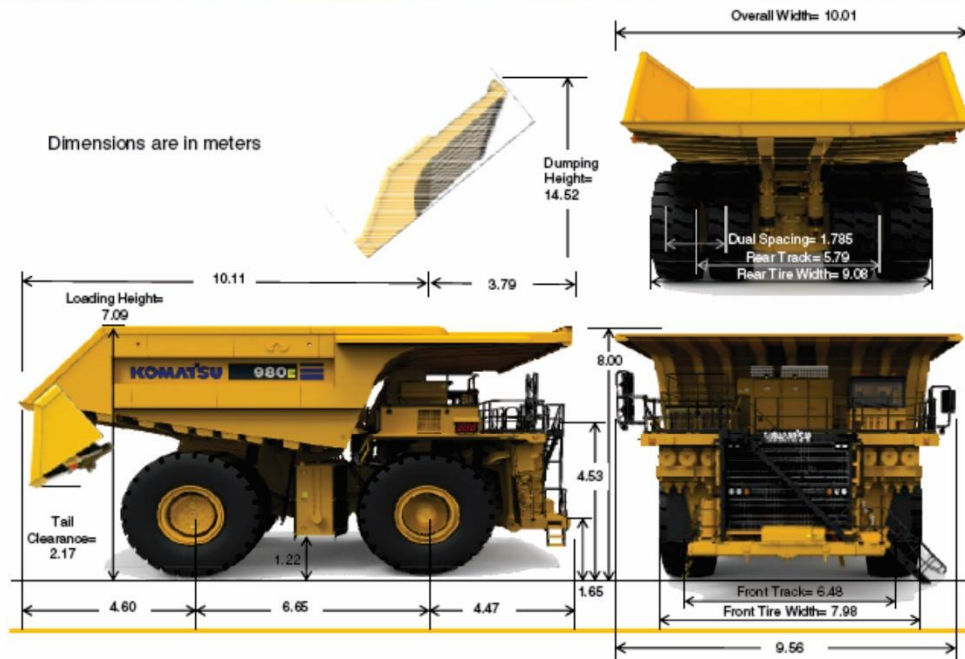
1	Altura hasta la parte superior de la ROPS: vacío	6.526 mm	21 pies 5 pulg
2	Longitud total de la caja	14.802 mm	48 pies 7 pulg
3	Longitud interior de la caja	9.976 mm	32 pies 9 pulg
4	Longitud total	15.080 mm	49 pies 6 pulg
5	Distancia entre ejes	7.195 mm	23 pies 7 pulg
6	Distancia desde el eje trasero hasta la cola de la máquina	3.944 mm	12 pies 11 pulg
7	Espacio libre sobre el suelo cargado	786 mm	2 pies 7 pulg
8	Espacio libre de descarga	2.017 mm	6 pies 7 pulg
9	Altura de carga: vacío	6.998 mm	23 pies 0 pulg
10	Profundidad interna de la caja: máxima	3.363 mm	11 pies 0 pulg
11	Altura total con la caja levantada	15.701 mm	51 pies 6 pulg
12	Ancho entre ejes de los neumáticos delanteros	6.534 mm	21 pies 5 pulg
13	Espacio libre del protector del motor: cargado	1.025 mm	3 pies 4 pulg
14	Ancho exterior de la caja	9.755 mm	32 pies 0 pulg
15	Ancho total del techo	9.116 mm	29 pies 11 pulg
16	Ancho interior de la caja	8.513 mm	27 pies 11 pulg
17	Altura del techo delantero: vacío	7.709 mm	25 pies 4 pulg
18	Espacio libre del eje trasero: cargado	947 mm	3 pies 1 pulg
19	Ancho entre ejes de los neumáticos dobles traseros	6.233 mm	20 pies 5 pulg
20	Ancho total entre los neumáticos traseros	9.529 mm	31 pies 3 pulg



# 980E-4



## DIMENSIONS



All dimensions are for unladen truck with standard body.



## HYDRAULIC SYSTEM

Steering ..... Accumulator assisted with twin double acting cylinders provide constant rate steering. Secondary steering automatically supplied by accumulator.

Turning circle diameter (SAE) ..... 32 m **105'**

Reservoir ..... 047 L **250 U.S. gal**

Filtration ..... In-line replaceable elements

Suction ..... Single, full flow, 100 mesh

Hoist and steering ..... Dual, in-line, high pressure

Brake component cabinet ..... Above deck, easily accessible with diagnostic test connections

Hoist ..... Two 3-stage dual-acting outboard cylinders, internal cushion valve, over-center dampening

Hoist times

Power-up loaded ..... 21 sec

Power-down (high idle) ..... 16 sec

Float-down empty (low idle) ..... 17 sec

Pumps ..... Two pumps, single package, in-line

Hoist and brake cooling ..... Tandem gear pump with output of 931 lpm **246 gpm** at 1900 rpm and 18960 kPa **2,750 psi**

Steering and brake ..... Pressure-compensating piston pump with output of 246 lpm **65 gpm** at 1900 rpm and 20685 kPa **3,000 psi**

System relief pressures

Hoist and brake cooling ..... 17237 kPa **2,500 psi**

Steering and brake ..... 20685 kPa **3,000 psi**

Ports available for powering disabled truck and for system diagnostics.

Body	Capacity		Loading Height*
	Struck	2:1 Heap	
Standard	188 m <sup>3</sup> <b>240 yd<sup>3</sup></b>	250 m <sup>3</sup> <b>327 yd<sup>3</sup></b>	7.14 m <b>23'5"</b>

\*Exact load height may vary due to tire make, type, and inflation pressure.



## ELECTRICAL SYSTEM

4 x 8D 1400 CCA, 12 volt, in series/parallel, 220 ampere-hour, bumper-mounted with disconnect switch & lock-out.

Alternator ..... 24 volt, 250 amp

Lighting ..... 24 volt

Cranking motors ..... Two/24 volt



## SERVICE REFILL CAPACITIES

Cooling System ..... 719 L **190 U.S. gal**

Crankcase ..... 341 L **90 U.S. gal**

Hydraulic system ..... 1325 L **350 U.S. gal**

Motor gear box (each) ..... 95 L **25 U.S. gal**

Fuel tank ..... 5300 L **1,400 U.S. gal**

## 980E-4

### Empty Vehicle Weight

Front Axle Distribution (48%)	121537 kg	267,944 lbs
Rear Axle Distribution (52%)	134331 kg	296,148 lbs
<b>Total EVW</b>	<b>255868 kg</b>	<b>564,092 lbs</b>

### Gross Vehicle Weight

Front Axle Distribution (33%)	205732 kg	453,561 lbs
Rear Axle Distribution (67%)	419545 kg	924,939 lbs
<b>Nominal GVW</b>	<b>625277 kg</b>	<b>1,378,500 lbs</b>

### Payload

	369409 kg	814,408 lbs
<b>Nominal Payload</b>	<b>369.4 metric tons</b>	<b>407.2 short tons</b>

Nominal payload is defined by Komatsu America Corp's payload policy documentation. In general, the nominal payload must be adjusted for the specific vehicle configuration and site application. The figures above are provided for the basic product description purposes. Please contact your Komatsu distributor for specific application requirements.



## Anexo 7: Guía rápida de instalación del sistema MEMS 4



### Guía de Instalación y Mantenimiento

## 7 GUIDA RÁPIDA

### 7.1 La Manera de Instalar MEMS cuando el servidor está en la nubia

- 1) Requisitos Mínimos
  - Pre-estudio completado
  - El servidor es creado
  - Equipos y herramientas están disponibles en sitio
  - Los técnicos están disponibles
  - Una lista de números de teléfono y direcciones de email para las alertas.
- 2) Configure el sistema MEMS en el servidor
  - Cree el nombre de la mina
  - Cree las cuentas de usuarios
  - Cree las alertas de SMA y email (si necesario)
  - Seleccione las unidades de medición de presión y temperatura que la mina prefiere
  - Cree tipos de vehículos, vehículos, tipos de neumáticos, neumáticos, sensores y transceptores
  - Asigne el transceptor a un vehículo
  - Asigne un sensor a un neumático y un neumático a un vehículo
- 3) Configure el transceptor usando su dispositivo móvil
  - Actualizar el transceptor con el firmware más reciente
  - Encontrar el señal de WiFi en su dispositivo móvil
  - Use el navegador de web para conectar a la pagina de web en el transceptor en direcciones 200.200.200.128 (nombre de usuario = admin / contraseña = letmein) o puede usar la app MEMS Advanced Field
  - Configure el parámetro 3G a ON
  - Configure el parámetro DHCP a ON
  - APN = orange.m2m.spec (si esté usando una tarjeta SIM local, compruebe con el proveedor)
  - Contraseña = orange
  - Direcciones de IP del servidor = proporcionado por RVL
  - Puerto del servidor = 16000
  - Puerto del transceptor = 16001
  - UDP y canal de WiFi 6 = No cambies sin instrucción
- 4) Compruebe todos los equipos
  - ¿Tiene todos los equipos que necesita (mira sección 3.6)
- 5) Instalación del transceptor
  - Abre el módulo 3G si va a usar una tarjeta SIM de un proveedor local.
  - Reemplace la tarjeta SIM de Orange si va a usar una tarjeta SIM de un proveedor local y volver la tarjeta SIM de Orange al ingeniero de Michelin.
  - Ubicar e instalar el transceptor en un ubicación donde es fácil acceder los conectores.
  - Las luces de LED tienen que ser visible
  - No use una llave inglesa para apretar los conectores. Solamente use sus dedos.
  - No perfora un panel sin el permiso escrito de la mina.
  - Protege el conducto de cable donde pasa través perforaciones en paneles metales.

## Anexo 8: Manual de Operador del sistema MEMS 4



### MEMS Evolution4 Manual del Operador

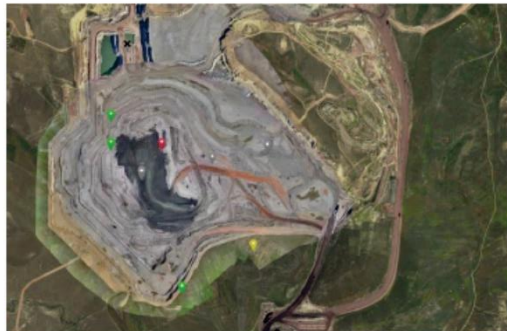
#### 5 LA MANERA DE VER LA FLOTA DE VEHÍCULOS

Esta vista ha sido diseñada para concentrar en alarmas. Es posible ver todos los vehículos en esta vista o, cuando hay muchos vehículos, es posible esconder vehículos que no tienen alarmas.

- 1) Haga clic en el botón TIEMPO REAL en la barra superior del menú principal.
- 2) Es posible mostrar vehículos en una tabla o en un mapa de la mina.



- 3) Haga clic en  para cambiar desde la vista tabla al visto mapa, y viceversa.



- 4) Ubicar el cursor del ratón en un vehículo específico para mostrar su número.



- 5) Use la lista desplegable para buscar un vehículo específico
- 6) Haga clic aquí incrementar el zoom y disminuir el zoom

Buscar identifica... ▾





MEMS Evolution4 Manual del Operador

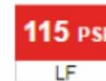
5.1 Cómo Entender los Símbolos de los Vehículos

- 1) Cada vehículo es representado por un símbolo, como nuestro.
- 2) En este ejemplo, el vehículo es número RD65. Está conectado y tiene sensores que están todos reportando.
- 3) Este vehículo está conectado y tiene una alarma roja de presión en posición de rueda LF
- 4) Este vehículo tiene una alarma amarillo de temperatura en posición de rueda RRI
- 5) Este vehículo tiene una alarma amarilla de presión en posición de rueda RRI y una alarma roja de temperatura en posición de rueda RF
- 6) Este vehículo tiene una alarma roja de presión y una alarma roja de temperatura en posición de rueda LRO
- 7) Este vehículo tiene un posición de rueda que no reporta
- 8) Este vehículo no está conectado al servidor

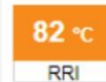
(●) RD65



(●) 184



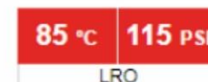
(●) 188



(●) 189



(●) 190



(●) RD34

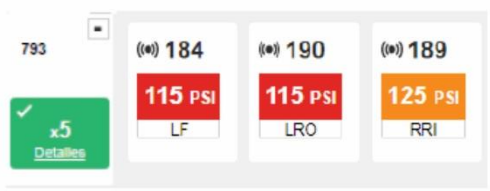
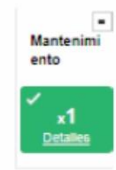




MEMS Evolution4 Manual del Operador

5.2 Cómo Filtrar las Alarmas

- 1) Cada flota de vehículos es representado como mostrado.
- 2) Es este ejemplo hay un vehículo en la flota llamada **Mantenimiento** que tiene una alarma.
- 3) Haga clic en **DETALLES** para mostrar todos los vehículos en la flota
- 4) Haga clic en **ESCONDER DETALLES** para volver a la pantalla anterior
- 5) Haga clic en este símbolo para mostrar todos los vehiculos en la flota que tienen una alarma de temperatura
- 6) En este ejemplo vehículo;
  - a. 189 tiene un alarma roja en posición de rueda RF
  - b. 190 tiene un alarma roja en posición de rueda LRO
  - c. 188 tiene una alarma amarilla en posición de rueda RRI
- 7) La etiqueta de flota muestra que hay 5 vehículos en la flota que no tienen una alarma de temperatura.
- 8) Haga clic en este símbolo para mostrar todos los vehículos que tienen una alarma de presión.
- 9) En este ejemplo vehículo;
  - a. 184 tiene una alarma roja en posición de rueda LF
  - b. 190 tiene una alarma roja en posición de rueda LRO
  - c. 189 tiene una alarma amarilla en posición de rueda RRI
- 10) La etiqueta de flota muestra que hay 5 vehículos en la flota que no tienen una alarma de presión.



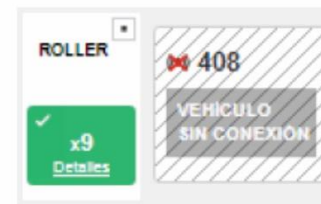


MEMS Evolution4 Manual del Operador

- 11) Haga clic en este símbolo para mostrar todos los vehículos en la flota que tienen posiciones de rueda que no reportan.
- 12) En este ejemplo vehículo;
  - a. 454 no está conectado al servidor y así todos 6 sensores también no están conectado al sistema tampoco
  - b. 428 tiene 4 sensor que no está conectado al sistema
- 13) La etiqueta de flota muestra que hay 5 otros vehículos en la flota que tienen todas las posiciones de rueda conectados al sistema.



- 14) Haga clic en este símbolo para mostrar todos los vehículos en la flota que no están conectados al servidor
- 15) En este ejemplo vehículo 408 no está conectado al servidor
- 16) La etiqueta de flota muestra que hay 9 otros vehículos en la flota que están conectados al servidor.




- 17) Haga clic en este símbolo para añadir el color apropiado a la etiqueta del vehículo si está asociado con un sensor desconocido que tiene una alarma.
- 18) Es posible seleccionar una mezcla de cualquier de las alarmas anteriores
- 19) Haga clic en este símbolo para mostrar todos los vehículos en la flota que tienen cualquier de las alarmas anteriores

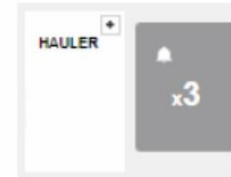



- 20) La etiqueta de flota muestra que hay 1 otro vehículo en la flota que no tiene alarmas.



### MEMS Evolution4 Manual del Operador

- 21) Haga clic en  para mostrar la flota como una sola etiqueta que exhibe el número de vehículos que tienen un o más de las alarmas seleccionadas.
- 22) En este ejemplo hay 4 vehículos que tienen un o más de las alarmas seleccionadas.



- 23) Haga clic en  para ir a la vista de mapa. Si algún vehículo tiene una o más de las alarmas seleccionadas, su símbolo ser del color apropiado
- 24) Un símbolo de vehículo que no tiene una alarma es colorado verde.
- 25) Ubicar el cursor del ratón en el simbolo para mostrar el número del vehículo.

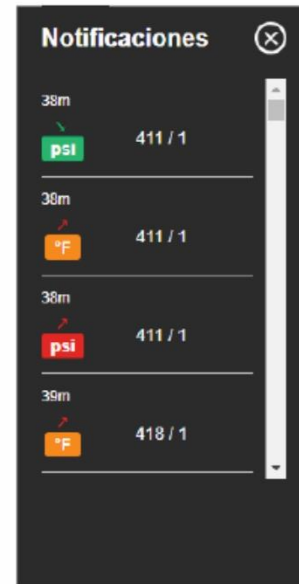




MEMS Evolution4 Manual del Operador

### 5.3 Cómo Ver Todas las Alarmas

- 1) Seleccione esto para mostrar todas las notificaciones que se han generado pues la última vez inició un sesión



- 2) Haga clic en X para cerrar el Panel de Notificaciones





MEMS Evolution4 Manual del Operador

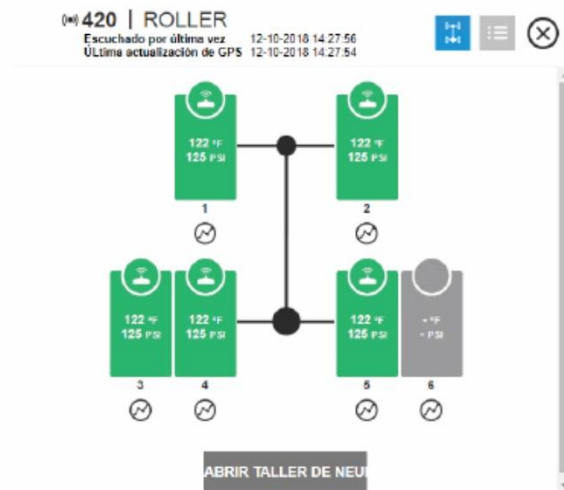
5.4 Cómo Ver un Vehículo en Detalle

1) Haga clic en la etiqueta de vehículo para ver el vehículo en detalle.

(420) 420

5  
En línea


















2) Ubicar el cursor del ratón en un posición de rueda para ver;  
 a. El número de serie del neumático  
 b. El número de serie del sensor  
 c. La fecha y la hora del último informe desde este sensor



3) Haga clic en  para mostrar la información en una tabla.

4) Ubicar el cursor del ratón en la letra i, al lado de un posición de rueda para ver;  
 a. El número de serie del neumático  
 b. El número de serie del sensor  
 c. La fecha y la hora del último informe desde este sensor

(420) 420 | ROLLER  
 Escuchado por última vez 12-10-2018 14:25:00  
 Última actualización de GPS 12-10-2018 14:25:04

Posición	Temperatura	Presión	Prec	
 1	122 °F	125 PSI	117 PSI	 
 2	122 °F	125 PSI	131 PSI	 
 3	122 °F	125 PSI	131 PSI	 
 4	122 °F	125 PSI	131 PSI	 
 5	122 °F	125 PSI	131 PSI	 
- 6	-	-	-	 

ABRIR TALLER DE NEUM



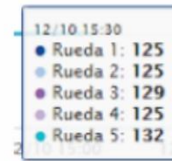
MEMS Evolution4 Manual del Operador

9) Haga clic en  para mostrar los datos de todas las posiciones ruedas en uno gráfico.

Pressure



10) Ubicar el cursor del ratón en cualquier sitio del gráfico para mostrar los detalles específicos.



11) Haga clic en  refrescar la pantalla

12) Haga clic en  cerrar la ventana



MEMS Evolution4 Manual del Operador

5.5 Cómo Cambiar Los Configuraciones De La Pantalla Tiempo Real

1) Seleccione esto para abrir la ventana de configuraciones.



OFF Mostrar alertas

---

OFF Habilitar las flotas de mantenimiento / estacionamiento

---

OFF Mostrar alertas de mantenimiento/aparcamiento

---

3h 6h 12h 24h 48h 'Notifvisibility'

2) Seleccione esto para mostrar un aureola en la pantalla TIEMPO REAL cuando hay una nueva alarma.

ON Mostrar alertas



3) Seleccione esto para mostrar las flotas Mantenimiento y Estacionamiento en la pantalla TIEMPO REAL

ON Habilitar las flotas de mantenimiento / estacionamiento

4) Seleccione esto para mostrar las alarmas en los vehículos de las flotas Mantenimiento y Estacionamiento

ON Mostrar alertas de mantenimiento/aparcamiento

5) Seleccione esto para mostrar, en la vista de mapa, cualquier zona de geocerca que han sido creado.

ON Mostrar zonas de geocerca

6) Seleccione esto para configurar la edad de las alarmas desplegadas en el Panel de Notificaciones

3h 6h 12h 24h 48h 'Notifvisibility'