



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**

“Diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la eficiencia en tiempo de vida de los neumáticos 53/80r63 michelin en camiones komatsu 930e, en la empresa minera “las bambas”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO**

AUTOR:

Livias Riquez, Herbert Raúl (ORCID: 0000-0001-7138-7706)

ASESOR:

Mg. Teófilo Martín Sifuentes Inostroza (ORCID: 0000-0001-8621-236X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistema y planes de mantenimiento

TRUJILLO – PERÚ

2020

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios por ser tan bueno y permitir el logro de un ideal importante en mi vida al ser profesional.

De manera especial, también dedico la presente Tesis, a mis padres quienes fueron los principales cimientos para la construcción de mi vida profesional, inculcando en mí, las bases de responsabilidad, moral y deseos de superación.

AGRADECIMIENTOS

Darle gracias a Dios por la vida y las experiencias que ha puesto en mi camino, que con su guía y sabiduría, me ayudaron a formar mi personalidad y carácter.

A mis padres y hermanos todo lo que hicieron y hacen por mí, siempre firmes conmigo y siendo mi principal soporte en los momentos de mayores retos.

Siempre estaré agradecido de mis docentes y compañeros de la Universidad, que con ellos viví años muy importantes para mí, donde pude aprender diversas enseñanzas para mi vida personal y profesional.

“No hay día que no se cumpla, ni deuda que no se pague”

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
PRESENTACIÓN.....	iv
ÍNDICE	v
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	9
II. MARCO TEÓRICO.....	13
2.1. Formulación del problema:	16
2.2. Justificación de la investigación:	16
2.3. Hipótesis:	16
2.4. Objetivos:	17
III. METODOLOGÍA	18
3.1. Tipo de estudio:.....	18
3.2. Diseño de investigación:.....	18
3.3. Variables y Operacionalización:	19
3.4. Población, muestra y muestreo.	21
3.5. Criterios de selección.	22
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	22
3.7. Procedimiento de recolección de datos:.....	22
3.8. Validación y confiabilidad del instrumento	23
3.9. Métodos de análisis de datos.....	23
IV. RESULTADOS.....	24
4.1. Evaluar las condiciones iniciales del uso y mantenimiento de los neumáticos 53/80R63 Michelin en las unidades Komatsu 930E de la empresa minera Las Bambas.	24
4.2. Análisis de fallas de los neumáticos, aplicando los indicadores de disponibilidad y confiabilidad.....	25
4.3. Identificar, mediante un análisis de criticidad, las fallas más importantes en los neumáticos 53/80R63 y su incidencia en paralización de las unidades Komatsu 930E.	27

4.4. Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para los neumáticos Michelin 53/80R63, determinando la máxima cantidad de trabajo que pueden soportar con respecto a la carga de trabajo de los camiones Komatsu 930E	27
4.5. Determinar, luego de la aplicación del Plan de Mantenimiento, los nuevos indicadores de Disponibilidad, Confiabilidad y Mantenibilidad en situación de mejora.	34
4.6. Evaluar el costo-beneficio de la implementación de la mejora, en acuerdo al diagnóstico general.	35
V. DISCUSIONES.....	39
VI. CONCLUSIONES.....	41
VII.RECOMENDACIONES.....	43
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
IX. ANEXOS	45

RESUMEN

El siguiente trabajo trata sobre la investigación de mejora para la eficacia y duración de los neumáticos 53/80R63 Michelin para camiones Komatsu 930E, de la empresa minera “Las Bambas”, con la finalidad de optimizar su confiabilidad y aumentar la disponibilidad a través del boceto e implementación para un plan de Mtto el cual tiene que prevenir.

Se ha iniciado el tema realizando una evaluación de las condiciones actuales de tratamiento de los neumáticos, determinando los indicadores de mantenimiento en la etapa actual, como lo son la confiabilidad y disponibilidad, en base a resultados de tiempo promedio entre fallas y tiempo para reparar dichos neumáticos.

A continuación, se realizó un análisis de criticidad estableciendo para las fallas características en los neumáticos, en base a los 5 criterios establecidos: frecuencia de fallas, impacto operacional, flexibilidad operacional, costos de mantenimiento, impacto de seguridad y medio ambiente, la determinación de fallas críticas, semi críticas y no críticas. Utilizando las fallas críticas, se realizó el correspondiente análisis de modo y efecto de fallas (AMEF) y se calculó el número de prioridad de riesgos (NPR) respectivo, a partir de los cuales se avanzó hacia la realización del programa de mantenimiento preventivo.

Luego del estudio, se determinó que en estado de mejora, utilizando el método de mantenimiento en base al AMEF, NPR y Programación, los neumáticos 53/80R63 tienden a desempeñarse con menos tiempos de reparaciones y mayores tiempos de operación, pues la disponibilidad y la confiabilidad alcanzan valores óptimos, resultando el tiempo promedio entre fallas y tiempo para reparar eficientes para la normal operatividad de las unidades móviles de mina, lo cual significa que con una programación adecuada y empleando tiempos estrictamente de acuerdo al análisis y modo de efecto de fallas, se conseguirá la mejora notable de eficiencia en tiempo de vida de los neumáticos.

Finalmente, se realizó un estudio de evaluación económica y costo-beneficio de la implementación del plan de mantenimiento y el cálculo correspondiente para poder determinar el retorno de la inversión (ROI), obteniendo un valor eficiente.

Palabras clave: *Neumáticos 53/80R63, análisis de modo y efecto de fallos, número de prioridad de riesgos, plan de mantenimiento preventivo.*

ABSTRACT

In this thesis, research was carried out to improve the lifetime efficiency of tires 53 / 80R63 Michelin in Komatsu 930E trucks, from the mining company “Las Bambas”, in order to optimize their reliability and increase availability to through the design and implementation of a preventive maintenance bread.

The topic has been started by evaluating the current tire treatment conditions, determining the maintenance indicators at the current stage, such as reliability and availability, based on results of average time between failures and time to repair said tires.

Next, a criticality analysis was carried out establishing for the characteristic failures in the tires, based on the 5 established criteria: frequency of failures, operational impact, operational flexibility, maintenance costs, safety and environmental impact, the determination of Critical, semi-critical and non-critical failures. Using the critical failures, the corresponding failure mode and effect analysis (AMEF) was performed and the respective risk priority number (NPR) was calculated, from which progress was made towards the implementation of the preventive maintenance program.

After the study, it was determined that in a state of improvement, using the maintenance method based on AMEF, NPR and Programming, tires 53 / 80R63 tend to perform with less repair times and longer operating times, since availability and reliability reaches optimum values, resulting in the average time between failures and time to repair efficient for the normal operation of the mobile mine units, which means that with proper programming and using times strictly according to the analysis and mode of effect of failures, the remarkable improvement in the lifetime efficiency of the tires will be achieved. Finally, an economic evaluation and cost-benefit study of the implementation of the maintenance plan and the corresponding calculation was carried out to determine the return on investment (ROI), obtaining an efficient value.

Keywords: 53 / 80R63 tires, failure mode and effect analysis, risk priority number, preventive maintenance plan

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se ha comprobado que la presencia de algunos metales es muy importante para el desarrollo de nuestra evolución tecnológica así uno de ellos es el cobre el cual desde su descubrimiento ha generado muchos aportes para la humanidad.

El cobre es el metal mas utilizado en la actualidad , siendo uno de los tercero s más importantes por detrás solamente del hierro y el aluminio. Las principales aplicaciones para este es metal, esque sirve como conductor de calor y electricidad en tubos de calefacción, todo tipo de dispositivos eléctricos y electrónicos ya sean móviles, computadores conductor eléctrico entre otros.

El Perú pose un potencial importante en el sector minero de cobre. Cerro Verde, Antamina y Las Bambas están dentro del top 10 de las minas de cobre más grandes del mundo. De acuerdo con el ICSG, la demanda de cobre ha aumentado considerablemente triplicando en los últimos, dando un fuerte impacto en el rubro minero.

La Empresa Minera Las Bambas, es una empresa productora de cobre ubicada en las provincias de Cotabambas y Grau en el departamento de Apurímac, en el centro de Perú. La operación de la mina inició en noviembre del 2015.

La mina contiene más de 1,08 millones de toneladas de concentrado de cobre, cuya inversión se estimó en unos US\$ 10.000 millones.

El primero de enero del 2016 se iniciaron las operaciones de la mina con los primeros convoyes de mineral transportados en una operación bimodal a cargo de la empresa ferroviaria [Perú Rail](#) del empresario Lorenzo Sousa.

La Empresa Minera Las Bambas, tiene problemas en el área de mantenimiento, pues ello radica en la corta vida útil de los neumáticos 53/80R63 Michelin en camiones Komatsu 930E, que son diseñados para una vida útil de 5000 hrs, pero solo llegan alcanzar solo vidas de entre (3800 – 4200) hrs de trabajo.

Actualmente el precio de un neumático es \$.34970.00, el año 2018 se obtuvo un consumo de 518 Neumáticos, para una flota de 45 camiones Komatsu 930E.

El área de mantenimiento tiene un presupuesto anual de \$.45'000,000.00 de los cuales el 40% (\$.18'000,000.00), se invierten en compra de neumáticos, mantenimiento y reencauche.

El único plan de mantenimiento que tiene la empresa minera Las Bambas, es el reencauche de sus neumáticos para aumentar la vida de 3800 a 5000 hrs y actualmente la empresa Neuma S.A. es la encargada de este tipo de reparaciones de estos neumáticos, cobrando en promedio \$ 16372.00 por neumático.

Las fallas o daños más críticos que presentan los neumáticos 53/80R63 Michelin, que limitan o acortan la vida de este, se muestran en la tabla 1.1.

Tabla 1: Fallas o daños operacionales críticos de los neumáticos 53/80R63 Michelin

Fallas o daños operacionales	causa
Cortes en la Banda de Rodamiento	Penetración de objeto extraño, pasante o no pasante.
Impactos en la Banda de Rodamiento	Impacto o golpe instantáneo con un objeto extraño o bache.
Separación por Cortes	Corte(s) agravado(s) por infiltración de agua(oxidación)
Arrancamientos	Patinaje sobre terrenos agresivos, presión de inflado excesiva.
Cortes en el Flanco	Perforación o corte accidental, generalmente en frentes de carga o descarga y transito muy cercano a las bermas.
Impactos en el Flanco	Impacto instantáneo con objeto extraño. Pellizco lateral al apoyar la esquina de la llanta en obstáculo de tamaño considerable. Ausencia o mal estado del botapiedras.
Burbujas	Sobrepasar la carga nominal de la llanta, bajo inflado o mal montaje.
Cortes numerosos circunferenciales	Envejecimiento del neumático, cortes evolutivos. Se puede asociar con baja presión durante su vida (numerosas flexiones), roces frecuentes.

Grietas en zona de apoyo	Incrustación del flange(pestaña) por: sobrecarga, bajo inflado, rebabas, descompensación de la suspensión, sobrecargas dinámicas. Calentamiento de zona baja por intensivo frenado o sistema de frenado defectuoso.
Separación Mecánica	Virajes a excesivas velocidades y radios de giro angostos. Sobreesfuerzo mecánico sobre los componentes internos del neumático.
Separación por Calor	Calentamiento producido por sobrepasar la carga nominal de la llanta asociada a ciclos numerosos y largos (TKPH alto)

La finalidad de este proyecto es diseñar y elegir el plan de mantenimiento correcto para prevenir, mejorar la eficiencia en tiempo de vida de los neumáticos 53/80 R63 Michelin en camiones Komatsu 930E, en la empresa minera “Las Bambas”

En la presente investigación hemos tomado de referencia los siguientes trabajos afines a la presente investigación, que se realizaron previamente:

(*) Artículo en revista de Ingeniería Industrial “Bases de Gestión de Mantenimiento” - España – Autor: Goti, 2008.

Paredes Sánchez, 2011; en su tesis titulada “Eficiencia en tiempo de vida de neumáticos con relación a rotación de posiciones uno y dos en volquetes Komatsu 930 E-3”, presentada en la Universidad Nacional de Ingeniería del Perú, desarrolla pruebas y análisis con la ayuda de la empresa Neuma Perú S.A., tomando una variable independiente como es la rotación de los neumáticos posición uno y dos, para determinar la influencia en la vida final dichos neumáticos; el estudio lo realizó en la empresa Minera Southern Copper– Southern Perú, Unidad Minera “Toquepala”. Ubicada en el departamento de Tacna, teniendo como constantes las vías de acarreo en buenas condiciones, las presiones de inflado de los neumáticos, la sobre-carga de material en el volquete y la temperatura del neumático, todos ellas muy importantes en la vida de los

neumáticos. Además, se tomó como variable independiente, las horas de rotación promedio en posiciones uno y dos.

La investigación concluye demostrando que en una comparación de actividades, existe una influencia significativa y positiva en relación con la vida útil de los neumáticos, cuando se realizan rotaciones en un promedio de 1800 horas, frente a las rotaciones de 1550 horas en promedio, tradicionales y antes estandarizadas: Rotando los neumáticos con 1800 horas promedio se obtiene el 10,75% de incremento en la vida de los neumáticos con relación a rotar los neumáticos a 1550 horas promedio, esto proporciona un ahorro significativo con relación al precio del neumático y a la escasez en el mercado.

Otra investigación tomada en cuenta como antecedente referente para el presente proyecto, constituye la tesis presentada por Allen Iberico Robles y Oscar Ernesto Figueroa Grados, en la Universidad César Vallejo de Trujillo titulada “Diagnóstico de fallas, mediante mantenimiento predictivo, para optimizar el servicio post venta de maquinaria pesada Volvo, en una empresa concesionaria automotriz”, en la cual se realiza un diagnóstico de fallas para la maquinaria pesada en operaciones productivas de mina, identificando las partes e insumos críticos de las máquinas mediante un análisis de criticidad, en cuyos resultados se incluyeron problemas con los neumáticos. Se ha determinado y proyectado un Plan de mantenimiento preventivo, incluyendo indicadores de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de dicha maquinaria en escenarios antes y después del plan, estableciendo que las máquinas tenían una disponibilidad mínima de 51.90% y máxima de 70.49%, confiabilidad mínima 98.53% y máxima 98.71%, inicialmente; versus una disponibilidad mínima de 88.61% y máxima de 91.78%, confiabilidad mínima 98.89% y máxima 98.93%, en situaciones de mejora; pero solamente con condiciones proyectadas, las mismas que sirvieron para simular la evaluación de sus costos de implementación de la mejora.

II. MARCO TEÓRICO

Definición de Mantenimiento.

Se debe tomar en cuenta los siguientes criterios para un correcto análisis de criticidad.

Los criterios por lo general están asociados con:

- ✓ La frecuencia de fallas
- ✓ El impacto operacional
- ✓ Flexibilidad operacional
- ✓ Costo de mantenimiento
- ✓ Impacto en el medio ambiente y seguridad.

a. Frecuencia de fallas:

Quando hablamos de frecuencia de fallas nos referimos al numero de veces en el cual se repite un suceso o evento y es considerado como una falla en el lapso de un año.

b. Impacto operacional:

Entendiéndose como los efectos causados en la producción.

Por lo tanto, el valor de criticidad de una falla, determina según la siguiente ecuación:

$$\text{Crt} = \text{FF} \times \text{C} \quad \dots \dots (1.7)$$

Dónde:

Crt.: Criticidad

FF: Frecuencia de falla

C: Consecuencia.

La consecuencia se determina por los siguientes criterios:

$$\text{Consecuencia} = \text{IO} \times \text{FO} + \text{CM} + \text{ISyMA} \dots \dots \dots (1.8)$$

Dónde:

IO: Impacto operacional

FO: Flexibilidad operacional

CM: costo de mantenimiento

ISyMA: Impacto de seguridad y medio ambiente

2 Índice de toneladas kilómetros por hora “TKPH”.

Es una nomenclatura utilizada para determinar la cantidad de trabajo

$$\text{TKPH} = \text{Velocidad media} * \text{Carga media} \quad \dots \dots \dots (1.9)$$

Dónde:

a. velocidad media:

$$\text{Velocidad media} = \frac{(\text{distancia de recorrido del ciclo}) * (\text{n}^\circ \text{ de viajes})}{\text{horas operativas del turno}} \dots (1.10)$$

b. carga media:

$$\text{Carga media} = \frac{\text{Peso camion vacio} + \text{Peso camion cargado}}{2} \quad \dots \dots (1.11)$$

Elementos que componen un neumático

Los elementos principales de un neumático son:

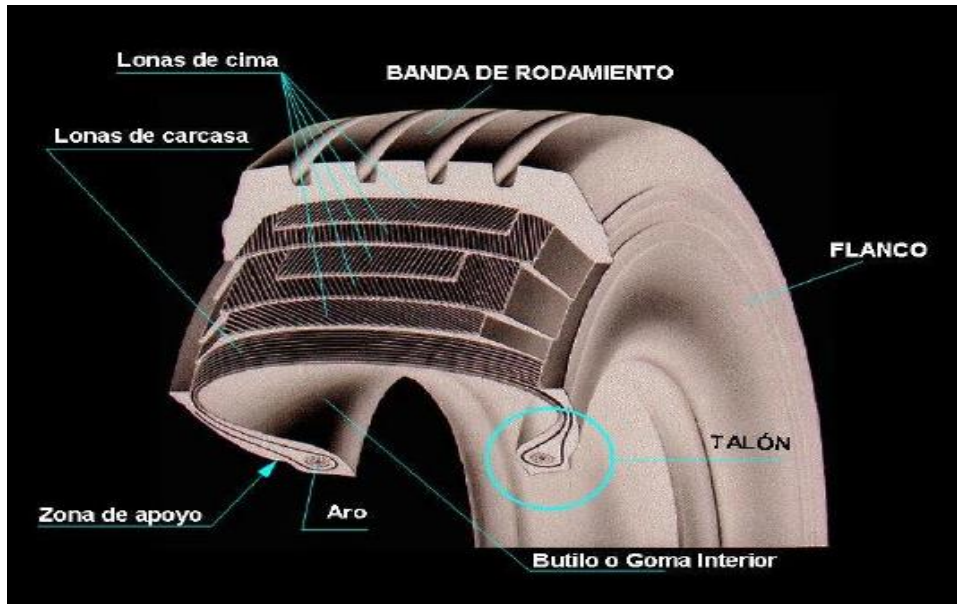


Figura 1.2. Elementos que componen un neumático.

Detalle terminológico del neumático:

La terminología de un neumático Michelin:

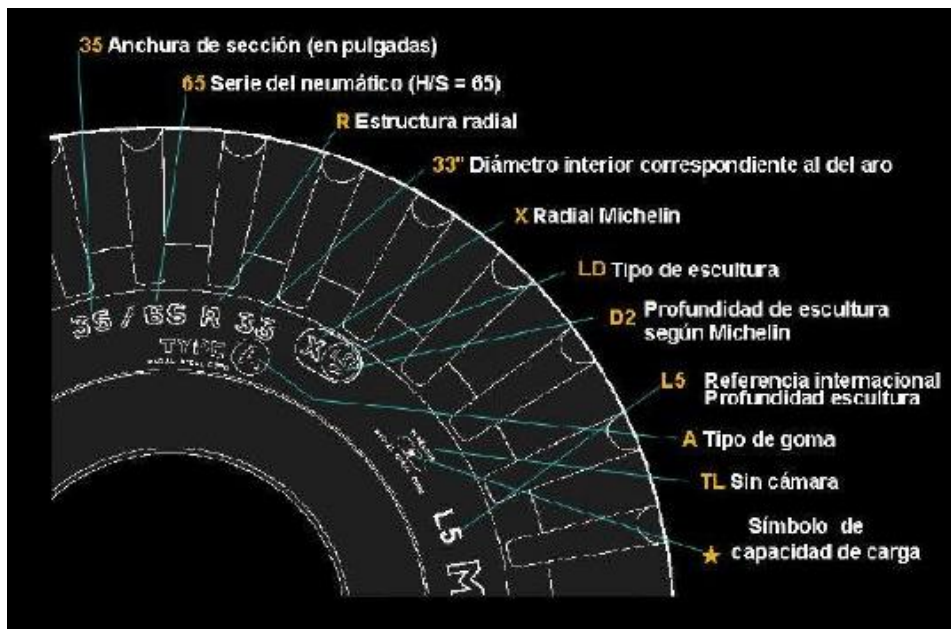


Figura 1.3. Terminología del neumático

2.1. Formulación del problema:

¿En qué medida el diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejorará la eficiencia en tiempo de vida de los neumáticos 53/80R63 Michelin en camiones Komatsu 930E, en la Empresa Minera Las Bambas?

2.2. Justificación de la investigación:

La presente investigación, se *justifica técnicamente* porque ayudara a resolver un problema de mantenimiento preventivo para mejorar la eficiencia en la vida útil de los neumáticos 53/80R63 Michelin y así aportar los conocimientos aprendidos a través de la formación como Ingeniero Mecánico.

Se *justifica económicamente* porque Este presente proyecto de tesis ayudara a minimizar la compra de neumáticos a corto plazo lo que nos lleva a una reducción en costos de operación en el área de mantenimiento, para los neumáticos 53/80R63 Michelin.

También tiene una *justificación social* porque beneficiará al sector minero, y sobre todo para aquellos que utilice neumáticos 53/80R63 Michelin, debido a que se alargará su vida llevándolos a su vida máxima, reduciendo su inversión en compra y así aumentar la producción.

Desde el punto de vista *ambiental*, El presente proyecto de tesis contribuye a la reducción del polímero (caucho), material del cual son hechas las llantas. Debido a que las llantas tendrán más horas de operación.

2.3. Hipótesis:

Mediante la aplicación del diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo para los neumáticos 53/80R63 Michelin en camiones Komatsu 930E, mejorará la eficiencia en tiempo de vida de los neumáticos, en la Empresa Minera Las Bambas.

2.4. Objetivos:

Objetivo general:

Diseñar e implementar un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la eficiencia en tiempo de vida de los neumáticos 53/80R63 Michelin en camiones Komatsu 930E, en la Empresa Minera Las Bambas

Objetivos específicos:

- Evaluar las condiciones iniciales del uso y mantenimiento de los neumáticos 53/80R63 Michelin en las unidades Komatsu 930E de la empresa minera Las Bambas, determinando los principales indicadores de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad.
- Identificar, mediante un análisis de criticidad, las fallas más importantes en los neumáticos 53/80R63 y su incidencia en paralización de las unidades Komatsu 930E.
- Diseñar e implementar un Plan de Mantenimiento para los neumáticos Michelin 53/80R63, determinando la máxima cantidad de trabajo que pueden soportar con respecto a la carga de trabajo de los camiones Komatsu 930E y los rangos de tiempo en el cual se puede rotar, en las diferentes posiciones, con el fin de obtener la mayor vida posible.
- Determinar, luego de la aplicación del Plan de Mantenimiento, los nuevos indicadores de Disponibilidad, Confiabilidad y Mantenibilidad en situación de mejora.
- Evaluar el costo-beneficio de la implementación de la mejora, en acuerdo al diagnóstico general.

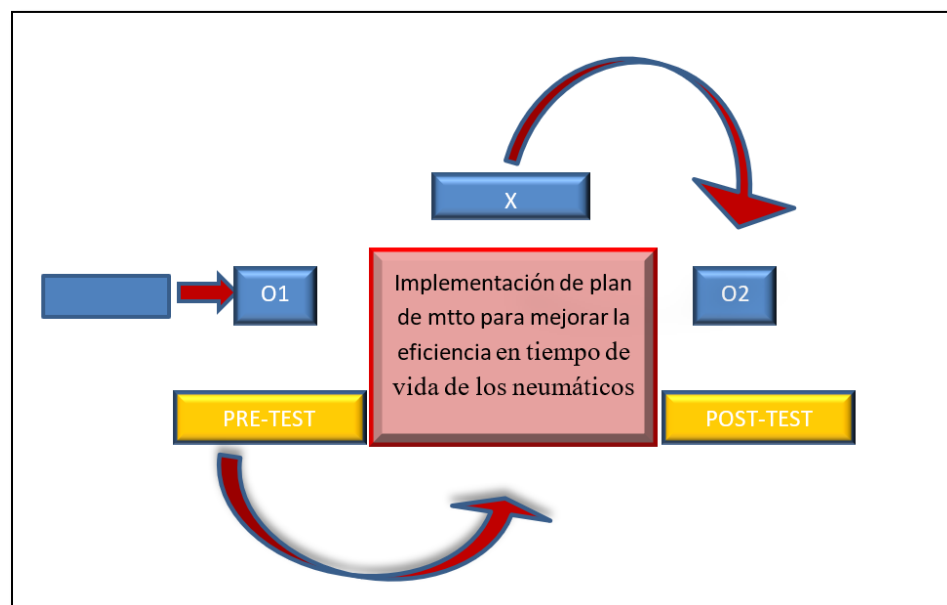
III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de estudio:

Cuando hablamos de investigación aplicada nos referimos a que se utiliza el mayor énfasis para resolver los problemas, en ello se aplica la toma de decisiones proponiendo mejoras continuas.

3.2. Diseño de investigación:

Es experimental porque se realizarán acciones sin manipular las variables independiente



Dónde:

G: Muestra (Gerstein S.A.C)

O1: Productividad en las maquinarias de la empresa Antes de X.

X: Implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, para aumentar la productividad.

O2: Productividad en las maquinarias de la empresa Después de X.

3.3. Variables y Operacionalización:

2.2.1. Variable independiente.

Plan de Mantenimiento Preventivo

2.2.2. Variable dependiente.

La eficacia para el tiempo de vida en la llanta.

Variables		Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Independiente	Plan de mantenimiento preventivo	Metodología de análisis de activos físicos, para determinar las actividades de mantenimiento a realizar para el cumplimiento de su función en un determinado contexto operativo.	Desarrollo de información estadística extraída de historiales y asignación de tareas de mantenimiento (Planes de mantenimiento).	TMEF. TMPR. TKPH. Disponibilidad. Confiabilidad. Mantenibilidad Costos.	Razón
Dependiente	Eficiencia en tiempo de vida de los neumáticos.	Es la relación de los niveles de operación de los neumáticos, obtenidos con todos los recursos utilizados para este fin, otorgando apreciaciones de calidad. Se debe considerar que es, el indicador más importante para este tipo de componente en vehículos pesados.	Asegurar que los neumáticos cumplan su función durante un periodo de tiempo establecido, lo cual permitirá reducir el tiempo de paradas imprevistas por mantenimiento y aumentar la operatividad de la unidad motorizada.	Horas de operación. Volumen de producción.	Razón

Tabla Nº 2: Operacionalización de variables. Fuente: Elaboración propia.

3.4. Población, muestra y muestreo.

3.4.1. Población:

Todos los neumáticos en camiones Komatsu 930E, de la empresa Minera Las Bambas de las marcas:

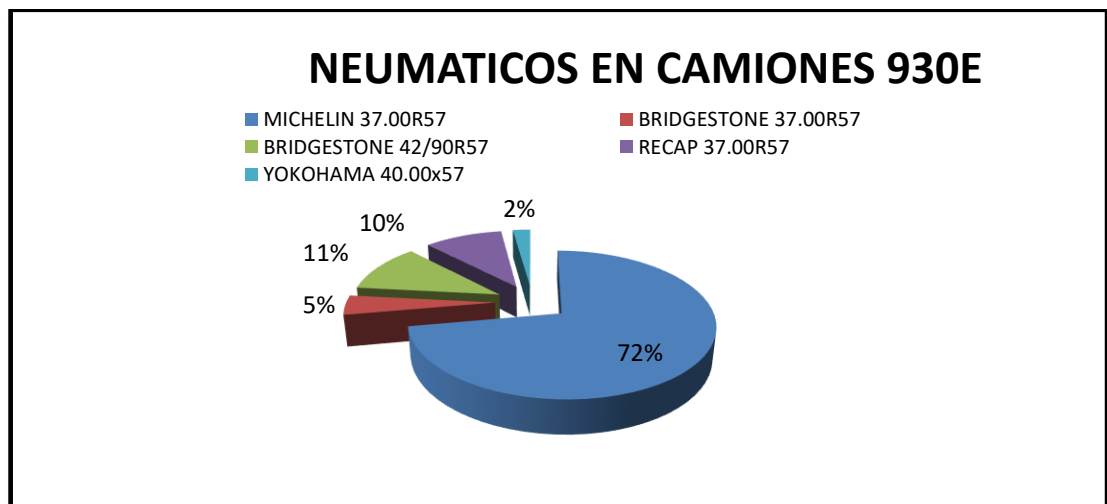
- Michelin 53/80R63
- Bridgestone 53/80R63

3.4.2. Muestra:

Debido a que actualmente el 70 % de la llantas instaladas en la flota 930E corresponde al uso de los neumáticos radiales Michelin, un 20% en Bridgestone y dejando un 10% para los neumáticos reencauchados.

La muestra sería:

- Los neumáticos 53/80R63 Michelin en camiones Komatsu 930E.



3.4.3. Muestreo:

- Muestreo no probabilístico - intencional.

Debido a que se conoce el comportamiento de la población (neumáticos).

3.5. Criterios de selección.

- Método de análisis.

Debido a que se identificaran todas las fallas posibles y condiciones de trabajo de los neumáticos Michelin 53/80R63, para establecer una relación de causa-efecto.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para recopilar la información necesaria, se utilizaran en esta investigación:

- Formularios (Análisis documental): para extraer información de historiales y reportes de mantenimiento
- La observación; para establecer las condiciones de trabajo de los neumáticos, es decir: sobrecarga, excesiva velocidad, condiciones del terreno e influencia del conductor.

3.7. Procedimiento de recolección de datos:

Con los historiales y reportes de mantenimiento obtendremos la siguiente recolección de datos:

- Vida o tiempo de operación del neumático.
- Tipos de fallas.
- Frecuencia de fallas.
- Desgaste.
- TKPH.
- Presión.
- Temperatura.

Con la observación: Para establecer las condiciones de trabajo de los neumáticos, es decir:

- Sobrecarga,
- Excesiva velocidad,
- Condiciones del terreno
- Influencia del conductor.

3.8. Validación y confiabilidad del instrumento

Los formularios, reportes e historiales, van a ser realizadas según los procedimientos establecidos por la empresa y validados por el profesional competente; mientras que las hojas de datos y observaciones, serán propuestos y elaborados por el tesista para el personal técnico de operación del sistema.

3.9. Métodos de análisis de datos.

- Análisis Cuantitativo

Para este análisis vamos a emplear la estadística descriptiva la cual consiste en las medidas de tendencia central y las medidas de dispersión y análisis de ingeniería, sustentados por datos de:

- Horómetros: registran el número de horas de trabajo de las unidades 730E, por lo consiguiente se puede determinar el tiempo de vida del neumático.
- Profundímetros de cocada: determinan el desgaste en mm. de la cocada del neumático.
- Manómetros: determinan la presión del fluido dentro del neumático.
- Termómetros: determinan la temperatura del fluido dentro del neumático.

- Análisis Cualitativo.

Para este análisis se va a confeccionar una guía de observación y guía de análisis.

IV. RESULTADOS

4.1. Evaluar las condiciones iniciales del uso y mantenimiento de los neumáticos 53/80R63 Michelin en las unidades Komatsu 930E de la empresa minera Las Bambas.

La evaluación inicial de los neumáticos se fundamenta en la solución de las fallas de éstos, contempladas a manera de muestreo en el siguiente cuadro y que refleja el estado inicial y las acciones realizadas en los 6 primeros meses de servicio de los camiones Komatsu 930E, en la empresa minera “Las Bambas”.

Tabla 3: *Fallas de activos fijos*

EQUIPO	NEUMÁTICO	FALLA
Camión Komatsu 930 HT004	MICHELIN XDR3 MB4/JLT0234V0A	Corte evolutivo en banda lateral (flanco)
Camión Komatsu 930 HT025	BRIDGESTONE V070 E2A/B8YE000088	Corte pasante en banda de rodamiento
Camión Komatsu 930 HT045	MICHELIN XDR3 MB4/B8RE000008	Corte profundo de banda de rodamiento
Camión Komatsu 930 HT015	MICHELIN XDR3 MB4/OLT1444V0A	Corte en banda lateral flanco (toca cuerda)
Camión Komatsu 930 HT042	BRIDGESTONE V070 E2A/B8LE00005	Corte profundo de banda de rodamiento T.C.
Camión Komatsu 930 HT011	MICHELIN XDR3 MB4/JLT0233V1A	Corte en banda lateral (flanco)
Camión Komatsu 930 HT014	MICHELIN XDR3 MB4/OLT0051V3A	Desgaste final en banda de rodamiento
Camión Komatsu 930 HT018	MICHELIN XDR3 MB4/B8LE00004	Corte profundo en banda de rodamiento
Camión Komatsu 930 HT024	MICHELIN XDR3 MB4/LLS0768L7A	Corte pasante en banda de rodamiento
Camión Komatsu 930 HT001	MICHELIN XDR3 MB4/JLT0241V3A	Corte pasante en banda de rodamiento

Camión Komatsu 930 HT016	BRIDGESTONE V070 E2A/B8RE00008	Separación en hombro y banda lateral
Camión Komatsu 930 HT045	BRIDGESTONE V070 E2A/B8RE00010	Corte pasante en banda lateral (flanco)
Camión Komatsu 930 HT034	MICHELIN XDR3 MB4/UVF1021VSA	Protuberancia en banda lateral (flanco)
Camión CAT 797 HT070	MICHELIN XDR3 MB4/SLT0918V7A	Corte profundo en banda de rodamiento
Camión Komatsu 930 HT036	BRIDGESTONE V063 Z2A	Corte pasante en banda de rodamiento
Camión Komatsu 930 HT003	MICHELIN XDR3 MB4/RLT0592S7A	Corte profundo en banda de rodamiento
Camión Komatsu 930 HT009	MICHELIN XDR3 MB4/OLT1480V4A	Corte pasante en banda de rodamiento

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Análisis de fallas de los neumáticos, aplicando los indicadores de disponibilidad y confiabilidad.

Tabla 4: Tabla resumen del cálculo de los indicadores de mantenimiento.

NEUMÁTICO	DESGASTE	TIEMPO OPERACIÓN	TIEMPO REPARACION	COSTO "PERDIDO"	DESGASTE COCADA
MICHELIN XDR3 MB4/JLT0234V0A	47%	3588	72	18534.00	52
BRIDGESTONE V070 E2A/B8YE000088	57%	3955	72	20260.08	62.5
MICHELIN XDR3 MB4/B8RE000008	56%	3860	72	18534.00	58.5
MICHELIN XDR3 MB4/OLT1444V0A	49%	3814	72	18534.00	54
BRIDGESTONE V070 E2A/B8LE000005	8%	1199	72	3755.00	10.5
MICHELIN XDR3 MB4/JLT0233V1A	28%	2905	72	15991.29	35
MICHELIN XDR3 MB4/OLT0051V3A	59%	4888	72	20632.30	66

MICHELIN XDR3 MB4/B8LE00004	10%	1442	72	3656.00	2
MICHELIN XDR3 MB4/LLS0768L7A	73%	5571	72	25529.00	90
MICHELIN XDR3 MB4/JLT0241V3A	48%	3787	72	17485.00	53
BRIDGESTONE V070 E2A/B8RE00008	60%	4381	72	21327.00	69
BRIDGESTONE V070 E2A/B8RE00010	35%	4502	72	26327.00	71
MICHELIN XDR3 MB4/UVF1021VSA	56%	6144	72	18534.00	69.5
MICHELIN XDR3 MB4/SLT0918V7A	41%	3279	72	19063.50	55
BRIDGESTONE V063 Z2A	68%	4694	72	25864.00	75.5
MICHELIN XDR3 MB4/RLT0592S7A	25%	2884	72	8090.00	26.5
MICHELIN XDR3 MB4/OLT1480V4A	68%	5131	72	25864.00	73.5
TOTAL :		66024	1224	307980.17	

INDICADORES:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo de operación}}{\text{Número de fallas}} = \frac{66024}{17} = 3883.764706 \text{ Hrs./falla}$$

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo de reparaciones}}{\text{Número de fallas}} = \frac{1224}{17} = 72 \text{ Hrs./falla.}$$

Por lo tanto:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} * 100 = \frac{3883.764706}{3883.764706+72} * 100 = 98.18\%$$

$$\text{Confiabilidad} = (e^{(-\lambda * TTP/100)}) * 100 = 84.10\%$$

Donde:

$$\lambda = 1/MTBF = 0.000257482$$

$$TTP = \text{Tiempo total de estudio} = 67248$$

4.3. Identificar, mediante un análisis de criticidad, las fallas más importantes en los neumáticos 53/80R63 y su incidencia en paralización de las unidades Komatsu 930E.

Tabla 5: *Tabla resumen del análisis de criticidad de los neumáticos 53/80R63*

N°	Elemento	Característica de Falla	Clasificación	Plan de Mantenimiento	Valor de criticidad
F1	Neumático JLT0234V0A	Corte evolutivo en banda lateral (flanco)	Crítico	Mantenimiento Predictivo	144
F2	Neumático B8YE000088	Corte pasante en banda de rodadura	Crítico	Mantenimiento Preventivo	108
F3	Neumático B8RE000008	Corte profundo de banda de rodadura	Crítico	Mantenimiento Reactivo	432
F4	Neumático OLT144V0A	Corte en banda lateral flanco (toda cuerda)	Crítico	Mantenimiento Preventivo	160
F5	Neumático B8LE000005	Corte profundo en banda de rodadura	Crítico	Mantenimiento Reactivo	432
F6	Neumático OLT051V3A	Desgaste final en banda de rodadura	Semi crítico	Mantenimiento Preventivo	90
F7	Neumático B8RE000008	Separación en hombro y banda lateral.	No crítico	Mantenimiento Predictivo	72
F8	Neumático B8RE000010	Corte pasante en banda lateral (flanco)	Semi crítico	Mantenimiento Preventivo	84

Fuente: Elaboración propia

4.4. Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para los neumáticos Michelin 53/80R63, determinando la máxima cantidad de trabajo que pueden soportar con respecto a la carga de trabajo de los camiones Komatsu 930E .

4.4.1. Implantar mediante el análisis de efecy modo de fallos (AMEF) y el número de prioridad de riesgos (NPR), las fallas críticas preponderantes.

En las siguientes tablas, se desarrollarán los AMEF para cada falla crítica de los neumáticos, a través de la elaboración de las hojas de información y toma de decisiones.

Tabla 6: Hoja de información del neumático JLT0234V0A

Hoja de información RCM	Máquina: Camión Komatsu 930 HT004	Ingeniero supervisor	Fecha	Hoja 1/1
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	
Permitir el sustento y el desplazamiento de una unidad móvil. Elemento que permite el libre manejo del equipo por parte del operador.	Incapacidad de continuar el desplazamiento de la unidad, porque el neumático delantero izquierdo progresivamente pierde presión.	Debido a un cuerpo extraño en el neumático, se produjo un <i>CORTE EVOLUTIVO EN LA BANDA LATERAL DEL NEUMÁTICO</i> , el cual en forma progresiva quedó inoperativo.	Baja presión final del neumático ocasiona paralización del camión Komatsu 930 HT004	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7: Hoja de información del neumático B8YE000088

Hoja de información RCM	Máquina: Camión Komatsu 930 HT025	Ingeniero supervisor	Fecha	Hoja 1/1
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	
Permitir el sustento y el desplazamiento de una unidad móvil. Elemento que permite el libre manejo del equipo por parte del operador.	Paralización inmediata de la unidad móvil, por pérdida súbita de presión en el neumático delantero derecho.	Por efecto de introducción repentina de una roca filuda, se presenta un gran <i>CORTE PASANTE EN BANDA DE RODADURA DEL NEUMÁTICO</i> , consecuentemente no permite el libre manejo del equipo	Paralización inmediata del camión Komatsu 930 HT025 por “ponchadura” súbita del neumático, con consecuencias de merma en la producción.	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8: Hoja de información del neumático B8RE000008

Hoja de información RCM	Máquina: Camión Komatsu 930 HT045	Ingeniero supervisor	Fecha	Hoja 1/1
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	
Permitir el sustento y el desplazamiento de una unidad móvil. Elemento que permite el libre manejo del equipo	Disparo en el sistema de actuación del relé de alarma por baja presión de un neumático, avisa el desperfecto.	Por la presencia de un cuerpo extraño en el enrocado de tránsito durante la operación en mina, se produjo un <i>CORTE PROFUNDO DE</i>	Baja presión inicial del neumático, ponchado de llanta; Toda la unidad (camión Komatsu 930 HT045), paraliza sus operaciones, con la	

por parte del operador.	<i>BANDA DE RODADURA DEL NEUMÁTICO DELANTERO IZQUIERDO</i> , el mismo que obligó a paralizar la unidad.	consecuencia de merma en la producción en mina.
-------------------------	---	---

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Hoja de información del neumático OLT1444VOA

Hoja de información RCM	Máquina: Camión Komatsu 930 HT015	Ingeniero supervisor	Fecha	Hoja 1/1
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	
Permitir el sustento y el desplazamiento de una unidad móvil. Elemento que permite el libre manejo del equipo por parte del operador.	Incapacidad de soportar en forma uniforme la unidad móvil, por falla en uno de los neumáticos posteriores ocasionando desequilibrio en su desplazamiento.	Por corrosión avanzada, falla el alambrado circunferencial de uno de los neumáticos posteriores y se produce <i>CORTE EN BANDA LATERAL DEL NEUMÁTICO: FLANCO (TODA CUERDA)</i> , lo que ocasiona disminución de avance y deterioro en el sistema de rodadura..	Desbalance en el sistema de transmisión del camión Komatsu 930 HT015, obligando a parar la unidad para el cambio de neumático y revisión de transmisión.	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Hoja de información del neumático B8LE00005

Hoja de información RCM	Máquina: Camión Komatsu 930 HT042	Ingeniero supervisor	Fecha	Hoja 1/1
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	
Permitir el sustento y el desplazamiento de una unidad móvil. Elemento que permite el libre manejo del equipo por parte del operador.	Trabamiento en el desplazamiento de la unidad móvil, por presencia de una platina metálica que se introdujo en un neumático.	Debido a un cuerpo extraño (platina metálica con filo) presente en el terreno de tránsito del camión minero, se produjo un <i>CORTE PROFUNDO EN LA BANDA DE RODADURA T.C. DEL NEUMÁTICO.</i> , el cual quedó inoperativo.	Intempestiva baja de presión en el neumático delantero derecho del camión Komatsu 930 HT042, ocasiona paralización de operaciones productivas en el sector de trabajo de dicha unidad móvil, hasta su reparación y cambio.	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Hoja de información del neumático OLT051V3A

Hoja de información RCM	Máquina: Camión Komatsu 930 HT014	Ingeniero supervisor	Fecha	Hoja 1/1
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	
Permitir el sustento y el desplazamiento de una unidad móvil. Elemento que permite el libre manejo del equipo por parte del operador.	Disminución apreciable en el espesor de la banda de rodadura del neumático, por vejez, ocasiona falla del mismo.	Por rodadura constante fuera de su tiempo de duración de un neumático posterior de la unidad móvil, se produce <i>DESGASTE FINAL EN BANDA DE RODADURA</i> que bloquea y paraliza al camión Komatsu 930 HT014,	Detener la unidad por insuficiencia de la unidad, por imposibilidad de rodadura y desplazamiento en terrenos de la mina.	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12: Hoja de información del neumático B8RE00008

Hoja de información RCM	Máquina: Camión Komatsu 930 HT016	Ingeniero supervisor	Fecha	Hoja 1/1
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	
Permitir el sustento y el desplazamiento de una unidad móvil. Elemento que permite el libre manejo del equipo por parte del operador.	Insuficiencia para el desplazamiento de la unidad móvil por colapsar la unión de rodadura y los flancos laterales por falla de anterior vulcanización.	Debido al constante tránsito del camión Komatsu 930 HT016 por vías ásperas y con fuerte rozamiento, se produjo la <i>SEPARACIÓN EN HOMBRO Y BANDA LATERAL DE RODADURA</i> del neumático delantero, el mismo que anteriormente fue vulcanizado.	“Desconchado” inmediato del neumático, el cual fue averiado totalmente y dado de baja. La unidad móvil, quedó inoperativa hasta la realización de cambio por un nuevo neumático.	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13: Hoja de información del neumático B8RE00010

Hoja de información RCM	Máquina: Camión Komatsu 930 HT045	Ingeniero supervisor	Fecha	Hoja 1/1
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	
Permitir el sustento y el desplazamiento de una unidad móvil. Elemento que permite el libre manejo del equipo	Incapacidad de continuación en rodadura la unidad móvil, por efecto de disminución repentina de la	Debido a un cuerpo extraño en el terreno de mina, donde se desplazaba el camión Komatsu 930 HT045, se produjo un gran <i>CORTE</i>	Baja presión súbita en el neumático delantero de la unidad móvil determina su paralización y en consecuencia, disminución de	

por parte del operador. presión de un neumático de la parte delantera. *PASANTE EN BANDA LATERAL (FLANCO)*, el cual ocasiona la inmediata paralización de la unidad. fuerza de maquinaria en la producción de mina.

Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Número de prioridad de riesgos (NPR).

Aquí se muestra la selección crítica de todas las fallas existentes se tomaron como muestra 11 bombas y para determinar los valores en cada falla la cual esta involucrada en el AMEF, se realizó lo siguiente:

Puntajes del AMEF

- NPR >200 **Inaceptable (I)**
- 200 > NPR < 125 **reducción deseable (R)**
- 125 > NPR **Aceptable**

Tabla 14: *Tabla de análisis del NPR*

Item	Descripción de la falla crítica	G	O	D	NPR
F1	Corte evolutivo en banda lateral (flanco).	7	6	4	168
F2	Corte pasante en banda de rodadura.	9	6	6	324
F3	Corte profundo de banda de rodadura.	10	6	8	480
F4	Corte en banda lateral flanco (toda cuerda).	9	4	5	180
F5	Corte profundo de banda de rodamiento T.C.	10	6	8	480
F6	Desgaste final en banda de rodadura.	5	3	6	90
F7	Separación en hombro y banda lateral.	10	6	8	480
F8	Corte pasante en banda lateral (flanco)	9	6	6	324

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, podemos decir que 5 fallas son indeseables (62.5%), 2 fallas son reducibles a deseables (25.0%) y 1 fallas es aceptable (12.5%).

4.4.3. Programa de Mantenimiento preventivo para los neumáticos 53/80R63 Michelin en camiones Komatsu 930E

Componentes	Diario	Semanal	Quincenal	Mensual
Bandas laterales de neumáticos (flancos)		Verificar desgaste Y cortes evolutivos.		
Bandas de rodadura de neumáticos.	Verificar el Cocado y espesor de bandas.			
Cuerdas de bandas laterales de flanco en neumáticos			Inspeccionar circunferencialmente los aseguramientos de las cuerdas de bandas laterales.	
Espesor de rodadura y profudidad de		Medir progreso de desgaste de espesor y determinar profundidad de cocada.		
Hombro y banda lateral de neumáticos.			Verificar el estado de vulcanizaciones anteriores de los neumáticos y	

	corregir levantamientos laterales de hombro y banda.	
Ruedas y neumáticos.	.	Comprobar y corregir desbalance de ruedas de las unidades móviles
Ruedas y neumáticos.		Comprobar y corregir desalineamientos de la dirección.
Ruedas y neumáticos.	Mediciones de presión y corrección de neumáticos bajos.	
Ruedas y neumáticos.		Mediciones de temperaturas en faena de unidades móviles, utilizando el pirómetro.

Elaboración propia.

4.5.Determinar, luego de la aplicación del Plan de Mantenimiento, los nuevos indicadores de Disponibilidad, Confiabilidad y Mantenibilidad en situación de mejora.

De acuerdo a los resultados de NPR, se dará solución al 62.5% en general para todas las fallas en los neumáticos 53/80R63 Michelin en camiones Komatsu 930E, existiendo aún el 37.5% de fallas entre deseables y aceptables.

Tabla 15: Determinación de nuevos indicadores.

NEUMÁTICO	TIEMPO OPERACIÓN	TIEMPO REPARACION
MICHELIN XDR3 MB4/JLT0234V0A	3633	27
BRIDGESTONE V070 E2A/B8YE000088	4000	27
MICHELIN XDR3 MB4/B8RE000008	3905	27
MICHELIN XDR3 MB4/OLT1444V0A	3859	27
BRIDGESTONE V070 E2A/B8LE00005	1244	27
MICHELIN XDR3 MB4/JLT0233V1A	2950	27
MICHELIN XDR3 MB4/OLT0051V3A	4933	27
MICHELIN XDR3 MB4/B8LE00004	1487	27
MICHELIN XDR3 MB4/LLS0768L7A	5616	27
MICHELIN XDR3 MB4/JLT0241V3A	3832	27
BRIDGESTONE V070 E2A/B8RE00008	4426	27
BRIDGESTONE V070 E2A/B8RE00010	4547	27
MICHELIN XDR3 MB4/UVF1021VSA	6179	27
MICHELIN XDR3 MB4/SLT0918V7A	3324	27
BRIDGESTONE V063 Z2A	4739	27
MICHELIN XDR3 MB4/RLT0592S7A	2929	27

MICHELIN XDR3	5176	27
MB4/OLT1480V4A		
TOTAL :	66779	459

Elaboración propia.

Comentario: Para la obtención del primer nuevo resultado de tiempo de reparación:

$$72 * 0.375 = 27 \text{ horas.}$$

Por lo tanto: Tiempo de operación = $(72 - 27) + 3588 = 3633$ Horas.

INDICADORES:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo de operación}}{\text{Número de fallas}} = \frac{66779}{17} = 3928.186471 \text{ Hrs./falla}$$

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo de reparaciones}}{\text{Número de fallas}} = \frac{459}{17} = 27 \text{ Hrs./falla.}$$

Por lo tanto:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100 = \frac{3928.186471}{3928.186471 + 27} * 100 = 99.32\%$$

$$\text{Confiabilidad} = (e^{(-\lambda * TTP/100)}) * 100 = 99.9\%$$

Donde:

$$\lambda = 1/MTBF = 0.00025457$$

$$TTP = \text{Tiempo total de estudio} = 67238$$

4.6. Evaluar el costo-beneficio de la implementación de la mejora, en acuerdo al diagnóstico general.

4.6.1. Beneficios económicos en reducción de horas perdidas:

Tabla 16: *Tabla de beneficio debido a la reducción de horas perdidas.*

Tiempo de reparación inicial (hrs/año)	Tiempo de reoaracupib en mejora (hrs/año)	Ahorro en horas perdidas (hrs/año)	Ahorro de “COSTO PERDIDO” (USD/año)
1224	459	765	192487.61

Por lo tanto, el beneficio económico y ahorro por disminución de fallas es:

$$B_{\text{ahorro fallos}} = 192487.61 \text{ US\$}/\text{año}$$

4.6.2. Costos por la implementación del mantenimiento.

Ver en anexos 07

Costo total en mantenimiento predictivo: 2 172.00 X 17 unidades = **36 924.00 USD**

4.6.3. Costos para la implementación del mantenimiento preventivo

Costo total en mantenimiento preventivo: 2 160.00 x 17 unidades = **36 720.00 USD**

4.6.4. Beneficio útil:

Tabla 19: *Tabla resumen de los costos en mantenimiento.*

Ahorro en horas perdidas	+ 192 487.00 USD/año
Costos predictivos	- 36 924.00 USD/año
Costos preventivos	- 36 720.00 USD/año
Beneficio útil	118 843.00 USD/año

Fuente: Elaboración propia.

4.6.5. Inversión en activos fijos y tecnología para la implementación del Plan basado en el AMEF

Tabla 20: *Tabla de inversión en activos fijos.*

Activos fijos	Cantidad	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
Equipo de vulcanizado de neumáticos	03	5200.00	15 600.00
Equipo para balanceo dinámico de ruedas	03	1700.00	5 100.00
Equipo de alineamiento	03	5960.00	17 830.00
Vibrómetro Láser	03	4000.00	12 000.00
Cámara termográfica PCE-TC 31.	03	5000.00	15 000.00
Materiales para vulcanizado (caucho, parches, pegamentos, accesorios, etc.)	01	3000.00	3 000.00
Instrucción al personal	17	150	2 550.00
Costo total			71 080.00

Fuente: Elaboración propia.

4.6.6. Retorno operacional de la inversión

$$R. O. I = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Beneficio útil}}$$

$$R. O. I = \frac{71\,080.00 \text{ USD}}{118\,843.00 \text{ USD/año}}$$

$$R. O. I = 0.6 \text{ años} \approx 7.18 \text{ meses}$$

V. DISCUSIONES

Como consecuencia del desarrollo de nuestra investigación, podemos asegurar que se ha demostrado la mejora de eficiencia en tiempos de vida de los neumáticos 53/80R63 para camiones Komatsu 930E de la minera Las Bambas, con el diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo, mediante el cual se ha logrado establecer indicadores de mantenimiento antes y después de la mejora para el modelo de gestión; de igual manera, se ha aplicado el AMEF para la obtención de planes de mantenimiento y se ha presentado la metodología del NPR y los componentes que se deben establecer como proceso de mejora en mantenimiento.

A manera de discutir nuestros resultados, tomaremos como referencia las comparaciones con nuestros antecedentes para la correspondiente contrastación:

En el artículo-encuesta de Goti (2008), si bien es cierto que asevera la “necesidad de establecer las bases de un sistema de gestión de mantenimiento que sirva para recopilar, analizar y estudiar las actividades realizadas, siendo imprescindible el desarrollo de ésta”, ello queda solamente como concepción; sin embargo, en nuestra investigación, a la par que identificamos la mejora como punto neurálgico de una gestión, establecemos mejoras mediante medición de indicadores y costos en un escenario minero, acorde con la realidad.

De acuerdo a la investigación de Paredes Sánchez (2011), donde desarrolla una metodología de conservación de neumáticos de volquetes Komatsu 930 E-3, basada en la rotación de posiciones cada cierto número de horas de operación, entendemos que ello es algo empírico por cuanto no se realizan cálculos ni metodologías de mejora continua; sino que solamente se realiza seguimiento y evaluaciones para establecer promedios de horas de rotación, cuyo resultado con 1800 horas se obtiene el incremento de 10.75% en la vida útil del neumático. Para nuestro estudio, el factor preponderante de un diseño e implementación de un plan de mantenimiento, representa investigación en el sentido de establecer criterios comparativos mediante indicadores que nos representan la disminución de tiempos de reparación del orden del 37.5%.

En contrastación con los resultados de la investigación de Iberico Robles y Figueroa Grados (2018), en la cual realizan un diagnóstico de fallas para maquinaria pesada en operaciones productivas de mina, identificando las partes e insumos críticos de las máquinas mediante un análisis de criticidad, en cuyos resultados se incluyeron

problemas con los neumáticos, determinan mediante su plan de mantenimiento intervalos de indicadores mínimos y máximos, antes y después; pero no establecen fehacientemente condiciones reales, sino solamente proyectadas que sirvieron para simular la evaluación de sus costos, siendo sus indicadores referenciales en el orden del 51.90 – 70.49% para disponibilidad y 98.53 – 98.71% para confiabilidad, antes del Plan de Mantenimiento, frente a valores proyectados del 88.61 – 91.78% para disponibilidad y 98.89 – 98.93% para confiabilidad, proyectada para después del plan. En nuestro caso, nuestros indicadores son mayores tanto antes, como después y nuestros valores son puntuales y precisos: 98.18% para disponibilidad y 84.10% para confiabilidad, antes del Plan de Mantenimiento, frente a valor establecido luego del diseño, de 99.32% para disponibilidad y 99.9% para confiabilidad.

VI. CONCLUSIONES.

- Al evaluar las condiciones iniciales del uso y mantenimiento de los neumáticos 53/80R63 Michelin de las unidades Komatsu 930E de la empresa minera Las Bambas, hemos determinado que los indicadores de mantenimiento tienen una disponibilidad de 98.18% y confiabilidad de 84.10%, resultado de un tiempo promedio entre fallas de 36 672 horas en total y un tiempo para reparar de 1224 horas en total y un tiempo de operación total de 66024 horas por las diecisiete máquinas que prestan servicios en mina.
- De acuerdo a un análisis de criticidad establecido para las fallas características en los neumáticos de las unidades móviles, en base a los 5 criterios establecidos: frecuencia de fallas, impacto operacional, flexibilidad operacional, costos de mantenimiento, impacto de seguridad y medio ambiente, se determinó que las fallas preponderantes generales son 8, identificadas como 5 críticas y 2 mediamente críticas y 1 no crítica, identificadas para cada neumático en el cuadro respectivo.
- Utilizando el método del Análisis de Modos y Efecto de Fallas (AMEF), se trabajaron las fallas críticas y mediamente críticas de las neumáticos de las unidades mineras, estableciendo a través del número de prioridad de riesgos (NPR) que 5 fallas (62,5%) son indeseables, 02 falla (25.0%) son reducibles a deseables y 1 falla (12.5%) se considera aceptable.
- Completando el Plan de mantenimiento a través del Programa respectivo para los neumáticos, se ha considerado adicionalmente del estudio del AMEF y NPR., el análisis de los diferentes componentes a ser tratados mediante mantenimiento preventivo y predictivo, estableciéndose frecuencias diarias, semanales, quincenal y mensuales de intervenciones, inspecciones, verificaciones y mediciones progresivas, a fin de mejorar los tiempos de paralizaciones de maquinaria por efecto de fallas en los neumáticos.

- En el presente trabajo hemos determinado haciendo uso del método de mantenimiento en base al AMEF, PRI y Programación, los neumáticos 53/80R63 tienden a desempeñarse con menos tiempos de reparaciones y mayores tiempos de operación, pues ahora la disponibilidad alcanza el 99.32% y la confiabilidad es casi perfecta, pues su valor asciende al 99.9%; resultados de un tiempo promedio entre fallas de 43 907.5 horas en total, y un tiempo para reparar de 459 horas y un tiempo de operación de 66779 horas en total por todas las unidades móviles de mina, lo que significa que con una programación adecuada y empleando tiempos estrictamente de acuerdo al análisis y modo de efecto de fallas, se conseguirá la mejora notable de tiempo de vida en los neumáticos.

- Mediante el análisis de evaluación económica y realizando un costo beneficio para mejorar la eficiencia en tiempos de vida útil del neumático 53/80R63 en camiones Komatsu 930E en la empresa minera Las Bambas, queda establecido que con teniendo un beneficio por ahorro/fallas de 192 487.61 US\$, costo por mantenimiento predictivo de 36 924.00 US\$ y un costo por mantenimiento preventivo de 36 720 US\$, queda como beneficio útil la suma de 118 843.00 US\$; por lo tanto tendremos como resultado final que, con una inversión de 71 080.00 US\$, producto de la adquisición de activos fijos, repuestos, accesorios y materiales, vs. el beneficio útil de 118 843.00 US\$/año, el Retorno Operacional de Inversión (ROI) será en un período de 7.188 meses, siendo positivo para la empresa.

- En los anexos se aprecia, los cuadros de características de velocidad, presión y temperatura de neumáticos, informes seleccionados de neumáticos con fallas características, cuadro resumen de fallas características de los neumáticos, criterios de evaluación del análisis de criticidad, evaluación del Número de prioridad de Riesgos.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda que todo el personal técnico/operador de la empresa minera “Las Bambas”, tiene que ser adiestrado y capacitado para poder interpretar los indicadores de Mantenimiento, y así poder identificar continuamente, las partes críticas de los activos físicos denominados neumáticos 53/80R63 en camiones Komatsu 930E, de su tratamiento, reparación y seguimiento para poder establecer una mejora en el trabajo

Se recomienda realizar continuamente y de acuerdo al programa de mantenimiento, realizar las actividades que involucren un sistema de gestión de mantenimiento basado en el análisis de modos y efectos de fallos, especialmente a la totalidad de los neumáticos 53/80R63 de los camiones Komatsu 930E de la empresa minera Las Bambas, dando estricto cumplimiento a las pautas establecidas las cuales están en las hojas de decisiones del AMEF.

Se recomienda establecer rutas de seguimiento continuo e inspecciones, de acuerdo al programa de mantenimiento y haciendo uso de las herramientas de mantenimiento predictivo indicadas en la presente investigación, de tal manera que exista siempre mejora en los trabajos de mantenimiento para obtener resultados eficientes con ello habrá la disminución de tiempos perdidos, si no existe un efectivo mantenimiento predictivo, los costos por cambio/reparación de fallas en los neumáticos, serían demasiado onerosos.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Calloni, Juan Carlos. 2007.** *Mantenimiento Preventivo Para Maquinas, Equipos E.* Primera. España : Librerías y Editorial Alsina, 2007. págs. 100-105. 9789505530144.
- Freddy Luis, Villar castillo. 2009.** *Ánalysis de Pareto* . [En línea] Producciones Freddy, 1 de Noviembre de 2009. [Citado el: 20 de Febreo de 2013.] <http://www.slideshare.net/freddy1953/5-analisis-de-pareto>.
- J., Rodrigo Pascual. 2002.** *Gestión Moderna de Mantenimiento. Santiago.Chile : s.n., 2002.*
- Jimeno, Miguel Vera y López. 2011.** Asignatura Carguio y transporte 2011. *Manual de arranque y transporte.* [En línea] 2011. [Citado el: 25 de Febrero de 2013]. <http://neumaticos.wikispaces.com/Neum%C3%A1tico>.
- Jose., Amendola Luis. 2002.** *Modelos mixtos de Confiabilidad.* Tercera. Valencia - España : Universidad Politécnica de Valencia España, 2002. págs. 28-30. 978-84-8363-052-5.
- Juan Carlos, Orrego Barrera. 2008.** *Ánalysis de Criticidad* . [En línea] Mantenimiento En Latinoamerica, 19 de Agosto de 2008. [Citado el: 5 de Febrero de 2013.] <http://www.slideshare.net/mantonline/anlisis-de-criticidad-presentation>.
- Kristellel., Ana. 2010.** Tipos de Metodos de Investigación. [En línea] SlideShare, 30 de Marzo de 2010. [Citado el: 15 de Enero de 2013.] <http://www.slideshare.net/kriiss2505/tipos-de-metodos-de-investigacion>.
- Michel, Moubray Jhon. 2004.** *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II.* USA-Lillington, North Carolina : Universitat, 2004. 8480216298.
- Paredes, C. 2008.** *Eficiencia en tiempo de vida de neumatico con relacion a rotacion de posiciones uno y dos en volquetes komatsu E-3.* Univercidad Nacional de Ingenieria. Lima : s.n., 2008.
- Rodrigo, Pascual J. 2002.** *Gestión Moderna de Mantenimiento.* Segunda. Santiago - Chile : Macmillan, 2002. pág. 288. 9788415426448.

IX. ANEXOS

Anexo 1: Tabla NEUMATICO - TKPH - VELOCIDAD - PRESION - TEMPERATURA

MARCA	DIMENSION	ESCULTURA	COMPUESTO	TKPH	Velocidad Media Km/Hr	PRESION RECOMENDADA		MEMS			
						DIRECCIONAL	TRACCION	PSI ABS MIN	PSI ABS MAX	° AMBAR	° ROJA
MICHELIN	53/80R63	XDR3	MB4	1320	20 Km/Hr	110	100	85	145	80°C	85°C
BRIDGESTONE	53/80R63	VRPS	E2A	1176	20 Km/Hr	110	105	85	145	80°C	85°C
BRIDGESTONE	53/80R63	V063	E2A	1176	20 Km/Hr	110	105	85	145	80°C	85°C
BRIDGESTONE	53/80R63	V070	E2A	1176	20 Km/Hr	110	105	85	145	80°C	85°C

Anexo 2: Informes de neumáticos



INFORME DE NEUMÁTICOS

TIPO DE DAÑO	CORTE PASANTE EN BANDA RODAMIENTO		
FECHA	22 DE JULIO 2019	TURNO	B
		HORA	21:00
EQUIPO	HT001	DESCRIPCIÓN	CAMION KOMATSU 930
LUGAR DEL ACCIDENTE	OPERACIÓN EN MINA		
OPERADOR			
ESPECIFICACIÓN DEL NEUMÁTICO	35/60R63, MICHELIN XDR3 MB4		
SERIE	JLT0241V3A	COCHADA ORIGINAL	110
HORAS	3,787	COCHADA REMANENTE	57 56
POSICIÓN	4	VALOR ORIGINAL	\$ 34,970.00
DESGASTE	482	VALOR REMANENTE	\$ 17,485.72
MOTIVO DE REMOCIÓN	CORTE PASANTE EN BANDA RODAMIENTO		
ZONA DE DAÑO	BANDA DE RODAMIENTO	DISPOSICIÓN FINAL	EVLUACION
RECOMENDACIONES	EVITAR EL PASO SOBRE DERRAME DE MATERIAL (ROCA) LIMPIEZA CONSTANTE EN LAS VIAS REPORTABILIDAD INMEDIATA (CONDICION DE VIAS)		
SUPERVISOR DE TURNO	HERBERT RAUL LIVIAS RIQUEZ		

EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



INFORME DE NEUMÁTICOS

TIPO DE DAÑO	CORTE PROFUNDO DE BANDA DE RODAMIENTO		
FECHA	02 DE JULIO 2019	TURNO	B
		HORA	3:00
EQUIPO	HT045	DESCRIPCIÓN	CAMION KOMATSU 930
LUGAR DEL ACCIDENTE	OPERACIÓN EN MINA		
OPERADOR			
ESPECIFICACIÓN DEL NEUMÁTICO	55160R63, MICHELIN XDR3 M64		
SERIE	68RE00008	COCAINA ORIGINAL	110
HORAS	3,860	COCAINA REMANENTE	48 55
POSICIÓN	3	VALOR ORIGINAL	\$ 34,970.00
DESgaste	562	VALOR REMANENTE	\$ 16,436.00
MOTIVO DE REMOCIÓN	CORTE PROFUNDO DE BANDA DE RODAMIENTO		
ZONA DE DAÑO	BANDA DE RODAMIENTO	DISPOSICIÓN FINAL	REPARACION
RECOMENDACIONES	EVITAR EL PASE SOBRE DERRAME DE MATERIAL (ROCA) LIMPIEZA CONSTANTE EN LAS VIAS REPORTABILIDAD INMEDIATA (CONDICION DE VIAS)		
SUPERVISOR DE TURNO	HERBERT RAUL LIVIAS RIQUEZ		

EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



INFORME DE NEUMÁTICOS

TIPO DE DAÑO	CORTE PASANTE EN BANDA LATERAL (FLANCO)		
FECHA	05 DE SETIEMBRE 2019	TURNO	B HORA 10:00
EQUIPO	HT045	DESCRIPCIÓN	CAMION KOMATSU 930
LUGAR DEL ACCIDENTE	OPERACIÓN EN MINA		
OPERADOR			
ESPECIFICACIÓN DEL NEUMÁTICO	53/80R63, BRIDGESTONE V070 E2A		
SERIE	B8RE00010	COCADA ORIGINAL	110
HORAS	4,502	COCADA REMANENTE	36 42
POSICIÓN	3	VALOR ORIGINAL	\$ 35,544.98
DESGASTE	35%	VALOR REMANENTE	\$ 9,217.98
MOTIVO DE REMOCIÓN	CORTE PASANTE EN BANDA LATERAL (FLANCO)		
ZONA DE DAÑO	BANDALATERAL	DISPOSICIÓN FINAL	SCRAP
RECOMENDACIONES	EVITAR EL PASO SOBRE DERRAME DE MATERIAL (ROCA) LIMPIEZA CONSTANTE EN LAS VIAS REPORTABILIDAD INMEDIATA (CONDICION DE VIAS)		
SUPERVISOR DE TURNO	HERBERT RAUL LIVIAS RIQUEZ		

EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



INFORME DE NEUMATICOS

TIPO DE DAÑO	CORTE PROFUNDO EN BANDA DE RODAMIENTO T.C		
FECHA	07 DE AGOSTO 2019	TURNO	B
		HORA	23:55
EQUIPO	HT - 070	DESCRIPCION	CAMION CAT 797
LUGAR DEL ACCIDENTE	OPERACIÓN EN MINA		
OPERADOR			
ESPECIFICACION DEL NEUMAT	59/80R63, MICHELIN XDR3 MB4		
SERIE	SLT0918V7A	COCADA ORIGINAL	118
HORAS	3279	COCADA REMANENTE	60 66
POSICION	3	VALOR ORIGINAL	\$ 40,899.87
DESGASTE	41.00%	VALOR REMANENTE	\$ 21,836.37
MOTIVO DE REMOCION	CORTE PROFUNDO EN BANDA DE RODAMIENTO		
ZONA DE DAÑO	BANDA DE RODAMIENTO	REPARACION	
RECOMENDACIONES	EVITAR EL PASO SOBRE DERRAME DE MATERIAL (ROCA) LIMPIEZA CONSTANTE EN LAS VIAS REPORTABILIDAD INMEDIATA (CONDICION DE VIAS)		
SUPERVISOR DE TURNO	HERBERT RAUL LIVIAS RIQUEZ		

PANEL FOTOGRAFICO



CUADRO RESUMEN DE PRINCIPALES FALLAS DE NEUMÁTICOS 53/80R63

EQUIPO	NEUMÁTICO	FALLA
Camión Komatsu 930 HT004	MICHELIN XDR3 MB4/JLT0234V0A	Corte evolutivo en banda lateral (flanco)
Camión Komatsu 930 HT025	BRIDGESTONE V070 E2A/B8YE000088	Corte pasante en banda de rodamiento
Camión Komatsu 930 HT045	MICHELIN XDR3 MB4/B8RE000008	Corte profundo de banda de rodamiento
Camión Komatsu 930 HT015	MICHELIN XDR3 MB4/OLT1444V0A	Corte en banda lateral flanco (toca cuerda)
Camión Komatsu 930 HT042	BRIDGESTONE V070 E2A/B8LE00005	Corte profundo de banda de rodamiento T.C.
Camión Komatsu 930 HT011	MICHELIN XDR3 MB4/JLT0233V1A	Corte en banda lateral (flanco)
Camión Komatsu 930 HT014	MICHELIN XDR3 MB4/OLT0051V3A	Desgaste final en banda de rodamiento
Camión Komatsu 930 HT018	MICHELIN XDR3 MB4/B8LE00004	Corte profundo en banda de rodamiento
Camión Komatsu 930 HT024	MICHELIN XDR3 MB4/LLS0768L7A	Corte pasante en banda de rodamiento
Camión Komatsu 930 HT001	MICHELIN XDR3 MB4/JLT0241V3A	Corte pasante en banda de rodamiento
Camión Komatsu 930 HT016	BRIDGESTONE V070 E2A/B8RE00008	Separación en hombro y banda lateral
Camión Komatsu 930 HT045	BRIDGESTONE V070 E2A/B8RE00010	Corte pasante en banda lateral (flanco)
Camión Komatsu 930 HT034	MICHELIN XDR3 MB4/UVF1021VSA	Protuberancia en banda lateral (flanco)
Camión CAT 797 HT070	MICHELIN XDR3 MB4/SLT0918V7A	Corte profundo en banda de rodamiento
Camión Komatsu 930 HT036	BRIDGESTONE V063 Z2A	Corte pasante en banda de rodamiento
Camión Komatsu 930 HT003	MICHELIN XDR3 MB4/RLT0592S7A	Corte profundo en banda de rodamiento
Camión Komatsu 930 HT009	MICHELIN XDR3 MB4/OLT1480V4A	Corte pasante en banda de rodamiento

Anexo 3: Criterios de evaluación del análisis de criticidad (Améndola, 2002)

Frecuencia de fallas	
Elevado mayor a 40 fallas/año	4
Promedio 20-40 fallas/año	3
Buena 10-20 fallas/año	2
Excelente menos de 10 fallas/año	1

Impacto Operacional	
Parada total del equipo	10
Parada parcial del equipo y repercute a otro equipo o subsistema	7-9
Impacta a niveles de producción o calidad	5-6
Repercute en costos operacionales asociado a disponibilidad	2-4
No genera ningún efecto significativo	1

Flexibilidad Operacional	
No existe opción igual o equipo similar de repuesto	4
El equipo puede seguir funcionando	2-3
Existe otro igual o disponible fuera del sistema (stand by)	1

Costo de mantenimiento	
Mayor o igual a US\$ 400 (incluye repuestos)	2
Inferior a US\$ 400 (incluye repuestos)	1

Impacto a Seguridad Ambiente e Higiene	
Accidente catastrófico	8
Accidente mayor serio	6-7
Accidente menor e incidente menor	4-5
<u>Cuasiaccidente</u> o incidente menor	2-3
Desvío	1
No provoca ningún tipo de riesgo	0

Anexo 4: Análisis de criticidad, valores críticos de las fallas según los elementos o componentes de los neumáticos.

Valores críticos de las fallas según elementos.

N° Fallas	Características de Falla	Elemento en Falla	Frecuencia de Fallas	I.O	F.O	C.M	I. S. A.H.	CONSECUENCIA	NIVEL DE CRITICIDAD
								IOxFOxCMxISMA	
F1	Corte evolutivo en banda lateral (flanco).	Neumático JLT0234V0A	1	9	2	2	4	144	C
F2	Corte pasante en banda de rodadura	Neumático B8YE000088	2	9	1	2	6	108	C
F3	Corte profundo de banda de rodadura	Neumático B8RE000008	2	9	4	2	6	432	C
F4	Corte en banda lateral flanco (toca cuerda)	Neumático OLT144V0A	2	8	2	2	5	160	C
F5	Corte profundo en banda de rodadura T.C.	Neumático B8LE000005	1	9	4	2	6	432	C
F6	Desgaste final en banda de rodadura	Neumático OLT051V3A	2	9	1	2	5	90	MC
F7	Separación en hombro y banda lateral	Neumático B8RE000008	1	6	2	2	3	72	NC
F8	Corte pasante en banda lateral (flanco)	Neumático B8RE000010	2	7	1	2	6	84	MC

Nivel de Criticidad	Cantidad
Críticos	5
Medio Crítico	2
No Crítico	1

Anexo 5: En la siguiente Gráfica, “Matriz de Criticidad” se muestra la intersección de la consecuencia y la frecuencia de falla ponderada dando como resultado una falla media crítica para el elemento.

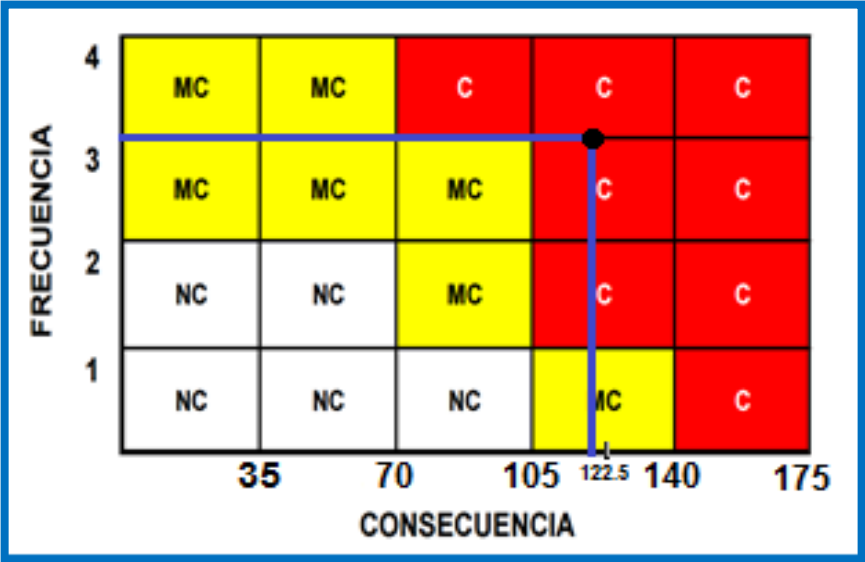


Figura - Intersección de la falla según la frecuencia y la consecuencia.
Fuente: Carlos Parra & Adolfo Márquez, 2012

Anexo 6. Criterios para evaluación del NPR (Améndola, 2002)

Gravedad	
Descripción	Puntaje
Imperceptible	1
Escasa, falla menor	2-3
Baja, fallo inminente	4-5
Media, fallo pero no para el sistema	6-7
Elevada, falla crítica	8-9
Muy elevada, con problemas de seguridad, no conformidad	10

Ocurrencia	
Descripción	Puntaje
1 falla en más de 2 años	1
1 falla cada 2 años	2-3
1 falla cada 1 año	4-5
1 falla entre 6 meses y 1 año	6-7
1 falla entre 1 a 6 meses	8-9
1 falla al mes	10

Detección	
Descripción	Puntaje
Obvia	1
Escasa	2-3
Moderada	4-5
Frecuente	6-7
Elevada	8-9
Muy elevada	10

Las características de análisis del NPR (Número de Prioridad de Riesgo):

$NPR > 200$ Fallas Inaceptables (I).

$125 < NPR \leq 200$ Fallas reducibles deseables (R).

$NPR \leq 125$ Fallas Aceptables (A).

Anexo 7. *Tabla de costos en mantenimiento predictivo en equipos de bombeo.*

Tabla 17: *Tabla de costos en mantenimiento predictivo en equipos de bombeo.*

Acción	Frecuencia	Costo unitario (USD)	Costo total (USD/año)
Trabajos de alineamiento	12 veces/año	30.00	360
Análisis vibracional y balanceo dinámico de las ruedas.	24 veces/año	35.50	852
Análisis termo gráfico	48 veces/año	20.00	960
Total			2 172.00

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 7. *Tabla de costos en mantenimiento preventivo en neumáticos.*

Tabla 18: *Tabla de costos en mantenimiento preventivo en neumáticos.*

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Motor			
Mantenimiento de Bandas laterales de neumáticos (flancos)	6	60.00	360.00
Mantenimiento de Bandas de rodadura de neumáticos.	6	70.00	420.00
Mantenimiento de Cuerdas de bandas laterales de flanco en neumáticos	6	40.00	240.00
Control de espesor de rodadura y profundidad de cocada.	6	20.00	120.00
Mantenimiento de Hombro y banda lateral de neumáticos	6	45.00	270.00
Comprobar y corregir desbalance de ruedas de las unidades móviles	6	60.00	360.00
Comprobar y corregir desalineamientos de la dirección.	6	30.00	180.00
Mediciones de temperaturas en faena de unidades móviles, utilizando el pirómetro.	6	25.00	150.00
Mediciones de presión y corrección de neumáticos bajos	6	10.00	60.00
Total:		360.00	2 160.00