



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA TPMS Y SU  
IMPACTO EN LA VIDA ÚTIL DE NEUMÁTICOS GIGANTES  
DE CAMIONES CATERPILLAR 793 EN UNA EMPRESA  
MINERA, 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Elder Orlando Gutierrez Villena

Asesor:

Ing. Jorge Luis Alfaro Rosas

Trujillo - Perú

2020

## **DEDICATORIA**

A mi familia, por ser parte importante todo este proceso.

A mis padres, por todo el esfuerzo que hicieron para brindarme la mejor educación.

A mi madre por ser principal factor de motivación para realizar la presente investigación.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Privada del Norte por la formación en valores y conocimientos para mi  
presente vida profesional.

A mi familia y mis padres por el apoyo incondicional.

A mi asesor, el Ingeniero Jorge Luis Alfaro Rosas, por su apoyo, orientación, críticas y  
recomendaciones para el desarrollo de la presente tesis.

## Tabla de contenidos

|  |           |
|--|-----------|
| <b>DEDICATORIA .....</b>                           | <b>2</b>  |
| <b>AGRADECIMIENTO.....</b>                         | <b>3</b>  |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>                      | <b>5</b>  |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>                     | <b>6</b>  |
| <b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>                  | <b>7</b>  |
| <b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>              | <b>9</b>  |
| <b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>              | <b>26</b> |
| <b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>              | <b>34</b> |
| <b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b> | <b>66</b> |
| <b>REFERENCIAS .....</b>                           | <b>69</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>                                | <b>72</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1</b> : Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos ..... | 28 |
| <b>Tabla 2</b> : Procedimiento de tratamiento y análisis de datos.....            | 31 |
| <b>Tabla 3</b> : Programa de actividades para instalación .....                   | 48 |
| <b>Tabla 4</b> : Cálculo de Costo beneficio .....                                 | 61 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1 :</b> Componentes de un neumático gigante .....  | 16 |
| <b>Figura 2:</b> Fórmula de TKPH Operacional.....  | 17 |
| <b>Figura 3:</b> Fórmula de TKPH de neumático .....  | 18 |
| <b>Figura 4 :</b> Coeficiente de revisión.....   | 18 |
| <b>Figura 5 :</b> Ciclo de Deming. Cuatrecasas y González, 2017, Gestión integral de la calidad (5ª Edición).<br>..... | 24 |
| <b>Figura 6 :</b> Proceso del oro.....   | 35 |
| <b>Figura 7 :</b> Descripción del Proceso del oro .....  | 35 |
| <b>Figura 8 :</b> Subprocesos de Carguío y acarreo.....  | 36 |
| <b>Figura 9:</b> Rendimiento mensual 2018-2019 .....   | 37 |
| <b>Figura 10:</b> Cálculo de TKPH.....   | 38 |
| <b>Figura 11:</b> Pérdidas económicas por motivo de baja.....  | 38 |
| <b>Figura 12:</b> Rendimiento vs motivos de baja.....  | 39 |
| <b>Figura 13:</b> Evolución de daños por Heat Separation .....   | 40 |
| <b>Figura 14:</b> Mapa de procesos para la instalación de TPMS .....   | 50 |
| <b>Figura 15:</b> Gráfico de presión y temperatura elaborado con las mediciones enviadas por el sistema TPMS           | 51 |
| <b>Figura 16:</b> Ejemplo de screenshot de pantalla de monitoreo de llantas en Dispatch .....                          | 52 |
| <b>Figura 17:</b> Ejemplo de Screenshot de ubicación de camiones en tiempo real .....                                  | 54 |
| <b>Figura 18:</b> Comparación de mediciones con TKPH y Temperatura (TPMS).....   | 55 |
| <b>Figura 19:</b> Caso 1. TKPH elevado, Temperatura por debajo del límite .....  | 57 |
| <b>Figura 20:</b> Caso 2. TKPH por debajo del límite, Temperatura excede su límite.....                                | 58 |
| <b>Figura 21:</b> Rendimiento de neumáticos después de aplicar el nuevo método.....                                    | 59 |
| <b>Figura 22:</b> Evolución de Heat Separation 2019-2020.....  | 60 |
| <b>Figura 23:</b> Plan de acción según niveles de alarma.....  | 63 |
| <b>Figura 24:</b> Comparación de pérdidas por motivos de baja 2019 vs 2020.....  | 64 |
| <b>Figura 25:</b> Comparación de rendimientos 2019 vs 2020 .....   | 65 |

## ÍNDICE DE ECUACIONES

|   |    |
|---|----|
| <b>Ecuación 1</b> : Fórmula para determinar tamaño de la muestra..... | 28 |
|---|----|

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es determinar el impacto que genera la implementación de un sistema TPMS (Sistema de Monitoreo de Presión y Temperatura, por sus siglas en inglés) en el rendimiento de neumáticos gigantes usados en la flota de camiones Caterpillar 793. El tipo de investigación es Aplicada y el diseño es de grado pre-experimental.

De acuerdo al diagnóstico de la situación actual, el rendimiento de neumáticos se ve mermado por la pérdida prematura de neumáticos causado por un motivo de baja muy crítico que es el Heat Separation (Separación por calor, por traducción en inglés), el cual obliga a retirar el neumático antes de cumplir su vida útil, ya que provoca un daño irreversible en el neumático.

Para lo cual se implementó un sistema que permite monitorear la presión y temperatura en tiempo real y reportarlo al área de Dispatch en el área de Operaciones mina, quienes son los encargados de tomar acción ante cualquier alerta por exceder los límites permisibles.

Dando como resultado una disminución de bajas por el motivo mencionado y un incremento en la vida útil de neumáticos gigantes de 17.9%

**Palabras clave:** Vida útil, pérdida prematura, TPMS,



## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

El Perú es un país con un enorme potencial minero, esto es debido a las grandes inversiones de corporaciones líderes a nivel global. A nivel mundial y latinoamericano el Perú se ubica entre los primeros productores de diversos metales, (oro, plata, cobre, plomo, zinc, hierro, estaño, molibdeno, telurio, entre otros), lo cual es reflejo no sólo de la abundancia de recursos y la capacidad de producción de la actividad minera peruana, sino de la estabilidad de las políticas económicas en nuestro país. La demanda de minerales en el mundo ha ido incrementando en el tiempo, por lo que las inversiones de las grandes compañías tienen que ir a la par para cubrir dicha demanda. (MINEM 2019, *Perú: País Minero*)

La minería es una de las actividades económicas más importantes en el Perú. Según el Banco Central de Reserva del Perú (BCRP), esta actividad representa el 13% de la inversión privada local y más del 60% del valor de las exportaciones totales del Perú. Según esa entidad, al primer semestre del 2019, la minería representó el 9.0% del PBI peruano. (Osinermin 2019, *Reporte de Análisis Económico Sectorial-Minería*)

En el 2018, la minería representó casi el 10% del PBI nacional y del 61% del valor total de las exportaciones peruanas, resaltando la participación del cobre en más del 50% del PBI minero metálico, según data del Anuario Minero 2018 publicado por el Ministerio de Energía y Minas (Minem), a través de su Dirección de Promoción y Sostenibilidad Minera.

En porcentaje, el subsector minero representó el 9.4% de la PBI nacional del 2018, participación sustentada en la producción de cobre, oro y zinc (80%). Destaca que solo

la producción de cobre aporta el 55% del PBI minero metálico. (MINEM 2019, *Nota de Prensa 24 de junio de 2019*)

Para el 2020, se espera que la inversión minera siga aumentando, aunque a un menor ritmo (crecimiento anual de 9% frente a 18% en 2019).

De acuerdo al BBVA Research, hacia el 2024 las nuevas unidades de cobre alcanzarán sus máximos niveles de producción, estimándose que en conjunto produzcan 477,000 toneladas métricas; este escenario puede mejorar si se inicia con la construcción de proyectos concesionados, los cuales se encuentran en diversas fases de estudio, como Chancas, Yanacocha Sulfuros, Huqira, Zafranal, Coroccohuayco y Magistral (de cobre), Pampa de pongo (hierro), San Gabriel e Inmaculada (oro), Pachapaqui (zinc) y Corani (plata). Todos estos proyectos representan una inversión total de USD 12.5 mil millones. (Gestión (08/01/2020 a las 15:45).

En el 2008, hubo una gran escasez de neumáticos gigantes (OTR) a nivel mundial, esto fue debido al incremento de la demanda que está directamente relacionado con la creciente actividad minera y el incremento de la flota de camiones gigantes, sumado a esto la oferta de los fabricantes de este tipo de neumáticos no podía cubrir esta creciente demanda. Desde ese entonces se han multiplicado los esfuerzos para generar estrategias sobre el incremento de la vida útil de los neumáticos. En los negocios de hoy la exigencia del consumidor minero se torna cada día mayor, lo que obliga a las empresas proveedoras ser cada vez más competitivas. Uno de los rubros que ha experimentado con mayor fuerza esta realidad es el de los neumáticos que, además de enfrentarse con mayores exigencias desde el punto de vista operativo por los grandes tamaños y presiones de los camiones, ha debido sortear un periodo de alta escasez cuando la demanda por estos productos se encontraba en su máximo valor, hace unos

años; hoy la disponibilidad sigue siendo ajustada en las medidas para camiones y equipos de alta capacidad, por el aumento constante de éstos en las grandes compañías. Las compañías mineras en la búsqueda constante de mayor eficiencia y bajos costos solicitan a los fabricantes de equipos de transporte y carga para el movimiento de minerales equipos de mayor capacidad. En la década de los años 30 los primeros neumáticos OTR medían 1,3 metros de diámetro y soportaban una carga de 2.600 kilos. Hoy, los neumáticos miden 4,3 metros de diámetro y soportan una carga superior a 100.000 kilos cada uno. (Minería Chilena, 2009, *Monitoreando neumáticos gigantes*, <https://www.mch.cl/reportajes/monitoreando-neumaticos-gigantes/#>).

Los neumáticos gigantes son uno de los principales gastos de una compañía minera a tajo abierto, por lo tanto, extender la vida útil es un factor clave dentro de la estrategia de gestión de las compañías mineras. Su gestión es muy importante para lograr los objetivos de producción, para lo cual el cuidado apropiado ayuda a obtener los resultados en disponibilidad, confiabilidad y costos del equipo móvil que las usa, el gasto promedio de una minera en neumáticos es aproximadamente 14% (se encuentra en el Top 5 de los gastos operacionales, después de combustible, explosivos y energía eléctrica), es por eso que el incremento de la vida útil de este tipo de neumáticos es clave para mantener los gastos operaciones cada vez menores.

Específicamente en la empresa donde se desarrolla esta investigación los neumáticos gigantes representan un 26% del presupuesto del área de Operaciones Mina, el cual aproximadamente asciende a \$7 millones de dólares americanos.

Es preciso mencionar, que el transporte carga pesada en camiones gigantes provoca inevitablemente la acumulación de calor en los neumáticos. Como los neumáticos tienen una resistencia limitada al calor, el deterioro del neumático puede ocurrir en una

etapa temprana de operación si se usa más allá del TKPH nominal, existiendo 2 indicadores de TKPH, el TKPH Operacional y el TKPH del neumático, por lo que lo recomendable es que el TKPH Operacional no pase el del neumático, ya que sería muy probable que se produzca una falla o pérdida prematura del neumático.

A raíz de diversos análisis internos por parte de la compañía minera, se determinó que es necesario establecer un sistema o método de monitoreo de los neumáticos, por lo que, en trabajo en equipo junto con representantes de la marca, tanto de neumáticos como de los equipos y personal de TI de la compañía minera, se diseñó un algoritmo que calculaba el TKPH “en tiempo real”, sin bien se implementó un control para el monitoreo de neumáticos, con el pasar del tiempo, el área de Operaciones Mina identificó un incremento de alertas que avisaban el exceso de TKPH que causaba que la disponibilidad de camiones disminuyera, ya que al saltar una alarma por exceso de TKPH, personal del área de Despacho de Operaciones Mina tenía que tomar acción ante la alerta emitida, ya sea reasignar al camión a una ruta más corta, enviarlo a grifo donde se encuentra personal de una empresa contratista para la verificación manual del presiones (según eso determinaban si efectivamente la temperatura se encontraba elevada) o, dependiendo de cuanto ha sido el exceso, detener el equipo, en todas las 3 opciones anteriores se perdía productividad y a la vez los daños ocasionados por temperatura elevada del caucho se redujeron, pero en un mínimo.

En base a la problemática descrita, se desea realizar el proyecto de implementación de un sistema de TPMS (Sistema de monitoreo de presión y temperatura, por sus siglas en inglés), el cual mide la presión y temperatura de los neumáticos en tiempo real, así como la velocidad de los camiones y muestra las trayectorias de estos sobre un mapa satelital, con ello se busca lograr el control de la temperatura de cada uno de los

neumáticos manteniendo la disponibilidad de cada equipo al máximo lo cual favorece a la productividad de los equipos y a la vez estamos incrementando la vida útil de los neumáticos, ya que se mantendrían dentro de los parámetros establecidos por el fabricante.

## **ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

Según Cerchar y Cuadrado (2015), en su investigación titulada *“Aplicación del programa Six sigma para la ampliación de la vida útil de la llanta 53/80R63 en carbones del Cerrejón”* referencia como problema que, las llantas de los camiones gigantes no están cumpliendo con la expectativa de vida útil, planteándose como objetivo ampliar la vida útil de la llanta 53/80 R 63 en carbones del Cerrejón. Ello motivó a aplicar la metodología Six sigma, lo cual permitió conseguir los siguientes resultados: se logró realizar un análisis estadístico mediante diagramas de Pareto, cartas de control, diagramas de correlación y el programa minitab 15 y determinar las causas y daños predominantes que se presentan en la llanta. A raíz de los resultados obtenidos por el análisis estadístico, se determinaron soluciones que pueden aportar valiosa ayuda para los distintos problemas y daños que está presentando la llanta.

Según Blanco (2016), en su investigación titulada *“Incremento de la vida útil de neumáticos para reducir costos de operación en camiones Caterpillar 797F en Toromocho - Chinalco Perú”*, referencia como problema los costos en neumáticos y vale la pena reducir dichos costos para el año 2016. Ello motivó a aplicar la metodología descriptiva, lo cual permitió conseguir los siguientes resultados, el incremento de la vida útil del neumático lo cual, se visualizó al comparar con los años 2014 y 2015. Por lo que se concluye que hubo una reducción de costos.

Según Tejada, (2014), en su investigación 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”*, referencia como problema, la necesidad de obtener un tiempo de vida mayor con el objetivo de minimizar los costos y evitar la escasez que pueden tener las empresas que distribuyen los neumáticos ante la demanda en el mercado. Lo cual motivó a aplicar la metodología del cambio de posiciones, lo cual permitió conseguir los siguientes resultados, que rotando los neumáticos de posición 1 y 2 en un intervalo de (2633 – 3349 horas) obtenemos el 5,9% de incremento en la vida de los neumáticos con relación a la rotación de los neumáticos en el intervalo de (1917 - 2633), esto nos proporciona un ahorro significativo en términos de costos de operación y productividad de los equipos.

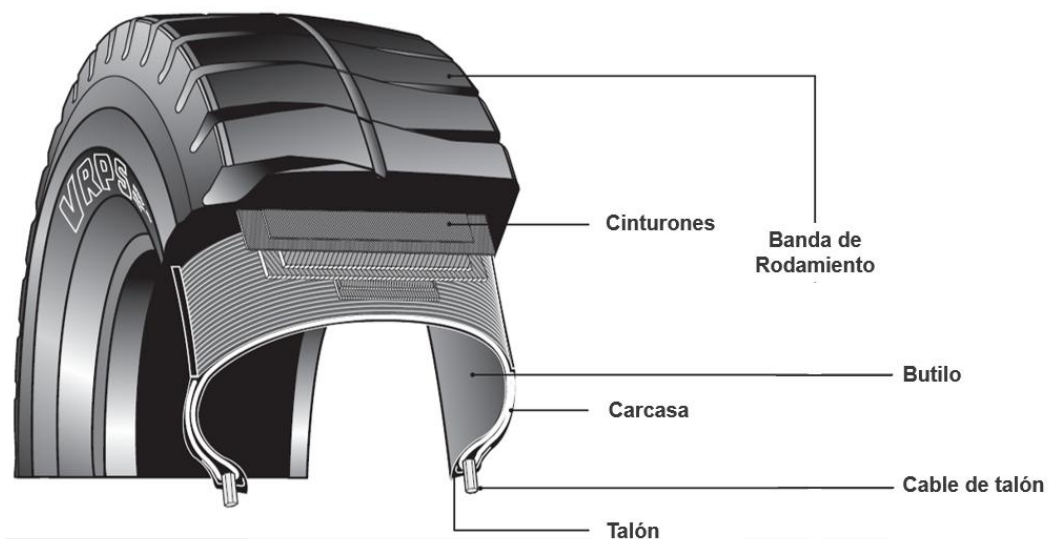
Según Terán, 2016, en su investigación titulada, *“Optimización de los sistemas de control para mejorar la vida útil de los neumáticos de camiones gigantes en Minera Yanacocha, 2016”*, referencia como problema, incrementar la vida útil de los neumáticos en camiones gigantes. Lo cual motivó a aplicar un sistema de control adecuado en minería a tajo abierto, lo cual permitió conseguir los siguientes resultados, se obtuvieron óptimos resultados y con ello las empresas dedicadas al rubro minero podrían hacer uso de este trabajo a fin de profundizar una investigación de carácter tecnológico en los sistemas de control así mismo poder aplicarlo y traer consigo cuantiosos ahorros económicos en las operaciones de transporte de mineral.

## BASES CONCEPTUALES

- **Neumático gigante**

Este tipo de neumático es usado específicamente en camiones de gran tonelaje que intervienen directamente en el proceso de acarreo en minería a tajo abierto, por lo que los 3 principales componentes (estructura interna, compuesto de caucho y diseño de banda de rodamiento) de un neumático difieren del resto de tipos de neumáticos existentes en el mercado.

Cabe señalar, que cada camión tiene 6 neumáticos, 2 en el eje delantero y 4 en el eje posterior.



*Figura 1.* Componentes de un neumático gigante (Databook, Bridgestone, 2019)

- **TKPH**

El TKPH (Tonelada-Kilómetro por Hora) es una característica esencial de la capacidad de trabajo de las llantas. Para una misma dimensión y una misma escultura, pueden existir varios tipos de goma, cada uno asociado a un TKPH diferente. Los valores de TKPH figuran entre las características de los neumáticos. Estos dependen de la capacidad de carga de cada dimensión, del número de

kilómetros a cada hora permitidos por tipo de neumático, y una temperatura ambiente normalizada de 38 °C. *Dotaciones - & Protección Industrial* © 2014 – 2020.

Es el indicador de capacidad de trabajo de un neumático o de una ruta de la operación minera, es adimensional y que tiene como finalidad medir la resistencia del neumático frente a las condiciones a las que se encuentra expuesto.

Por consiguiente, al seleccionar los neumáticos es necesario determinar la cantidad de trabajo que mantendrá el neumático dentro de un rango seguro para evitar el sobrecalentamiento cuando el vehículo se opera en determinadas condiciones. La cantidad de trabajo realizado bajo las condiciones dadas y dentro de un rango seguro se muestra como "Tonelada-kilómetro-por-hora Operacional (TKPH Operacional)" que se puede determinar mediante la siguiente fórmula:

Formula for Calculation of Operating TKPH

$$\text{Operating TKPH} = \left( \frac{\text{Mean Tire-Load (MTL)}}{2} \right) \times \left( \text{Average Work Shift Speed (AWSS)} \right)$$

MTL [metric tons] =  $\frac{\text{Tire Load (Empty)} + \text{Tire Load (Loaded)}}{2}$

AWSS [km/hour] =  $\frac{\text{Round Trip Distance[km]} \times \text{Number of Cycles per Shift}}{\text{Total Hours of Operation per Shift}}$

**Figura 2.** Fórmula de TKPH Operacional (Databook, Bridgestone, 2019)

Además, se tiene que tener en cuenta el TKPH del neumático, que se puede determinar a través de una fórmula, como se muestra en la figura 3; sin embargo, cada fabricante establece los valores en sus respectivos manuales para ahorrarle el



tiempo a cada cliente, así mismo los valores que se muestran en los manuales de cada neumático pueden ser ajustados según la condición a la que están expuestos, es decir a la temperatura ambiente de cada operación a través de un coeficiente de revisión, el cual nos da un mayor margen para utilización del neumático, ya que el cálculo toma como temperatura 38°C como temperatura ambiente; para los neumáticos usados en la compañía minera en estudio se usan los datos que se encuentran en el recuadro rojo de la figura 4, específicamente el valor 1.18.

#### Radial Tire

$$\text{Revised TKPH rating} = [1 + \alpha \times (38^\circ\text{C} - \text{Max. Ambient Temperature } ^\circ\text{C})]^* \times \text{Tire TKPH}$$

Below 27.00 (33.5) inches in Section Width:  $\alpha = 0.010$

Above 30.00 (37.25) inches in Section Width:  $\alpha = 0.009$

**Figura 3.** Fórmula de TKPH de neumático (Databook, Bridgestone, 2019)

#### Revising Coefficient

| Ambient Temperature |     | Bias Tire<br>Tire Section |                | Radial Tire<br>Tire Section |                |
|---------------------|-----|---------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|
| °C                  | °F  | 27.00 and below           | 30.00 and over | 27.00 and below             | 30.00 and over |
| 14                  | 57  | 1.144                     | 1.120          | 1.240                       | 1.216          |
| 15                  | 59  | 1.138                     | 1.115          | 1.230                       | 1.207          |
| 16                  | 61  | 1.132                     | 1.110          | 1.220                       | 1.198          |
| 18                  | 64  | 1.120                     | 1.100          | 1.200                       | 1.180          |
| 20                  | 68  | 1.108                     | 1.090          | 1.180                       | 1.162          |
| 22                  | 72  | 1.096                     | 1.080          | 1.160                       | 1.144          |
| 24                  | 75  | 1.084                     | 1.070          | 1.140                       | 1.126          |
| 26                  | 79  | 1.072                     | 1.060          | 1.120                       | 1.108          |
| 28                  | 82  | 1.060                     | 1.050          | 1.100                       | 1.090          |
| 30                  | 86  | 1.048                     | 1.040          | 1.080                       | 1.072          |
| 32                  | 90  | 1.036                     | 1.030          | 1.060                       | 1.054          |
| 34                  | 93  | 1.024                     | 1.020          | 1.040                       | 1.036          |
| 36                  | 97  | 1.012                     | 1.010          | 1.020                       | 1.018          |
| 38                  | 100 | 1.000                     | 1.000          | 1.000                       | 1.000          |
| 40                  | 104 | 0.988                     | 0.990          | 0.980                       | 0.982          |
| 42                  | 108 | 0.976                     | 0.980          | 0.960                       | 0.964          |
| 44                  | 111 | 0.964                     | 0.970          | 0.940                       | 0.946          |
| 46                  | 115 | 0.952                     | 0.960          | 0.920                       | 0.928          |
| 48                  | 118 | 0.940                     | 0.950          | 0.900                       | 0.910          |
| 50                  | 122 | 0.928                     | 0.940          | 0.880                       | 0.892          |

For all ambient temperatures below 14°C (57°F), the same TKPH value as calculated at 14°C (57°F) should be used.

**Figura 4.** Coeficiente de revisión (Databook, Bridgestone, 2019)

El TKPH del neumático varía según el diseño del neumático (tamaño, diseño de la banda de rodadura y el tipo de compuesto). Un neumático de alto TKPH genera

menos calor que el del neumático TKPH inferior. Sin embargo, el neumático con TKPH menor tendrá mayor resistencia al corte y al desgaste que la de mayor TKPH.

Siempre se tiene que tener en cuenta que, el TKPH del neumático tiene que ser mayor al TKPH Operacional.

### **MONITOREO DE NEUMÁTICOS USANDO TKPH**

Como parte del proceso de monitoreo en la empresa minera donde se desarrollará la presente investigación tenemos varios controles, como inspección de vías, inspección visual del estado de neumáticos en grifo, medición de remanentes con frecuencia quincenal, medición de presiones de inflado y monitoreo de TKPH en tiempo real.

Sin embargo, tenemos que tener en cuenta que este último es un valor nominal resultado de una fórmula, por lo que el monitoreo en tiempo real no evidencia de manera eficaz lo que se quiere obtener; es decir, la condición a la que los neumáticos estarían expuestos; específicamente la temperatura que tiene cada uno de ellos, ya que es el exceso de calor lo que hace que el neumático se pueda perder de forma prematura o que su rendimiento se vea mermado por este factor.

### **EFECTO DE CALOR EN NEUMÁTICOS.**

El calor es el principal enemigo de los neumáticos y causa raíz de las bajas prematuras que puede tener el neumático.

Dado que los componentes están en constante movimiento y fricción con distintas superficies bajo presiones extremas, dichas condiciones provocan un aumento de temperatura en su interior, lo cual afecta directamente su rendimiento. (Minería

Chilena, 2015, *Neumáticos mineros: Controlar la temperatura, un tema pendiente,*

<https://www.mch.cl/informes-tecnicos/neumaticos-mineros-controlar-la-temperatura-un-tema-pendiente/>)

Según, José Bascur, director de Ultraseal Latinoamérica, el problema que siempre han tenido los neumáticos y que no ha sido resuelto es el de la temperatura, especialmente en camiones de acarreo y con mayor notoriedad en las posiciones P1 (delantero izquierdo) y P2 (delantero derecho), “donde algunos sobrepasan los 80° C”, dice.

Lo anterior implica detener los camiones, agrega, por un lapso que en algunas operaciones alcanza hasta tres horas diarias, especialmente en el periodo de época seca (sin lluvia), “para bajar la temperatura y evitar riesgos de explosión y aceleración del desgaste del neumático”. Hay otras operaciones que detienen los camiones por 20 minutos al día cuando las mediciones de temperatura exceden los límites de seguridad, añade el especialista. (Minería Chilena, 2015, *Neumáticos mineros: Controlar la temperatura, un tema pendiente*)

El incremento de temperatura, causa un proceso inverso de vulcanización en el interior del neumático lo que genera una separación de componentes entre el caucho adherido a la estructura interna del neumático compuesto básicamente de acero, lo cual genera una vacío en el interior, que, con la exposición a las condiciones operacionales, se puede extender rápidamente y desencadenar en una liberación de presión interna abrupta ocasionando la pérdida prematura del neumático, pero sobretodo, generando una condición insegura para la operación.

## **TPMS**

Sistema de monitoreo de presión y temperatura (TPMS, por sus siglas en inglés), es un sistema que permite medir la presión y temperatura de los neumáticos en tiempo real, así como la velocidad y gracias a que tiene un GPS incorporado, permite plasmar toda la información en un mapa satelital.

Este sistema consiste en la instalación de seis sensores, uno dentro cada neumático (6) antes de ser montado en el camión, un acelerómetro y una antena, los tres elementos, se conectan a un Hub instalado en la cabina del operador, el cual recibe las señales de los tres, las almacena y automáticamente las sube a la nube para que cualquier usuario de la mina, desde gerentes hasta las respectivas áreas de despacho, tengan acceso a la data en tiempo real y de esa manera cualquier usuario podrá recibir las alertas en dónde se encuentren a través de una página web, e-mail o mensaje de texto, según lo requiera el usuario.

Esto nos permitirá monitorear las condiciones de todos los neumáticos la flota de acarreo, lo que nos podrá brindar mayor detalle del estado de los neumáticos en operación y así maximizar la productividad, incrementar la vida útil de los neumáticos y sin dejar de lado la seguridad que es lo primordial en las operaciones mineras.

## **MEJORA DE PROCESOS**

La mejora de procesos, u optimización de procesos, consiste en el análisis del proceso actual para encontrar ineficiencias y actividades que se pueden realizar de una forma mejor, con el objetivo de definir, los objetivos, el flujo de trabajo, el

control a aplicar, la integración con otros procesos, todo esto para garantizar una entrega de alto valor percibido al cliente final.

Por lo tanto, para cada uno de los 5 puntos críticos que enumeramos en el tópico anterior, la mejora de procesos intentará encontrar las causas por atrás de ellos y definir maneras de corregirlos y mejorarlos, modelando un flujo de proceso nuevo, el proceso que se desea que ocurra de forma óptima en el futuro.

Para ello, se pueden utilizar algunas herramientas de mejora de procesos para este caso aplicaremos, el ciclo de Deming.

Lo importante es detectar si el proceso es realmente ineficiente, a través del análisis de los KPI y luego mejorar al máximo las interacciones con el cliente; descubrir las causas de los obstáculos; comprobar si los controles actuales son eficientes y si las reglas del negocio se pueden mejorar o incluso si hay que crear nuevas reglas.

Para lograr el mejor resultado en todas estas actividades, lo ideal es usar una herramienta tecnológica que permita la divulgación de los procesos y también la recolección de feedback por parte de las personas involucradas. (Heflo, 2019, *Mejora de procesos*)

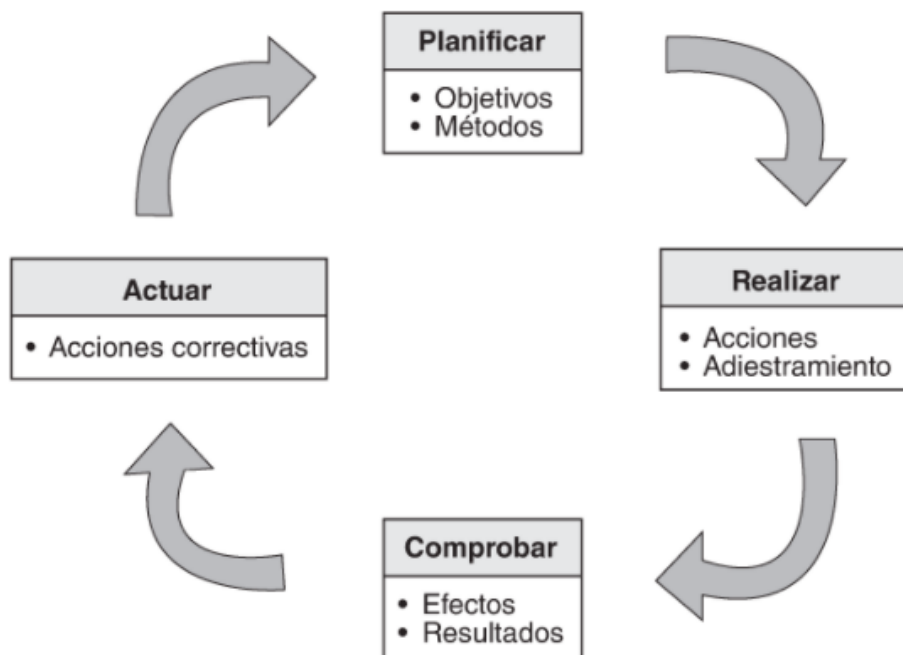
### **CICLO DE DEMING (PDCA)**

El ciclo de Deming o ciclo de mejora actúa como guía para llevar a cabo la mejora continua y lograr de una forma sistemática y estructurada la resolución de problemas. Está constituido básicamente por cuatro actividades: planificar, realizar, comprobar y actuar, que forman un ciclo que se repite de forma continua.

También se le conoce como ciclo PDCA, siglas en inglés de Plan, Do, Check Act.

Dentro de cada fase básica puedes diferenciarse distintas sub-actividades:

- Planificar (Plan): en esta primera fase cabe preguntarse cuáles son los objetivos que se quieren alcanzar y la elección de los métodos adecuados para lograrlos. Conocer previamente la situación de la empresa mediante la recopilación de todos los datos e información necesaria será fundamental para establecer los objetivos. La planificación debe incluir el estudio de causas y los correspondientes efectos para prevenir los fallos potenciales y los problemas de la situación sometida a estudio y aportar soluciones y medidas correctivas.
- Realizar (Do): consiste en llevar a cabo el trabajo y las acciones correctivas planeadas en la fase anterior. Corresponde a esta fase la formación y educación de las personas y empleados para que adquieran un adiestramiento en las actividades y actitudes que han de llevar a cabo. Es importante comenzar el trabajo de manera experimental, para, una vez que se haya comprobado si eficacia en la fase siguiente, formalizar la acción de mejora en la última etapa.
- Comprobar (Check): es el momento de verificar y controlar los efectos y resultados que surjan de aplicar las mejoras planificadas. Se ha de comprobar si los objetivos marcados se han logrado o, si no es así, planificar de nuevo para tratar de superarlos.
- Actuar (Act): una vez que se comprueba que las acciones emprendidas dan el resultado deseado, es necesario realizar su normalización mediante una documentación adecuada, describiendo lo aprendido, cómo se ha llevado a cabo, etc. Se trata, al fin y al cabo, de formalizar el cambio de acción de mejora de forma generalizada introduciéndolo en los procesos o actividades.



**Figura 5.** Ciclo de Deming. Cuatrecasas y González, 2017, Gestión integral de la calidad (5ª Edición)

Para llevar a cabo cada una de estas etapas básicas se utilizan normalmente las diferentes técnicas y herramientas de mejora continua, y que sirven como soporte y apoyo para la consecución de las diferentes acciones. El ciclo PDCA consigue implementar de una forma sistemática y mediante la utilización de las herramientas adecuadas, la prevención y resolución de problemas. Es un proceso que se repite una vez que termina, volviendo a comenzar el ciclo y formando una espiral: la mejora continua.

El ciclo de Deming es aplicar la lógica y hacer las cosas de forma ordenada y correcto. Su uso no se limita exclusivamente a la implantación de la mejora continua, sino que se puede utilizar, lógicamente, en una gran variedad de situación y actividades.

El ciclo de Deming utiliza en la actualidad en una versión más completa, la versión actual del ciclo PDCA, en la que cada una de estas cuatro fases, las básicas de Deming, están constituidas a su vez por varias sub-etapas:

- Planificar:
  - a) seleccionar la oportunidad de mejora
  - b) registrar la situación de partida.
  - c) estudiar y elegir las acciones correctivas más adecuadas.
  - d) Observar (a nivel de ensayo o simulación) el resultado.
- Realizar: Llevar a cabo la acción correctora aprobada
- Comprobar: Diagnosticar a partir de los resultados. De no ser los deseados, volver a la etapa 1.
- Actuar:
  - a) Confirmar y normalizar la acción de mejora.
  - b) Empezar una nueva mejora (o abandonar)

Fuente: Cuatrecasas y González, 2017, *Gestión integral de la calidad (5ª Edición)*

## 1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el impacto que genera la implementación de un sistema de TPMS en la vida útil de neumáticos gigantes de camiones Caterpillar 793 en una empresa minera, año 2020?



### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Demostrar que la implementación de un sistema TPMS impacta en la vida útil de neumáticos gigantes en camiones Caterpillar 793 en una empresa minera, año 2020.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Realizar un diagnóstico de la situación actual en el control de neumáticos
- Desarrollar la implementación del sistema TPMS en neumáticos gigantes para camiones Caterpillar 793.
- Comparar la vida útil de los neumáticos antes y después de la implementación.
- Demostrar la viabilidad económica de la implementación del sistema.

### **1.4. Hipótesis**

La implementación de un sistema TPMS impacta de manera positiva en la vida útil de neumáticos gigantes en camiones Caterpillar 793 en una empresa minera, año 2020.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

La presente investigación desarrollada es de tipo Aplicada, debido a que la investigación es la búsqueda de la aplicación o la utilización de los conocimientos adquiridos y el desarrollo de los mismos, así como la implementación y la sistematización en la práctica. El uso, que hace que este tipo de estudio, los conocimientos y los resultados permiten conocer la realidad de una forma organizada, rigurosa y sistemática.

Además, se define como la investigación que utiliza los conocimientos en la práctica, para que sean de provecho a la sociedad, según la web, *Tipos de Investigación*.  
<https://tiposdeinvestigacion.org/aplicada/>.

Con respecto al diseño de la investigación es de grado pre-experimental, este diseño es una especie de prueba que se realiza antes del experimento verdadero. Su principal limitación es el escaso control sobre el proceso, por lo que su valor científico es muy cuestionable y rebatible. Además, no existe la manipulación de la variable independiente ni se utiliza grupo de control.

El diseño de pre prueba – post prueba con un solo grupo. A un grupo se le aplica una prueba previa al estímulo o tratamiento experimental; después se le administra el tratamiento y finalmente se le aplica una prueba posterior al tratamiento. En este diseño hay un punto de referencia inicial para ver qué nivel tenía el grupo en las variables

dependientes antes del estímulo, es decir, hay un seguimiento del grupo, según

Sampieri, R.; Fernández, C.; Baptista, M. (2010), Metodología de la investigación.

$$GE: V_1 \quad X \quad V_2$$

Donde:

**G.E:** Grupo Experimental (Neumáticos gigantes)

**V\_1:** Pre Test (Vida útil antes de la implementación)

**V\_2:** Post Test (Vida útil después de la implementación)

**X:** Implementación de un sistema TPMS

## 2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

La población está conformada por los neumáticos gigantes usados por los 40 Camiones Mineros Caterpillar 793 (C/D).

En cuanto al tamaño de la muestra, se determinó que debería considerarse 196 neumáticos, esta cantidad se dio al aplicar la siguiente fórmula:

$$Muestra (n) = \frac{N * Z^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

donde:

N = Total de la población (240 neumáticos)

Z = 1.96 (si la seguridad es del 95%)

p = proporción esperada (en este caso 50% = 0.50)

q = 1 - p (en este caso 1-0.50 = 0.50)

d = precisión (en este caso deseamos un 3%)

Fuente: Normas APA, <http://normasapa.net/formula-muestra-poblacion/>

**Ecuación 1:** Fórmula para determinar tamaño de la muestra.

Cabe aclarar que para la población se tomó la cantidad de neumáticos de toda la flota de 40 camiones, es decir, 40 camiones por 6 neumáticos en cada uno.

### 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

**Tabla 1.**

*Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos*

| Fuente                           | Técnicas            | Instrumentos               | Análisis de datos   | Resultado  |
|----------------------------------|---------------------|----------------------------|---|--|
| Vida útil de neumáticos gigantes | Observación         | Guía de Observación        | Ciclo de Deming   | Evaluar procedimiento de control (monitoreo) actual de neumáticos.                                     |
|                                  | Análisis documental | Ficha de registro de datos | Formatos de análisis de rendimientos y control de temperatura | Reportes de rendimiento y control de temperatura.<br>Análisis de tendencias.<br>Gráficos comparativos. |

### **Validez y confiabilidad**

Con relación a las técnicas e instrumentos de aplicación se validaron cada uno mediante el método de **Juicio De Expertos**, con la participación del Ing. Jorge Alfaro Rosas docente de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Privada del Norte. Así mismo los formatos de los instrumentos y validaciones se encuentran en el apartado de anexos (Anexo N°1).

## **2.4. Procedimiento**

### **2.4.1. Procedimiento de recolección de datos**

- **Observación directa**

**Objetivo:** La observación directa tiene como finalidad conocer la situación actual del monitoreo de neumáticos que tiene la empresa minera y aplica para mantener un control de condiciones de los mismos.

**Instrumento:** Guía de observación.

**Proceso:**

- El investigador diseña la guía de observación para conocer el proceso de monitoreo actual.
- En reuniones de trabajo se pudo observar el método de control usado.

- **Análisis documental**

**Objetivo:** Esta técnica nos ayuda a consolidar la información y la data obtenida en la investigación y plasmarla en los diversos formatos digitales diseñados por el investigador

**Instrumento:** Formato digital de control de rendimiento, formato digital de control de temperatura de neumáticos, gráficos comparativos.

**Proceso:**

- El investigador diseña los formatos digitales de rendimiento y control de temperatura.
- Se elabora gráficos comparativos.

**2.4.2. Procedimiento de recolección de datos**

El procedimiento realizado en la investigación sobre la recopilación y análisis de datos fue consolidar la información y data obtenida. Una vez recolectada y consolidada la información con las técnicas e instrumentos antes mencionados, se ha procedido a procesarla en hojas de Microsoft Excel, del cual obtenemos gráficas comparativas, reportes de rendimientos y tendencias de vida útil. Además, esto nos permite evaluar el método de monitoreo.

A continuación, se plasma los recopilado basándonos en el ciclo de Deming, el cual nos permite plantear la mejora continua del proceso y podemos llegar a solucionar el problema identificado en la observación directa.

Finalmente, el resultado de la implementación se monetiza para determinar si la mejora propuesta favorece financieramente a la empresa minera.

**Tabla 2:** Procedimiento de tratamiento y análisis de datos

**2.5. Aspectos Éticos**

| Objetivos   | Técnicas                       | Herramientas   | Logros   |
|---|--------------------------------|--|--|
| Analizar del procedimiento actual de monitoreo de condiciones de neumáticos gigantes. | Observación                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Visualización del monitoreo actual de condiciones de neumáticos (TKPH).</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtener la data e información para establecer los indicadores base.</li> <li>• Monetizar las pérdidas obtenidas usando el monitoreo actual</li> <li>• Identificar los factores que influyen en las pérdidas prematuras de neumáticos.</li> <li>• Evaluar el proceso de monitoreo actual.</li> </ul> |
|   | Análisis Documental            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Búsqueda de tesis e investigaciones relacionadas a las variables de estudio.</li> <li>• Recopilar data e información sobre el método de monitoreo.</li> <li>• Plasmar en ciclo de Deming para determinar la mejora continua en el proceso de monitoreo de condiciones.</li> <li>• Empresa: fórmula del cálculo de TKPH en tiempo real.</li> </ul> |  |
| Diseño de mejora de proceso   | Análisis documental y de datos | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formato digital de monitoreo.</li> <li>• Gráfico de comparación entre el monitoreo actual (TKPH) y el propuesto (presión y temperatura en tiempo real)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación del nuevo sistema de monitoreo de</li> </ul>   |

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <p>monitoreo de neumáticos</p>  |  |   | <p>condiciones de neumáticos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar diferencias entre ambos.</li> <li>• Validar cuál de los dos sistemas de monitoreo es el de mayor eficacia.</li> <li>• Establecer indicadores para lograr el objetivo de mejora</li> </ul> |
| <p>Comparar el rendimiento de neumáticos gigantes antes y después de la implementación.</p> | <p>Análisis de datos de resultados</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Validación de rendimientos antes y después de la propuesta.</li> <li>• Gráfico de comparación de rendimientos de neumáticos.</li> <li>• Gráfico de proyección de vida útil de neumáticos.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Relación con los rendimientos obtenidos en el periodo previo a la implementación.</li> </ul>  |
| <p>Evaluar el impacto económico de la implementación</p>                                    | <p>Análisis económico</p>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar el ahorro en neumáticos gigantes para la empresa minera, según el rendimiento obtenido después de la implementación.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulación de ahorro con el rendimiento obtenido después</li> </ul>   |



|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
| en el gasto de<br>neumáticos<br>gigantes. |  |  | de la<br>implementación<br>del nuevo sistema. |
|---|--|--|---|

La presente investigación se desarrolló con la información proporcionada por la empresa minera y mediante la utilización correcta de las técnicas e instrumentos establecidos, así mismo la información tiene carácter confidencial que permitirá realizar una propuesta de solución a la problemática actual relacionado con el método de monitoreo de condiciones de neumáticos que genera una disminución en el rendimiento. Como futuro ingeniero industrial es importante indicar la importancia que se debe tener respetando los derechos de los autores tanto con la información brindada por la empresa minera, como de las fuentes de información obtenidas para consolidar y lograr un buen desarrollo de la tesis como los registros, libros, artículos, entre otros; donde se encuentran debidamente citadas en el contenido y en la bibliografía.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Descripción de la empresa en estudio

La compañía minera en estudio tiene más de 25 años en el rubro dedicados a la extracción de minerales, principalmente oro y plata; ubicada entre 3400 y 4200 msnm en el departamento de Cajamarca y cuyo mercado principal es Estados Unidos que es el destino final a dónde es exportada la materia prima extraída.

### 3.2. Proceso de producción

#### - Exploración

La exploración es la primera parte de un largo proceso. Consiste en ubicar zonas donde exista la presencia de minerales cuya explotación sea económicamente rentable.

Inicialmente se utilizan reportes satelitales para determinar zonas mineralizadas en los lugares a explorar. Después, los geólogos recogen muestras (rocas) del suelo para conocer los elementos y minerales que las conforman. Si los análisis dan resultados positivos se procede con la perforación: se sacan muestras de diferentes profundidades (testigos) para determinar tipo, cantidad, profundidad y otras características del mineral. Finalmente se investiga y determina cuánto mineral existe en la zona.

Todas estas investigaciones se realizan siempre previa autorización de la autoridad competente y de los pobladores de las zonas a explorar.

- **Pre minado**

Antes de iniciar el trabajo de explotación en sí, es necesario retirar del terreno la capa superficial de tierra orgánica (top soil) que permite el crecimiento de vegetación en la superficie. Esto se hace con equipo pequeño, y deja las condiciones para que en la etapa de minado se pueda explotar con equipo gigante.

Esta capa se almacena en áreas especiales para ser utilizada posteriormente en los trabajos de restauración del terreno o cierre de mina, el que ya se viene ejecutando en aquellas zonas donde ya se dejó de explotar. El trabajo es realizado con equipo y mando de obra local.

- **Minado**

Consiste en la extracción del material que contiene oro y plata. Se inicia con la perforación del terreno, para hacer unos agujeros que luego son llenados con material explosivo. Estos, al detonar, fragmentan la roca y remueven subterráneamente el material exponiéndolo a la superficie. En esta etapa se aplican los más altos estándares de cuidado en seguridad.

- **Carguío y acarreo**

Las explosiones que se realizan y la posterior remoción de tierra empiezan a formar grandes huecos en la tierra llamados tajos. Camiones gigantes (que pueden cargar hasta 250 toneladas de tierra) llevan el mineral extraído del tajo a la pila de lixiviación (o PAD), que es la estructura donde se acumula el mineral extraído del cerro para ser lixiviado y así recuperar el oro existente.

Todos los camiones y las palas están controlados a través de un sistema computarizado que permite conocer por satélite su ubicación exacta en todo momento.

#### - **Lixiviación en pilas**

La pila o PAD de lixiviación es una estructura a manera de pirámide escalonada donde se acumula el mineral extraído. A este material se le aplica, a través de un sistema de goteo, una solución cianurada de 50 miligramos por litro de agua, la cual disuelve el oro. Mediante un sistema de tuberías colocadas en la base del PAD, la solución disuelta de oro y cianuro – llamada solución rica – pasa a una poza de lixiviación o procesos, desde donde se bombea hacia la planta de procesos.

La base del PAD está recubierta por una geo-membrana, que es un material plástico de alta resistencia que impide el contacto de los químicos con el suelo, cuidando la calidad del agua.

#### - **Proceso Gold Mill**

Mediante la planta de procesamiento de minerales Gold Mill (Molino de Oro) se busca procesar el metal que no puede ser obtenido mediante la lixiviado en pilas. El oro se recupera en 24 horas, a diferencia del proceso de lixiviación en pilas que dura casi 60 días.

La construcción del Gold Mill se inició a mediados del 2006 y concluyó a principios del 2008, con una inversión de 270 millones de dólares y un plan de producción de 9 años. 1500 trabajadores participaron en la construcción de

esta importante obra que tiene una capacidad de procesamiento de 5,000,000 ton/año.

- **Proceso de planta – Columnas de Carbón**

Proceso que permite concentrar la cantidad de oro que hay en la solución rica, para luego recuperarlo en el proceso Merrill Crowe, el cual se da en dos etapas. La primera es la etapa de desorción, en la que haciendo circular una solución cianurada, se saca el oro atrapado en la superficie del carbón activado. La segunda etapa es la de adsorción; en ella se pasa la solución rica (con el oro en estado líquido) a través de columnas cargadas con carbón activado, para que el oro sea atrapado en los poros del carbón.

- **Merrill Crowe**

La solución rica en oro y plata es filtrada y limpiada. Luego se le elimina el oxígeno y se añade polvo de zinc para precipitar el metal y hacerlo sólido. El producto del Merrill Crowe es el que luego pasa al proceso de Refinería.

La solución pobre, sin oro, es llamada también Barren. Esta es enviada de nuevo al PAD, pasando antes por un tanque para agregarle el cianuro que se consumió durante el proceso. De esta manera se completa un circuito cerrado donde la solución utilizada no sale al medio ambiente, sino que se reutiliza constantemente.

- **Refinería**

El oro obtenido en el proceso Merrill Crowe es sometido a operaciones de secado en hornos de retortas a 650° C. Finalmente, el producto obtenido pasa

Implementación de un sistema TPMS y su impacto en la vida útil de neumáticos gigantes de camiones Caterpillar 793 en una empresa minera, año 2020

por un proceso de fundición en horno de arco eléctrico a 1, 200° C para obtener el Doré, que es una barra hecha de una mezcla de oro y plata.

A continuación, se presenta la figura N°6 que muestra un diagrama de bloque del proceso de minado a tajo abierto.

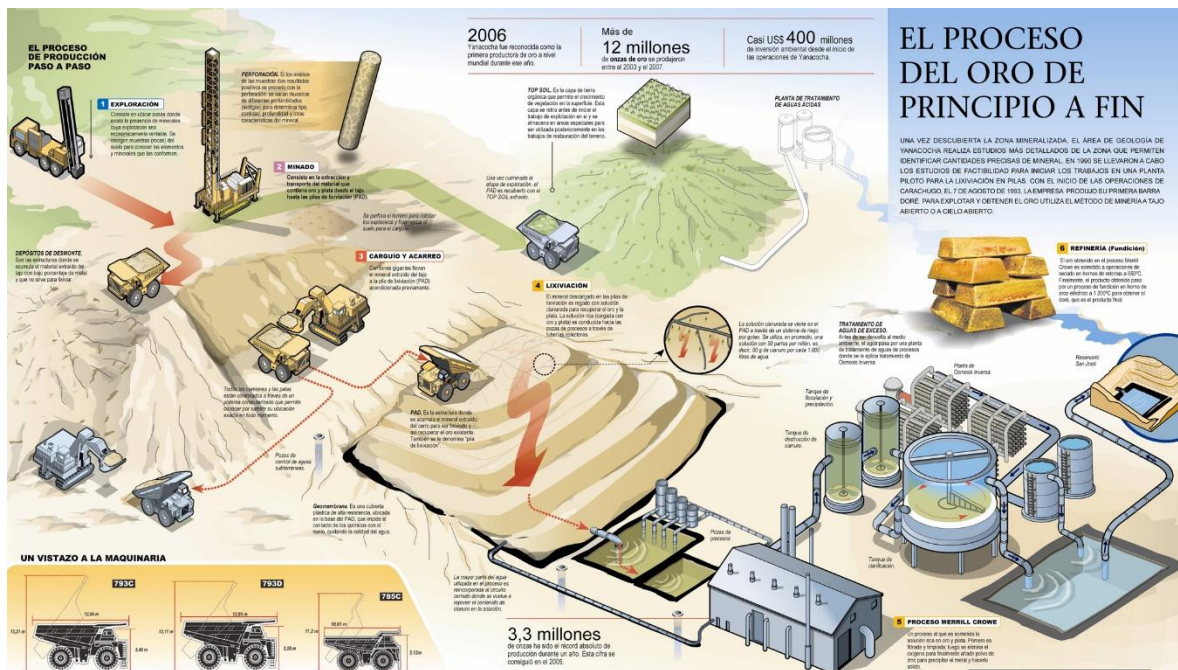


Figura 6. Proceso del oro. <http://www.yanacocha.com/proceso-de-produccion/>

Además, se muestra un mapa de procesos en la figura N°7 a modo de resumen de los procesos señalados en el párrafo anterior.

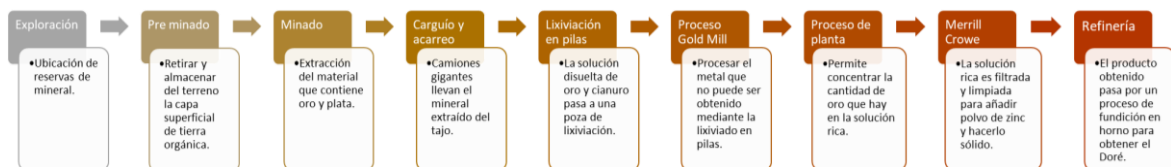


Figura 7. Descripción del Proceso del oro. <http://www.yanacocha.com/proceso-de-produccion/>

### 3.3. Análisis de la situación actual del proceso en estudio.

El proceso en el cual se llevará a cabo este estudio de implementación es el Carguío y acarreo, para lo cual, esta compañía minera usa como flota principal de acarreo camiones gigantes Caterpillar 793, los cuales, como se señaló anteriormente, utilizan seis neumáticos (2 en eje delantero y 4 en el eje posterior). Este proceso está conformado por seis subprocesos que se muestran en la figura N° 8.



**Figura 8.** Subprocesos de Carguío y acarreo (Elaboración propia).

Según la figura N° 8, el subproceso al que se aplicará el presente estudio será al Monitoreo de neumáticos, que se encuentra dentro del proceso de Carguío y acarreo,

el cual consiste en realizar el seguimiento del estado de neumáticos con la finalidad de evitar daños que causen pérdidas prematuras de neumáticos y a la vez pueda causar un evento o condición sub-estándar para la operación, así también incrementar el rendimiento de los mismos.

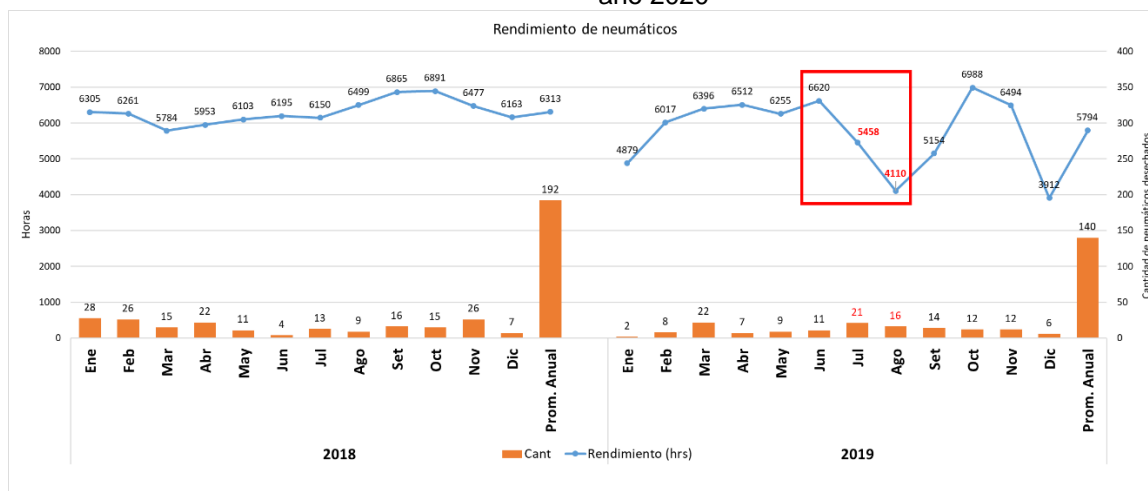
Las condiciones operacionales de una mina varían constantemente, por lo que, tener toda la flota gigante controlada es muy importante por temas de seguridad y productividad.

Es por eso que, a partir del segundo semestre del 2019, las condiciones operacionales cambiaron y se asignaron rutas de acarreo más largas, las cuales incluían rectas de mayores distancias y pendientes positivas, los cuales agravaron aún más el rendimiento de los neumáticos.

A partir del periodo en estudio, los camiones empezaron a circular por una ruta con condiciones más agresivas, las cuales favorecían al incremento de velocidad y debido a estas condiciones se empezaron a generar daños prematuros en neumáticos por exceso de temperatura, lo cual se vio reflejado en la disminución de rendimiento mensual, Lo cual podemos evidenciar en el cuadro de rendimiento que se muestra a continuación en la figura 9.



## Implementación de un sistema TPMS y su impacto en la vida útil de neumáticos gigantes de camiones Caterpillar 793 en una empresa minera, año 2020



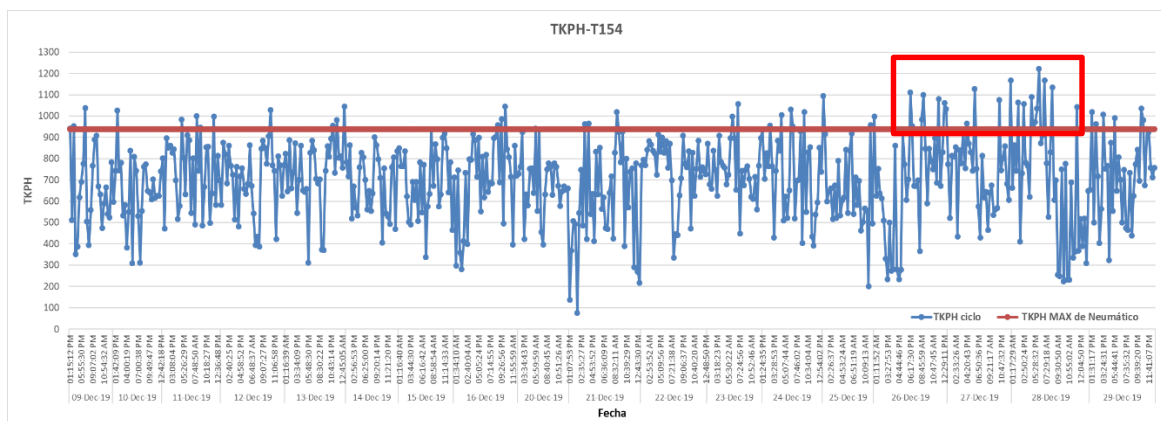
**Figura 9.** Rendimiento mensual 2018-2019. (Elaboración propia).

Como se observa, durante el 2018 no se tuvieron mayores eventos que perjudiquen el normal rendimiento de los neumáticos, terminando con un promedio en rendimiento de 6313 horas, lo cual es bastante aceptable para este tipo de neumáticos.

Caso contrario es lo que sucedió en el 2019, como se observa, en los meses de julio y agosto se tuvo una baja considerable en cuanto al rendimiento, esta caída coincide con lo señalado anteriormente, es decir, durante esos meses, las rutas asignadas para los camiones gigantes sufrieron variaciones, según lo señalado en el párrafo anterior, lo cual afectó drásticamente al rendimiento, haciéndolo caer hasta en un 35% en relación al rendimiento del 2018.

A raíz de esta baja de rendimiento, durante los meses de Junio y Julio 2019 se implementó el monitoreo a través del cálculo de TKPH en “tiempo real”, que consiste en aplicar la fórmula de TKPH (figura 2), según lo indica la teoría, es decir, se calcula

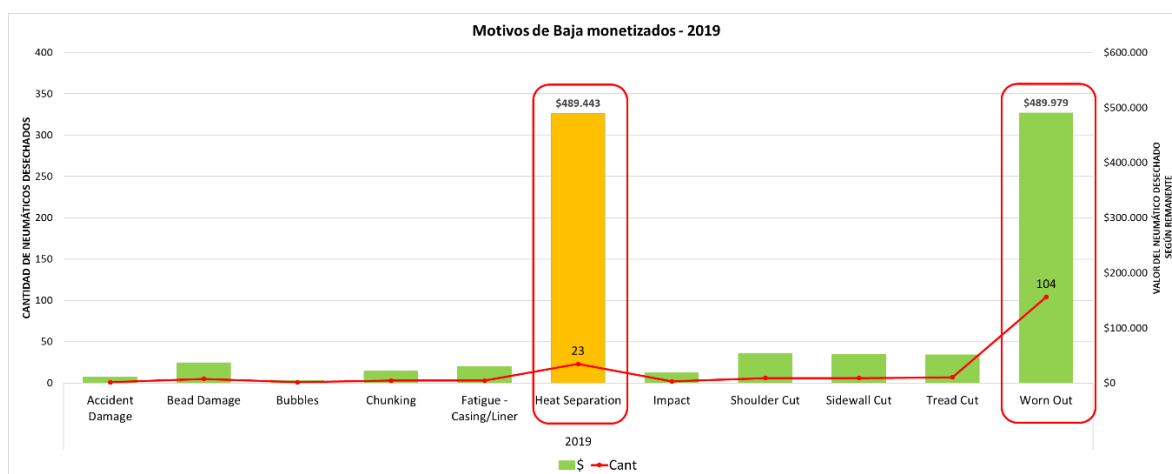
por cada ciclo de trabajo (carga – descarga – carga), este cálculo se hace a través de un algoritmo, que a la vez, reporta los datos en una pantalla al área de Dispatch, quienes se encargan de monitorear todos los equipos de producción de la operación (camiones, palas y equipos auxiliares), el personal encargado de esta área tiene la potestad de tomar acción ante una alerta por exceso de TKPH, según el indicador que se obtiene a través del algoritmo mencionado. A continuación, en la figura N°10 se muestra el resultado del monitoreo del cálculo de TKPH para el periodo.



**Figura 10.** Cálculo de TKPH. (Elaboración propia).

De acuerdo a la figura anterior, podemos apreciar que la línea roja corresponde al valor máximo de TKPH del neumático, y que durante los periodos (Jun-Dic) vemos algunos picos continuos, lo cual nos lleva a indicar que el control nos permite tener acciones reactivas y no preventivas para el cuidado del neumático. Es decir, que aun teniendo los indicadores de TKPH y tomando las acciones respectivas, el daño causado al neumático ya estaba dado para ese entonces y de esto es de manera irreversible.

Por otro lado, se debe tener en cuenta el impacto económico de los motivos de baja de los neumáticos retirados y lo que esto representa en el periodo de estudio, según se detalla en la siguiente figura N° 11.



**Figura 11.** Pérdidas económicas por motivo de baja (Elaboración propia).

De acuerdo a la gráfica podemos apreciar de que, en el 2019, los principales motivos de baja cuantificada económicamente son, Heat Separation (Separación del caucho con la estructura interna por exceso de temperatura), y Worn Out (Desgaste normal), de los cuales el Worn Out es un motivo de baja estándar, es decir, desgaste propio del neumático considerado en los planes y presupuestos de la mina, caso contrario sucede con Heat Separation, el cual es una condición anormal de desgaste por lo que es motivo de preocupación por el costo no presupuestado de aproximadamente US\$ 489,443.

En la siguiente gráfica (figura N°12), se puede observar los diversos motivos de baja que se tuvieron en el 2019, donde se visualiza que el motivo de baja, Worn Out tiene mayor rendimiento que los demás, es decir se aprovecha casi la totalidad de caucho del neumático, por lo que ese sería el motivo de baja ideal para todos los neumáticos,

pero debido a condiciones operacionales, existen otros motivos que merman el rendimiento, ya que obliga a retirar el neumático de forma prematura con un remanente alto (altura de cocada en banda de rodamiento), generando pérdidas en rendimiento y aumento de costos en neumáticos.

En la figura N°12, se resalta en un cuadro rojo el motivo de baja de mayor impacto en el 2019, que fue el Heat Separation (separación del caucho de la estructura interna por exceso de temperatura), interpretándose de la siguiente manera, en Julio 2019 se tuvo 6 neumáticos que fueron retirados con un remanente de cocada promedio de 79mm y con un rendimiento promedio de 1789 horas. Para esto se debe considerar que un neumático nuevo tiene una cocada de 97 milímetros. Esto se repite en los meses siguientes, ya que se conservaron las condiciones operacionales para esos periodos.

Se puede concluir que, los daños prematuros como Heat Separation representan una baja considerable en el rendimiento de neumáticos.

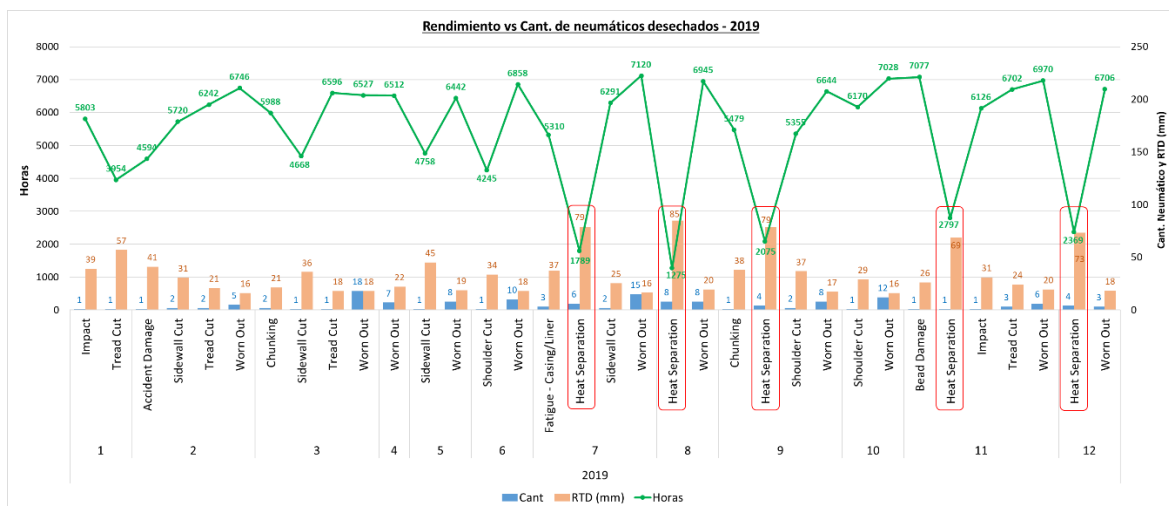
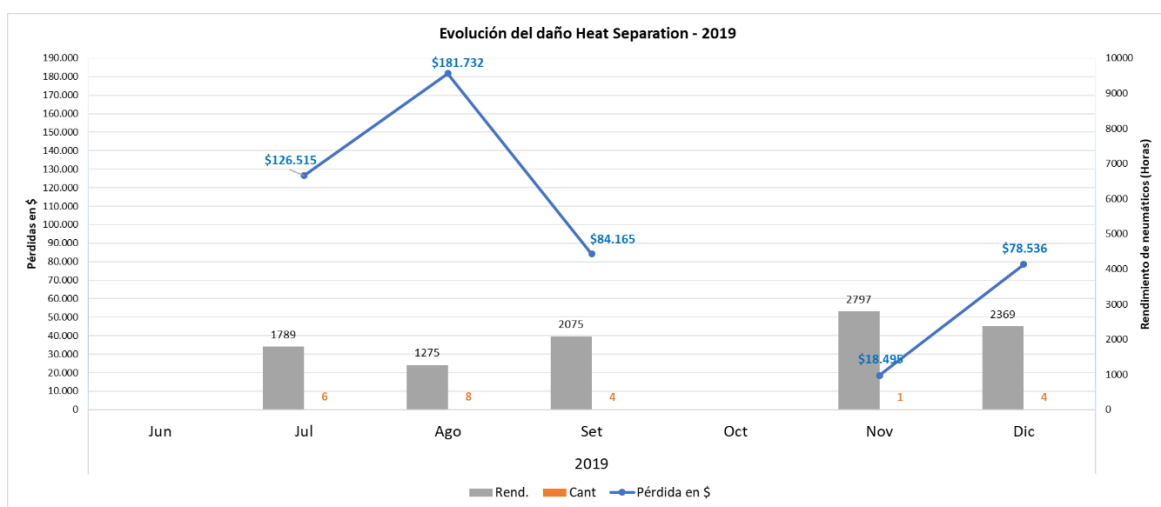


Figura 12. Rendimiento vs motivos de baja. (Elaboración propia).

A partir del gráfico mostrado en la figura N°12, se mostrará una figura donde se aprecia en mayor detalle el comportamiento del indicador Heat Separation y el impacto económico que ha causado desde el periodo de inicio del mismo, según se muestra en la figura N°13.



**Figura 13.** Evolución de daños por Heat Separation (Elaboración propia).

En la figura N°13 se muestra las pérdidas económicas en las cuales se incurrieron durante ese periodo, por lo que se interpretaría de la siguiente manera, en julio 2019 salieron 6 neumáticos a desecho con un promedio de rendimiento de 1789 horas lo que se traduce en pérdidas de \$126,515, sólo en ese mes.

Y aunque habiéndose implementado el monitoreo a través TKPH durante los meses de junio y julio 2019, no se tuvo los resultados esperados, lo cual corrobora que, este tipo de monitoreo no permitió solucionar el problema.

La pérdida total del 2019 por ese motivo de baja fue de \$489,443, lo cual nos invita a buscar una alternativa que nos permita reducir los gastos en neumáticos. Por lo que, esto ha motivado a la implementación de un sistema como es el sistema TPMS, que permitirá controlar mejor el estado de los neumáticos.

Dado que la principal causa de este tipo de bajas es el calor, se requiere un sistema el cual nos permita medir y monitorear este indicador, y una de las características del sistema TPMS es medir la temperatura interna de los neumáticos y enviar los datos en tiempo real a través de la nube al centro de monitoreo del área de operaciones, Dispatch; para que ellos a su vez verifiquen los datos y tomen acción ante cualquier alerta por exceso de temperatura, de tal manera que se mitiguen ese tipo de daños sin perder productividad y sobretodo con seguridad.

### **3.4. Implementación del sistema TPMS**

#### **3.4.1. Planificación**

El objetivo es incrementar el rendimiento de los neumáticos gigantes en un 10% en horas con respecto al 2019, a través de la implementación de herramientas tecnológicas como es el sistema TPMS, el cual según sus características y beneficios, nos permitirá monitorear la temperatura interna del neumático, factor clave para el incremento de vida útil, y que a su vez ayudará a evitar las pérdidas prematuras por exceder los límites máximos permisibles, ya que cuenta con sensores de presión y temperatura sujetos a una base imantada que se instalan dentro del neumático del camión, adheridos al aro (parte externa) en cada uno de los neumáticos, estos sensores envían la señal a una antena instalada en la parte central inferior del eje posterior de cada camión Las

mediciones se envían en forma inalámbrica hacia el Hub que se encuentra en la cabina del operador, cuya fuente de energía es de 24V por lo que irá conectado a la batería del camión, y en el caso de que el camión se encuentre apagado, el sistema cuenta con una batería interna que permitirá seguir funcionando por unas 8 horas aproximadamente, este Hub envía todos los datos a un sitio web vía señal 3G (ya que trabaja con una tarjeta SIM de cualquier operador) a un sitio web para que pueda ser reportado y monitoreado por el área que corresponda. Además, el sistema cuenta con una antena triple (3G, Wifi, GPS), la cual cumple las funciones de monitorear la velocidad y ubicación del camión y a la vez emitir señal Wifi con la finalidad de proveer un punto de red para conectar una pantalla o Tablet dentro de cabina de manera opcional. Según se muestra en la tabla N°3.

|       | Actividades                         | Pasos   | Recursos  | Tiempo  |
|-------|-------------------------------------|---|---|---|
| Día 1 | Capacitaciones                      | Capac. A Personal técnico de Mantto. y Op. Mina | 01 Especialista del sistema, Laptop, Internet, Proyector.   | 4 Horas   |
| Día 2 |                                     | Capac. A Jefes y Supervisores de área           | 01 Especialista del sistema, Laptop, Internet, Proyector.   | 3 Horas   |
| Día 2 | Instalación del sistema TPMS        | Instalación de Hub en cabina                    | 01 Técnico electricista, Herramientas, Hub, cables.   | 40 min  |
| Día 2 |                                     | Conexión del Hub a fuente de energía            | 01 Técnico electricista, Herramientas, cable de poder, conectores, fuente de energía de 24V               | 15 min  |
| Día 2 |                                     | Instalación de antena de sensores               | 01 Técnico electricista, Herramientas, antena de sensores, cable coaxial                                  | 30 min  |
| Día 2 |                                     | Instalación de antena triple (3G, Wifi, GPS)    | 01 Técnico electricista, Herramientas, antena triple, cable coaxial                                       | 45 min  |
| Día 2 |                                     | Instalación de sensores en neumáticos           | 01 técnico de llantas, sensor, pértiga de instalación.  | 45 min  |
| Día 2 |                                     | Montaje de neumáticos con sensores instalados   | 03 técnicos de llantas, Herramientas, neumáticos con sensores, gatas hidráulicas, manipulador de llantas. | 6 horas   |
| Día 2 |                                     | Verificación                                    | Configuración del sistema   | 01 Especialista del sistema, Laptop, internet, teléfono |
| Día 2 | Configuración de niveles de alertas |   | 01 Especialista del sistema, Laptop, internet, teléfono   | 15 min  |
| Día 2 | Comprobación de envío de mediciones |   | 01 Especialista del sistema, Laptop, internet, teléfono   | 15 min  |

**Tabla N°3.** Programa de actividades para instalación (Elaboración propia)

Para lo cual, se determina como responsables a la Superintendencias tanto del área de Operaciones Mina como la de Mantenimiento Mina, quienes a su vez delegarán al personal involucrado en neumáticos de cada una de las áreas, para realizar, coordinar y llevar el seguimiento de la implementación del sistema, ya que una se encargará del



monitoreo y seguimiento del sistema (software) y la otra de la instalación y mantención del correcto funcionamiento (hardware).

En esta etapa, se debe coordinar capacitaciones al personal responsable de instalar y mantener el sistema y, por otro lado, al personal responsable del monitoreo del estado de neumáticos, para que puedan reportar, comunicar y tomar acción ante cualquier alerta propia del sistema o algún mal funcionamiento del mismo.

### **3.4.2. Hacer**

El área de Mantenimiento Mina se encargará de programar el ingreso al taller de los camiones gigantes para la instalación del sistema a cada uno, según su disponibilidad y plan de mantenimiento que manejan en el área.

Como se mencionó en la etapa anterior, previamente el personal encargado de la instalación debió haber sido capacitado y evaluado por parte del proveedor del sistema para garantizar la correcta instalación del hardware. De igual manera, se debe abordar al personal del área de Dispatch, quienes deben estar previamente capacitados para el monitoreo, seguimiento y toma de decisiones para las distintas alertas del sistema.

Para esto se elaboró el siguiente mapa de procesos, según la figura N°14

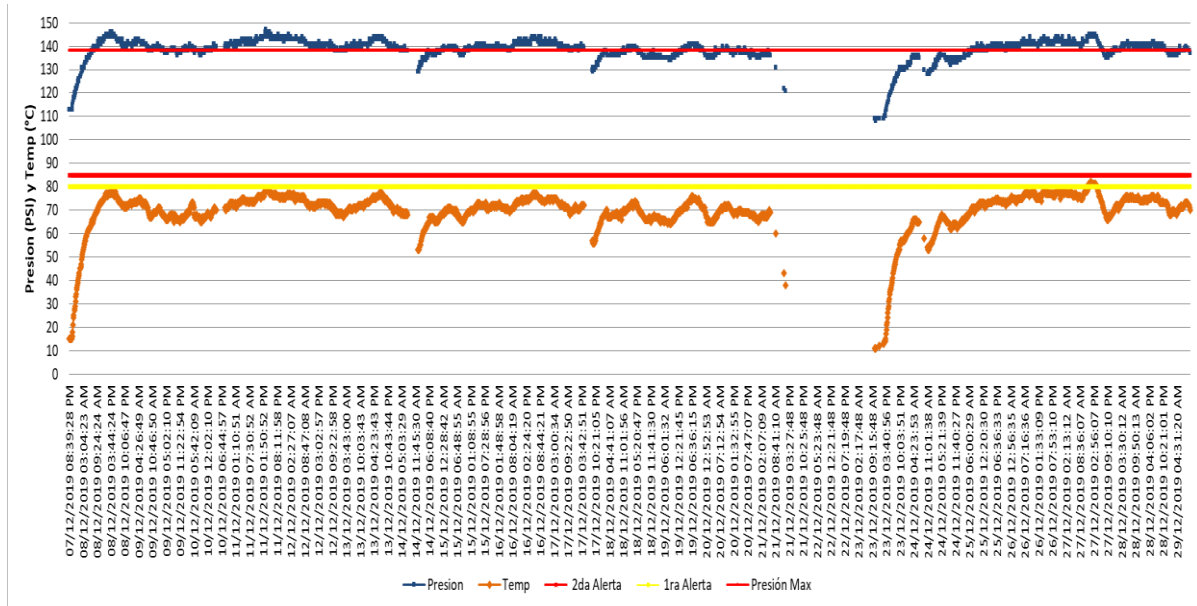


**Figura 14.** Mapa de procesos para la instalación del sistema TPMS

Cabe aclarar, que para la instalación del sistema (software) no se requiere el involucramiento del área de TI, por uso de servidores, espacio en la nube o por permisos según protocolos del software que maneje la empresa minera, ya que, como se detalló anteriormente, la recepción y envío de mediciones se da a través de una web y de manera independiente a cualquier software que tenga la empresa minera.

### 3.4.3. Verificar

Una vez instalado el sistema, se puede observar el comportamiento de la temperatura y presión de cada neumático de camiones en los cuales fueron instalados el sistema, como se puede observar en la figura N°15.



**Figura 15.** Gráfico de presión y temperatura elaborado con las mediciones enviadas por el sistema TPMS. (Elaboración propia)

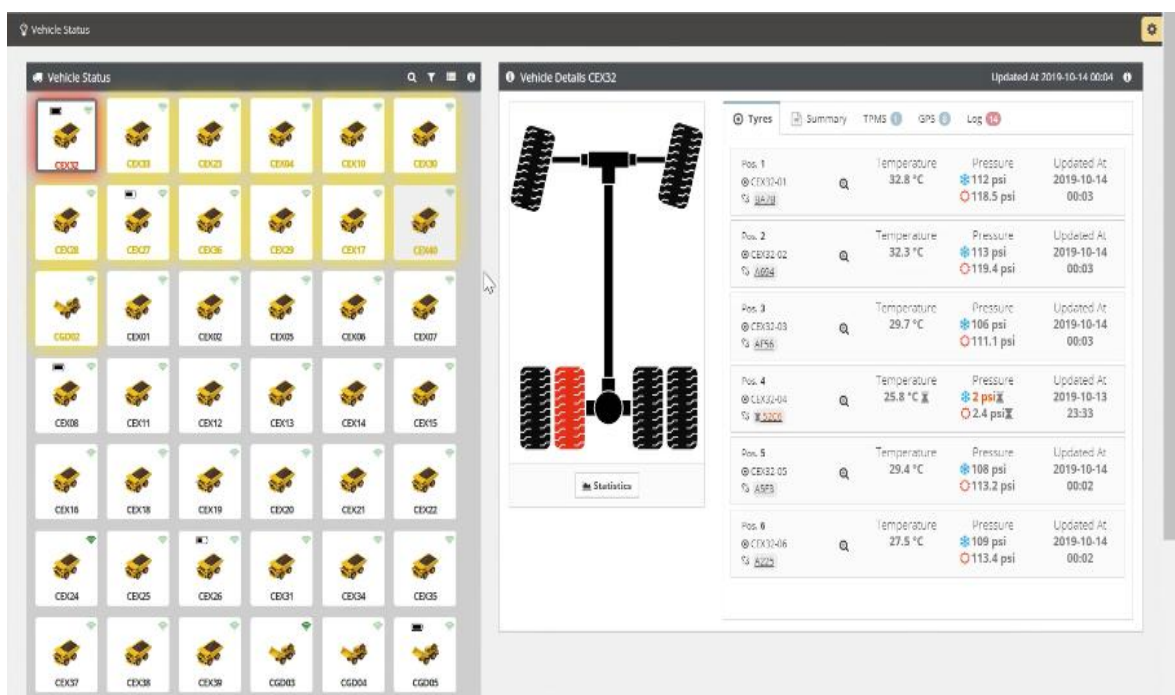
Como se observa, la presión y temperatura siempre mantienen la relación entre ambos, característica ecuación general de los gases ( $PV=nRT$ ).

Además, la frecuencia de medición es menor dado que es en tiempo real, lo cual permite mantener el control de las condiciones y tomar decisiones rápidas en base a ello. Por otro lado, este tipo de monitoreo le da una visión a nivel macro al personal de Dispatch, quienes ven este tipo de monitoreo como algo innovador y muy beneficioso para los objetivos del área.

Así mismo, se visualizan los respectivos límites para ambos indicadores, los cuales son establecidos por el fabricante de neumáticos, en el caso de presión es de 138 psi y en el caso de la temperatura, que es el factor crítico, hay 2 alertas, la primera a los 80°C y la segunda a los 85°C, cabe aclarar que, se ha demostrado que, si el neumático excede o se mantiene por encima de los 85°C por un tiempo prolongado, es muy

probable que cause un daño interno por exceso de temperatura por provocar un proceso inverso de vulcanización, haciendo que la estructura interna se separe del caucho y se pierda la adhesión entre ambos (Heat Separation). Es por eso que, todo lo explicado en el presente párrafo formó parte de las capacitaciones al personal involucrado de las diferentes áreas con el objetivo de concientizar al personal a todo nivel, desde operadores hasta gerentes de área.

La figura N°15 es una representación de las mediciones que envía el sistema, sin embargo, en el área de Dispatch tiene una pantalla exclusiva para el monitoreo de neumáticos. Esto se muestra en la figura N°16.



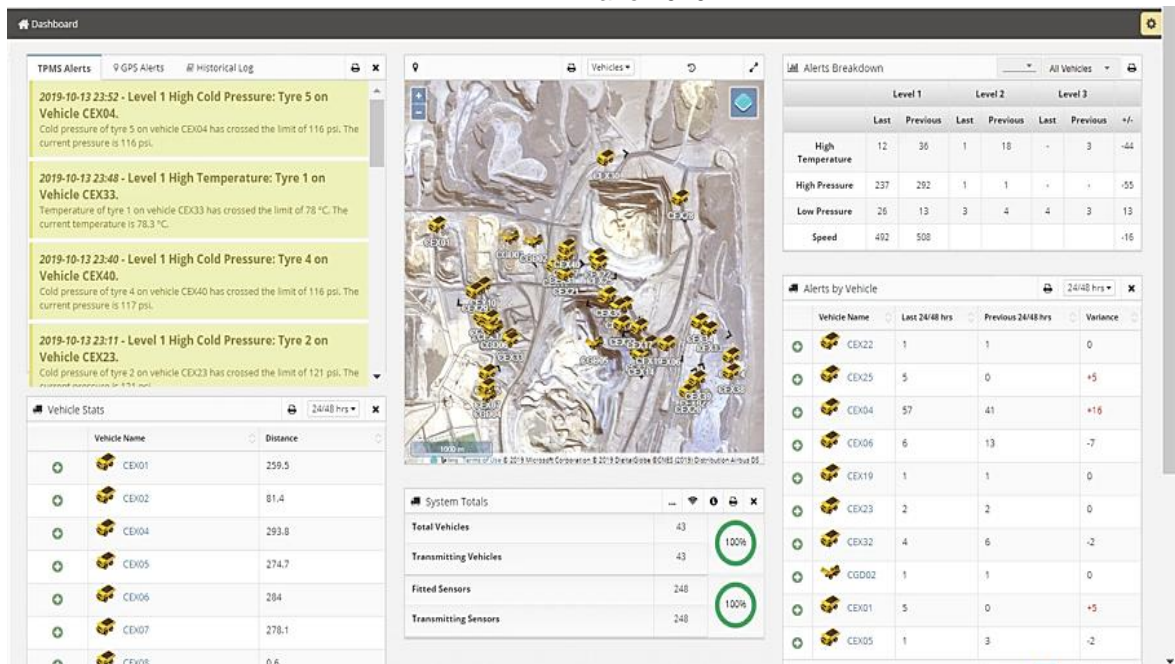
**Figura 16.** Ejemplo de screenshot de pantalla de monitoreo de llantas en Dispatch.

Esta es una de las pantallas a la que tienen acceso personal del área de Dispatch en Operaciones Mina y en el caso del área Mantenimiento Mina, la tienen en el taller de

camiones y en el taller de neumáticos, esto es con la finalidad de mantener informado al personal que fue involucrado durante todo el proceso de implementación y que sean testigos de los resultados de su labor, la cual aporta para el alcance de los objetivos, en este caso el incremento de la vida útil de neumáticos.

Como se observa, los camiones que excedan los límites de temperatura ( $85^{\circ}\text{C}$ ) en cualquiera de las 6 posiciones, serán catalogados como alerta roja, prendiendo el color rojo alrededor de la figura del camión y situándolo en la parte superior para que el monitor le dé la prioridad respectiva, una vez que se ingresa a la alerta emitida se puede verificar que posición es la que está excediendo la temperatura y en cuantos grados se encuentra en ese momento, lo cual permite tomar acción a fin de disminuir la temperatura del neumático, sin perder productividad y lo más importante, sin atentar contra la seguridad. De igual manera sucede con la alerta amarilla, la cual es preventiva, ya que aún no pasa los límites, pero está avisando que está cerca de llegar al límite y que se debe tomar acción para evitar llegar a los  $85^{\circ}\text{C}$ .

Otra variante del sistema es que nos permite ubicar los camiones en tiempo real como se muestra en la figura N°17



**Figura 17.** Ejemplo de screenshot de ubicación de camiones en tiempo real.

Esta opción es muy útil para el área, porque permite ubicar e identificar las zonas donde se concentran las mayores velocidades de los camiones, por ejemplo, rectas con mayor distancia, pendientes positivas, etc., además, permite generar geo-cercas en el mapa para controlar la velocidad en determinadas zonas y de esa manera podemos controlar las condiciones operacionales, sin perder productividad.

Finalmente, el sistema puede generar reportes por guardia, diarios, semanales, quincenales, mensuales o, en el caso de haber algún evento, se puede tener acceso a la data almacenada en la nube del propio sistema hasta de 3 meses atrás, todo esto se puede configurar según la necesidad de la empresa minera. Además, hay la opción de enviar por correo las alertas reportadas en tiempo real a los involucrados para que tengan conocimiento en el caso de que se encuentren haciendo labores de campo y no estén frente a su computadora.

En el caso del monitoreo a través de TKPH al ser un valor nominal, resultado de una fórmula, no reflejaba de manera confiable las condiciones a las cuales estaba expuestos los neumáticos y nos daba una referencia muchas veces errónea, lo cual conllevaba a tomar decisiones que afectaban la productividad del proceso de Acarreo.

Por eso, se realizó la comparación entre ambos modos de monitoreo, es decir, uno a través del cálculo de TKPH versus las mediciones de temperatura reportadas por la implementación del sistema TPMS para un mismo camión y en un mismo periodo, según se muestra en la figura N°18.

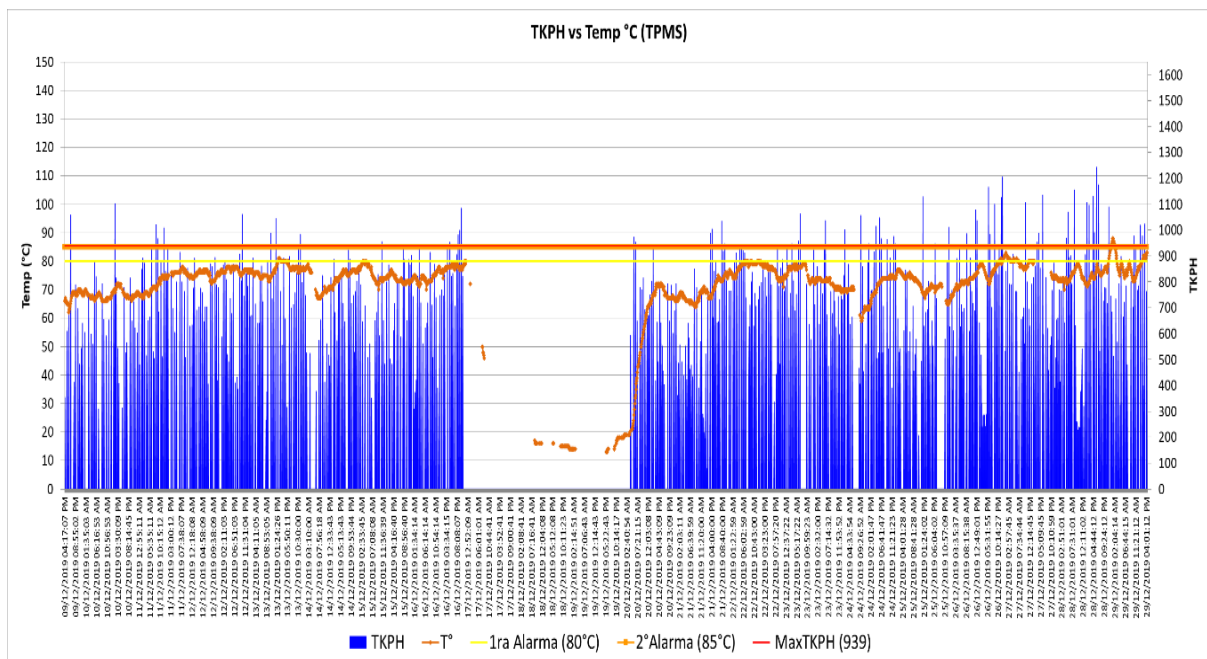


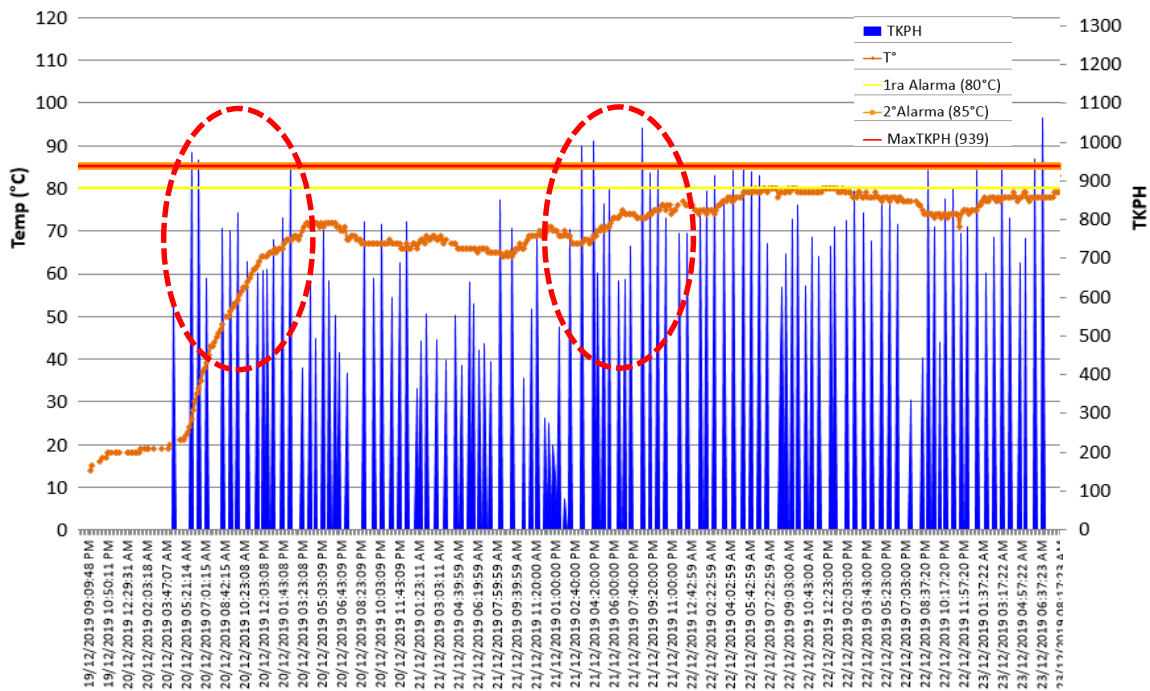
Figura 18. Comparación de mediciones con TKPH y Temperatura (TPMS).

Como se observa, existen diferencias entre ambos modos de monitoreo, las cuales se detallan a continuación:

- El TKPH es calculado, según la fórmula (figura N°2), por cada ciclo cumplido, es decir envía valores cada 30 o 40 minutos, dependiendo de la distancia de ciclo, mientras que las mediciones que nos arroja el sistema tienen una frecuencia de 1 minuto, lo cual permite controlar de manera más eficaz.
- El TKPH al ser un valor que resulta de una fórmula, sube y baja de manera súbita, lo cual dificulta la gestión y monitoreo de los neumáticos, por otro lado, la temperatura varía de manera gradual, permitiendo la proyección de la misma y una toma de decisiones más acertada para mantener tanto la productividad como el buen estado de los neumáticos.
- Profundizando un poco más, los daños que causan las pérdidas prematuras, son producto del exceso de temperatura de los neumáticos (Heat Separation), si bien es cierto que el TKPH nos puede dar una referencia de la temperatura por ser un valor calculado en base a los factores de trabajo que está expuesto, sin embargo, vemos en la figura N°16 que no es lo más adecuado ni preciso para el monitoreo de neumáticos por la volatilidad de los valores.
- Por otro lado, la medición de temperatura que realiza el sistema de TPMS permite crear escenarios y en base a ellos tomar decisiones que evitan y previenen los daños por exceso de este factor, el cual es crítico para disminuir los motivos de baja por Heat Separation, el cual como se detalló en la figura N°11 es principal motivo de pérdida prematura de neumáticos.



- Considerando ambos factores, TKPH y temperatura, se hace una comparación de ambos a través de un análisis de comportamiento, encontrando deferencias repetitivas entre ambos y permitiendo evidenciar la principal diferencia entre ambos, como se muestra en las siguientes figuras N°19 y N°20.

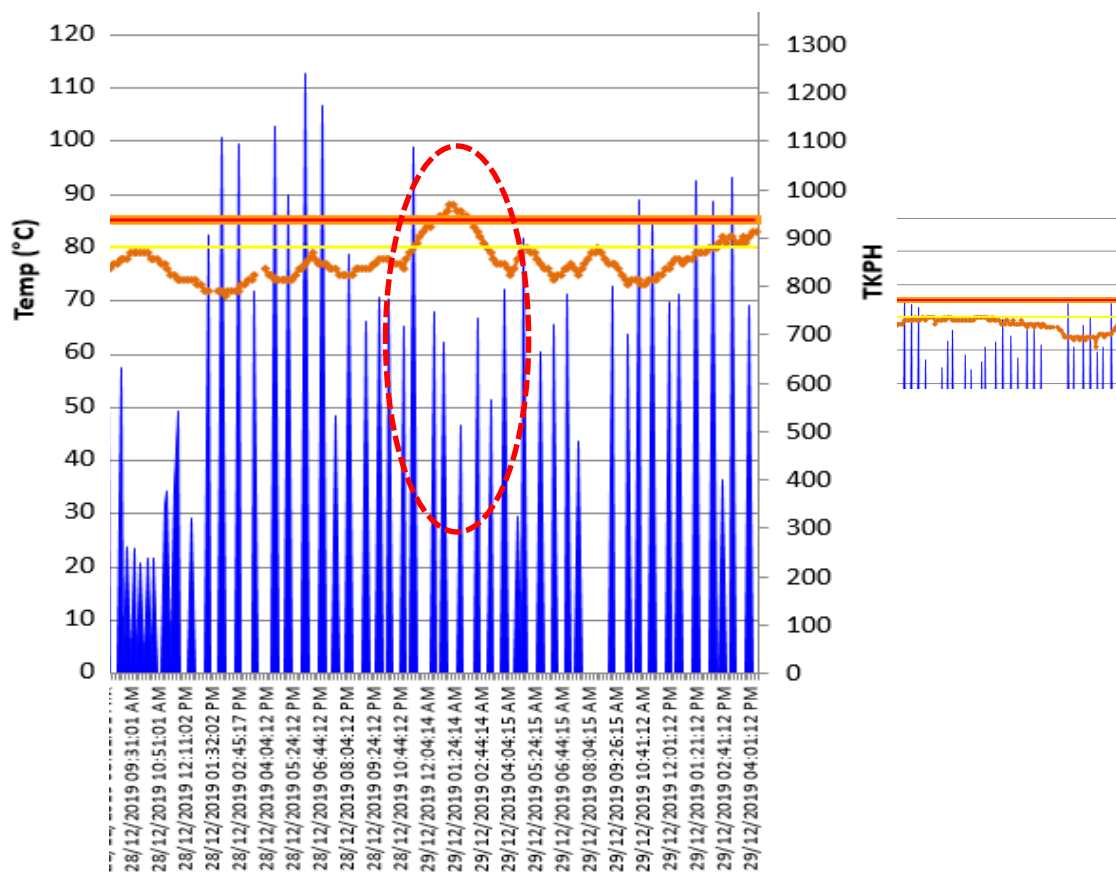


**Figura 19.** Caso 1. TKPH elevado, pero temperatura por debajo del límite

En la figura N°19, se evidencia que con el antiguo control a través de TKPH, al tener un valor que excede el límite (939), personal de Dispatch tomaba la decisión de reasignar el camión hacia una ruta de acarreo más corta con la finalidad de reducir el TKPH y, según se tenía entendido, de esa manera se “cuidaban” los neumáticos, pero lo que realmente se hacía era, perder productividad al reasignar el camión a una ruta más corta sin saber que, al tener las mediciones de temperatura, nos permitiría

mantener el camión en la misma ruta, sabiendo que los neumáticos aún no llegan al límite, ya que como se observa, la temperatura se elevaba de manera gradual probablemente producto de una parada prolongada en taller de Mantenimiento.

En la siguiente figura N°20, se muestra el segundo caso.



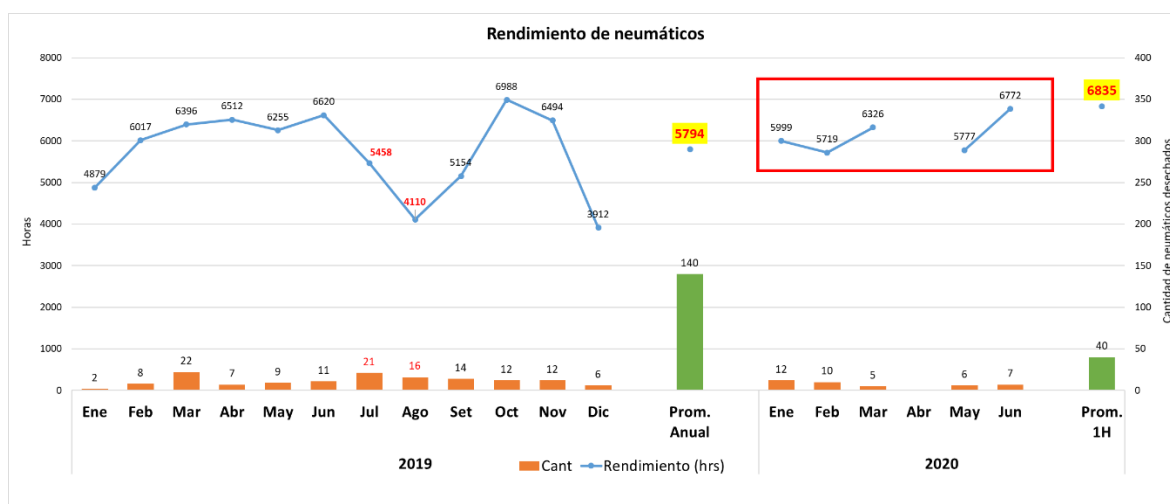
**Figura 20.** Caso 2. TKPH por debajo del límite, pero la temperatura excede su límite.

En este caso, sucede lo contrario, el valor de TKPH se encuentra por debajo del límite, lo cual da una falsa percepción de las condiciones del neumático, haciendo creer al personal del monitoreo que todo se encuentra dentro del rango y que no representa riesgo de pérdida prematura del neumático, cuando lo que en realidad está sucediendo dentro del neumático es que este está excediendo el límite máximo permisible de

temperatura (85°C), por lo que existe una alta probabilidad de que, al superar los 85°C, el neumático sufra un daño irreversible que obligaría a retirar al neumático y que a su vez se traduce en disminución de rendimiento.

Por todo lo señalado en ambos casos, se demostró que el modo de monitoreo antiguo (TKPH) no era el adecuado para mitigar los daños que están sucediendo en la operación minera, sin embargo, el monitoreo con el sistema TPMS, el cual nos da una medición del factor clave para controlar el estado de neumáticos y hacer el seguimiento respectivo para tomar las decisiones más acertadas en pro de la productividad, rendimiento de neumáticos y sobretodo en la seguridad dentro de la operación.

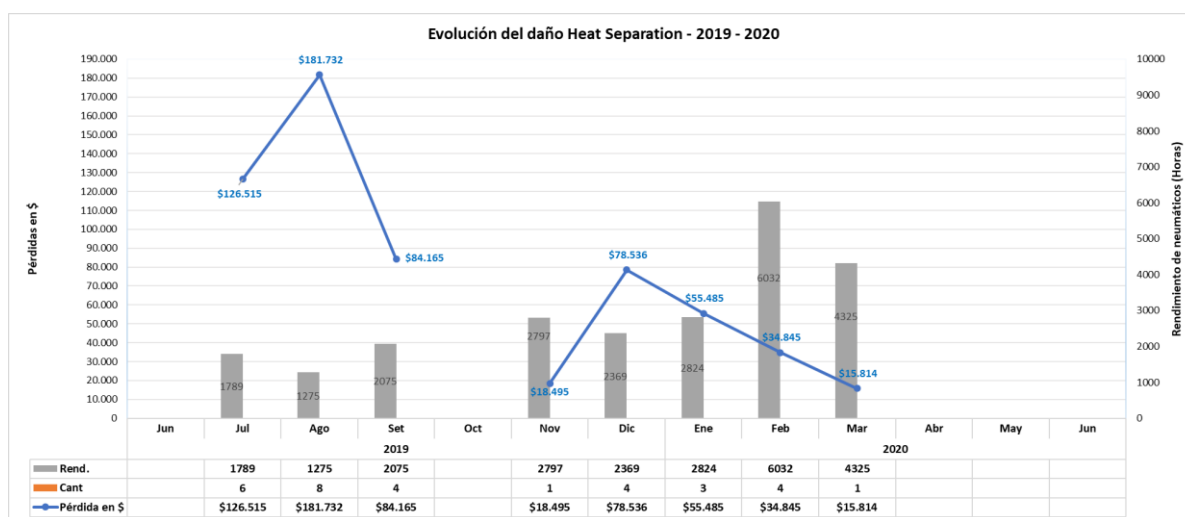
Finalmente, a través del uso del TPMS, se obtuvo resultados positivos en cuanto al rendimiento de neumáticos, ya que se pudo controlar las condiciones los mismos, sin descuidar otros aspectos de igual importancia para la operación, como se muestra en la figura N°21.



**Figura 21.** Rendimiento de neumáticos después de aplicar el nuevo método.

Como se observa, el rendimiento de neumáticos ha ido incrementando paulatinamente según se han ido instalando el TPMS en cada camión, lo cual nos dio como resultado en incremento de 17.9% con respecto al año 2019 y un 28% con respecto al 2H-2019, esto valida y corrobora que el TPMS es el sistema que requiere una operación minera que busca el incremento de la vida útil de los neumáticos.

Además, se ha reducido la incidencia de pérdidas prematuras por Heat Separation, según se indica en la figura N°22.



**Figura 22.** Evolución de Heat Separation 2019-2020.

El impacto positivo de la implementación de TPMS genera a la vez un ahorro en gastos por neumáticos, ya que al mitigar las bajas por Heat Separation, permite que se aproveche la totalidad del caucho de la banda de rodadura, haciendo que los neumáticos salgan de baja por desgaste normal (Worn Out).

Para esto se muestra la siguiente tabla N°4, en la cual se interpreta los valores mostrados en la figura N°22.

|                                 |                   |
|---------------------------------|-------------------|
| <b>Costo</b>                    |                   |
| Alquiler TPMS/camión            | \$ 499            |
| Flota                           | 40                |
| Total Mensual                   | \$ 19.960         |
| Total Anual                     | \$ 239.520        |
|                                 |                   |
| <b>Ahorro</b>                   |                   |
| Ahorro en consumo de neumáticos | \$ 390.000        |
|                                 |                   |
| <b>Pérdida</b>                  |                   |
| Pérdida por Heat Sep. 2019      | \$ 489.443        |
|                                 |                   |
| <b>Costo beneficio</b>          | <b>\$ 639.923</b> |

**Tabla N°4.** Cálculo de Costo beneficio. (Elaboración propia)

En la tabla mostrada, se puede validar el costo beneficio, según la siguiente interpretación; el contrato con el proveedor del sistema TPMS es bajo la modalidad de alquiler, que, en resumen, incluye reposición de componentes, soporte técnico 24/7 y actualizaciones, tanto de software como de hardware, el costo del alquiler es de \$499 mensual por camión instalado, a esto se debe considerar que la flota es de 40 camiones, por lo que el resultado del costo anual del sistema TPMS es de \$ 239.520.

Se debe considerar que las pérdidas en neumáticos en el 2019 por no contar con este sistema fueron de \$ 489.443, monto el cual dejaría de ser pérdida para convertirse en beneficio obtenido cuando se implemente el sistema TPMS; entonces la diferencia entre ambos valores nos resulta un ahorro de \$ 249.923, a este resultado se le debe

añadir el ahorro en consumo de neumáticos que se obtiene al reducir los eventos de 23 en el 2019 a sólo 8 en el 2020, por lo que multiplicamos la diferencia entre estos 2 valores por el precio unitario del neumático (\$ 26.000), dándonos como resultado \$ 390.000, esto, sumado al monto de ahorro nos da un costo beneficio total de \$ 639.923. Como se observa, después de la implementación del TPMS, la cantidad de daños por Heat Separation han ido reduciendo según se han ido instalando en los camiones gigantes, lo cual se traduce en una reducción de pérdidas económicas por este motivo en baja.

#### **3.4.4. Actuar**

Se aplicará un plan de acción según las alertas emitidas por el sistema, es decir, en el caso de que haya alarmas por exceso de temperatura, se reasignará al camión a una ruta más corta o con mejores condiciones que favorezcan a la disminución de temperatura de los neumáticos sin necesidad de detener el equipo. Este plan de acción deberá ser difundido al personal del área de Dispatch, quienes estarían a cargo del monitoreo general de la flota de carguío y acarreo. El cual se muestra en la figura N°23.

|             | Critero                                  | Acción recomendada   | Observación   |
|-------------|--|--|---|
| Presión     | Dentro de $\pm 5\%$<br>Normal            | Camión sigue funcionando   | Condición normal  |
|             | $\pm 5-10\%$<br>1ra Alarma               | Corregir la presión en la siguiente parada.  | Registrar la corrección y confirmar que la alarma cambie a verde.   |
|             | Sobre $\pm 10\%$<br>2da Alarma           | Asignar a taller de mantenimiento y revisar el neumáticos tan pronto éste se enfríe. | Revisar el registro de ajuste de presión y si es por 2da vez, exista una posibilidad de que algun problema ha ocurrido. |
| Temperatura | Menos de $80^{\circ}\text{C}$<br>Normal  | Camión sigue funcionando   | Condición normal  |
|             | $80-85^{\circ}\text{C}$<br>1ra Alarma    | Cambiar la ruta del camión o bajar la velocidad.                                     | Confirmar que la alarma cambió a verde por cambio en la operación.  |
|             | Sobre $85^{\circ}\text{C}$<br>2nd Alarma | Asignar a taller de mantenimiento y revisar el neumático tan pronto éste se enfríe.  | El neumático puede tener algun problema por calor.  |

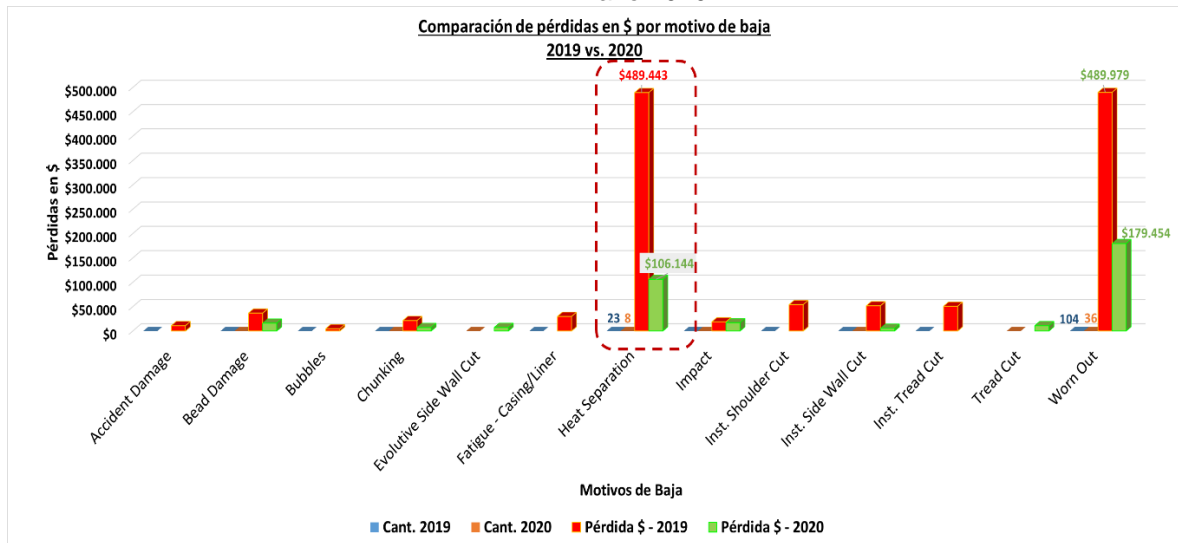
**Figura 23.** Plan de acción según niveles de alarma. (Elaboración propia)

Además, se debe incluir en el plan de mantenimiento de camiones la tarea de mantenimiento del hardware del sistema TPMS.

Todo esto es con la finalidad de que el cuidado de neumáticos sea sostenible y que el personal tome conciencia que este factor es tan importante como cualquier otro repuesto.

Los indicadores en los cuales podemos verificar que sufrieron un cambio positivo fueron, el rendimiento; en el cual se obtuvo un impacto positivo, incrementándose en un 17.9% con respecto al promedio anual del 2019 y en un 28% con respecto al 2H-2019.

Posteriormente, se puede verificar y validar que los resultados fueron mejor de los esperados, tanto en ahorro como rendimiento de neumáticos gigantes, según se muestra en la figura N°24 y N°25.



**Figura 24.** Comparación de pérdidas por motivos de baja 2019 vs 2020. (Elaboración propia)

En la figura N°24, podemos evidenciar el ahorro que generó la implementación del sistema TPMS, ya que se bajó la cantidad de motivos de baja de 23 a 8 y esto significó una reducción de pérdidas de \$383,299 es decir un aproximado de 78% con respecto del escenario anterior a la implementación.

Además, el rendimiento de neumáticos se incrementó, pudiéndose observar en la figura N°25.





**Figura 25.** Comparación rendimientos 2019 vs 2020.

Como se observa, esto corrobora que el impacto generado por la implementación del sistema TPMS fue positivo para la vida útil de los neumáticos gigantes en un 17.9% en comparación con el periodo anterior donde no se había implementado el sistema.

Finalmente, esta implementación se podría considerar como inicio de una nueva etapa en la minería, la aplicación de tecnologías para el control de neumáticos.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

La presente investigación tiene como objetivo determinar el impacto en la vida útil de los neumáticos gigantes, logrando un impacto positivo e incrementando la vida útil en un 17.9%, de igual manera Tejada (2014), menciona en su investigación que tuvo un incremento de 5.9% a través de la implementación de un control de rotación de neumáticos delanteros según las horas recorridas.

No obstante, en la presente investigación se hace un análisis a profundidad de los motivos de baja para encontrar el principal factor que afecta el rendimiento, coincidiendo con Cerchar y Cuadrado (2015), quienes mediante la metodología Six sigma determinan la principal causa del bajo rendimiento.

Por otro lado, en la presente investigación quedó demostrado que el monitoreo de neumáticos a través de TKPH no es el adecuado para la empresa minera, por lo que esta investigación de Terán (2016), quien señala en su investigación que para el control de neumáticos usa el valor de TKPH, queda descartado por la presente investigación.

Sin embargo, lo mencionado por Blanco (2016), indica que un factor importante es la capacitación a operadores sobre límites de velocidad, lo cual es muy importante, porque permite una concientización los riesgos a los que estarían expuestos tanto el

mismo personal como los neumáticos al elevar su temperatura, en nuestro caso también estamos planteando capacitaciones a todo nivel, porque eso va a marcar parte del éxito de la presente investigación.

#### **4.2. Limitaciones**

Debido a que la presente investigación fue realizada en una empresa minera, se tuvo acceso restringido costos exactos y planes de minado, los cuales hubieran sido un aporte valorable para la investigación.

Además, debido a que el tema abordado es muy específico, hay poca información sobre el sistema TPMS para el control de vida útil, lo cual no nos permite referenciar o hacer comparaciones en mismos indicadores.

#### **4.3. Implicancias**

La presente investigación tiene implicancia positiva, porque va a servir como punto de partida para otros investigadores o para bachilleres de la carrera de ingeniería industrial o de ingeniería de minas que tengan interés sobre métodos para incrementar la vida útil de neumáticos gigantes en minería a tajo abierto.

El presente estudio va a servir de pauta importante para otros investigadores que quieran aplicar el monitoreo a través de un sistema TPMS.

Finalmente, permitirá que los investigadores que deseen aplicar la metodología del Ciclo de Deming a un proceso minero, tengan una mejor referencia para referenciar.

## 4.2. Conclusiones

- El diagnóstico de la situación actual en el sub-proceso de Carguío y Acarreo, refleja una pérdida prematura de los neumáticos que representa una merma en el rendimiento de hasta 35% lo cual representa en costo un total de \$ 489.443.
- El desarrollo de la implementación fue dado de manera exitosa debido al apoyo de las diferentes áreas involucradas.
- La implementación de un sistema TPMS permite incrementar la vida útil de los neumáticos gigantes en camiones Caterpillar 793 en un 17.9%.
- La implementación de un sistema TPMS permite obtener un beneficio económico de \$ 639.923 en el primer año desde su instalación.
- Finalmente, se concluye que el impacto de la implementación del sistema TPMS es positivo, lo que favorece a los fines de la empresa minera en estudio.

## REFERENCIAS

- Blanco (2016). Incremento de la vida útil de neumáticos para reducir costos de operación en camiones Caterpillar 797F en Toromocho - Chinalco Perú (Tesis de pregrado), Universidad Nacional del Centro del Peru. Recuperado de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3636/Blanco%20Hinostroza.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cerchar y Cuadrado (2015). Aplicación del programa Six sigma para la ampliación de la vida útil de la llanta 53/80R63 en carbones del Cerrejón (Tesis de pregrado), Universidad Pedagógica y Tecnológica De Colombia. Recuperado de <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1533/1/TGT-271.pdf>
- Cuatrecasas y González (2017). Gestión integral de la calidad (5ª Edición). Recuperado de <http://reader.digitalbooks.pro/book/preview/101085/fm03>
- Databook de Bridgestone (2019). Bridgestone Corporation 2019 Off-The-Road Tire Department, Bridgestone Corporation, Tokyo, Japan
- Gobierno del Perú. Minem: Nota de Prensa (24 de junio de 2019 - 6:05 p. m.). Casi el 10% del PBI y el 61% de las exportaciones del 2018 fueron producto de la minería. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/minem/noticias/29754-minem-casi-el-10-del-pbi-y-el-61-de-las-exportaciones-del-2018-fueron-producto-de-la-mineria>
- Heflo (2019). Qué es mejora de procesos y cómo beneficiarse con su aplicación. Recuperado de <https://www.heflo.com/es/blog/optimizacion-procesos/la-mejora-los-procesos/>

Minería Chilena (2015). Informe técnico. Neumáticos mineros: Controlar la temperatura, un tema pendiente. Recuperado de <https://www.mch.cl/informes-tecnicos/neumaticos-mineros-controlar-la-temperatura-un-tema-pendiente/>

Minería Chilena (2009). Monitoreando neumáticos gigantes. Recuperado de <https://www.mch.cl/reportajes/monitoreando-neumaticos-gigantes/#>

Ministerio de Energía y Minas (2019). Perú País Minero. Recuperado de <http://mineria.minem.gob.pe/institucional/peru-pais-minero/>

Ministerio de Energía y Minas (2017). Perú en el Ranking Mundial de Producción Minera. Recuperado de [http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PDAC2017/ESTADISTICA\\_001.pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PDAC2017/ESTADISTICA_001.pdf)

Normas APA (2020). Fórmula de muestra. Recuperado de <http://normasapa.net/formula-muestra-poblacion/>

Osinermin (2019). Reporte de Análisis Económico Sectorial-Minería. Recuperado de [https://www.osinermin.gob.pe/mineria/actividad\\_minera/mayor-produccion-minerales](https://www.osinermin.gob.pe/mineria/actividad_minera/mayor-produccion-minerales)

Osinermin (2019). Rodríguez, A.; Mendez, M.; Suclupe, P; Chávez D. y Campaña, A. (2019). Reporte de Análisis Económico Sectorial - Minería, Año 8 - Número 12. Gerencia de Políticas y Análisis Económico, Osinermin - Perú. Recuperado de [https://www.osinermin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios Economicos/RAES/RAES-Mineria-diciembre-2019-GPAE-OS.pdf](https://www.osinermin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/RAES/RAES-Mineria-diciembre-2019-GPAE-OS.pdf)

Redacción Gestión (2020, 08 de enero). BBVA: producción minera acelerará en 0.6 puntos porcentuales el crecimiento del PBI en 2020. Recuperado de

<https://gestion.pe/economia/produccion-minera-acelerara-en-06-puntos-porcentuales-el-crecimiento-del-pbi-en-2020-preve-el-bbva-nndc-noticia/>

Tejada (2014). Metodología del cambio de posiciones 1 y 6 de neumáticos gigantes 793-D, para incrementar la vida útil y reducir costos en SM. Cerro Verde – Arequipa. (Tesis de pregrado), Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3937>

Terán (2016). Optimización de los sistemas de control para mejorar la vida útil de los neumáticos de camiones gigantes en Minera Yanacocha 2016 (Tesis de pregrado), Recuperado de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/10952>

Sampieri, R, Fernández, C. & Baptista, M. (2010). Metodología de la Investigación, Quinta Edición. México D.F. ISBN: 978-607-15-0291-9

Yanacocha (2019). Proceso del oro. Recuperado de <http://www.yanacocha.com/proceso-de-produccion/>

# ANEXOS

## Anexo 1: Data VIMS de camiones Caterpillar 793

| Model | Machine | Date      | Time        | MTL   | Payload (t) | Load Time (HH:MM:SS) | Total Cycle Time (HH:MM:SS) | Loaded Stopped Time (HH:MM:SS) | Loaded Travel Time (HH:MM:SS) | Empty Travel Time (HH:MM:SS) | Empty Stopped Time (HH:MM:SS) | Loaded Travel Dist. (m) | Empty Travel Dist. (m) | Total Distance Cicle | Total Time | Ave Speed Cicle | TKPH | TKPH MA |
|-------|---------|-----------|-------------|-------|-------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|------------|-----------------|------|---------|
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 12:47:21 AM | 44,18 | 217,0       | 0:09:51              | 1:01:21                     | 0:02:47                        | 0:33:27                       | 0:12:40                      | 0:03:17                       | 8.851,4                 | 6.115,5                | 14.966,9             | 1,02       | 14,64           | 847  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 01:48:43 AM | 44,18 | 195,0       | 0:04:36              | 0:41:17                     | 0:02:43                        | 0:22:03                       | 0:11:42                      | 0:00:14                       | 7.081,1                 | 5.471,8                | 12.552,9             | 0,69       | 18,24           | 806  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 02:29:59 AM | 44,18 | 212,2       | 0:05:21              | 0:55:59                     | 0:02:05                        | 0:22:36                       | 0:23:24                      | 0:02:33                       | 7.081,1                 | 14.484,1               | 21.565,2             | 0,93       | 23,11           | 1021 | 939     |
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 03:25:58 AM | 44,18 | 241,5       | 0:05:27              | 0:48:28                     | 0:01:22                        | 0:24:13                       | 0:11:56                      | 0:05:30                       | 6.920,2                 | 6.437,4                | 13.357,6             | 0,81       | 16,54           | 731  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 04:14:27 AM | 44,18 | 235,0       | 0:03:43              | 0:40:39                     | 0:01:02                        | 0:21:27                       | 0:13:13                      | 0:01:14                       | 6.598,3                 | 6.598,3                | 13.196,6             | 0,68       | 19,48           | 861  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 04:55:06 AM | 44,18 | 232,4       | 0:07:48              | 1:11:07                     | 0:00:59                        | 0:28:30                       | 0:14:09                      | 0:19:43                       | 9.977,9                 | 7.885,8                | 17.863,7             | 1,19       | 15,07           | 866  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 06:06:12 AM | 44,18 | 234,6       | 0:03:34              | 0:50:14                     | 0:01:05                        | 0:21:07                       | 0:18:34                      | 0:05:54                       | 6.598,3                 | 10.943,5               | 17.541,8             | 0,84       | 20,95           | 926  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 06:56:26 AM | 44,18 | 239,5       | 0:04:43              | 0:42:31                     | 0:01:07                        | 0:20:54                       | 0:12:54                      | 0:02:54                       | 6.598,3                 | 6.598,3                | 13.196,6             | 0,71       | 18,62           | 823  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 07:38:57 AM | 44,18 | 233,1       | 0:06:49              | 1:35:52                     | 0:00:51                        | 0:31:43                       | 0:29:37                      | 0:26:51                       | 14.484,1                | 14.484,1               | 25.910,4             | 1,60       | 16,22           | 716  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 09:14:50 AM | 44,18 | 221,0       | 0:06:15              | 0:42:45                     | 0:01:05                        | 0:21:02                       | 0:13:27                      | 0:00:56                       | 8.046,7                 | 5.471,8                | 13.518,5             | 0,71       | 18,97           | 838  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 09:57:36 AM | 44,18 | 225,7       | 0:06:03              | 0:52:53                     | 0:01:06                        | 0:20:38                       | 0:13:47                      | 0:12:20                       | 7.885,8                 | 7.885,8                | 15.771,6             | 0,90       | 17,56           | 776  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 10:51:28 AM | 44,18 | 246,4       | 0:03:09              | 0:47:15                     | 0:01:02                        | 0:32:20                       | 0:10:41                      | 0:00:03                       | 11.045,5                | 4.828,0                | 15.932,5             | 0,79       | 20,23           | 894  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 11:38:42 AM | 44,18 | 251,5       | 0:03:34              | 0:52:28                     | 0:00:58                        | 0:31:23                       | 0:17:30                      | 0:00:03                       | 11.045,5                | 10.782,6               | 21.887,1             | 0,89       | 24,56           | 1085 | 939     |
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 12:53:11 PM | 44,18 | 246,8       | 0:04:07              | 0:49:46                     | 0:00:56                        | 0:24:36                       | 0:17:23                      | 0:02:44                       | 7.081,1                 | 8.851,4                | 15.932,5             | 0,83       | 19,21           | 849  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 01:43:01 PM | 44,18 | 236,4       | 0:05:51              | 1:24:06                     | 0:02:38                        | 0:31:54                       | 0:22:02                      | 0:21:42                       | 8.851,4                 | 10.299,8               | 19.151,2             | 1,40       | 13,66           | 604  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 03:07:07 PM | 44,18 | 245,1       | 0:05:02              | 0:48:26                     | 0:00:58                        | 0:24:38                       | 0:12:33                      | 0:05:15                       | 7.242,0                 | 5.793,6                | 13.035,7             | 0,81       | 16,15           | 713  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 03:55:33 PM | 44,18 | 230,3       | 0:04:00              | 0:43:52                     | 0:00:59                        | 0:23:08                       | 0:15:16                      | 0:00:29                       | 7.081,1                 | 7.081,1                | 14.162,2             | 0,73       | 19,37           | 856  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 04:39:26 PM | 44,18 | 228,9       | 0:06:47              | 1:06:03                     | 0:04:09                        | 0:30:00                       | 0:20:45                      | 0:04:21                       | 8.690,5                 | 9.656,1                | 18.346,5             | 1,10       | 16,67           | 736  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 05:45:29 PM | 44,18 | 229,5       | 0:02:52              | 0:37:24                     | 0:01:02                        | 0:23:32                       | 0:09:54                      | 0:00:04                       | 6.598,3                 | 4.989,0                | 11.587,3             | 0,62       | 18,59           | 821  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 06:22:52 PM | 44,18 | 240,6       | 0:02:47              | 0:42:09                     | 0:01:34                        | 0:24:10                       | 0:13:23                      | 0:00:16                       | 6.759,2                 | 6.598,3                | 13.357,6             | 0,70       | 19,01           | 840  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 07:05:02 PM | 44,18 | 229,4       | 0:06:14              | 0:49:41                     | 0:00:54                        | 0:21:44                       | 0:15:27                      | 0:05:22                       | 5.310,8                 | 8.529,5                | 13.840,4             | 0,83       | 16,71           | 738  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 07:54:42 PM | 44,18 | 234,0       | 0:03:16              | 1:10:48                     | 0:03:05                        | 0:22:51                       | 0:21:54                      | 0:19:42                       | 6.759,2                 | 11.265,4               | 18.024,7             | 1,18       | 15,28           | 675  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 09:05:31 PM | 44,18 | 242,3       | 0:04:15              | 0:43:38                     | 0:01:42                        | 0:22:06                       | 0:13:17                      | 0:02:18                       | 6.759,2                 | 6.598,3                | 13.357,6             | 0,73       | 18,37           | 811  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 09:49:09 PM | 44,18 | 233,6       | 0:03:12              | 0:46:09                     | 0:00:57                        | 0:24:01                       | 0:12:45                      | 0:05:14                       | 6.598,3                 | 6.598,3                | 13.196,6             | 0,77       | 17,16           | 758  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 10:35:18 PM | 44,18 | 225,7       | 0:03:30              | 0:45:04                     | 0:04:46                        | 0:22:12                       | 0:12:08                      | 0:02:29                       | 6.920,2                 | 6.598,3                | 13.518,5             | 0,75       | 18,00           | 795  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 01-Aug-19 | 11:20:22 PM | 44,18 | 213,7       | 0:02:53              | 0:46:45                     | 0:00:60                        | 0:21:28                       | 0:14:47                      | 0:06:37                       | 5.310,8                 | 8.529,5                | 13.840,4             | 0,78       | 17,76           | 785  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 02-Aug-19 | 12:07:07 AM | 44,18 | 226,1       | 0:06:14              | 0:48:10                     | 0:01:16                        | 0:22:09                       | 0:10:52                      | 0:07:39                       | 5.310,8                 | 5.149,9                | 10.460,7             | 0,80       | 13,03           | 576  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 02-Aug-19 | 12:55:20 AM | 44,18 | 230,1       | 0:03:35              | 0:44:54                     | 0:00:60                        | 0:22:06                       | 0:11:28                      | 0:06:45                       | 5.471,8                 | 5.149,9                | 10.621,7             | 0,75       | 14,19           | 627  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 02-Aug-19 | 01:40:13 AM | 44,18 | 219,0       | 0:05:23              | 1:15:16                     | 0:04:30                        | 0:28:37                       | 0:14:44                      | 0:22:02                       | 4.989,0                 | 7.403,0                | 12.391,9             | 1,25       | 9,88            | 436  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 02-Aug-19 | 02:55:29 AM | 44,18 | 230,6       | 0:06:01              | 0:42:20                     | 0:01:22                        | 0:25:39                       | 0:09:11                      | 0:00:06                       | 4.506,2                 | 4.667,1                | 9.173,3              | 0,71       | 13,00           | 574  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 02-Aug-19 | 03:37:48 AM | 44,18 | 224,0       | 0:07:04              | 0:55:45                     | 0:01:51                        | 0:25:39                       | 0:10:10                      | 0:11:02                       | 4.506,2                 | 4.506,2                | 9.012,3              | 0,93       | 9,70            | 429  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 02-Aug-19 | 05:04:22 AM | 44,18 | 216,7       | 0:10:46              | 1:13:18                     | 0:01:08                        | 0:24:41                       | 0:17:26                      | 0:19:17                       | 4.506,2                 | 6.437,4                | 10.943,5             | 1,22       | 8,96            | 396  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 02-Aug-19 | 06:17:42 AM | 44,18 | 220,7       | 0:03:35              | 0:37:15                     | 0:01:00                        | 0:22:50                       | 0:09:18                      | 0:00:33                       | 5.310,8                 | 3.701,5                | 9.012,3              | 0,62       | 14,52           | 641  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 02-Aug-19 | 06:54:58 AM | 44,18 | 221,1       | 0:03:19              | 0:42:31                     | 0:06:48                        | 0:21:40                       | 0:10:41                      | 0:00:03                       | 5.310,8                 | 5.149,9                | 10.460,7             | 0,71       | 14,76           | 652  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 02-Aug-19 | 07:37:29 AM | 44,18 | 250,7       | 0:02:42              | 0:47:49                     | 0:00:56                        | 0:19:00                       | 0:23:00                      | 0:02:10                       | 5.632,7                 | 12.231,0               | 17.863,7             | 0,80       | 22,42           | 940  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 02-Aug-19 | 08:25:18 AM | 44,18 | 227,4       | 0:02:26              | 0:29:47                     | 0:00:49                        | 0:16:23                       | 0:10:06                      | 0:00:03                       | 5.310,8                 | 5.310,8                | 10.621,7             | 0,50       | 21,40           | 945  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 02-Aug-19 | 08:55:04 AM | 44,18 | 239,4       | 0:02:56              | 0:39:01                     | 0:00:58                        | 0:16:37                       | 0:10:57                      | 0:07:33                       | 5.471,8                 | 5.471,8                | 10.943,5             | 0,65       | 16,83           | 744  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 02-Aug-19 | 09:34:04 AM | 44,18 | 236,6       | 0:02:40              | 0:29:38                     | 0:00:53                        | 0:16:06                       | 0:09:57                      | 0:00:02                       | 5.310,8                 | 5.310,8                | 10.621,7             | 0,49       | 21,51           | 950  | 939     |
| 793D  | HT-154  | 02-Aug-19 | 10:03:42 AM | 44,18 | 230,6       | 0:04:33              | 0:41:21                     | 0:00:59                        | 0:25:20                       | 0:09:45                      | 0:00:45                       | 7.563,9                 | 4.828,0                | 12.391,9             | 0,69       | 17,98           | 794  | 939     |



|      |        |           |             |       |       |         |         |         |         |         |         |          |          |          |      |       |      |     |
|------|--------|-----------|-------------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|------|-------|------|-----|
| 793D | HT-154 | 02-Aug-19 | 10:45:04 AM | 44,18 | 238,7 | 0:06:02 | 0:41:08 | 0:00:53 | 0:16:45 | 0:16:09 | 0:01:18 | 5.471,8  | 8.046,7  | 13.518,5 | 0,69 | 19,72 | 871  | 939 |
| 793D | HT-154 | 02-Aug-19 | 11:26:10 AM | 44,18 | 241,1 | 0:05:22 | 0:32:40 | 0:00:57 | 0:16:30 | 0:09:48 | 0:00:03 | 5.471,8  | 5.310,8  | 10.782,6 | 0,54 | 19,80 | 875  | 939 |
| 793D | HT-154 | 02-Aug-19 | 11:58:50 AM | 44,18 | 242,6 | 0:05:25 | 0:40:16 | 0:00:60 | 0:16:56 | 0:11:24 | 0:05:12 | 5.471,8  | 5.471,8  | 10.943,5 | 0,67 | 16,31 | 720  | 939 |
| 793D | HT-154 | 02-Aug-19 | 12:39:10 PM | 44,18 | 246,2 | 0:03:27 | 0:58:27 | 0:01:06 | 0:16:27 | 0:15:31 | 0:21:56 | 5.310,8  | 5.310,8  | 10.621,7 | 0,97 | 10,90 | 482  | 939 |
| 793D | HT-154 | 02-Aug-19 | 01:37:36 PM | 44,18 | 251,2 | 0:04:02 | 0:53:29 | 0:00:52 | 0:17:17 | 0:25:50 | 0:05:29 | 5.471,8  | 14.645,0 | 20.116,8 | 0,89 | 22,57 | 997  | 939 |
| 793D | HT-154 | 02-Aug-19 | 02:31:05 PM | 44,18 | 246,2 | 0:03:48 | 0:32:06 | 0:00:55 | 0:16:44 | 0:09:43 | 0:00:56 | 5.471,8  | 5.310,8  | 10.782,6 | 0,54 | 20,15 | 890  | 939 |
| 793D | HT-154 | 02-Aug-19 | 03:03:11 PM | 44,18 | 241,5 | 0:05:19 | 0:49:52 | 0:00:59 | 0:16:33 | 0:23:31 | 0:03:31 | 5.471,8  | 14.323,2 | 19.794,9 | 0,83 | 23,82 | 1052 | 939 |
| 793D | HT-154 | 02-Aug-19 | 03:53:03 PM | 44,18 | 249,1 | 0:04:36 | 0:47:22 | 0:01:05 | 0:31:10 | 0:10:09 | 0:00:23 | 12.391,9 | 5.310,8  | 17.702,8 | 0,79 | 22,42 | 991  | 939 |
| 793D | HT-154 | 02-Aug-19 | 04:40:26 PM | 44,18 | 235,7 | 0:06:26 | 0:53:15 | 0:00:60 | 0:30:13 | 0:09:10 | 0:06:27 | 8.851,4  | 3.379,6  | 12.231,0 | 0,89 | 13,78 | 609  | 939 |
| 793D | HT-154 | 02-Aug-19 | 05:33:43 PM | 44,18 | 239,7 | 0:04:40 | 0:34:16 | 0:01:00 | 0:16:30 | 0:11:21 | 0:00:44 | 5.471,8  | 5.310,8  | 10.782,6 | 0,57 | 18,88 | 834  | 939 |
| 793D | HT-154 | 02-Aug-19 | 06:07:57 PM | 44,18 | 227,2 | 0:04:59 | 0:42:33 | 0:01:27 | 0:22:59 | 0:13:04 | 0:00:05 | 6.598,3  | 6.115,5  | 12.713,8 | 0,71 | 17,93 | 792  | 939 |
| 793D | HT-154 | 02-Aug-19 | 06:50:31 PM | 44,18 | 216,4 | 0:05:24 | 0:50:37 | 0:00:59 | 0:22:46 | 0:14:56 | 0:06:33 | 6.920,2  | 6.598,3  | 13.518,5 | 0,84 | 16,02 | 708  | 939 |
| 793D | HT-154 | 02-Aug-19 | 07:41:08 PM | 44,18 | 236,5 | 0:06:13 | 1:03:24 | 0:00:55 | 0:30:05 | 0:18:32 | 0:07:39 | 8.690,5  | 6.920,2  | 15.610,6 | 1,06 | 14,77 | 653  | 939 |
| 793D | HT-154 | 02-Aug-19 | 08:44:30 PM | 44,18 | 239,6 | 0:02:27 | 0:36:30 | 0:00:56 | 0:21:19 | 0:11:45 | 0:00:04 | 7.081,1  | 5.471,8  | 12.552,9 | 0,61 | 20,63 | 912  | 939 |
| 793D | HT-154 | 02-Aug-19 | 09:21:00 PM | 44,18 | 214,8 | 0:07:54 | 0:51:03 | 0:01:06 | 0:18:59 | 0:16:16 | 0:06:48 | 4.667,1  | 8.207,7  | 12.874,8 | 0,85 | 15,13 | 669  | 939 |
| 793D | HT-154 | 02-Aug-19 | 10:12:03 PM | 44,18 | 231,0 | 0:06:12 | 0:45:57 | 0:00:59 | 0:22:51 | 0:11:00 | 0:04:54 | 5.310,8  | 5.149,9  | 10.460,7 | 0,77 | 13,66 | 603  | 939 |
| 793D | HT-154 | 02-Aug-19 | 11:16:16 PM | 44,18 | 242,6 | 0:06:39 | 0:38:43 | 0:01:09 | 0:17:28 | 0:11:38 | 0:01:49 | 3.379,6  | 4.667,1  | 8.046,7  | 0,65 | 12,47 | 551  | 939 |
| 793D | HT-154 | 02-Aug-19 | 11:55:02 PM | 44,18 | 213,8 | 0:05:01 | 0:44:09 | 0:00:57 | 0:21:56 | 0:04:14 | 0:12:02 | 6.437,2  | 6.437,2  | 5.954,6  | 0,74 | 8,09  | 358  | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 12:39:12 AM | 44,18 | 223,0 | 0:03:60 | 0:48:44 | 0:01:09 | 0:24:38 | 0:15:18 | 0:03:39 | 5.310,8  | 6.276,4  | 11.587,3 | 0,81 | 14,27 | 630  | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 01:27:57 AM | 44,18 | 226,5 | 0:07:35 | 0:36:08 | 0:04:03 | 0:19:00 | 0:09:20 | 0:00:11 | 3.218,7  | 3.379,6  | 6.598,3  | 0,60 | 10,96 | 484  | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 02:04:05 AM | 44,18 | 229,8 | 0:05:58 | 0:49:49 | 0:00:54 | 0:14:56 | 0:07:24 | 0:20:38 | 3.379,6  | 3.219,7  | 6.598,3  | 0,83 | 7,95  | 351  | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 02:53:54 AM | 44,18 | 215,5 | 0:03:41 | 0:43:26 | 0:01:03 | 0:20:40 | 0:18:00 | 0:00:02 | 7.242,0  | 11.104,5 | 18.346,5 | 0,72 | 25,34 | 1120 | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 03:37:19 AM | 44,18 | 219,3 | 0:02:26 | 0:51:17 | 0:00:57 | 0:20:34 | 0:16:00 | 0:11:19 | 7.242,0  | 7.242,0  | 14.484,1 | 0,85 | 16,95 | 749  | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 04:28:38 AM | 44,18 | 242,0 | 0:05:09 | 0:47:49 | 0:01:07 | 0:19:20 | 0:13:32 | 0:08:42 | 6.920,2  | 7.081,1  | 14.001,3 | 0,80 | 17,57 | 776  | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 05:16:26 AM | 44,18 | 240,0 | 0:05:42 | 0:39:51 | 0:00:57 | 0:16:41 | 0:10:41 | 0:05:50 | 5.471,8  | 5.310,8  | 10.782,6 | 0,66 | 16,23 | 717  | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 05:56:15 AM | 44,18 | 238,2 | 0:07:10 | 0:41:11 | 0:00:56 | 0:17:22 | 0:10:47 | 0:04:56 | 5.471,8  | 5.310,8  | 10.782,6 | 0,69 | 15,71 | 694  | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 06:37:26 AM | 44,18 | 258,9 | 0:03:21 | 0:49:48 | 0:00:50 | 0:32:21 | 0:10:32 | 0:02:45 | 11.426,3 | 5.310,8  | 16.737,2 | 0,83 | 20,17 | 891  | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 07:27:13 AM | 44,18 | 234,9 | 0:02:43 | 1:24:30 | 0:03:12 | 0:29:55 | 0:24:45 | 0:23:54 | 12.070,1 | 14.001,3 | 26.071,4 | 1,41 | 18,51 | 818  | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 08:51:44 AM | 44,18 | 208,9 | 0:05:01 | 0:27:45 | 0:01:01 | 0:19:43 | 0:01:07 | 0:00:53 | 5.149,9  | 0,0      | 5.149,9  | 0,46 | 11,13 | 492  | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 09:19:28 AM | 44,18 | 246,2 | 0:05:20 | 0:41:01 | 0:00:59 | 0:21:33 | 0:11:17 | 0:01:53 | 5.310,8  | 4.989,0  | 10.299,8 | 0,68 | 15,07 | 666  | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 10:00:29 AM | 44,18 | 244,2 | 0:07:53 | 1:01:39 | 0:01:10 | 0:17:42 | 0:13:48 | 0:21:06 | 3.379,6  | 6.276,4  | 9.656,1  | 1,03 | 9,40  | 415  | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 11:02:05 AM | 44,18 | 217,1 | 0:03:06 | 0:25:24 | 0:00:54 | 0:20:52 | 0:00:21 | 0:00:00 | 5.149,9  | 0,0      | 5.149,9  | 0,42 | 12,17 | 537  | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 11:27:29 AM | 44,18 | 206,9 | 0:05:05 | 0:44:22 | 0:01:21 | 0:22:29 | 0:13:04 | 0:02:23 | 5.149,9  | 6.115,5  | 11.265,4 | 0,74 | 15,23 | 673  | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 12:11:53 PM | 44,18 | 229,3 | 0:02:42 | 0:52:01 | 0:01:12 | 0:22:25 | 0:17:59 | 0:07:44 | 5.149,9  | 6.437,4  | 11.587,3 | 0,87 | 13,37 | 590  | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 01:03:53 PM | 44,18 | 224,6 | 0:05:11 | 0:42:13 | 0:01:24 | 0:22:11 | 0:10:42 | 0:02:46 | 5.310,8  | 5.149,9  | 10.460,7 | 0,70 | 14,87 | 657  | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 01:46:06 PM | 44,18 | 245,6 | 0:02:32 | 0:49:04 | 0:00:59 | 0:26:35 | 0:18:56 | 0:00:03 | 7.563,9  | 11.104,5 | 18.668,4 | 0,82 | 22,83 | 1009 | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 02:35:10 PM | 44,18 | 242,2 | 0:03:14 | 0:49:12 | 0:01:01 | 0:25:47 | 0:19:06 | 0:00:05 | 7.242,0  | 7.724,9  | 14.966,9 | 0,82 | 18,25 | 806  | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 03:24:23 PM | 44,18 | 249,3 | 0:02:31 | 2:16:05 | 0:04:51 | 1:54:14 | 0:14:27 | 0:00:03 | 24.944,8 | 6.920,2  | 31.865,0 | 2,27 | 14,05 | 621  | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 05:40:30 PM | 44,18 | 270,3 | 0:07:59 | 0:50:48 | 0:01:15 | 0:00:20 | 0:39:44 | 0:01:31 | 0,0      | 11.265,4 | 11.265,4 | 0,85 | 13,31 | 588  | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 06:55:48 PM | 44,18 | 223,6 | 0:04:27 | 0:54:42 | 0:01:09 | 0:20:59 | 0:17:41 | 0:10:26 | 7.242,0  | 9.173,3  | 16.415,3 | 0,91 | 18,01 | 795  | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 07:50:35 PM | 44,18 | 251,3 | 0:03:08 | 1:12:48 | 0:01:02 | 0:23:08 | 0:28:43 | 0:16:48 | 7.242,0  | 14.484,1 | 21.726,1 | 1,21 | 17,91 | 791  | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 09:03:22 PM | 44,18 | 231,5 | 0:04:00 | 0:55:48 | 0:06:24 | 0:31:11 | 0:13:40 | 0:00:33 | 12.231,0 | 6.920,2  | 19.151,2 | 0,93 | 20,59 | 910  | 939 |

### Implementación de un sistema TPMS y su impacto en la vida útil de neumáticos gigantes de camiones Caterpillar 793 en una empresa minera, año 2020

|      |        |           |             |       |       |         |         |         |         |         |         |          |          |          |      |       |      |     |
|------|--------|-----------|-------------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|------|-------|------|-----|
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 09:59:09 PM | 44,18 | 242,2 | 0.09:57 | 1:08:46 | 0:01:00 | 0:30:31 | 0:09:47 | 0:17:31 | 9.012,3  | 3.540,6  | 12.552,9 | 1,15 | 10,95 | 484  | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 11:07:56 PM | 44,18 | 229,7 | 0:03:26 | 0:37:03 | 0:00:40 | 0:21:18 | 0:09:28 | 0:01:42 | 7.403,0  | 5.310,8  | 12.713,8 | 0,62 | 20,59 | 910  | 939 |
| 793D | HT-154 | 03-Aug-19 | 11:44:59 PM | 44,18 | 252,1 | 0:03:24 | 0:49:04 | 0:01:27 | 0:30:58 | 0:12:56 | 0:00:18 | 12.231,0 | 7.081,1  | 19.312,1 | 0,82 | 23,62 | 1043 | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 12:34:03 AM | 44,18 | 231,0 | 0:03:37 | 0:27:57 | 0:00:58 | 0:21:36 | 0:01:33 | 0:00:13 | 5.471,8  | 160,9    | 5.632,7  | 0,47 | 12,09 | 534  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 01:02:00 AM | 44,18 | 228,6 | 0:04:08 | 1:09:09 | 0:03:42 | 0:27:20 | 0:26:45 | 0:07:15 | 7.403,0  | 12.231,0 | 19.634,0 | 1,15 | 17,04 | 753  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 02:11:08 AM | 44,18 | 222,5 | 0:02:41 | 0:58:54 | 0:01:03 | 0:21:48 | 0:21:25 | 0:11:57 | 5.310,8  | 9.334,2  | 14.645,0 | 0,98 | 14,92 | 659  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 03:10:01 AM | 44,18 | 217,2 | 0:05:05 | 0:44:28 | 0:06:06 | 0:22:09 | 0:10:03 | 0:01:06 | 5.310,8  | 5.310,8  | 10.621,7 | 0,74 | 14,33 | 633  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 03:54:30 AM | 44,18 | 231,7 | 0:05:52 | 0:54:18 | 0:01:07 | 0:30:20 | 0:16:54 | 0:00:06 | 9.012,3  | 8.207,7  | 17.220,0 | 0,91 | 19,03 | 841  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 04:48:50 AM | 44,18 | 235,6 | 0:05:35 | 0:43:55 | 0:01:05 | 0:21:01 | 0:14:32 | 0:01:43 | 5.310,8  | 8.368,6  | 13.679,4 | 0,73 | 18,69 | 826  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 05:32:45 AM | 44,18 | 9,8   | 0:07:26 | 1:30:32 | 0:17:25 | 0:37:48 | 0:10:45 | 0:17:09 | 12.713,8 | 5.149,9  | 17.863,7 | 1,51 | 11,84 | 523  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 07:03:16 AM | 44,18 | 214,0 | 0:02:48 | 0:46:53 | 0:00:54 | 0:20:47 | 0:13:29 | 0:08:54 | 5.310,8  | 8.368,6  | 13.679,4 | 0,78 | 17,51 | 773  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 07:50:09 AM | 44,18 | 222,5 | 0:03:42 | 0:58:25 | 0:00:40 | 0:23:07 | 0:22:27 | 0:08:09 | 7.403,0  | 11.748,2 | 19.151,2 | 0,97 | 19,67 | 869  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 08:48:34 AM | 44,18 | 240,9 | 0:04:23 | 0:47:07 | 0:00:54 | 0:23:15 | 0:16:47 | 0:01:48 | 7.242,0  | 7.242,0  | 14.484,1 | 0,79 | 18,44 | 815  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 09:35:40 AM | 44,18 | 234,3 | 0:03:28 | 0:37:05 | 0:01:31 | 0:16:20 | 0:15:18 | 0:00:18 | 5.471,8  | 7.403,0  | 12.874,8 | 0,62 | 20,83 | 920  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 10:12:45 AM | 44,18 | 241,0 | 0:04:45 | 0:42:20 | 0:00:56 | 0:22:42 | 0:10:44 | 0:03:14 | 7.242,0  | 5.310,8  | 12.552,9 | 0,71 | 17,79 | 786  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 10:55:06 AM | 44,18 | 229,7 | 0:08:53 | 0:54:26 | 0:01:38 | 0:29:08 | 0:14:45 | 0:00:02 | 5.310,8  | 7.242,0  | 12.552,9 | 0,91 | 13,84 | 611  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 11:49:31 AM | 44,18 | 233,0 | 0:02:54 | 1:18:11 | 0:03:27 | 0:28:15 | 0:21:42 | 0:21:54 | 6.593,2  | 8.851,4  | 15.449,7 | 1,30 | 11,86 | 524  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 01:07:41 PM | 44,18 | 210,1 | 0:03:05 | 0:53:25 | 0:01:19 | 0:21:07 | 0:12:38 | 0:10:17 | 4.989,0  | 5.149,9  | 10.138,9 | 0,89 | 11,39 | 503  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 02:27:05 PM | 44,18 | 230,3 | 0:03:17 | 0:48:51 | 0:00:50 | 0:22:15 | 0:16:45 | 0:05:44 | 7.403,0  | 9.173,3  | 16.576,2 | 0,81 | 20,36 | 899  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 03:15:59 PM | 44,18 | 237,2 | 0:04:44 | 0:43:27 | 0:00:58 | 0:17:43 | 0:16:10 | 0:03:52 | 5.471,8  | 7.242,0  | 12.713,8 | 0,72 | 17,56 | 776  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 03:59:26 PM | 44,18 | 227,9 | 0:02:31 | 0:38:58 | 0:01:04 | 0:22:20 | 0:10:15 | 0:02:49 | 7.403,0  | 5.149,9  | 12.552,9 | 0,65 | 19,33 | 854  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 04:38:24 PM | 44,18 | 228,2 | 0:02:29 | 0:33:39 | 0:00:56 | 0:16:15 | 0:13:36 | 0:00:24 | 5.310,8  | 6.920,2  | 12.231,0 | 0,56 | 21,81 | 964  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 05:12:05 PM | 44,18 | 230,8 | 0:04:17 | 0:34:17 | 0:01:05 | 0:17:10 | 0:10:57 | 0:00:48 | 5.310,8  | 5.310,8  | 10.621,7 | 0,57 | 18,59 | 821  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 05:46:22 PM | 44,18 | 236,9 | 0:02:33 | 0:40:51 | 0:00:50 | 0:19:03 | 0:12:38 | 0:05:47 | 5.310,8  | 5.149,9  | 10.460,7 | 0,68 | 15,36 | 679  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 06:27:12 PM | 44,18 | 238,5 | 0:02:27 | 0:29:41 | 0:00:53 | 0:16:03 | 0:09:57 | 0:00:22 | 5.310,8  | 5.310,8  | 10.621,7 | 0,49 | 21,47 | 949  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 06:56:53 PM | 44,18 | 239,2 | 0:04:51 | 0:40:10 | 0:01:19 | 0:21:35 | 0:11:32 | 0:00:54 | 7.081,1  | 5.310,8  | 12.391,9 | 0,67 | 18,51 | 818  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 07:37:03 PM | 44,18 | 229,2 | 0:04:56 | 1:05:51 | 0:00:58 | 0:24:07 | 0:23:37 | 0:12:13 | 7.563,9  | 11.587,3 | 19.151,2 | 1,10 | 17,45 | 771  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 08:42:55 PM | 44,18 | 226,1 | 0:02:18 | 0:43:49 | 0:00:57 | 0:26:49 | 0:13:30 | 0:00:15 | 10.782,6 | 7.403,0  | 18.185,6 | 0,73 | 24,90 | 1100 | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 09:26:44 PM | 44,18 | 244,5 | 0:05:15 | 0:43:21 | 0:03:37 | 0:22:36 | 0:08:59 | 0:02:54 | 5.471,8  | 4.506,2  | 9.977,9  | 0,72 | 13,81 | 610  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 10:10:05 PM | 44,18 | 237,4 | 0:03:26 | 0:43:00 | 0:02:54 | 0:23:19 | 0:11:15 | 0:02:07 | 5.632,7  | 5.149,9  | 10.782,6 | 0,72 | 15,05 | 665  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 10:53:06 PM | 44,18 | 231,8 | 0:05:32 | 0:41:04 | 0:01:05 | 0:20:29 | 0:10:13 | 0:03:45 | 4.667,1  | 5.149,9  | 9.817,0  | 0,68 | 14,34 | 634  | 939 |
| 793D | HT-154 | 04-Aug-19 | 11:34:10 PM | 44,18 | 204,8 | 0:02:54 | 0:34:11 | 0:01:03 | 0:18:37 | 0:09:19 | 0:02:17 | 4.667,1  | 4.506,2  | 9.173,3  | 0,57 | 16,10 | 711  | 939 |
| 793D | HT-154 | 05-Aug-19 | 12:08:20 AM | 44,18 | 228,2 | 0:05:12 | 0:56:54 | 0:01:04 | 0:22:08 | 0:17:10 | 0:11:20 | 7.242,0  | 10.621,7 | 17.863,7 | 0,95 | 18,84 | 832  | 939 |
| 793D | HT-154 | 05-Aug-19 | 01:05:14 AM | 44,18 | 219,4 | 0:04:38 | 1:03:43 | 0:08:53 | 0:22:28 | 0:18:10 | 0:09:35 | 5.310,8  | 6.437,4  | 11.748,2 | 1,06 | 11,06 | 489  | 939 |
| 793D | HT-154 | 05-Aug-19 | 02:08:57 AM | 44,18 | 225,4 | 0:05:56 | 0:52:59 | 0:00:40 | 0:21:07 | 0:17:45 | 0:07:11 | 5.310,8  | 6.437,4  | 11.748,2 | 0,88 | 13,30 | 588  | 939 |
| 793D | HT-154 | 05-Aug-19 | 03:01:56 AM | 44,18 | 229,1 | 0:03:48 | 1:07:38 | 0:11:21 | 0:33:21 | 0:18:07 | 0:01:02 | 12.874,8 | 11.104,5 | 23.979,2 | 1,13 | 21,27 | 940  | 939 |
| 793D | HT-154 | 05-Aug-19 | 04:09:34 AM | 44,18 | 224,3 | 0:03:32 | 0:33:21 | 0:01:12 | 0:19:25 | 0:08:40 | 0:00:13 | 4.667,1  | 4.667,1  | 9.334,2  | 0,56 | 16,79 | 742  | 939 |
| 793D | HT-154 | 05-Aug-19 | 04:42:56 AM | 44,18 | 236,8 | 0:05:30 | 0:35:54 | 0:01:18 | 0:19:26 | 0:09:21 | 0:00:20 | 4.667,1  | 4.506,2  | 9.173,3  | 0,60 | 15,33 | 677  | 939 |
| 793D | HT-154 | 05-Aug-19 | 05:18:50 AM | 44,18 | 221,3 | 0:03:00 | 0:30:57 | 0:01:18 | 0:18:53 | 0:07:41 | 0:00:05 | 4.667,1  | 4.345,2  | 9.012,3  | 0,52 | 17,47 | 772  | 939 |
| 793D | HT-154 | 05-Aug-19 | 05:49:46 AM | 44,18 | 231,5 | 0:03:24 | 0:34:24 | 0:01:21 | 0:21:08 | 0:08:27 | 0:00:05 | 4.345,2  | 4.506,2  | 8.851,4  | 0,57 | 15,44 | 682  | 939 |
| 793D | HT-154 | 05-Aug-19 | 06:24:10 AM | 44,18 | 253,1 | 0:04:26 | 0:46:21 | 0:01:01 | 0:21:44 | 0:19:06 | 0:00:04 | 7.242,0  | 11.587,3 | 18.829,3 | 0,77 | 24,37 | 1077 | 939 |
| 793D | HT-154 | 05-Aug-19 | 07:10:30 AM | 44,18 | 234,8 | 0:02:02 | 1:42:45 | 0:01:32 | 0:45:18 | 0:43:29 | 0:10:26 | 11.426,3 | 23.174,6 | 34.600,9 | 1,71 | 20,20 | 893  | 939 |

**Anexo 2: Base de datos de Neumáticos – Motivos de baja, Rendimientos, Pérdidas monetizadas.**

| Serie     | Tamaño   | Marca | Diseño | Último Camión | Última Pos. | Fecha de Salida | Horas | RTD (mm) | Motivo de Baja      | Pérdida en \$ |
|-----------|----------|-------|--------|---------------|-------------|-----------------|-------|----------|---------------------|---------------|
| S7KQH0169 | 46/90R57 | B/ST  | VREVZ  | HT127         | 4           | 14/01/2019      | 3.954 | 57       | Inst. Tread Cut     | \$ 15.278,35  |
| S7LQH0125 | 46/90R57 | B/ST  | VREVV  | HT123         | 6           | 18/01/2019      | 5.803 | 39       | Impact              | \$ 10.453,61  |
| S7LEE0009 | 46/90R57 | B/ST  | VREVV  | HT121         | 6           | 02/02/2019      | 5.429 | 30,5     | Inst. Side Wall Cut | \$ 8.175,26   |
| S5AQH0040 | 46/90R57 | B/ST  | VRPSFY | HT116         | 6           | 04/02/2019      | 4.594 | 41       | Accident Damage     | \$ 10.989,69  |
| S7AQH0207 | 46/90R57 | B/ST  | VRPSDY | HT152         | 5           | 09/02/2019      | 6.166 | 20       | Inst. Tread Cut     | \$ 5.360,82   |
| B6JQH0145 | 46/90R57 | B/ST  | VRPSDY | HT137         | 6           | 11/02/2019      | 6.497 | 22       | Worn Out            | \$ 5.896,91   |
| S4MQH0093 | 46/90R57 | B/ST  | VRPSDZ | LB111         | 5           | 14/02/2019      | 7.392 | 8        | Worn Out            | \$ 2.144,33   |
| S6RQH0418 | 46/90R57 | B/ST  | VRPSFY | LB111         | 6           | 14/02/2019      | 6.724 | 11       | Worn Out            | \$ 2.948,45   |
| S7LEE0011 | 46/90R57 | B/ST  | VREVV  | HT143         | 5           | 15/02/2019      | 6.320 | 24       | Worn Out            | \$ 6.432,99   |
| S8SCM0013 | 46/90R57 | B/ST  | VREVV  | HT125         | 6           | 16/02/2019      | 6.011 | 31       | Inst. Side Wall Cut | \$ 8.309,28   |
| S7LEE0017 | 46/90R57 | B/ST  | VREVV  | HT125         | 6           | 23/02/2019      | 6.317 | 22       | Inst. Tread Cut     | \$ 5.896,91   |
| S6NQH0462 | 46/90R57 | B/ST  | VRPSDY | HT115         | 5           | 24/02/2019      | 6.798 | 15       | Worn Out            | \$ 4.020,62   |
| S7RQH0354 | 46/90R57 | B/ST  | VRPSDY | HT137         | 6           | 01/03/2019      | 5.728 | 21       | Chunking            | \$ 5.628,87   |
| S7AQH0245 | 46/90R57 | B/ST  | VRPSDY | HT151         | 5           | 04/03/2019      | 6.596 | 18       | Inst. Tread Cut     | \$ 4.824,74   |
| S5NQH0110 | 46/90R57 | B/ST  | VRPSDY | HT122         | 5           | 05/03/2019      | 6.592 | 19       | Worn Out            | \$ 5.092,78   |
| S7LEE0001 | 46/90R57 | B/ST  | VREVV  | HT127         | 5           | 06/03/2019      | 7.076 | 17       | Worn Out            | \$ 4.556,70   |
| S7AQH0253 | 46/90R57 | B/ST  | VRPSDY | HT127         | 6           | 06/03/2019      | 6.433 | 19       | Worn Out            | \$ 5.092,78   |
| S7AQH0211 | 46/90R57 | B/ST  | VRPSDY | HT137         | 5           | 07/03/2019      | 6.243 | 16       | Worn Out            | \$ 4.288,66   |
| S7LEE0014 | 46/90R57 | B/ST  | VREVV  | HT114         | 6           | 08/03/2019      | 6.357 | 20       | Worn Out            | \$ 5.360,82   |
| S7AQH0168 | 46/90R57 | B/ST  | VRPSDY | HT152         | 6           | 10/03/2019      | 6.248 | 21,5     | Chunking            | \$ 5.762,89   |
| S5NQH0329 | 46/90R57 | B/ST  | VRPSDY | HT126         | 5           | 11/03/2019      | 6.647 | 18,5     | Worn Out            | \$ 4.958,76   |

Implementación de un sistema TPMS y su impacto en la vida útil de neumáticos gigantes de camiones  
Caterpillar 793 en una empresa minera, año 2020

|           |          |      |        |       |   |            |       |      |                     |    |           |
|-----------|----------|------|--------|-------|---|------------|-------|------|---------------------|----|-----------|
| S7YQH0178 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY | HT126 | 6 | 11/03/2019 | 6.622 | 21,5 | Worn Out            | \$ | 5.762,89  |
| S5NQH0297 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY | HT124 | 6 | 12/03/2019 | 5.852 | 24   | Worn Out            | \$ | 6.432,99  |
| S7LEE0005 | 46/90R57 | B/ST | VREVV  | HT114 | 5 | 16/03/2019 | 6.830 | 14   | Worn Out            | \$ | 3.752,58  |
| S7LEE0004 | 46/90R57 | B/ST | VREVV  | HT120 | 6 | 19/03/2019 | 7.117 | 19   | Worn Out            | \$ | 5.092,78  |
| S5MQH0017 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY | HT136 | 5 | 20/03/2019 | 6.277 | 15,5 | Worn Out            | \$ | 4.154,64  |
| S7AQH0155 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY | HT136 | 6 | 20/03/2019 | 6.699 | 20   | Worn Out            | \$ | 5.360,82  |
| S7LEE0015 | 46/90R57 | B/ST | VREVV  | HT135 | 6 | 22/03/2019 | 6.458 | 20,5 | Worn Out            | \$ | 5.494,85  |
| S7LQH0029 | 46/90R57 | B/ST | VREVV  | HT135 | 5 | 22/03/2019 | 6.773 | 20,5 | Worn Out            | \$ | 5.494,85  |
| S7YQH0328 | 46/90R57 | REN  | RDT/RL | HT149 | 4 | 28/03/2019 | 2.085 | 27,5 | Bead Damage         | \$ | 7.371,13  |
| S7LEE0012 | 46/90R57 | B/ST | VREVV  | HT131 | 6 | 30/03/2019 | 6.778 | 18   | Worn Out            | \$ | 4.824,74  |
| S8SCM0016 | 46/90R57 | B/ST | VREVV  | HT109 | 5 | 30/03/2019 | 6.036 | 12,5 | Worn Out            | \$ | 3.350,52  |
| S7KQH0260 | 46/90R57 | B/ST | VREVZ  | HT120 | 5 | 30/03/2019 | 4.668 | 36   | Inst. Side Wall Cut | \$ | 9.649,48  |
| S5NQH0161 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDZ | HT131 | 5 | 30/03/2019 | 6.520 | 12   | Worn Out            | \$ | 3.216,49  |
| S5NQH0476 | 46/90R57 | B/ST | VRPSFY | HT109 | 6 | 30/03/2019 | 6.168 | 14   | Worn Out            | \$ | 3.752,58  |
| S7LEE0003 | 46/90R57 | B/ST | VREVV  | HT149 | 5 | 09/04/2019 | 6.570 | 19,5 | Worn Out            | \$ | 5.226,80  |
| S5UQH0492 | 46/90R57 | B/ST | VREVZ  | HT147 | 6 | 10/04/2019 | 6.067 | 19   | Worn Out            | \$ | 5.092,78  |
| S7AQH0228 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY | HT147 | 5 | 10/04/2019 | 6.089 | 25,5 | Worn Out            | \$ | 6.835,05  |
| S7AQH0416 | 46/90R57 | B/ST | VREVV  | HT128 | 6 | 23/04/2019 | 6.609 | 26   | Worn Out            | \$ | 6.969,07  |
| S7YQH0180 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY | HT128 | 5 | 23/04/2019 | 7.275 | 21,5 | Worn Out            | \$ | 5.762,89  |
| S7AQH0261 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY | HT152 | 5 | 25/04/2019 | 6.611 | 20   | Worn Out            | \$ | 5.360,82  |
| S5NQH0725 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY | HT127 | 5 | 26/04/2019 | 6.361 | 22   | Worn Out            | \$ | 5.896,91  |
| S7YQH0169 | 46/90R57 | REN  | RDT/RL | HT152 | 4 | 12/05/2019 | 1.148 | 37   | Bead Damage         | \$ | 9.917,53  |
| S7LQH0329 | 46/90R57 | B/ST | VREVV  | HT114 | 6 | 20/05/2019 | 6.322 | 22,5 | Worn Out            | \$ | 6.030,93  |
| S7AQH0394 | 46/90R57 | B/ST | VREVV  | HT147 | 5 | 21/05/2019 | 6.377 | 17,5 | Worn Out            | \$ | 4.690,72  |
| S7LEE0013 | 46/90R57 | B/ST | VREVV  | HT147 | 6 | 21/05/2019 | 6.814 | 15,5 | Worn Out            | \$ | 4.154,64  |
| S5NQH0298 | 46/90R57 | B/ST | VREVZ  | HT116 | 2 | 24/05/2019 | 6.153 | 17,5 | Worn Out            | \$ | 4.690,72  |
| S7KQH0296 | 46/90R57 | B/ST | VREVZ  | HT135 | 6 | 24/05/2019 | 4.758 | 45   | Inst. Side Wall Cut | \$ | 12.061,86 |
| S5NQH0657 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY | HT141 | 6 | 25/05/2019 | 6.428 | 14,5 | Worn Out            | \$ | 3.886,60  |

Implementación de un sistema TPMS y su impacto en la vida útil de neumáticos gigantes de camiones  
Caterpillar 793 en una empresa minera, año 2020

|           |          |      |        |       |   |            |       |      |                     |    |          |
|-----------|----------|------|--------|-------|---|------------|-------|------|---------------------|----|----------|
| S8RCM0041 | 46/90R57 | B/ST | VREVY  | HT115 | 6 | 28/05/2019 | 6.414 | 25,5 | Worn Out            | \$ | 6.835,05 |
| S5UQH0341 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDZ | HT124 | 5 | 29/05/2019 | 6.357 | 17   | Worn Out            | \$ | 4.556,70 |
| B6LD50013 | 46/90R57 | B/ST | V178Y  | HT153 | 3 | 31/05/2019 | 6.671 | 19,5 | Worn Out            | \$ | 5.226,80 |
| S7LEE0007 | 46/90R57 | B/ST | VREVY  | HT153 | 5 | 01/06/2019 | 6.990 | 23   | Worn Out            | \$ | 6.164,95 |
| S5NQH0244 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY | HT153 | 4 | 01/06/2019 | 6.155 | 22   | Worn Out            | \$ | 5.896,91 |
| S8RCM0055 | 46/90R57 | B/ST | VREVY  | HT126 | 6 | 06/06/2019 | 7.011 | 19   | Worn Out            | \$ | 5.092,78 |
| S8AQH0524 | 46/90R57 | B/ST | VREVY  | HT114 | 6 | 08/06/2019 | 4.245 | 33,5 | Inst. Shoulder Cut  | \$ | 8.979,38 |
| S7EQH0235 | 46/90R57 | REN  | RDT/RL | HT127 | 5 | 15/06/2019 | 2.362 | 25   | Bead Damage         | \$ | 6.701,03 |
| S5AQH0017 | 46/90R57 | B/ST | VRPSFY | HT123 | 5 | 17/06/2019 | 6.617 | 22,5 | Worn Out            | \$ | 6.030,93 |
| S7AQH0193 | 46/90R57 | B/ST | VREVY  | HT105 | 5 | 18/06/2019 | 7.296 | 15   | Worn Out            | \$ | 4.020,62 |
| S8RCM0057 | 46/90R57 | B/ST | VREVY  | HT105 | 6 | 18/06/2019 | 6.969 | 16,5 | Worn Out            | \$ | 4.422,68 |
| S7AQH0146 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY | HT121 | 6 | 19/06/2019 | 6.945 | 17,5 | Worn Out            | \$ | 4.690,72 |
| S5NQH0327 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDZ | HT121 | 5 | 19/06/2019 | 6.804 | 15,5 | Worn Out            | \$ | 4.154,64 |
| S8RCM0058 | 46/90R57 | B/ST | VREVY  | HT125 | 5 | 22/06/2019 | 6.698 | 14,5 | Worn Out            | \$ | 3.886,60 |
| S7EQH0236 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY | HT125 | 6 | 22/06/2019 | 7.092 | 13,5 | Worn Out            | \$ | 3.618,56 |
| S8RCM0054 | 46/90R57 | B/ST | VREVY  | HT126 | 5 | 01/07/2019 | 7.511 | 13,5 | Worn Out            | \$ | 3.618,56 |
| S7YQH0167 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY | HT126 | 6 | 01/07/2019 | 7.514 | 14   | Worn Out            | \$ | 3.752,58 |
| S7AQH0266 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY | HT124 | 5 | 06/07/2019 | 7.442 | 16,5 | Worn Out            | \$ | 4.422,68 |
| S5SQH0136 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDZ | HT124 | 6 | 06/07/2019 | 7.504 | 16,5 | Worn Out            | \$ | 4.422,68 |
| S5RQH0432 | 46/90R57 | B/ST | VRPSFY | HT135 | 5 | 06/07/2019 | 6.484 | 29   | Heat Separation     | \$ | 7.773,20 |
| B8AQH0076 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY | HT120 | 6 | 07/07/2019 | 7.100 | 15   | Worn Out            | \$ | 4.020,62 |
| S5EQH0228 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDZ | HT120 | 5 | 07/07/2019 | 7.245 | 14   | Worn Out            | \$ | 3.752,58 |
| S7AQH0251 | 46/90R57 | REN  | RDT/RL | HT121 | 6 | 08/07/2019 | 3.121 | 21,5 | Bead Damage         | \$ | 5.762,89 |
| S7KQH0132 | 46/90R57 | B/ST | VREVZ  | HT148 | 6 | 09/07/2019 | 6.030 | 32,5 | Inst. Side Wall Cut | \$ | 8.711,34 |
| S8EQH0424 | 46/90R57 | B/ST | VREVY  | HT114 | 5 | 15/07/2019 | 7.034 | 13   | Worn Out            | \$ | 3.484,54 |
| S8RCM0065 | 46/90R57 | B/ST | VREVY  | HT146 | 5 | 15/07/2019 | 6.551 | 18   | Inst. Side Wall Cut | \$ | 4.824,74 |
| S7AQH0267 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY | HT114 | 6 | 15/07/2019 | 6.649 | 14,5 | Worn Out            | \$ | 3.886,60 |

Implementación de un sistema TPMS y su impacto en la vida útil de neumáticos gigantes de camiones  
Caterpillar 793 en una empresa minera, año 2020

|           |          |      |           |       |   |            |       |      |                      |   |    |           |
|-----------|----------|------|-----------|-------|---|------------|-------|------|----------------------|---|----|-----------|
| B6BQH0014 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY    | LB111 | 8 | 15/07/2019 | 4.684 | 55   | Fatigue Casing/Liner | - | \$ | 14.742,27 |
| S4JQH0359 | 46/90R57 | B/ST | VRPS      | HT125 | 2 | 20/07/2019 | 833   | 88   | Heat Separation      |   | \$ | 23.587,63 |
| B4NQH0069 | 46/90R57 | B/ST | VRPS      | HT125 | 4 | 24/07/2019 | 1.195 | 85   | Heat Separation      |   | \$ | 22.783,51 |
| B4NQH0281 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDZ    | LB111 | 6 | 24/07/2019 | 7.263 | 18   | Worn Out             |   | \$ | 4.824,74  |
| S6EQH0375 | 46/90R57 | B/ST | VRPSFY    | LB111 | 5 | 24/07/2019 | 8.223 | 19   | Worn Out             |   | \$ | 5.092,78  |
| S5NQH0146 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY    | HT121 | 6 | 26/07/2019 | 6.728 | 18   | Worn Out             |   | \$ | 4.824,74  |
| S7AQH0195 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY    | HT121 | 5 | 26/07/2019 | 6.690 | 18   | Worn Out             |   | \$ | 4.824,74  |
| B4MQH0182 | 46/90R57 | B/ST | VRPS      | HT132 | 1 | 27/07/2019 | 1.443 | 83   | Heat Separation      |   | \$ | 22.247,42 |
| S7AQH0264 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY    | HT113 | 6 | 29/07/2019 | 6.560 | 18   | Worn Out             |   | \$ | 4.824,74  |
| S7YQH0157 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY    | HT113 | 5 | 29/07/2019 | 6.588 | 18   | Worn Out             |   | \$ | 4.824,74  |
| S5NQH0179 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDZ    | HT113 | 3 | 29/07/2019 | 6.745 | 21   | Worn Out             |   | \$ | 5.628,87  |
| B2B9W0012 | 46/90R57 | B/ST | VRPS      | HT138 | 4 | 30/07/2019 | 455   | 92   | Heat Separation      |   | \$ | 24.659,79 |
| B4AQH0169 | 46/90R57 | B/ST | VRPS      | HT121 | 4 | 30/07/2019 | 321   | 95   | Heat Separation      |   | \$ | 25.463,92 |
| S7AQH0269 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY    | LB111 | 6 | 31/07/2019 | 5.948 | 23,5 | Fatigue Casing/Liner | - | \$ | 6.298,97  |
| S5RQH0433 | 46/90R57 | B/ST | VRPSFY    | LB111 | 5 | 31/07/2019 | 5.298 | 33   | Fatigue Casing/Liner | - | \$ | 8.845,36  |
| S8RCM0050 | 46/90R57 | B/ST | VREYV     | HT122 | 5 | 01/08/2019 | 6.798 | 20,5 | Worn Out             |   | \$ | 5.494,85  |
| S8RCM0056 | 46/90R57 | B/ST | VREYV     | HT122 | 6 | 01/08/2019 | 7.652 | 20,5 | Worn Out             |   | \$ | 5.494,85  |
| S4JQH0285 | 46/90R57 | B/ST | VRPS      | HT116 | 1 | 02/08/2019 | 1.162 | 85   | Heat Separation      |   | \$ | 22.783,51 |
| B4AQH0304 | 46/90R57 | B/ST | VRPS      | HT115 | 4 | 06/08/2019 | 1.713 | 80   | Heat Separation      |   | \$ | 21.443,30 |
| B4AQH0295 | 46/90R57 | B/ST | VRPS      | HT140 | 4 | 07/08/2019 | 385   | 93   | Heat Separation      |   | \$ | 24.927,84 |
| S8RCM0061 | 46/90R57 | B/ST | VREYV     | HT150 | 6 | 07/08/2019 | 6.304 | 18   | Worn Out             |   | \$ | 4.824,74  |
| B3NQH0002 | 46/90R57 | B/ST | VRPS      | HT138 | 4 | 10/08/2019 | 584   | 92   | Heat Separation      |   | \$ | 24.659,79 |
| B4MQH0136 | 46/90R57 | B/ST | VRPS      | HT140 | 4 | 12/08/2019 | 1.274 | 85   | Heat Separation      |   | \$ | 22.783,51 |
| B4UQH0047 | 46/90R57 | B/ST | VRPS      | HT148 | 3 | 17/08/2019 | 2.100 | 76   | Heat Separation      |   | \$ | 20.371,13 |
| B4AQH0329 | 46/90R57 | B/ST | VRPS      | HT148 | 4 | 17/08/2019 | 2.245 | 75   | Heat Separation      |   | \$ | 20.103,09 |
| S7AQH0219 | 46/90R57 | REN  | RDT/RL/RB | HT123 | 5 | 17/08/2019 | 2.809 | 19   | Worn Out             |   | \$ | 5.092,78  |
| S8RQH0426 | 46/90R57 | B/ST | VREVZ     | HT150 | 5 | 21/08/2019 | 6.616 | 20   | Worn Out             |   | \$ | 5.360,82  |

Implementación de un sistema TPMS y su impacto en la vida útil de neumáticos gigantes de camiones  
Caterpillar 793 en una empresa minera, año 2020

|           |          |      |        |       |   |            |       |      |                    |    |           |
|-----------|----------|------|--------|-------|---|------------|-------|------|--------------------|----|-----------|
| B4NQH0077 | 46/90R57 | B/ST | VRPS   | HT107 | 3 | 25/08/2019 | 740   | 92   | Heat Separation    | \$ | 24.659,79 |
| B8AQH0016 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY | HT150 | 6 | 25/08/2019 | 6.307 | 26   | Worn Out           | \$ | 6.969,07  |
| B8AQH0019 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY | HT128 | 6 | 26/08/2019 | 7.298 | 18   | Worn Out           | \$ | 4.824,74  |
| B8AQH0084 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY | HT128 | 5 | 26/08/2019 | 7.297 | 17   | Worn Out           | \$ | 4.556,70  |
| S7AQH0200 | 46/90R57 | REN  | RDT/RL | HT136 | 6 | 28/08/2019 | 2.520 | 17,5 | Bubbles            | \$ | 4.690,72  |
| S8RCM0053 | 46/90R57 | B/ST | VREVV  | HT131 | 6 | 30/08/2019 | 7.291 | 16   | Worn Out           | \$ | 4.288,66  |
| S7AQH0436 | 46/90R57 | B/ST | VREVZ  | HT114 | 6 | 06/09/2019 | 6.606 | 18   | Worn Out           | \$ | 4.824,74  |
| S5NQH0275 | 46/90R57 | B/ST | VREVZ  | HT131 | 6 | 10/09/2019 | 6.541 | 15   | Worn Out           | \$ | 4.020,62  |
| S7KQH0419 | 46/90R57 | B/ST | VREVZ  | HT131 | 5 | 10/09/2019 | 7.082 | 15   | Worn Out           | \$ | 4.020,62  |
| S8RQH0460 | 46/90R57 | B/ST | VREVV  | HT147 | 5 | 11/09/2019 | 6.342 | 28,5 | Inst. Shoulder Cut | \$ | 7.639,18  |
| S8RQH0484 | 46/90R57 | B/ST | VREVZ  | HT116 | 6 | 12/09/2019 | 4.367 | 45   | Inst. Shoulder Cut | \$ | 12.061,86 |
| S7AQH0260 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY | LB111 | 7 | 12/09/2019 | 5.479 | 38   | Chunking           | \$ | 10.185,57 |
| S7AQH0284 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY | HT128 | 6 | 16/09/2019 | 6.744 | 15   | Worn Out           | \$ | 4.020,62  |
| S5EQH0227 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDZ | HT128 | 5 | 16/09/2019 | 6.612 | 14   | Worn Out           | \$ | 3.752,58  |
| B4YQH0012 | 46/90R57 | B/ST | VRPS   | HT127 | 4 | 20/09/2019 | 2.216 | 74   | Heat Separation    | \$ | 19.835,05 |
| S4MQH0074 | 46/90R57 | B/ST | VRPS   | HT152 | 4 | 23/09/2019 | 633   | 90   | Heat Separation    | \$ | 24.123,71 |
| S8YCM0039 | 46/90R57 | B/ST | VREVV  | HT151 | 6 | 25/09/2019 | 6.532 | 21   | Worn Out           | \$ | 5.628,87  |
| S8YCM0067 | 46/90R57 | B/ST | VREVV  | HT151 | 5 | 25/09/2019 | 7.110 | 19   | Worn Out           | \$ | 5.092,78  |
| B4KQH0206 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDZ | HT136 | 6 | 26/09/2019 | 5.927 | 22   | Worn Out           | \$ | 5.896,91  |
| S8RCM0045 | 46/90R57 | REN  | RDT/RL | HT127 | 4 | 29/09/2019 | 264   | 61,5 | Inst. Shoulder Cut | \$ | 16.484,54 |
| S4JQH0293 | 46/90R57 | B/ST | VRPS   | HT152 | 2 | 30/09/2019 | 2.067 | 87   | Heat Separation    | \$ | 23.319,59 |
| B4KQH0217 | 46/90R57 | B/ST | VRPS   | HT118 | 3 | 30/09/2019 | 3.382 | 63   | Heat Separation    | \$ | 16.886,60 |
| S5NQH0656 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY | HT123 | 5 | 01/10/2019 | 7.312 | 12   | Worn Out           | \$ | 3.216,49  |
| S8YCM0038 | 46/90R57 | B/ST | VREVV  | HT113 | 6 | 03/10/2019 | 6.608 | 20   | Worn Out           | \$ | 5.360,82  |
| S7RQH0320 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY | HT113 | 5 | 03/10/2019 | 7.829 | 20   | Worn Out           | \$ | 5.360,82  |
| B8AQH0033 | 46/90R57 | B/ST | VRPSDY | HT136 | 5 | 08/10/2019 | 7.317 | 10   | Worn Out           | \$ | 2.680,41  |
| S5UQH0369 | 46/90R57 | B/ST | VRPSFY | HT136 | 6 | 08/10/2019 | 6.456 | 16,5 | Worn Out           | \$ | 4.422,68  |
| S8RQH0483 | 46/90R57 | B/ST | VREVZ  | HT126 | 6 | 13/10/2019 | 6.170 | 29   | Inst. Shoulder Cut | \$ | 7.773,20  |

Implementación de un sistema TPMS y su impacto en la vida útil de neumáticos gigantes de camiones  
Caterpillar 793 en una empresa minera, año 2020

|                  |                 |             |             |              |          |                   |              |           |                        |           |                  |
|------------------|-----------------|-------------|-------------|--------------|----------|-------------------|--------------|-----------|------------------------|-----------|------------------|
| S8SCM0004        | 46/90R57        | B/ST        | VREVY       | HT113        | 5        | 14/10/2019        | 6.852        | 16,5      | Worn Out               | \$        | 4.422,68         |
| S8SCM0012        | 46/90R57        | B/ST        | VREVY       | HT113        | 6        | 14/10/2019        | 6.663        | 16,5      | Worn Out               | \$        | 4.422,68         |
| S7LQH0028        | 46/90R57        | B/ST        | VREVZ       | HT123        | 5        | 14/10/2019        | 7.037        | 15,5      | Worn Out               | \$        | 4.154,64         |
| S5UQH0296        | 46/90R57        | REN         | RDT/RL/RB   | HT123        | 6        | 14/10/2019        | 3.950        | 4,5       | Inst. Shoulder Cut     | \$        | 1.206,19         |
| S8RCM0039        | 46/90R57        | B/ST        | VREVY       | HT153        | 5        | 19/10/2019        | 7.459        | 16,5      | Worn Out               | \$        | 4.422,68         |
| S8RQH0508        | 46/90R57        | B/ST        | VREVY       | HT147        | 6        | 20/10/2019        | 6.972        | 16,5      | Worn Out               | \$        | 4.422,68         |
| S7YQH0196        | 46/90R57        | B/ST        | VRPSDY      | HT147        | 5        | 20/10/2019        | 7.184        | 17        | Worn Out               | \$        | 4.556,70         |
| B3LQH0358        | 46/90R57        | B/ST        | VRPSDZ      | LB111        | 5        | 22/10/2019        | 6.650        | 17        | Worn Out               | \$        | 4.556,70         |
| S8RCM0048        | 46/90R57        | B/ST        | VREVY       | HT121        | 6        | 01/11/2019        | 6.777        | 24        | Worn Out               | \$        | 6.432,99         |
| S7YQH0194        | 46/90R57        | B/ST        | VRPSDY      | HT121        | 5        | 01/11/2019        | 7.045        | 26,5      | Inst. Tread Cut        | \$        | 7.103,09         |
| S7LEE0025        | 46/90R57        | B/ST        | VREVY       | HT109        | 6        | 02/11/2019        | 6.716        | 17        | Worn Out               | \$        | 4.556,70         |
| <i>B4UQH0100</i> | <i>46/90R57</i> | <i>B/ST</i> | <i>VRPS</i> | <i>HT120</i> | <i>4</i> | <i>07/11/2019</i> | <i>2.797</i> | <i>69</i> | <i>Heat Separation</i> | <i>\$</i> | <i>18.494,85</i> |
| S8AQH0342        | 46/90R57        | B/ST        | VREVY       | HT109        | 5        | 10/11/2019        | 7.077        | 26        | Bead Damage            | \$        | 6.969,07         |
| S7YQH0195        | 46/90R57        | B/ST        | VRPSDY      | HT117        | 6        | 10/11/2019        | 6.126        | 31        | Impact                 | \$        | 8.309,28         |
| S8AQH0509        | 46/90R57        | B/ST        | VREVY       | HT141        | 5        | 11/11/2019        | 6.990        | 15,5      | Worn Out               | \$        | 4.154,64         |
| S8YCM0042        | 46/90R57        | B/ST        | VREVY       | HT141        | 6        | 11/11/2019        | 7.032        | 17,5      | Worn Out               | \$        | 4.690,72         |
| S7YQH0209        | 46/90R57        | B/ST        | VRPSDY      | HT131        | 5        | 15/11/2019        | 6.904        | 25,5      | Worn Out               | \$        | 6.835,05         |
| S8RQH0438        | 46/90R57        | B/ST        | VREVZ       | HT126        | 5        | 18/11/2019        | 6.920        | 21,5      | Inst. Tread Cut        | \$        | 5.762,89         |
| B8AQH0074        | 46/90R57        | B/ST        | VRPSDY      | HT143        | 6        | 21/11/2019        | 6.141        | 24,5      | Inst. Tread Cut        | \$        | 6.567,01         |
| S8YCM0048        | 46/90R57        | B/ST        | VREVY       | HT115        | 5        | 28/11/2019        | 7.400        | 17,5      | Worn Out               | \$        | 4.690,72         |
| B8AQH0060        | 46/90R57        | B/ST        | VRPSDY      | HT125        | 5        | 03/12/2019        | 6.952        | 18        | Worn Out               | \$        | 4.824,74         |
| S8AQH0580        | 46/90R57        | B/ST        | VREVY       | LB111        | 5        | 04/12/2019        | 6.120        | 19        | Worn Out               | \$        | 5.092,78         |
| S5SQH0152        | 46/90R57        | REN         | RDT/RL      | LB111        | 6        | 04/12/2019        | 3.229        | 9         | Worn Out               | \$        | 2.412,37         |
| <i>B4MQH0155</i> | <i>46/90R57</i> | <i>B/ST</i> | <i>VRPS</i> | <i>HT109</i> | <i>4</i> | <i>17/12/2019</i> | <i>3.769</i> | <i>59</i> | <i>Heat Separation</i> | <i>\$</i> | <i>15.814,43</i> |
| S8LQH0011        | 46/90R57        | B/ST        | VREVY       | HT146        | 6        | 17/12/2019        | 7.047        | 18        | Worn Out               | \$        | 4.824,74         |
| S5EQH0096        | 46/90R57        | REN         | RDT/RL      | HT114        | 5        | 21/12/2019        | 3.962        | 4         | Worn Out               | \$        | 1.072,16         |
| B8AQH0066        | 46/90R57        | REN         | RDT/RL/RB   | HT114        | 6        | 21/12/2019        | 3.152        | 5         | Worn Out               | \$        | 1.340,21         |
| <i>B4KQH0236</i> | <i>46/90R57</i> | <i>B/ST</i> | <i>VRPS</i> | <i>HT123</i> | <i>4</i> | <i>30/12/2019</i> | <i>695</i>   | <i>90</i> | <i>Heat Separation</i> | <i>\$</i> | <i>24.123,71</i> |



Implementación de un sistema TPMS y su impacto en la vida útil de neumáticos gigantes de camiones  
Caterpillar 793 en una empresa minera, año 2020

|                  |                 |             |             |              |          |                   |              |           |                        |           |                  |
|------------------|-----------------|-------------|-------------|--------------|----------|-------------------|--------------|-----------|------------------------|-----------|------------------|
| <i>B4UQH0136</i> | <i>46/90R57</i> | <i>B/ST</i> | <i>VRPS</i> | <i>HT114</i> | <i>3</i> | <i>31/12/2019</i> | <i>2.401</i> | <i>73</i> | <i>Heat Separation</i> | <i>\$</i> | <i>19.567,01</i> |
| <i>S4MQH0128</i> | <i>46/90R57</i> | <i>B/ST</i> | <i>VRPS</i> | <i>HT109</i> | <i>3</i> | <i>31/12/2019</i> | <i>2.609</i> | <i>71</i> | <i>Heat Separation</i> | <i>\$</i> | <i>19.030,93</i> |