



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento

**DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO APLICADO A LOS NEUMÁTICOS
DE UNA FLOTA DE TRACTOCAMIONES DE 300KW, PARA MAXIMIZAR SU RENDIMIENTO
KILOMÉTRICO**

Ing. Jorge Isaac Gutierrez Meza

Asesorado por la Msc. Inga. Sandra Ninett Ramírez Flores

Guatemala, septiembre de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO APLICADO A LOS NEUMÁTICOS
DE UNA FLOTA DE TRACTOCAMIONES DE 300KW, PARA MAXIMIZAR SU RENDIMIENTO
KILOMÉTRICO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. JORGE ISAAC GUTIERREZ MEZA

ASESORADO POR LA MSC. INGA. SANDRA NINETT RAMÍREZ FLORES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA

DECANO	Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADORA	Mtra. Inga. Rocío Carolina Medina Galindo
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Javier Fidelino García Tetzaguic
SECRETARIO	Mtro. Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO APLICADO A LOS NEUMÁTICOS DE UNA FLOTA DE TRACTOCAMIONES DE 300KW, PARA MAXIMIZAR SU RENDIMIENTO KILOMÉTRICO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 16 de mayo de 2019.

Ing. Jorge Isaac Gutierrez Meza

ACTO QUE DEDICO A:

Jesucristo	Por ser mí guía, Señor y Salvador, por darme la oportunidad de realizar mis estudios y bendecirme con mi familia y amigos.
Mi padre	Jorge Gutierrez Arenales, por ser mi fuente de inspiración, ejemplo de superación y perseverancia, y por su apoyo incondicional.
Mi madre	Esperanza Meza Gómez, por su esfuerzo y apoyo, por su amor y comprensión. Por su dedicación y aliento en mi camino.
Mi esposa	Norma Alejandrina Velásquez, por todos estos años de apoyo y sacrificio. Gracias por ser parte de este esfuerzo.
Mis hijas	Ximena y Camila Gutiérrez Velásquez, motores en mi vida, quienes inspiran mis días, la alegría de mi vida. Que este logro sea de ejemplo en el futuro.
Mis hermanos	Flor Alejandrina, Augusto César, Marcos David y Rocío Gutierrez Meza, por brindarme su apoyo.

Mis abuelos

Concepción Gómez (q. e. p. d.), Héctor Meza (q. e. p. d.), Georgina Arenales (q. e. p. d.), Marcos Gutiérrez (q. e. p. d.).

AGRADECIMIENTOS A:

Guatemala	Mi país, que me ha dado la oportunidad de servir y aportar como un profesional.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser influencia en mi carrera, ofreciéndome una excelente formación profesional. Gracias, gloriosa casa de estudios.
Facultad de Ingeniería	Por forjar los conocimientos necesarios, por ser influencia en mi carrera y deseo de aprendizaje.
Mis amigos de la Facultad	Con quienes compartí vivencias, experiencias, horas de estudio y buenas anécdotas.
Mi asesora	Msc. Inga. Sandra Ninett Ramírez Flores, por haberme guiado durante el trabajo de investigación.
Mi familia en general	Gracias por su apoyo.



DTG. 300.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO APLICADO A LOS NEUMÁTICOS DE UNA FLOTA DE TRACTOCAMIONES DE 300KW, PARA MAXIMIZAR SU RENDIMIENTO KILOMÉTRICO**, presentado por el Ingeniero **Jorge Isaac Gutierrez Meza** estudiante de la **Maestría en Ingeniería de Mantenimiento** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, octubre de 2020.

AACE/asga



Guatemala, Octubre de 2020

EEPFI-1209-2020

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y verificar la aprobación del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado: **"DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO APLICADO A NEUMÁTICOS DE UNA FLOTA DE TRACTOCAMIONES DE 300KW, PARA MAXIMIZAR SU RENDIMIENTO KILOMÉTRICO"** presentado por el **Ingeniero Jorge Isaac Gutiérrez Meza** quien se identifica con Carné **200011408** correspondiente al programa de **Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento**; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"



Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cofi
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, Octubre de 2020

EEPI-1208-2020

Como Coordinador de la **Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento** doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **"DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO APLICADO A LOS NEUMÁTICOS DE UNA FLOTA DE TRACTOCAMIONES DE 300KW, PARA MAXIMIZAR SU RENDIMIENTO KILOMÉTRICO"** presentado por el Ingeniero Jorge Isaac Gutiérrez Meza quien se identifica con Carné **200011408**.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"



Mtro. Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

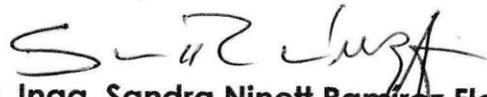
Guatemala, octubre de 2020

EEPFI-1210-2020

En mi calidad como Asesor del Ingeniero **Jorge Isaac Gutierrez Meza** quien se identifica con Carné **200011408** procedo a dar el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: "**DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO APLICADO A LOS NEUMÁTICOS DE UNA FLOTA DE TRACTOCAMIONES DE 300KW, PARA MAXIMIZAR SU RENDIMIENTO KILOMÉTRICO**" quien se encuentra en el programa de Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"



Mtra. Inga. Sandra Ninett Ramirez Flores
Asesora

Sandra Ninett Ramirez Flores
INGENIERA QUÍMICA, COL. No. 437
Msc. INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
RESUMEN MARCO METODOLÓGICO.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Industria del transporte.....	1
1.1.1. Definiciones y términos usados en transporte terrestre.....	2
1.1.2. Denominación de vehículos de carga por tipo.....	3
1.1.3. Industria de tractocamiones.....	3
1.1.3.1. Configuración de tractocamión.....	5
1.1.3.2. Sistemas de un tractocamión.....	7
1.1.4. Industria de tractocamiones en Guatemala.....	8
1.1.4.1. Parque vehicular en Guatemala.....	9
1.1.5. Descripción de la empresa.....	11
1.1.5.1. Administración de la empresa.....	12
1.1.5.2. Comercialización de la empresa.....	12
1.2. Mantenimiento.....	13
1.2.1. Tipos de mantenimiento.....	13
1.2.1.1. Mantenimiento correctivo.....	14

1.2.1.2.	Mantenimiento preventivo.....	14
1.2.1.3.	Mantenimiento predictivo	16
1.2.1.4.	Mantenimiento en uso.....	17
1.2.2.	Modelos de mantenimiento.....	18
1.2.2.1.	Modelo de mantenimiento correctivo ...	18
1.2.2.2.	Modelo de mantenimiento por condición	18
1.2.2.3.	Modelo de mantenimiento sistemático.....	19
1.2.2.4.	Modelo de mantenimiento de alta disponibilidad.....	19
1.2.3.	Estrategias de mantenimiento preventivo	19
1.2.3.1.	Mantenimiento productivo total TPM....	20
1.2.3.2.	Mantenimiento proactivo.....	21
1.2.3.3.	Mantenimiento de clase mundial WCM	22
1.2.3.4.	Mantenimiento preventivo centrado en fiabilidad RCM	23
1.2.4.	Indicadores de mantenimiento.....	25
1.2.4.1.	Disponibilidad	25
1.2.4.2.	Tiempo medio entre fallas TMEF	26
1.2.4.3.	Tiempo medio de reparación TMPR	27
1.2.5.	Cadena de fallos.....	28
1.3.	Neumáticos	29
1.3.1.	Construcción del neumático	29
1.3.2.	Estructura del neumático	31
1.3.3.	Dimensiones de los neumáticos	34
1.3.4.	Factores que influyen en el rendimiento del neumático.....	36

1.3.4.1.	Presión de inflado correcto.....	37
1.3.4.2.	Temperatura interna del neumático.....	41
1.3.4.3.	Aplicación del neumático.....	43
1.3.4.4.	Tipo de neumático.....	46
1.3.4.5.	Configuración de neumáticos duales....	46
1.3.4.6.	Conducción del tractocamión	50
1.3.4.7.	Problemas en los sistemas mecánicos del tractocamión	51
1.3.4.8.	Estado de las carreteras	54
1.3.5.	Nomenclatura del neumático.....	54
1.3.6.	Vitalización.....	60
1.3.7.	Maximización de rendimiento.....	60
2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	63
2.1.	Visita de reconocimiento.....	63
2.2.	Toma de datos en campo y recopilación de información	64
2.3.	Plan de mantenimiento preventivo.....	65
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	67
3.1.	Determinación del método de mantenimiento de la empresa...67	
3.1.1.	Aplicación de la observación directa	67
3.1.2.	Aplicación de la entrevista estructurada.....	70
3.2.	Causas que afectan el rendimiento kilométrico.....	76
3.2.1.	Determinación de los fallos técnicos	77
3.2.2.	Resultado de identificar las causas de bajo rendimiento kilométrico	82
3.3.	Variables de control para estandarización del mantenimiento preventivo.....	84
3.3.1.	Inspección visual y toma de datos.....	84

3.3.2.	Mediciones técnicas	86
3.3.3.	Ajuste de presión de neumáticos.....	86
3.3.4.	Consultas al manual de fabricante.....	88
3.3.5.	Alineación, balanceo y rotación de neumáticos	89
3.3.6.	Mantenimiento de partes mecánicas de tractocamión.....	93
3.3.7.	Resultado de definir las variables de control para mejorar rendimiento kilométrico.....	94
3.4.	Propuesta de plan de mantenimiento aplicado a neumáticos	100
3.4.1.	Creación de ficha técnica	101
3.4.2.	Componentes de los sistemas mecánicos de tractocamión.....	104
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	111
4.1.	Análisis interno.....	111
4.2.	Análisis externo.....	113
	CONCLUSIONES	115
	RECOMENDACIONES	117
	REFERENCIAS.....	119
	APÉNDICES	125
	ANEXOS	135

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Tipos de vehículos articulados	3
2.	Tractocamión Kenworth T460	5
3.	Numeración de neumáticos en tractocamión.....	6
4.	Partes de neumático radial.....	31
5.	Sección de banda de rodadura	32
6.	Dimensiones en neumáticos	34
7.	Presión de inflado correcto.....	37
8.	Baja presión de inflado	39
9.	Sobrepresión de inflado	40
10.	Recorrido en porcentaje debido a sobrecarga	41
11.	Efecto por sobrecalentamiento en ceja.....	42
12.	Aplicación de neumáticos a ejes de dirección	44
13.	Aplicación de neumáticos a ejes de tracción	45
14.	Aplicación de neumáticos a ejes libres	45
15.	Diferencia de diámetros en neumáticos duales	47
16.	Acoplamiento de neumáticos duales	48
17.	Índice de durabilidad en porcentaje.....	50
18.	Convergencia en neumáticos direccionales	52
19.	Desalineación en ejes posteriores.....	52
20.	Alineación de remolque	53
21.	Marcaciones sobre una llanta.....	55
22.	Descripción de DOT	59
23.	Código correlativo para identificar neumáticos	68

24.	Porcentaje de neumáticos con baja presión de inflado correcto.....	72
25.	Análisis FODA para mantenimiento de neumáticos	75
26.	Cantidad de neumáticos que no terminaron su vida útil	82
27.	Cantidad de vitalizaciones superior al límite de 3mm.....	83
28.	Ejemplo de datos de manual de fabricante	89
29.	Alineación de tractocamión	91
30.	Balanceo de neumáticos.....	92
31.	Rendimiento histórico	95
32.	Toma de profundidad.....	96
33.	Comparativo de rendimientos históricos y pronóstico	98
34.	Comparativo de TMEF.....	100

TABLAS

I.	Descripción de tractocamiones de la empresa	4
II.	Longitud de la red vial en Guatemala, según tipo de rodadura año 2014	9
III.	Parque vehicular Guatemala, julio 2019	10
IV.	Composición del neumático	30
V.	Cargas y presiones para neumáticos radiales	38
VI.	Anchos de neumático y espacio mínimo para acoplamientos duales	49
VII.	Índice de carga para neumáticos de tractocamiones	57
VIII.	Índice de velocidad para neumáticos	58
IX.	Claves para identificar número de rin	68
X.	Rendimiento kilométrico de neumáticos en el año 2018	70
XI.	Porcentaje de cumplimiento de programa de cambio de neumáticos 2018	73
XII.	Causas de bajo rendimiento de neumáticos	80
XIII.	Plan estratégico de estudio de neumáticos	85
XIV.	Medida de presión en neumáticos en kPa	87
XV.	Registro de alineación	90
XVI.	Rendimiento kilométrico histórico	94
XVII.	Pronóstico de rendimiento kilométrico	97
XVIII.	Ficha técnica de los sistemas mecánicos	102
XIX.	Lista de componentes de eje Dana Spicer E-1462I	104
XX.	Plan de mantenimiento	108

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
kg	Kilogramo.
km	Kilómetros.
kPa	Kilo Pascal
kW	Kilowatts
mm	Milímetro
%	Porcentaje
Q	Quetzales
t	Tonelada

GLOSARIO

Componente	Pieza esencial para el funcionamiento de una actividad mecánica, crea el potencial para realizar un trabajo.
Defecto	Ocurrencia en un <i>ítem</i> que no impide su funcionamiento.
Desgaste	Pérdida de la estructura superficial de un material, debido a una interacción contante y mecánica con una superficie.
Disponibilidad	Es la medida que indica cuánto tiempo está un equipo operando o listo para operar.
Falla	Ocurrencia de una avería en una máquina o equipo que impide su funcionamiento.
Ofimática	Técnicas, aplicaciones y herramientas informáticas que se utilizan en funciones de oficina para mejorar tareas y procedimientos.
Pila de desechos	Lugar físico donde se almacenan los neumáticos que terminaron su vida útil y están listos para su disposición final.

Rodadura	Rodada o huella del neumático, a través de la interacción de la superficie con el camino.
Tiempo medio entre fallas	Promedio de tiempo transcurrido entre una falla y la siguiente. Mientras más alto es este valor, más fiable es el equipo
Vida útil	Es la duración estimada que un equipo puede tener, cumpliendo correctamente con la función para la que ha sido creado.
Vulcanización	Proceso de calentamiento del caucho para mejorar sus características fisicoquímicas, renovando los neumáticos usados.

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo de investigación es diseñar un plan de mantenimiento preventivo aplicado a los neumáticos para una flota de 45 tractocamiones de 300kW para maximizar su rendimiento kilométrico.

Se abordó un problema relacionado con el bajo rendimiento kilométrico de los neumáticos de tractocamiones, en una empresa de transporte. La ineficiencia en el mantenimiento provocaba descontrol y pérdida de vida útil de neumáticos.

Este diseño de investigación se propone establecer las bases para realizar un mantenimiento apropiado a las partes mecánicas que interactúan directa o indirectamente con los neumáticos y a los neumáticos mismos, creando un mecanismo para hacer una selección apropiada y una aplicación correcta de los neumáticos, utilizando los datos de medición de desgaste y estimando el tiempo de vida de dichos neumáticos.

Los resultados obtenidos permiten concluir que la nueva metodología en el mantenimiento es satisfactoria para la empresa. Se mostraron mejoras en la estandarización de las variables de control y registros, por medio del diseño del plan de mantenimiento preventivo aplicado a los neumáticos de tractocamiones maximizando su rendimiento kilométrico con un pronóstico del 16 %.

Se le sugiere a la empresa que se aplique el plan a toda la flota de tractocamiones y ampliar el análisis a un estado económico calculando el ratio de costo por kilómetro.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Problema

La falta de mantenimiento en los neumáticos no poseía una adecuada planificación y ejecución de trabajos. Ocasionando una reducción en el rendimiento kilométrico de estos.

Descripción del problema

La empresa de transporte pesado, ubicada en el Departamento de Escuintla, realiza traslados sobre carreteras sinuosas sobre asfalto y pavimento. La empresa para su operación cuenta con un parque vehicular de 45 tractocamiones de 300kW de potencia con una distribución de 10 neumáticos por tractocamión. Debido a los inconvenientes presentados referentes a la administración de neumáticos en su mantenimiento, la maximización del rendimiento kilométrico y la aplicación de los neumáticos, se detectaron debilidades en el área administrativa, falta de control y gestión en los equipos, fallos no resueltos y ausencia de un plan de mantenimiento preventivo adecuado.

Pregunta central

¿Cómo se puede maximizar el rendimiento kilométrico en los neumáticos de una flota de tractocamiones de 300kW?

Preguntas auxiliares de investigación

- ¿Cómo se realiza el mantenimiento de los neumáticos en la empresa?
- ¿Qué factores son los que afectan el rendimiento kilométrico de los neumáticos?
- ¿Qué variables de control se pueden estandarizar en los procesos de mantenimiento y así aumentar el tiempo de vida de los neumáticos?

Delimitación

El departamento de neumáticos de la empresa está ubicado en el departamento de Escuintla. El tiempo de elaboración de la investigación fue de seis meses, iniciando en mayo de 2019. El objeto de estudio correspondió al equipo de técnicos y supervisor de neumáticos en el municipio de Escuintla.

OBJETIVOS

General

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo aplicado a los neumáticos para una flota de 45 tractocamiones de 300kW para maximizar su rendimiento kilométrico.

Específicos

- Determinar el método que se utiliza para realizar el mantenimiento de neumáticos en la empresa.
- Establecer las causas que afectan el rendimiento kilométrico en neumáticos de tractocamiones de la empresa.
- Definir las variables de control para estandarizar los procedimientos de mantenimiento, para aumentar el rendimiento kilométrico de los neumáticos.

RESUMEN MARCO METODOLÓGICO

La investigación realizada se enmarcó en un estudio mixto debido a sus características cualitativas y cuantitativas. El enfoque cualitativo se vio reflejado en la recolección de datos e información de causas de fallos de neumáticos, en campo por observación y respuestas de técnicos y supervisores del departamento de neumática. El enfoque cuantitativo se evidencia en que la información se sustentó con análisis de variables e interpretación de información estadística y la proyección de desgaste realizada para estimar el rendimiento kilométrico de los neumáticos.

El diseño fue no experimental, debido a que en las situaciones propuestas no se acudió a pruebas en laboratorio en condiciones forzadas, los datos y variables se mostraron y analizaron tal y como se presentaron.

El alcance de la investigación fue de tipo descriptivo, debido a que el trabajo es únicamente una propuesta. Muestra cómo era la situación en cuestión, analizando los procesos y se presentaron mejoras, estableciendo las variables de control.

Las principales variables estudiadas fueron las siguientes: kilometraje recorrido, durabilidad de banda de rodamiento, tiempo medio entre fallas, cumplimiento de cambio de neumáticos, presión de neumáticos, unidades trabajadas por mantenimiento de sistemas de suspensión, frenos y dirección.

Estas variables se midieron con los indicadores conteo de kilómetros recorridos, horas entre fallas, porcentaje de cumplimiento, porcentaje con menos

presión de la necesaria y cantidad realizada. Los instrumentos utilizados para recopilar y analizar los datos corresponden a la observación directa y entrevista estructurada. Las técnicas utilizadas para interpretar la información fueron gráficos de barras, gráficos circulares y tablas de datos.

La metodología planteada consistió en 4 fases principales que se listan a continuación:

- Recopilación documental de bibliografía existente para orientar el desarrollo de la investigación.
- Diagnóstico situacional de la empresa, donde se detalló la manera en que se administraba el mantenimiento. A si mismo se determinaron las causas que provocan un bajo rendimiento kilométrico en neumáticos, eligiendo como muestra de estudio setenta y cuatro neumáticos.
- Determinación de actividades que proporcionen una solución adecuada para diseñar un plan de mantenimiento de neumáticos y componentes mecánicos de suspensión, dirección y frenos.
- Diseñar un plan de mantenimiento aplicado a neumáticos que permita maximizar su rendimiento kilométrico por medio de estandarización en tareas que estén enfocadas en eliminar fallos. Se proyecta un incremento de rendimiento kilométrico, reducción de fallos y un aumento del tiempo medio entre fallas con el uso del plan de mantenimiento.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo de investigación es una sistematización ya que se presenta una propuesta en la mejora de procesos. Consistió en tratar un problema relacionado con la falta de control en el mantenimiento de neumáticos de una empresa de transporte pesado ubicada en el Departamento de Escuintla, la cual utiliza cuarenta y cinco tractocamiones para su operación y cada tractocamión está provisto de diez neumáticos. Para mejorar el rendimiento kilométrico de los neumáticos se diseñó un plan de mantenimiento preventivo, el cual brindará beneficios técnicos y económicos.

Para resolver el problema planteado se recurrió al diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en fiabilidad, fundamentada en la teoría existente. Se establecieron variables de control que permitieran abordar los fallos que limitan el rendimiento kilométrico de los neumáticos.

El informe se presenta en capítulos ordenados que permiten comprender el diseño del plan de mantenimiento. En el capítulo uno se redactó el marco teórico. En él se abordó y describió la teoría existente que respaldó los capítulos posteriores. Se describe al mantenimiento preventivo y la contextualización de conceptos y definiciones de carácter técnico necesarios para comprender los términos que identifican a un tractocamión y su industria; a los neumáticos; y al mantenimiento preventivo y su clasificación.

En el segundo capítulo, desarrollo de la investigación, se detalla de qué manera se realizó el proceso de la investigación. Describe los pasos que se efectuaron para completar esta investigación.

En el capítulo tres, se presentan los resultados obtenidos de la observación directa y entrevista estructurada. Se define el diagnóstico situacional de la empresa, detallando factores que afectan el rendimiento kilométrico de neumáticos. Se muestra la propuesta del plan de mantenimiento y se opta por la estrategia de mantenimiento basado en fiabilidad, que brinda opciones y beneficios que se adaptan a las necesidades de la empresa.

En el capítulo cuatro, se presenta la discusión de resultados. Con la información obtenida se plantearon los análisis interno y externo, donde se muestran mejoras significativas en la empresa. Se confirmaron los beneficios del diseño del plan de mantenimiento y se contrastaron los trabajos de otros autores con la presente investigación.

En conclusión, puede aseverarse que la investigación fue beneficiosa para el personal administrativo y técnico de la empresa de transporte. Muestra mejoras en los controles y técnicas de mantenimiento, estandariza las variables de control, ayuda a detectar y prevenir fallos con la finalidad de maximizar el rendimiento kilométrico de los neumáticos.

1. MARCO TEÓRICO

El desarrollo de la investigación se basa en la información bibliográfica recopilada sobre los neumáticos utilizados en una flota de tractocamiones. Para ello, se identificaron los factores que afectan su desempeño y cómo elaborar un plan de mantenimiento para incrementar su rendimiento kilométrico. La eficacia del diseño deberá ser evaluado mediante indicadores. La teoría se presenta a continuación.

1.1. Industria del transporte

En su concepto mecánico el transporte significa trasladar cargas o personas de un lugar a otro a través de una ruta, ya que estos servicios serán indispensables para las actividades económicas de una región. (Alday y Morales, 2000).

En términos generales se puede mencionar que existen varias modalidades de transporte por carretera, por ferrocarril, por agua y por aire. Para la presente investigación se aborda el transporte por carretera. De acuerdo con Acuña (2016) esta industria es intensiva, donde una gestión de logística adecuada de la mano de un mantenimiento correcto asegura una mayor productividad, mayor eficiencia y menores costos.

1.1.1. Definiciones y términos usados en transporte terrestre

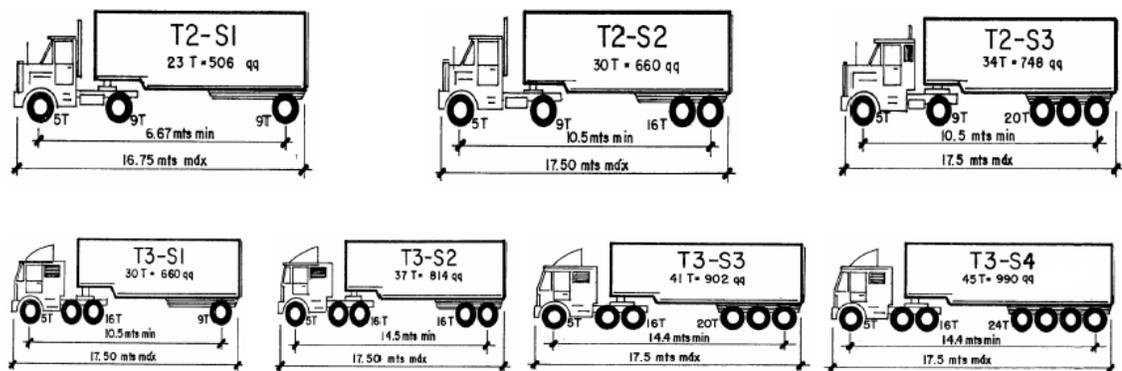
La administración del transporte debe conocer algunos términos relacionados a la gestión. A continuación, se lista una serie de definiciones y términos:

- Tractocamión: vehículo automotor destinado a tirar de un semirremolque que cuenta con un acoplamiento adecuado para tal función.
- Acoplamiento: mecanismo de conexión que une el tractocamión con el vehículo remolcado.
- Semirremolque: vehículo sin motor ni eje delantero, descansa sobre el acoplamiento del tractocamión quien tira de él.
- Distancia entre ejes: distancia medida de centro a centro de ejes, medida paralela al eje.
- Eje simple: se denomina al eje compuesto por dos ruedas, una en cada extremo. Pueden ser ruedas dobles.
- Doble eje: también se le denomina tándem y es el mecanismo compuesto por dos ejes simples de ruedas dobles.
- Peso tara vehicular: es el peso solamente del vehículo, sin carga compuesto de todas sus partes mecánicas.
- Peso bruto vehicular (PBV): suma del peso tara vehicular y el peso de la carga, incluyendo combustible, lubricante y operador.
- Peso por eje: es el peso concentrado en un eje el cual transfiere a los neumáticos medidos en la superficie de rodamiento.
- Vehículo articulado: es el compuesto por un tractocamión y un semirremolque.

1.1.2. Denominación de vehículos de carga por tipo

Para clasificar a los diferentes tipos de vehículo de carga, el Ministerio de Infraestructura y Vivienda en su reglamento para el control de pesos y dimensiones de vehículos automotores de carga y sus combinaciones presenta una clasificación basada en la disposición de sus ejes, En la figura 1 se muestra la clasificación de vehículos articulados, donde la “T” significa tractocamión y la “S” semirremolque.

Figura 1. Tipos de vehículos articulados



Fuente: Ministerio de comunicaciones, infraestructura y vivienda Guatemala, C.A. (2010).
Reglamento para el control de pesos y dimensiones de vehículos automotores de carga y sus combinaciones.

1.1.3. Industria de tractocamiones

La finalidad del transporte con tractocamiones consiste en solucionar problemas de distribución, por lo que la actividad representa una cadena de producción y consumo. (Alday, *et al.*, 2008).

Para comprender de mejor manera el uso, la configuración y las características de un tracto camión, así como la empresa donde se realiza el estudio, se describen los conceptos relacionados.

Un tractocamión es un vehículo que cumple con las características de un camión de carga, pero esta tira de un semirremolque, quien lleva la carga para trasladarla (Alday, *et al.*, 2008). En el presente estudio se hará referencia a los tractocamiones de 300kW de potencia.

Los tractocamiones para analizar con los que cuenta la empresa son de marca Kenworth modelo T460, la descripción de estos tractocamiones se presenta en la tabla I. La potencia se refiere específicamente a la del motor de combustión interna. El motor realiza un trabajo mecánico para trasladar cargas y mercadería, para lo cual se emplean diferentes sistemas y mecanismos, los últimos componentes en recibir movimiento son los neumáticos, quienes se encargan de hacer el trabajo tracción, frenado y dirección en el tractocamión.

Tabla I. **Descripción de tractocamiones de la empresa**

Item	Descripción
Vehículo	Tractocamión Kenworth T460
Tipo de vehículo	T3
Cantidad de ejes	3 ejes
Capacidad de carga de eje delantero	6600 Kg
Capacidad de carga de ejes traseros	18000 Kg
Motor	Cummins ISM electrónico de 300KW
Transmisión	Eaton Fuller RTLO16913A
Cantidad de neumáticos	10 neumáticos
Distancia entre ejes	5280 mm
Suspensión trasera	Neumática KWAG400
Suspensión delantera	Muelles 2 hojas
Frenos	Frenos de tambor de 419 mm

Fuente: elaboración propia.

La figura 2 muestra una imagen de un tractocamión como el que utiliza la empresa de la presente investigación. El tractocamión emplea neumáticos que se distribuyen en sus ejes y que de acuerdo con su aplicación tiene neumáticos direccionales en el eje delantero y de tracción en los dos ejes traseros. (Paucar *et al.*, 2015).

Figura 2. **Tractocamión Kenworth T460**



Fuente: Kenworth México. Consultado el 1 de octubre de 2019. Recuperado de <https://www.kenworth.com.mx/modelos/t460/>

1.1.3.1. Configuración de tractocamión

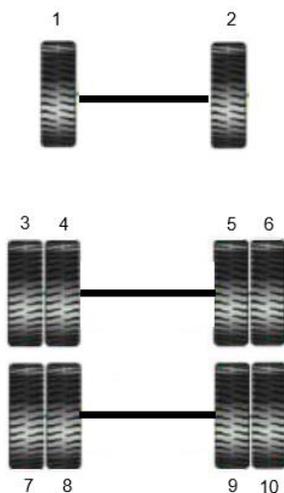
El tren motriz de un tractocamión inicia desde el motor térmico hasta los neumáticos, pasando por los diferentes sistemas que generan torque y potencia. Según se requiera el tractocamión puede tener más torque o más desplazamiento, esto se logra diseñando los sistemas de transmisión, diferenciales y potencia de motor.

Es importante destacar que los tractocamiones que serán objeto de estudio cumplen con una configuración básica del tipo 6x4, es decir que cuentan con tres ejes, pero solo dos de ellos pueden tener tracción, así como se presenta en la figura siguiente.

En los ejes de tracción se cuenta con dos neumáticos para mejorar la tracción e incrementar la capacidad de carga.

Para identificar cada neumático se enumeran iniciando por la llanta delantera izquierda hasta la última trasera, siguiendo un patrón de izquierda a derecha, como se muestra en la figura 3.

Figura 3. **Numeración de neumáticos en tractocamión**



Fuente: elaboración propia.

Los tractocamiones modernos utilizan más de un módulo de control electrónico para mejorar su desempeño, disminuir su consumo energético y poder diagnosticar sus componentes mecánicos y eléctricos.

Estos módulos de control electrónico cuentan con configuraciones preestablecidas, un dato muy importante a considerar es el de la medida del neumático, ya que este valor es utilizado en múltiples cálculos de los módulos. Si por algún motivo se requiere cambiar la medida del neumático se debe acceder al módulo de control electrónico con una interfaz y software específico para realizar la modificación pertinente.

1.1.3.2. Sistemas de un tractocamión

Los sistemas se refieren al grupo de dispositivos que conforman cada una de las partes que hacen funcional a un tractocamión. Y se componen de tal forma que puedan facilitar el mantenimiento y acciones a fallas.

- Motor
- Inyección de combustible
- Enfriamiento
- Neumática
- Electromecánica
- Dirección
- Embrague
- Transmisión
- Rodaje
- Chasis
- Cabina
- Frenos
- Neumáticos
- Accesorios

Este estudio se enfocará en las partes del tractocamión que tiene interacción con los neumáticos: frenos, dirección y propiamente los neumáticos.

De acuerdo con Alday, et al., (2008) si no se tiene una administración de la flota se produce un error que se traduce en una reducción de la disponibilidad y con seguridad una caída en las ventas y los costos de mantenimiento se eleven.

1.1.4. Industria de tractocamiones en Guatemala

De acuerdo con el medio que se utilice, este puede ser marítimo, aéreo o terrestre. Actualmente, es un eslabón en la cadena del comercio, telecomunicaciones, azúcar e industria. Es importante ya que una productos y consumidores convirtiéndose en un medio necesario para coordinar con otros medios de transporte.

En Guatemala, la red vial en el 2014 tenía una longitud de 16,860 km, de estos el 44 % se encuentra asfaltado y pavimentado y el resto son caminos rurales y de terracería. El transporte terrestre de carga compone uno de los principales medios para la distribución de mercancías.

La empresa de transporte del presente estudio es una empresa guatemalteca dedicada al transporte en el territorio nacional y su alcance puede llegar a Centroamérica. Según su operación, realiza esta acción utilizando tractocamiones los cuales tiran de semirremolques.

De acuerdo con Martínez, M. (2006), la importancia del transporte se enfatizó a mediados del siglo XX y la construcción de carreteras, con un crecimiento porcentual que no es comparable con el número de vehículos en circulación. En la tabla II se muestra la longitud de red vial que existía en

Guatemala en el año 2014, información que sirve de referencia para comprender los tipos de carreteras que hay en el país.

Tabla II. **Longitud de la red vial en Guatemala, según tipo de rodadura año 2014**

TIPO DE RODADURA	TOTAL KILÓMETROS	%
ASFALTO	7,185.941	42.62%
PAVIMENTO	234.450	1.39%
TERRACERIA	5,027.863	29.82%
CAMINOS RURALES	4,412.426	26.17%
TOTAL	16,860.680	100.00%

Fuente: Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y vivienda. Dirección General de Caminos. Consultado el 1 de octubre de 2019. Recuperado de <https://www.caminos.gob.gt/Descargas/Red%20Vial%20Registrada%202014.pdf>

Existe una variedad de vehículos y equipos para el transporte de cargas. Los vehículos se clasifican en: camiones, tractocamiones, automóviles y otros similares.

Los equipos o semirremolques están comprendidos por furgones, plataformas, cisternas, camiones con furgón o con carrocería. Una clasificación de los vehículos de transporte de carga es el tractocamión, categorizado de acuerdo con su estructura, su capacidad de carga y el número de ejes.

1.1.4.1. Parque vehicular en Guatemala

Se denomina parque vehicular a la cantidad de vehículos distribuida en una región. Para un propietario de flota le es útil conocer su participación y para

proveedores les ayuda a conocer el posicionamiento de las marcas de vehículos para genera estrategias económicas.

De acuerdo con la Superintendencia de Administración Tributaria SAT, para julio del año 2019 el parque vehicular era de 3,714,002. Un 24.8 % son vehículos recientes de seis años de antigüedad, como se describe en la tabla III.

Tabla III. **Parque vehicular Guatemala, julio 2019**

Tipo de vehículo		Cantidad Jul- 2019
Automóviles	51.35%	1,907,250
Motocicletas	39.84%	1,479,590
Camiones, cabezales y transporte de carga	4.30%	159,656
Autobuses, buses, microbuses	3.09%	114,764
Furgones, plataformas y carretones	1.04%	38,553
Otros	0.32%	12,067
Grúas	0.04%	1,335
Tractores y mini tractores	0.02%	787
TOTAL		3,714,002

Fuente: Superintendencia de Administración Tributaria (SAT). *Parque vehicular Guatemala julio 2019*. Consultado el 2 de octubre de 2019. Recuperado de [https://portal .sat.gob. gt/portal /parque-vehicular/](https://portal.sat.gob.gt/portal/parque-vehicular/).

El transporte pesado, si se incluyen los vehículos relacionados a la carga y transporte de personas, suman el 8.43 % del parque vehicular. Es importante conocer esta cantidad de vehículos pesados debido a que son de interés para la presente investigación.

1.1.5. Descripción de la empresa

La empresa de transporte se dedica a realizar entregas de cargas de distribución local, exportaciones y descarga de embarques de importación. Se encuentra ubicada en el departamento de Escuintla, cuenta con una flota de 45 tractocamiones de 300kW, 100 semirremolques, 50 camiones de diferente capacidad.

La empresa realiza el traslado de mercancía perecedera por carreteras sinuosas, sobre asfalto y pavimento, haciendo la distribución en áreas urbanas, rurales y zonas regionales.

El departamento de transporte tiene un tipo de estructura vertical. El jefe de transportes es el encargado de administrar las actividades operativas y administrativas.

El supervisor de transporte tiene la responsabilidad de evaluar y coordinar los procesos de logística, inspeccionar el estado de las unidades, así como reportar fallas mecánicas en cualquier unidad de la flota.

Cuenta con un departamento de mantenimiento se encarga de gestionar reparaciones y propiamente el mantenimiento, dentro de esta estructura existe el departamento que controla los neumáticos.

La empresa cuenta dentro de sus instalaciones con un taller para mantenimiento vehicular, gasolinera, llantera, patio de maniobras, oficinas administrativas, bodega de suministros y repuestos, comedor para uso del personal y servicios.

1.1.5.1. Administración de la empresa

La empresa de transporte, como lo define Alday, et al. (2008), es la unidad económica que como industria debe distribuir productos a un costo determinado. Los costos de transporte incluyen mantenimiento, combustible, depreciación, costos administrativos y costos de infraestructura.

El mantenimiento es uno de los rubros que aportará a los costos y a la calidad del producto entregado, por lo que se debe gestionar adecuadamente. Por ello, el mantenimiento a neumáticos debe realizarse eficientemente, buscando la mejor estrategia para conseguirlo.

La mayoría de las rutas que toman las unidades son de asfalto y pavimento, pero existe un porcentaje de terracería, para lo cual se debe considerar el diseño de neumático que se utilizará.

1.1.5.2. Comercialización de la empresa

La empresa tiene como finalidad cumplir con cargas en tiempo y completas, así como mantener una tarifa de flete. Por eso, se hace hincapié en el conocimiento de su negocio garantizando la sustentabilidad de su servicio.

La empresa de transporte debe mantener condiciones de calidad, seguras y que pueda cubrir sus costos de operación y las inversiones realizadas. Por esta razón, resulta importante que a través del mantenimiento se logren estrategias que aporten a la maximización de los componentes principales del tractocamión y a su vez se haga de una forma segura.

Uno de los rubros más sobresalientes en la administración de la empresa de transporte son los neumáticos.

1.2. Mantenimiento

Se define el mantenimiento como la actividad de “sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo” (Mora 2009). Mantiene la funcionalidad con el fin de que el equipo produzca el servicio para el que fue diseñado.

El mantenimiento debe asegurar que los equipos continúen desempeñando las funciones deseadas. (Cárcel, 2014).

El mantenimiento a progresado presentando generaciones, las empresas adoptan un tipo de mantenimiento en función de sus metas productivas.

En el tractocamión las actividades de mantenimiento son indispensables, principalmente el de los sistemas y componentes críticos como los neumáticos, asimismo, el mantenimiento de los elementos mecánicos que conjugan e interactúan con estos. Un buen desempeño del neumático es esencial, evitando poner en riesgo la operación y la de vidas humanas.

1.2.1. Tipos de mantenimiento

El mantenimiento ha evolucionado y las filosofías van cambiando y mejorándose, permiten métodos más proclives utilización de equipos y sistemas con ordenadores, por otra parte, las legislaciones sobre seguridad e higiene en el trabajo y el medio ambiente. (González, 2005). Se distinguen los siguientes tipos de mantenimiento:

1.2.1.1. Mantenimiento correctivo

Es el más básico, donde se ejecutan tareas para corregir defectos que se van presentando. Bajo este concepto el mantenimiento se realiza después que ocurra la falla, no es planeado. (Acuña, 2016).

Este mantenimiento tiene lugar justo después que ocurre la falla, se realiza solo cuando el tractocamión tenga un inconveniente en su funcionalidad, se puede interpretar que solo se reacciona hasta se produce un fallo.

Este mantenimiento no prevé las paradas de los tractocamiones, afectando la operación de la empresa. En este sentido, se deben evitar interrupciones en la vida útil de los neumáticos para no ocasionar paros imprevistos, reparaciones no presupuestadas, teniendo una baja calidad en el mantenimiento.

Aunque de acuerdo con Cárcel, (2014), este tipo de mantenimiento es aplicado en gran proporción en la mayoría de las industrias, donde no se tiene una infraestructura de mantenimiento o así se ha decidido aprovechar al máximo la vida útil del componente.

1.2.1.2. Mantenimiento preventivo

Son las acciones para prolongar la vida útil de los equipos, programando los trabajos de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno (García, 2010).

Duffuaa, *et al.* (2000) definen el mantenimiento preventivo como: “una serie de tareas planeadas previamente que se llevan a cabo para contrarrestar las causas conocidas de falla potenciales de dichas funciones” (p. 75).

El mantenimiento preventivo se define como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible. (García, 2010). También es denominado mantenimiento planificado y se realiza antes de que ocurra una falla y se hace de forma controlada Crespo y Parra (2012). El mantenimiento preventivo se realiza tomando en consideración la experiencia del personal, siendo los administradores los encargados de determinar el momento en que se realizará, pero es importante agregar que para tal efecto también se considera lo indicado por el fabricante.

El mantenimiento preventivo se ejecuta siguiendo un programa elaborado, donde se encuentra elaborado el plan a seguir, se detallan las tareas a realizar, se asigna fecha y un tiempo estimado de trabajo. (Cárcel, 2014). En contraste con el mantenimiento correctivo, las paradas de los equipos se realizan solo cuando lo dictamine el programa de mantenimiento.

Con este tipo de mantenimiento se busca reducir la frecuencia de fallas, incrementar la vida útil de los equipos y mejorar la calidad de los servicios de transporte. Aunque la vida útil de ciertos componentes no se aprovecha al máximo y se debe procurar no abusar de los cambios.

De acuerdo con Cárcel (2014), este tipo de mantenimiento es conveniente en equipos de naturaleza mecánica y eléctrica sometidos a desgaste, donde la relación de falla y duración se conoce. Tal es el caso de nuestra investigación, donde los neumáticos se comportan como elementos mecánicos sometidos a desgaste.

Cada equipo y muchas veces componentes requieren una mezcla de los tipos de mantenimiento citados en esta investigación, por lo que en el plan de mantenimiento propuesto no se limitará a un solo tipo de mantenimiento, se usará una mezcla de algunos.

1.2.1.3. Mantenimiento predictivo

Es el tipo de mantenimiento que busca la operatividad de la industria, a través del conocimiento de determinadas variables. Para ello es necesario conocer variables que puedan medirse. Trata de determinar cuál es el momento en el que deben realizarse las reparaciones.

El mantenimiento basado en el desempeño y monitoreo de parámetros, donde el mantenimiento se realiza por el resultado de lo que se observó.

Como lo menciona Cárcel (2014), el mantenimiento predictivo también se le llama mantenimiento condicional y se fundamenta en la medición, seguimiento y monitoreo de parámetros de un equipo. De estos parámetros se establecen valores de aviso para tomar acciones en cuanto sean superados. La mayor ventaja de este tipo de mantenimiento es que con toda la información obtenida se pueden obtener datos que permitan prever una falla y con ello realizar el cambio del componente si así se determina.

Este tipo de mantenimiento indica la condición real del equipo, lo interesante es que se realiza con el equipo en funcionamiento. La medición de desgaste puede considerarse como una tarea propia de un mantenimiento predictivo. La información recabada puede apoyarse de la tecnología para establecer proyecciones de cambio de componentes.

Para este mantenimiento es necesario utilizar equipos de medición y según sea la naturaleza de la industria muchas veces contratación de servicios de personal tercerizado.

De acuerdo con Cuesta (2010) algunas de las técnicas utilizadas en el mantenimiento predictivo son:

- Análisis de vibraciones
- Endoscopia
- Ensayos no destructivos: líquidos penetrantes, ultrasonido, radiografías, partículas magnéticas, entre otros.
- Termografía
- Parámetros operativos: viscosidad, voltaje, presión, temperatura, desgaste, entre otros.

Las desventajas de este mantenimiento es que puede presentarse una avería entre dos medidas consecutivas, se debe invertir en equipos costosos, requiere personal con conocimiento especializado. Pero como ventaja se tiene que el mantenimiento puede realizarse sin interrumpir las funciones del equipo, maximiza el tiempo de vida de los componentes y proporciona más información de los equipos.

1.2.1.4. Mantenimiento en uso

Es el mantenimiento básico que consiste en tareas de toma de datos, el uso de inspecciones visuales, lubricación y limpieza. Siendo este la base para el modelo de mantenimiento productivo total.

Este tipo de mantenimiento, en síntesis, lo puede realizar un operario, sin necesidad de acudir a un técnico en mantenimiento. Es un mantenimiento básico y por tal razón no puede ser desatendido bajo ningún punto de vista. En neumáticos propiamente, se requiere de inspecciones diarias y semanales del

tractocami3n y sus componentes realizada por el operador, qu3en debe reportar los inconvenientes encontrados, asimismo, realizar la limpieza, lubricaci3n y ajuste de presi3n en los neumáticos.

1.2.2. Modelos de mantenimiento

El mantenimiento tiene como objetivo conseguir una utilizaci3n 3ptima de los activos, manteniendo el estado requerido para la producci3n, C3rcel (2014).

Regularmente, en cada equipo y sistema se debe usar una mezcla de todos o de algunos de estos tipos de mantenimiento. Por lo que no siempre se est3 claro cu3l mantenimiento es el m3s conveniente. Un modelo de mantenimiento es la mezcla de los tipos de mantenimiento y seg3n Garc3a (2010) son los que se presentan a continuaci3n:

1.2.2.1. Modelo de mantenimiento correctivo

Este modelo se aplica a equipos con una criticidad baja, donde las fallas no representen problemas, ni represente una amenaza a la seguridad o un costo elevado. Este modelo se refiere a la reparaci3n de aver3as o hasta que falle el equipo.

1.2.2.2. Modelo de mantenimiento por condici3n

En este modelo se incluyen actividades correctivas y tambi3n se realizan pruebas para una reacci3n futura. (Garc3a, 2010).

Al realizar los ensayos se establece si se programa un mantenimiento o se deja el equipo funcionando. Se utiliza en los equipos con pocas fallas o de poco uso.

1.2.2.3. Modelo de mantenimiento sistemático

En este modelo se realiza el mantenimiento de forma metódica, se incluye una serie de tareas que se realizan a determinado intervalo sin importar el tiempo que lleva funcionando el equipo. Se hacen algunas mediciones y en las intervenciones se resuelven averías que surjan. Para realizar el mantenimiento se hace cuando se presenta algún síntoma de falla.

1.2.2.4. Modelo de mantenimiento de alta disponibilidad

En este tipo de mantenimiento se emplean técnicas de mantenimiento predictivo. Se realiza en equipos donde se requiere una disponibilidad muy elevada. Se realiza en equipos donde un paro por falla representa un alto costo. En este modelo de mantenimiento se cambian todas las piezas de desgaste.

1.2.3. Estrategias de mantenimiento preventivo

La gestión de mantenimiento incluye las actividades que determinan los objetivos, las estrategias y las responsabilidades en el mantenimiento. (Crespo; *et al.* 2012). En una gestión de mantenimiento se definen los métodos que se utilizarán para conseguir las metas, así como las herramientas que se utilizará para establecer el plan de mantenimiento.

De acuerdo con Cárcel (2014), existen diferentes tipos de gestiones de mantenimiento como se listan a continuación:

- Mantenimiento productivo total TPM
- Mantenimiento proactivo
- Mantenimiento de clase mundial WCM
- Mantenimiento centrado en fiabilidad RCM

1.2.3.1. Mantenimiento productivo total TPM

El TPM surgió en Japón destinado a eliminar las grandes pérdidas del proceso productivo, con el objetivo de implementar la forma de trabajo “justo a tiempo”. (Cárcel, 2014).

Los equipos al dañarse o detenerse debido a imprevistos producen pérdidas en la producción, para lo cual el TPM busca mantener los equipos en disposición. Para esta filosofía de mantenimiento se debe contar con la participación de todo el personal de la empresa y es el operario quien tiene la mayor responsabilidad.

García (2010), expone que el objetivo del TPM promueve los siguientes objetivos:

- Mejorar la eficacia del equipo
- Involucrar a todos los departamentos de la empresa
- Conseguir menos cantidad de personal de mantenimiento
- Conseguir que el operario conozca mejor su máquina
- Aumentar la producción
- Reducir las averías

El TPM según Cárcel (2014), cuenta con ocho pilares que son los que se utilizan para desarrollar el programa:

- Mejora focalizada: elimina las fallas, mejor calidad y menos defectos.
- Mantenimiento autónomo: el operador aporta su conocimiento para detectar fallas, realiza el mantenimiento por uso.
- Mantenimiento planeado: se realiza mantenimiento de prevención y predicción.
- Capacitación: mejora la calidad de mano de obra con el fin de actuar e interpretar mejor las fallas.
- Control inicial: durante el diseño se hacen mejoras de acuerdo con la experiencia en la operación.
- Mantenimiento para la calidad: se ejecutan tareas preventivas mediante técnicas de mantenimiento predictivo.
- Departamento de apoyo: se debe tener el apoyo de los departamentos de la empresa.
- Seguridad, higiene y medioambiente: al no tener accidentes no se tienen paradas inesperadas y también el evitar asumir responsabilidades medioambientales y legales.

1.2.3.2. Mantenimiento proactivo

Esta estrategia de mantenimiento se fundamenta en buscar y corregir las causas raíz que generan las fallas. El mantenimiento predictivo es ampliamente utilizado en esta filosofía con la finalidad de aumentar la vida de los equipos y disminuir tareas de mantenimiento y paros no programados. (Cárcel, 2014).

Este mantenimiento tiene como fundamento los principios de iniciativa, trabajo en equipo, sensibilización, de tal manera que todos los involucrados

conozcan la problemática del mantenimiento. (Cuesta, 2010). Cada colaborador de la empresa asumirá el rol de operación del mantenimiento para que se involucre en las prioridades de mantenimiento.

1.2.3.3. Mantenimiento de clase mundial WCM

Esta filosofía de mantenimiento trata sobre el no desperdicio, siendo óptimo en cada tarea. Anticipándose a todos los trabajos, realizando actividades planeadas. Evoca el pensar antes que el hacer. (Cárcel, 2014).

Los pasos para implementar esta filosofía son: planear, programar, fiabilidad, análisis de pérdidas e información técnica. Y muy importante el contar con sistemas computarizados que apoyen esta táctica.

De acuerdo con Cárcel (2014) los diez pasos que respaldan el WCM, se resumen a continuación:

- Equipos de trabajo: equipos multidisciplinarios para resolución de problemas.
- Contratistas: el contratista será miembro del equipo, con visión de mejorar la productividad.
- Proveedores: integración de materiales y servicios, con inventarios gerenciados por los proveedores, asegurando cantidades requeridas en el momento justo.
- Gerencia: el involucramiento visible y activo del gerente en los equipos de trabajo, promoviendo capacitaciones, incentivos y reconocimientos.
- Planificación: maximizar la capacidad instalada, aumentando la disponibilidad de los equipos, mejorar el tiempo de vida útil y la calidad.
- Mejora continua: buscar cada día mejores formas de realizar el mantenimiento.

- Materiales: la adquisición de materiales debe homologarse y unificarse en toda la corporación.
- Sistemas: los sistemas deben ser estandarizados para toda la empresa.
- Mantenimiento: grupos de mantenimiento que realicen mantenimiento predictivo con fiabilidad, utilizando tecnologías avanzadas.

1.2.3.4. Mantenimiento preventivo centrado en fiabilidad RCM

Alrededor de la segunda guerra mundial aparece el concepto de confiabilidad, donde los departamentos de mantenimiento buscan prevenir las fallas que se producen en los equipos. (García, 2010).

Como lo menciona Cárcel (2014), el RCM es una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, aplicable a cualquier industria y muy útil para desarrollar un plan de mantenimiento preventivo. Esta filosofía plantea realizar mantenimiento a componentes considerados críticos.

El objetivo principal del RCM es reducir el costo de mantenimiento, eliminando acciones de mantenimiento que no son necesarias, reducción de las cargas de trabajo, la inversión de mantenimiento se realiza donde más beneficio se tenga.

Esta filosofía se basa en analizar los fallos que puede tener un equipo y determinar la forma de evitarlos, realizando tareas que aseguren que los activos continúen realizando su función. Este modelo de gestión supone que el personal de mantenimiento estudie qué actividades deben ejecutarse para evitar las fallas, estas tareas se plasman en un documento conocido como plan de mantenimiento.

La técnica para elaborar el plan de mantenimiento consiste en el proceso de gestión de riesgos que permite mejorar a través de eliminar las fallas repetitivas. Se emplean técnicas de análisis de fallas, encontrando las fallas recurrentes, a través de estas fallas se toma la decisión de las tareas que deben ir agregándose al plan de mantenimiento. (Acuña, 2016).

El plan de mantenimientos es el documento guía que contiene el conjunto de tareas programadas para realizar en un tractocamión. Este puede modificarse cuantas veces se necesite de acuerdo con la necesidad o por las fallas que se van teniendo. (García, 2010).

El plan de mantenimiento debe indicar una lista de tareas a realizar, la periodicidad con que se realizará, identificar el modelo de mantenimiento que se utilizará y todo ello se consolidará en un formato establecido.

Los pasos necesarios previos a elaborar el plan de mantenimiento son los siguientes:

- Paso 1: crear ficha técnica de los componentes a incluir en el plan de mantenimiento, ver apéndice 1.
- Paso 2: crear listado de sistemas y componentes de un tractocamión, considerando que se aplica solo a neumáticos, frenos, suspensión y dirección.
- Paso 3: detallar los fallos y las causas de un bajo rendimiento en los neumáticos.
- Paso 4: establecer las medidas preventivas a usar para eliminar o mitigar las causas de bajo rendimiento en los neumáticos.
- Paso 5: elaborar el plan de mantenimiento.

El propósito de elaborar un diseño de investigación de un plan de mantenimiento aplicado a los neumáticos de la flota de tractocamiones de la empresa de transportes es usarlo como una herramienta que permita alcanzar el resultado deseado maximizando el rendimiento de los neumáticos respecto al rendimiento actual. Los registros deben ser suficientes para poder estimar el tiempo de vida útil de los neumáticos respecto a lecturas antes del plan de mantenimiento.

Para este estudio, se definirá únicamente el mantenimiento preventivo basado en confiabilidad para elaborar el diseño del plan de mantenimiento a aplicar en los neumáticos, ya que es el que mejor se adapta a las necesidades actuales de la empresa.

1.2.4. Indicadores de mantenimiento

Para el mantenimiento los indicadores serán útiles para registrar datos y conocer las variables de control que se utilizará evaluando su tendencia y con ello tomar decisiones oportunas.

Los indicadores deben cumplir la misión de predicción y no solo un registro pasado. Para mantenimiento se muestran tres indicadores útiles para la gestión.

1.2.4.1. Disponibilidad

Como lo menciona Acuña (2016) la disponibilidad es un porcentaje de tiempo que un equipo está listo para cumplir su función. Esta función está relacionada con otros indicadores. En los tractocamiones se debe conseguir una disponibilidad hasta el punto en el que no tener el equipo no interfiera con la operación.

Es el cociente de dividir el número total de horas menos las horas que un equipo no está disponible y el número de horas totales del período. Su unidad de medida está dada en porcentaje.

$$Disponibilidad = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas parados}}{\text{Horas totales}}$$

De acuerdo con Crespo; et al. (2012) la disponibilidad permite estimar en forma general el porcentaje de tiempo total que un equipo está en condiciones de utilizarse y de cumplir su función específica.

Este indicador relaciona los tiempos de trabajo de mantenimiento y tiempos de trabajo en que el equipo se encuentra operando.

1.2.4.2. Tiempo medio entre fallas TMEF

Este valor permite conocer la frecuencia con que suceden las averías. Mide el tiempo promedio que el tractocamión opera sin fallar. Es el cociente del número de horas totales del período a analizar y el número de fallas. Su unidad de medida son las horas.

$$TMEF = \frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{Número de trabajos correctivos}}$$

García (2010) menciona que este indicador tiene relación con la fiabilidad del equipo. Es un indicador técnico que da a conocer la frecuencia con que suceden las averías.

Es importante notar que este indicador se refiere a los trabajos de mantenimiento no planeados, son trabajos correctivos, para el cálculo se excluyen los mantenimientos programados.

Se debe prestar atención a los resultados, un número grande de TMEF es bueno, pero acompañado de la disponibilidad y del tiempo medio de reparación (TMPR), ya que si el TMEF es grande puede ser porque el equipo ha fallado pocas veces o porque hay mantenimientos que han demandado muchas horas de trabajo, por tal motivo se debe analizar el indicador en conjunto con los otros.

1.2.4.3. Tiempo medio de reparación TMPR

Este indicador permite conocer el tiempo que tomó solucionar una falla en un equipo. Mide la efectividad con la que se restituye el tractocamión a sus condiciones óptimas y se calcula dividiendo el número de horas de paro por fallas entre el número de averías. Al igual que el indicador anterior su unidad de medida es en horas.

$$TMPR = \frac{\text{Horas de paro por averías}}{\text{Número de trabajos correctivos}}$$

Permite conocer la importancia de las averías que se producen en un equipo considerando el tiempo hasta medio hasta dar solución, García (2010).

Igual que el TMEF, en este indicador, no se consideran los trabajos programados, es un indicador específico para analizar fallos. Es importante establecer un método de control donde se registren los fallos que se han tenido a la vez que se controlan los tiempos de la reparación.

Como lo menciona Crespo; et al. (2012) este indicador está relacionado con la mantenibilidad y trata de la velocidad con que se restituye un componente a una condición aceptable de operación.

1.2.5. Cadena de fallos

Dentro de los efectos de la función de mantenimiento, fallo significa que un componente o sistema no cumple su función. (Cárcel, 2014). Esto quiere decir que un fallo no necesariamente provoca un paro del equipo, sino que puede ser que el equipo esté funcionando relativamente respecto de su función principal. El fallo tendrá manifestaciones y consecuencias, a lo que se denomina causa-efecto.

Los fallos pueden ser catastróficos y progresivos, de esta manera puede diagnosticarse ya que da indicios y esa información debe almacenarse. Cuando un fallo ocurre de ven su manifestación el cómo ha sucedido, posteriormente se llega al por qué y más adelante a determinar la causa.

El histórico de averías es una fuente de información muy valiosa para elaborar un plan de mantenimiento, García (2010).

En su libro Organización y gestión integral de mantenimiento, García (2010) hace la división de dos tipos de fallos:

- Fallo funcional
- Fallo técnico

El fallo funcional es el que se denota como un síntoma, es el que impide que el equipo cumpla su función. Mientras que, el fallo técnico, no impide el

equipo cumpla su función, pero provoca un comportamiento o funcionamiento anormal.

Las causas se refieren a aspectos o elementos que originan y promueven otras causas intermedias hasta llegar al fallo, la relación entre causa y fallo es directa. El proceso de fallo permite la detección de este y estos procesos permiten obtener información para proceder a su solución a través del mantenimiento Cárcel (2014).

1.3. Neumáticos

Los neumáticos son elementos construidos de hule, fibras, aditivos y acero. Su función básica es separar al vehículo del suelo, sirve como un contenedor de aire para soportar su carga. Los neumáticos son los que interactúan con el suelo a través de una superficie de contacto. (Corazón, 2014).

La función del neumático es transmitir tracción para generar movimiento, soportar cargas radiales y soportar la carga del vehículo. Debe proporcionar seguridad y conducción estable. Por lo anterior es importante conocer su construcción, las características, aplicaciones, cuidados y mantenimiento.

1.3.1. Construcción del neumático

Entre los materiales que forman parte de la construcción del neumático se encuentran el caucho natural, caucho sintético y pigmentos. El caucho natural se extrae del árbol de Hevea Brasiliensis y el caucho sintético se obtiene de hidrocarburos. Los cauchos o elastómeros son polímeros que pueden variar su forma según sea la carga aplicada, volviendo a su forma original cuando se les retira la carga.

La combinación de estos polímeros se realiza de modo que el caucho natural provee elasticidad y el caucho sintético estabilidad térmica. Además del caucho contienen rellenos reforzantes o negro de humo, fibras textiles y de acero, plastificantes, azufre, antioxidantes para proveer durabilidad y adhesivos. (Castro, 2008). Cada material utilizado en la fabricación del neumático cumple su función específica, cada agregado hace que las características cambien de acuerdo con la necesidad. (Castro, 2008). La tabla IV muestra las proporciones típicas de un neumático, donde cada uno aporta lo necesario para mejorar su funcionalidad.

La composición química puede variar según el uso para el cual están destinados los neumáticos. La tabla IV muestra los porcentajes de materiales de los que se componen un neumático. Los porcentajes de las composiciones se realizan de acuerdo con el tipo de neumático deseado. Partiendo de la forma en que se fabrique el neumático, asimismo, será su desempeño.

Tabla IV. **Composición del neumático**

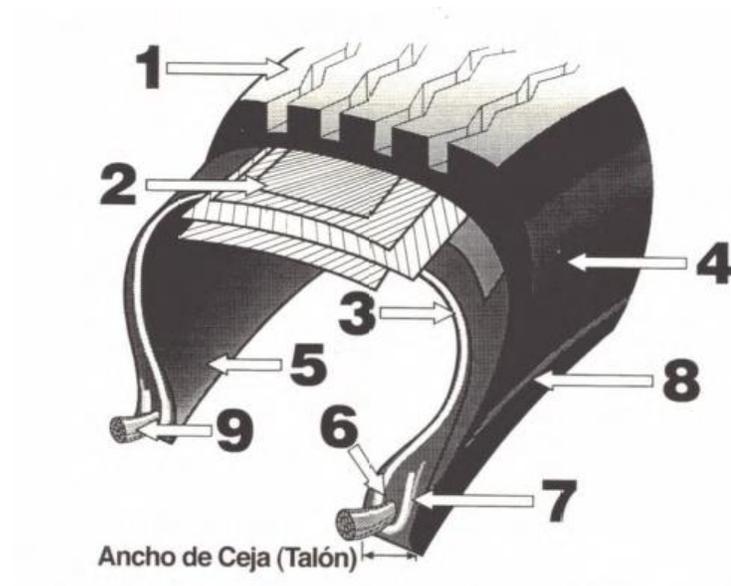
Componentes	Tipo de vehículo		Función
	Automóviles % en peso	Camiones % en peso	
Cauchos	48	45	Estructural-deformación
Negro humo	22	22	Mejora oxidación
Óxido de zinc	1.2	2.1	Catalizador
Materia textil	5	0	Esqueleto estructural
Acero	15	25	Esqueleto estructural
Azufre	1	1	Vulcanización
Otros	12		Juventud

Fuente: Castro, G. (2008). *Materiales y compuestos para la industria del neumático*.

1.3.2. Estructura del neumático

Es importante conocer las partes de los neumáticos para comprender e interpretar la nomenclatura. En la figura 4 se muestran las partes del neumático de construcción radial:

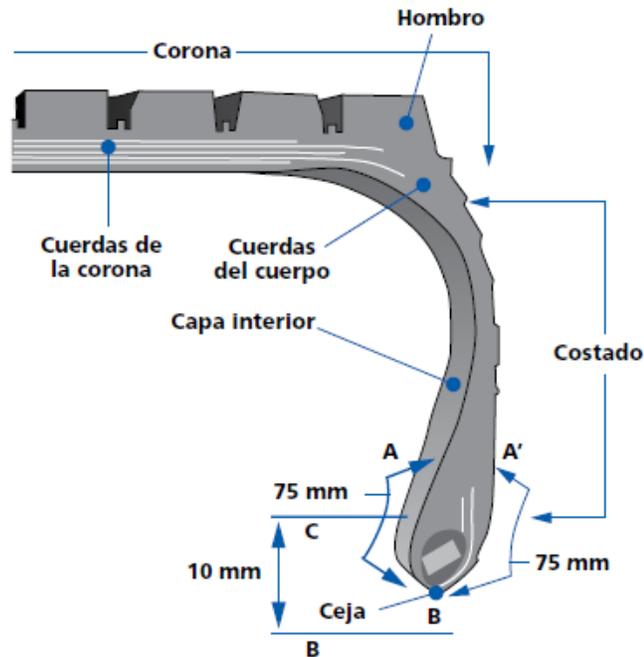
Figura 4. Partes de neumático radial



Fuente: Corazón, E. (2014). *Diseño de la investigación de la gestión de un programa de mantenimiento a llantas de flotas vehiculares aplicados desde centros de servicio automotrices.*

- Banda de rodadura: es la parte que interactúa con la carretera, la que soporta fuerzas de tracción, frenado y dirección. También se encarga de reducir la temperatura del neumático. Su diseño y composición química son importantes para determinar el desgaste. (Corazón, 2014). Debe proteger la carcasa, resistir la abrasión, desgarres y grietas, etc. (Moscoso, 2010). Se muestra seccionada en la figura 5.

Figura 5. **Sección de banda de rodadura**



Fuente: Industrias Michelin México S.A. De C.V. *Manual de servicio para llanta de camión Michelin X One*. Consultado el 7 de septiembre de 2018. Recuperado de https://michelinb2b.com.mx/my_documents/201392417176.pdf.

- Bloques o corona: son los que generan la tracción y el frenado. Estos son segmentos que están sobre la banda de rodadura, de acuerdo con su aplicación así se define la figura que forman estos bloques. La altura de estos bloques es la que se mide para determinar el desgaste del neumático.
- Ranuras: son los espacios que existen entre los bloques y son las encargadas de evitar deslizamientos laterales y ayudan a drenar el agua que queda entre la calzada y el neumático. A la vez que forman la banda de rodadura, estos canales sirven para extraer el agua con superficie mojada.
- Hombros: se localizan en los costados de la banda de rodadura, mantienen la estabilidad. Esta parte de la banda de rodadura debe soportar las cargas

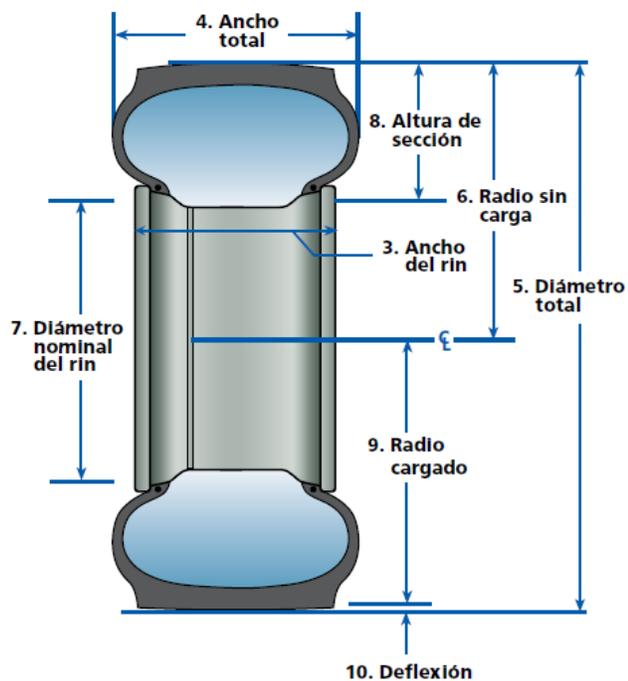
transversales, cuando el tractocamión tiene algún defecto esta sección es una de las más afectadas con desgastes irregulares.

- Cinturones o estabilizadores: hacen que la banda de rodadura esté estable y protegen contra objetos extraños. Los estabilizadores mejoran capacidad de carga. (Moscoso, 2010). En su construcción son los que se encargan de darle resistencia al neumático.
- Capa radial: la capa radial contiene el aire en el neumático junto con los cinturones, transmite las fuerzas al aro. (The Maintenance Council, 1995). Los materiales van de extremo a extremo del neumático formando capas que fortalecen el neumático.
- Ceja: es la parte que se acopla con el aro, cables acerados forman un anillo formando la circunferencia del neumático. (Blanco, 2016). Es la parte más fuerte del neumático, debe ser capaz de soportar altas temperaturas provenientes del sistema de frenos y debe impedir un patinamiento entre el neumático y el aro, según el *Manual de servicio para llanta de camión Michelin X One*. Industrias Michelin (2019).
- Pared: es la parte que queda expuesta a la contaminación del camino, debe resistir agresiones que encuentre en la pista y resiste la flexión provocada por la carga. Esta sección muchas veces determina el fin de vida útil del neumático, ya que este queda lastimado después de sufrir algún impacto, imposibilitando realizarle una vitalización. (The Maintenance Council, 1995).
- Carcasa o casco: es la estructura formada por hilos de acero y caucho que dan la forma a los arcos. El casco es el que debe dar robustez estructural al neumático. El aprovechamiento de este casco dará una ventaja competitiva y ecológica, debido a que pueden ser reutilizados cuando se vitalizan.

1.3.3. Dimensiones de los neumáticos

Las dimensiones son las medidas que identifican y dan a conocer datos técnicos del neumático para su selección, como se ve en la figura 6:

Figura 6. Dimensiones en neumáticos



Fuente: Industrias Michelin México S.A. De C.V. *Manual de servicio para llanta de camión Michelin X One*. Consultado el 7 de septiembre de 2018. Recuperado de https://michelinb2b.com.mx/my_documents/201392417176.pdf

Las definiciones de las dimensiones del neumático se describen a continuación:

- Ancho de sección: medida que va de lado a lado de la sección del neumático. Cabe mencionar que esta medida es con el neumático descargado. Como

se describe en *Double Coin Libro de datos y referencias de neumáticos para camiones*. Esta medida es la distancia que hay entre las paredes laterales del neumático. Por ejemplo, la medida conocida para tractocamiones de 11R22.5 se encuentra en el sistema inglés y se refiere a un ancho de sección de 280mm (11”), la altura de sección es el 90 % del ancho de sección; la R significa radial y el último número significa la medida del rin en pulgadas 571.5mm (22.5”), según información detallada en el *Manual de servicio para llanta de camión Michelin X One*.

- Altura de sección: medida que va de la ceja a la banda de rodadura. La altura de sección define cuánto puede soportar de carga el neumático dependiendo de sus características y diseño, así como una mejora en la estabilidad cuanto más baja es esta medida.
- Ancho de la banda de rodadura: es medido de hombro a hombro del neumático. Ccoñas (2014) menciona que es la medida que tiene el dibujo de la rodadura, mientras más ancha, mayor estabilidad provee y más capacidad de carga tendrá el neumático. Es importante contar con el manual del fabricante para conocer las características de la banda, así como la medida.
- Medidas del rin: diámetro del rin es la medida de su circunferencia, el ancho del rin es la distancia del asiento que soporta la ceja del neumático de extremo a extremo, este concepto es explicado en el *Manual de servicio para llanta de camión Michelin X One*.
- Diámetro del neumático: es el diámetro tomando en cuenta la banda de rodadura, esta información es importante para establecer su capacidad y poder realizar gemelados cuando se necesite.

- Deflexión del neumático: es la diferencia de medidas entre el radio cargado y el radio descargado. Esta deflexión se origina en el lado del neumático que toca el asfalto y es provocada por la carga del tractocamión. Esta deflexión puede aumentar a mayor carga y menor presión.
- Revoluciones por kilómetro (rpk): son el número de vueltas o revoluciones que un neumático da en un kilómetro, medido a 88 km/h con carga máxima, con la presión de inflado correspondiente y en una configuración dual o gemelado. (Ccoñas, 2014). Las revoluciones por kilómetro también pueden determinarse con una ecuación matemática.

1.3.4. Factores que influyen en el rendimiento del neumático

En su investigación, menciona Blanco (2016) que a un neumático se le demandan cualidades, tales como: resistencia al desgaste y cortes, adherencia, tracción, estabilidad, baja resistencia a la rodadura, vitalización, resistencia al calor, resistencia a cargas y resistencia a la velocidad.

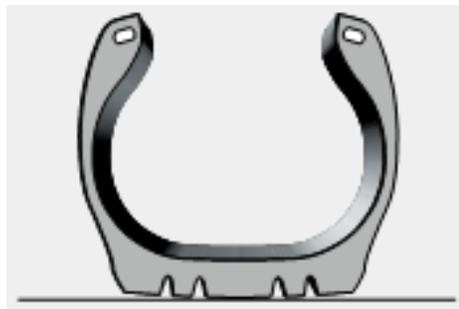
El neumático más adecuado será aquel que minimice los esfuerzos citados. Se debe encontrar la mejor configuración posible, ubicando los neumáticos de acuerdo con su construcción y diseño, cumpliendo condiciones en la operación para que las cualidades del neumático se mantengan.

Los neumáticos se deterioran debido a que se utilizan fuera de los límites de diseño, los siguientes parámetros son los más importantes a considerar en el rendimiento del neumático:

1.3.4.1. Presión de inflado correcto

De acuerdo con la investigación de Ccoñas (2014), el inflado apropiado es el factor más importante en el cuidado de los neumáticos. La presión de inflado debe realizarse y revisarse con el neumático frío, esto para evitar mediciones erróneas. La figura 7 es la imagen de un neumático seccionado, donde se puede observar la forma que deben tener las paredes del neumático y como la banda de rodadura toca perfectamente el suelo.

Figura 7. Presión de inflado correcto



Fuente: Información técnica Yokohama. (2016). *Neumáticos para camiones y buses*.

Existen tablas que indican cuál debe ser la presión correcta en los neumáticos, las cuales tienen relación con la carga que soporta. Estas tablas las proporciona cada fabricante de neumáticos.

La presión de inflado es de las acciones más importantes a considerar en el mantenimiento de neumáticos, un neumático apropiadamente inflado soportará la carga para la que fue diseñado y prolongará su vida útil. El monitoreo constante de la presión de inflado es uno de los factores que se tomarán en cuenta en la presente investigación. Una presión de inflado correcta hará que la carga se distribuya uniformemente en la banda de rodadura,

obteniendo una huella de contacto adecuada, la tabla V muestra la relación entre la carga y presión de inflado, considerando neumáticos simples y duales:

Tabla V. **Cargas y presiones para neumáticos radiales**

22.5"		kPa	480	520	550	590	620	660	690	720	760	790	830	830	900
255/70R22.5	Dual	kg			1800	1860	1940	2000	2020	2090	2120	2230	2300		
	Simple	kg			1900	1980	2060	2120	2220	2300	2360	2450	2500		
275/70R22.5	Dual	kg				2070	2155	2265	2345	2424	2535	2615	2720	2795	2900
	Simple	kg				2250	2340	2460	2550	2635	2750	2840	2955	3040	3150
275/80R22.5	Dual	kg	1860	1950	2060	2130	2220	2300	2390	2470	2575	2630	2800		
	Simple	kg	2040	2140	2240	2340	2440	2500	2620	2710	2800	2890	3150		
295/75R22.5	Dual	kg	1860	1950	260	2130	2220	2300	2390	2470	2575	2630	2800		
	Simple	kg	2040	2140	2240	2340	2440	2500	2620	2710	2800	2890	3150		
295/80R22.5	Dual	kg	2050	2160	2260	2370	2500	2600	2700	2800	2910	3030	3150		
	Simple	kg	2380	2500	2630	2740	2900	3020	3140	3250	3350	3450	3550		

Fuente: Continental. *Información técnica llantas para camión*. Consultado el 6 de enero de 2019. Recuperado de <https://blobs.continental-tires.com/www8/servlet/blob/847082/e5d189ae7b81a501beadf47d96b52810/informacion-tecnica-2016-data.pdf>

- Baja presión o inflado insuficiente: la poca presión de aire es la razón principal del bajo rendimiento de un neumático. Si la presión está por debajo de lo requerido entonces aumentará la temperatura y los hombros se desgastarán irregularmente. (Ccoñas, 2014). Las llantas con presión por debajo de la recomendada llevan a un mayor consumo de combustible y que se desgasten más rápido, de acuerdo con el *Manual de servicio para llanta de camión Michelin X One*. La figura 8 muestra como el contacto de la banda de rodadura con el suelo no es completo, desgastando los hombros del neumático.

Figura 8. **Baja presión de inflado**



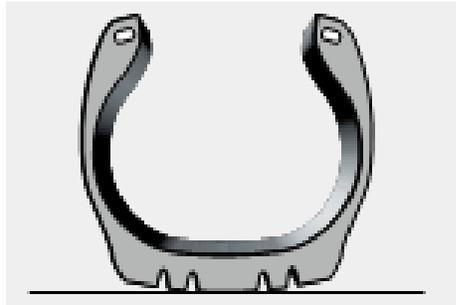
Fuente: Información técnica Yokohama. (2016). *Neumáticos para camiones y buses*.

La investigación de Blanco se refiere a que un inflado insuficiente provoca directamente un desgaste acelerado, por cada 10 % de presión que se reduce aumenta el doble el porcentaje de desgaste.

- Sobrepresión: al contrario de la baja presión, un neumático con mayor presión que la recomendada forma un desgaste en el centro, Hinostroza (2016).

Los neumáticos con presión superior a la recomendada reducen la adherencia y facilitan el surgimiento de daños por impacto, de acuerdo con el *Manual técnico Michelin* (2009). Por el contrario, al apartado anterior, al tener una sobrepresión, es el centro de la banda de rodadura que se gasta más que los hombros debido a una sobrepresión, como se ve en la figura 9.

Figura 9. **Sobrepresión de inflado**

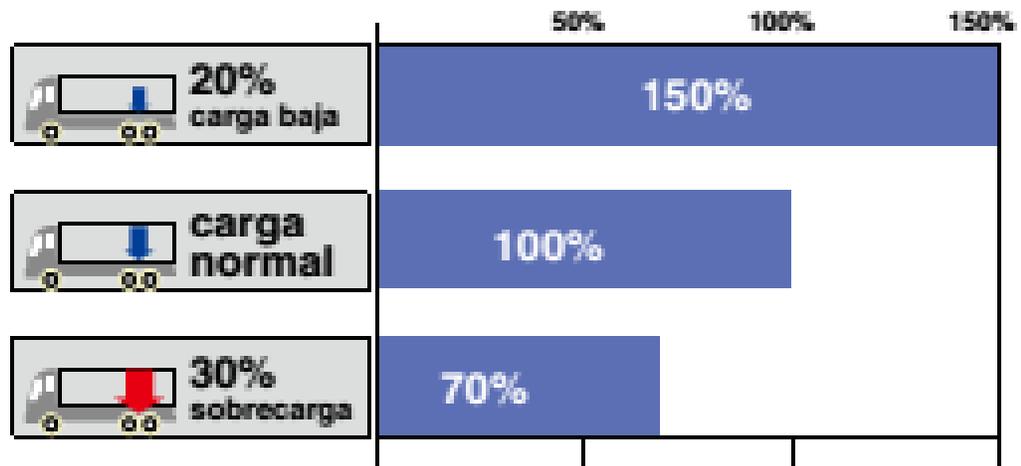


Fuente: Información técnica Yokohama. (2016). *Neumáticos para camiones y buses*.

De acuerdo con Blanco (2016), un sobre inflado de un 10 % reduce la duración del neumático en un 5 %.

- Sobrecarga: de acuerdo con la investigación de Blanco (2016), la sobrecarga provoca un desgaste prematuro en la banda de rodadura y un incremento en la flexión del neumático, aumentando la temperatura dentro de este. La sobrecarga se refiere a sobrepasar el límite de carga de un neumático y se puede identificar como una llanta con baja presión de inflado. La figura 10 muestra gráficamente el impacto en el rendimiento kilométrico que tiene la sobrecarga en un neumático, donde un 30 % de sobrecarga genera un 30 % de desgaste prematuro.

Figura 10. **Recorrido en porcentaje debido a sobrecarga**



Fuente: Información técnica Yokohama. (2016). *Neumáticos para camiones y buses*.

1.3.4.2. **Temperatura interna del neumático**

La temperatura del aire dentro del neumático influye en la duración de este. Las razones por las que puede incrementar la temperatura dentro del neumático, según Blanco (2016), son:

- La acción de los frenos
- La baja presión de inflado o sobrecarga en el neumático

La temperatura elevada en el neumático puede propiciar un bajo rendimiento, la temperatura incrementa debido a acciones mecánicas del tractocamión o debido a sobrecarga o baja presión de inflado en el neumático.

Los frenos son mecanismos que pueden alcanzar temperaturas muy elevadas y ya que se encuentran muy cerca de los neumáticos transfieren este calor, sobre todo a las cejas del neumático. La alta temperatura en la ceja puede

afectar drásticamente la vida útil del neumático, por este motivo los fabricantes sugieren realizar rotación de estos.

El calor degrada los compuestos del neumático, provocando fallas inmediatas o prematuras que afectarán en el futuro la capacidad de vitalizar el neumático. La figura 11 muestra la imagen ampliada de una sección de ceja dañada por sobrecalentamiento, dicha falla limitará el rendimiento kilométrico y tampoco podrá realizarse una vitalización con un neumático en estas condiciones.

Figura 11. **Efecto por sobrecalentamiento en ceja**



Fuente: Industrias Michelin México S.A. De C.V. *Manual de servicio para llanta de camión Michelin X One*. Consultado el 7 de septiembre de 2018. Recuperado de https://michelinb2b.com.mx/my_documents/201392417176.pdf.

1.3.4.3. Aplicación del neumático

La aplicación del neumático según la ruta hace referencia a la carretera donde será empleado. De allí depende de qué manera será fabricado el neumático. Asimismo, se determina la banda de rodadura y la instalación en el tractocamión.

De acuerdo con su uso en los distintos caminos, los neumáticos se clasifican de la siguiente manera:

- Aplicación para uso urbano: generalmente se da en poblados o ciudades donde se cuente con carreteras pavimentadas, donde la carga a transportar es pequeña, por lo regular son neumáticos para utilizarse en autobuses. (Yokohama, 2016). Este tipo de neumáticos debe soportar las paradas continuas y aceleraciones, típico de una ruta de un autobús o camión repartidor.
- Aplicación para uso regional: se refiere a las carreteras sinuosas donde exista asfalto o pavimento en buen estado. Los neumáticos de este segmento pueden alcanzar velocidades más altas que el segmento urbano y deben soportar mayores cargas. (Paucar et al., 2015).
- Aplicación para uso en autopistas: la aplicación del neumático es en carreteras en un sentido por más de 300 kilómetros. El neumático se diseña para realizar recorridos de largas distancias. (Yokohama, 2016).
- Aplicación para terracería: la construcción de estos neumáticos les permite soportar cargas mucho más elevadas, velocidades más bajas y son capaces de resistir agresiones del camino. Los neumáticos para terracería tienen una

banda de rodadura más profunda y son de un caucho más duro que los empleados en asfalto. (Paucar *et al.*, 2015).

En el tractocamión se localizarán los neumáticos de tracción y los de dirección, para cada posición existe un diseño apropiado de neumático, con ello se obtiene mejores resultados de desempeño. (Yokohama, 2016). De acuerdo con su diseño de aplicación y posición, los neumáticos se clasifican de la siguiente manera:

- Neumáticos direccionales: se emplea para ejes direccionales y no motrices (ver figura 12). La banda de rodadura tiene surcos en forma lineal y en forma circunferencial, estas líneas son las que permiten a este neumático ser adecuado para el eje de dirección, ya que su función es la de soportar fuerzas transversales dirigiendo al tractocamión. (Moscoso, 2010).

Figura 12. **Aplicación de neumáticos a ejes de dirección**



Fuente: Información técnica Yokohama. (2016). *Neumáticos para camiones y buses*.

- Neumáticos para tracción: se utilizan en los ejes que impulsan al vehículo, las ranuras se encuentran ubicadas transversalmente para obtener un empuje en sentido de la rotación, Moscoso (2010) como se muestra en la figura 13.

Figura 13. **Aplicación de neumáticos a ejes de tracción**



Fuente: Información técnica Yokohama. (2016). *Neumáticos para camiones y buses.*

- Neumáticos para ejes libres en semirremolques: estos neumáticos se muestran en la figura 14 y tienen un diseño parecido o igual a los direccionales, a diferencia que su uso es solo para soportar carga y frenado. Algunos diseños de neumáticos son más livianos para mejorar su rendimiento.

Figura 14. **Aplicación de neumáticos a ejes libres**



Fuente: Información técnica Yokohama. (2016). *Neumáticos para camiones y buses.*

Se tiene una última clasificación y son los neumáticos que pueden usarse en todas posiciones, en la dirección en la tracción y ejes libres.

1.3.4.4. Tipo de neumático

Por su construcción los neumáticos se dividen en construcción convencional y construcción radial.

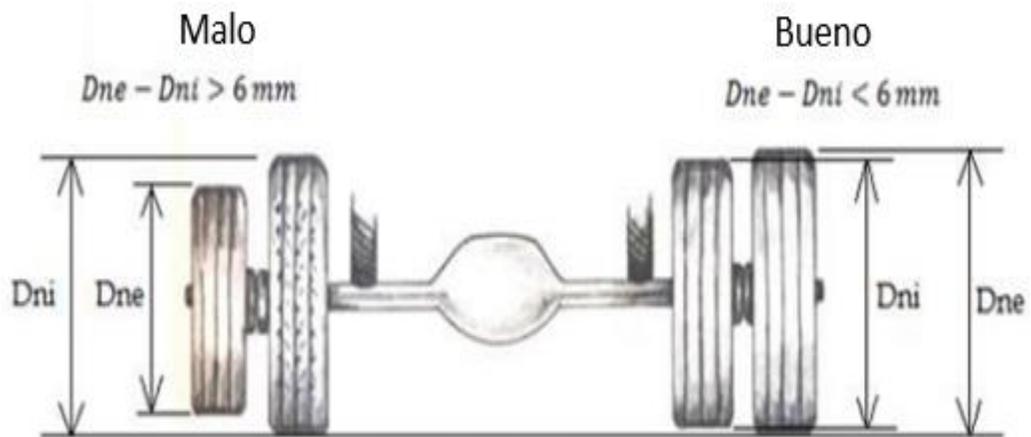
- Neumático convencional: de acuerdo con Paredes (2008), un neumático convencional consta de una estructura diagonal con capas textiles de nylon o rayón, cruzadas entre sí por una mezcla de caucho. Existe fricción entre las capas, la cual genera calor, este calor afecta el rendimiento del neumático. Esta construcción de la capa en forma de diagonales no permite un contacto adecuado con la carretera. Por estas razones estos neumáticos tienen un desgaste más elevado y menor adherencia.
- Neumático radial: menciona que la construcción de este tipo de neumático se basa en capas metálicas y textiles que van de una ceja a la otra. Esta construcción disminuye la fricción entre las capas. Por lo tanto, mejora la adherencia y reduce el desgaste. Esta construcción es ventajosa, ya que se vuelve más resistente a los cortes y perforaciones. (Paredes, 2008). La construcción radial se construye con cinturones de acero que van de lado a lado del neumático en una forma de óvalos, la ventaja que tiene este neumático es que no existe un rozamiento entre capas diagonales dándole mayor vida útil. (Ccoñas, 2014).

1.3.4.5. Configuración de neumáticos duales

Esta configuración consta de un par de neumáticos en un mismo lado de un eje de tracción o eje libre. Se realiza este montaje para aumentar la capacidad de carga y obteniendo más área de contacto.

- Acoplamiento de neumáticos duales: por motivos de seguridad los neumáticos instalados en forma dual deben ser del mismo diámetro, respetando ciertas tolerancias entre uno y otro. (Paucar et al., 2015). La figura 15 muestra una imagen aumentada del cambio de diámetros para que se aprecie el concepto.

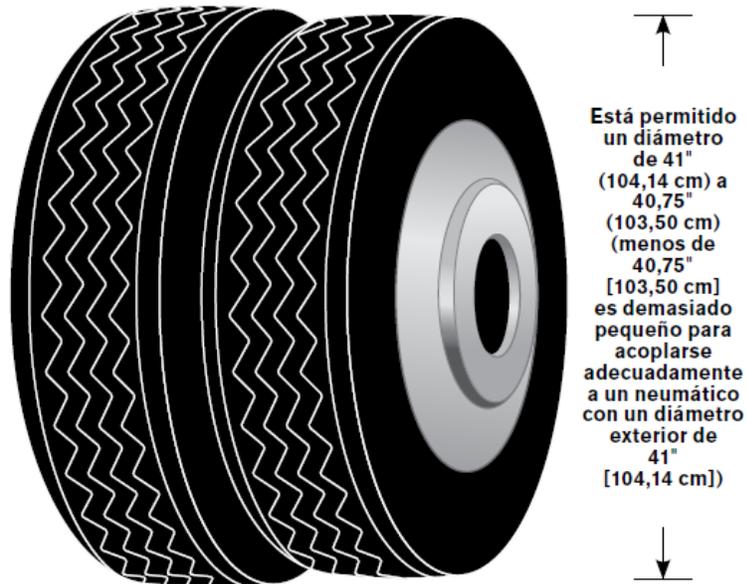
Figura 15. **Diferencia de diámetros en neumáticos duales**



Fuente: Paucar, B., Tacuri, L. (2015). *Estudio de las condiciones de desgaste que impiden su reencauche.*

También es importante que la distancia entre neumáticos duales sea la ideal, para evitar rozamiento y facilitar una evacuación de calor. No se pueden realizar combinaciones entre neumáticos convencionales y radiales. También se debe evitar utilizar neumáticos en configuración dual con anchos de banda diferente. La figura 16, muestra cómo los neumáticos deben mantener una distancia establecida. Si los neumáticos no son compatibles, pueden ocasionar desgastes irregulares y fallas prematuras.

Figura 16. **Acoplamiento de neumáticos duales**



Fuente: Double Coin. *Libro de datos y referencias de neumáticos para camiones*. Consultado el 10 de enero de 2019. Recuperado de <https://www.doublecointires.com/wp-content/uploads/Double-Coin-TBR-Data-Book-Spanish.pdf>.

- Espaciado de neumáticos duales: debe existir un espacio apropiado entre neumáticos, con la finalidad de mantener una adecuada distribución de cargas. El espaciado entre neumáticos duales viene indicado por la tabla VI:

Tabla VI. **Anchos de neumático y espacio mínimo para acoplamientos duales**

TAMAÑO DEL NEUMÁTICO	ANCHO DE LLANTA APROBADO	ESPACIADO MÍNIMO PARA UNIDADES DUALES*
TIPO DE CÁMARA		
11.00R24	8.5, 8.50VM, 8.0 , 7.5	13.2
12.00R24	9.0, 8.5 , 8.50VM, 8.0	14.1
SIN CÁMARA		
9R17.5HC	6.75HC	10.3
215/75R17.5	6.00HC , 6.75HC	9.3
245/70R17.5	6.75 , 7.50	10.6
8R19.5	5.25, 6.00 , 6.00RW, 6.75, 6.75RW	9.1
9R22.5	6.00, 6.75 , 7.50	10.3
10R22.5	6.75, 7.50 , 8.25	11.4
11R22.5	7.50, 8.25	12.5
12R22.5	8.25, 9.00	13.5
225/70R19.5	6.00, 6.00RW, 6.75 , 6.75RW	10.0
245/70R19.5	6.75, 6.75RW, 7.50 , 7.50RW	11.0
265/70R19.5	7.50 , 7.50RW, 8.25, 8.25RW	11.6
285/70R19.5	7.50, 8.25 , 9.00	12.5
305/70R19.5	9.00 , 8.25, 8.25RW	13.5
445/65R19.5	13.00 , 14.00	N/A
245/75R22.5	6.75, 7.50	11.0
255/70R22.5	7.50 , 8.25	11.3
265/75R22.5	7.50 , 8.25	11.6
275/70R22.5	7.50, 8.25 , 9.00	12.2
295/80R22.5	8.25, 9.00	13.2
295/75R22.5	8.25, 9.00	13.2
315/80R22.5†	8.25, 9.00, 9.75	13.8
385/65R22.5	11.75 , 12.25	N/A
425/65R22.5	11.75, 12.25 , 13.00	N/A
445/50R22.5	14.00	N/A
445/65R22.5	13.00 , 12.25, 14.00	N/A
11R24.5	7.50, 8.25	12.5
12R24.5	8.25, 9.00	13.5
285/75R24.5	8.25	12.5

Fuente: Double Coin. *Libro de datos y referencias de neumáticos para camiones*. Consultado el 10 de enero de 2019. Recuperado de <https://www.doublecointires.com/wp-content/uploads/Double-Coin-TBR-Data-Book-Spanish.pdf>.

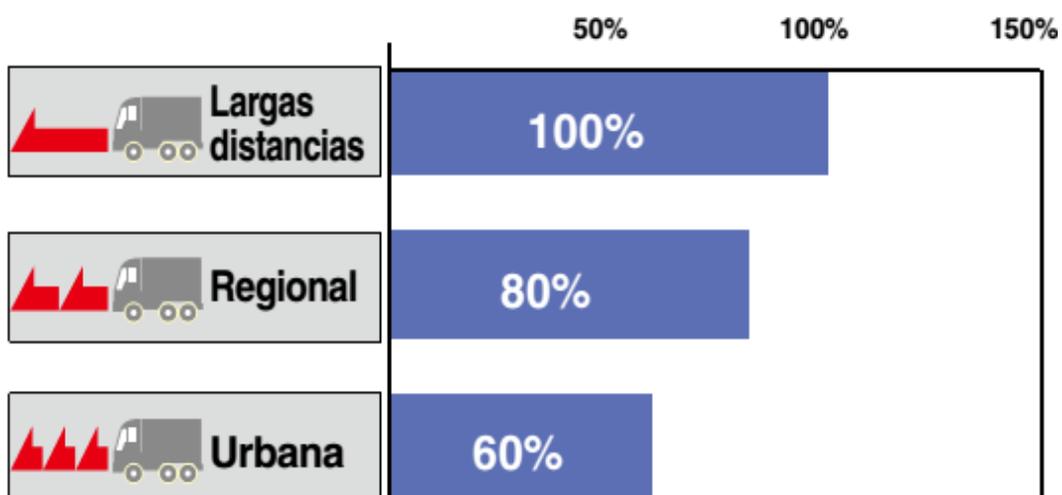
1.3.4.6. Conducción del tractocamión

La manera en que se conduzca el tractocamión influirá en el rendimiento del neumático. Las siguientes acciones ocasionarán un desgaste prematuro en los neumáticos, según Paredes (2008):

- Frenazos bruscos
- Aceleraciones
- Manejo a alta velocidad, sobre todo en curvas
- Patinazo o deslizamiento de la rueda de tracción
- Golpes o cortes

En la figura 17 se representa gráficamente la duración del neumático de acuerdo con el uso en las diferentes regiones del país.

Figura 17. Índice de durabilidad en porcentaje



Fuente: Información técnica Yokohama. (2016). *Neumáticos para camiones y buses*.

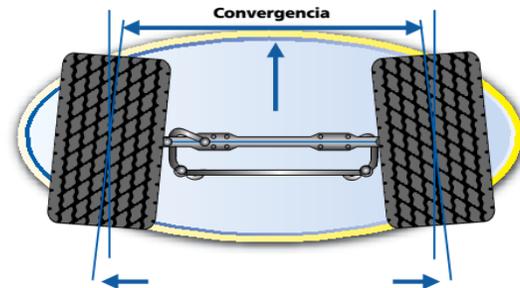
De acuerdo con el tipo de ruta donde opere el tractocamión, así será el rendimiento de los neumáticos.

1.3.4.7. Problemas en los sistemas mecánicos del tractocamión

El mal estado mecánico del tractocamión influirá en el rendimiento del neumático. La variación en la geometría del vehículo está ligada a la alineación, pues ocasiona desgaste en la banda de rodadura. (Paucar et al., 2015). La conducción del tractocamión debe seguir una trayectoria que permita desplazarse sin ninguna corrección por parte del operador.

- Convergencia y divergencia: es la principal causa de desgaste relacionada con la alineación. La distancia entre la parte posterior de los neumáticos direccionales y la distancia entre la parte frontal de estos mismos neumáticos darán como resultado una convergencia o divergencia. Un resultado negativo corresponde a una divergencia y un resultado positivo a una convergencia, según el *Manual de servicio para llanta de camión Michelin X One*. La figura 18 muestra una imagen para poder comprender este concepto:

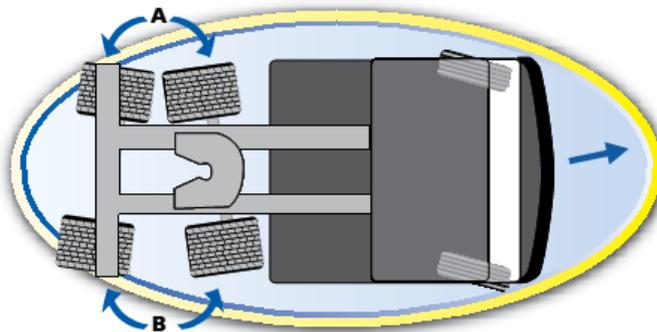
Figura 18. **Convergencia en neumáticos direccionales**



Fuente: Industrias Michelin México S.A. De C.V. *Manual de servicio para llanta de camión Michelin X One*. Consultado el 7 de septiembre de 2018. Recuperado de https://michelinb2b.com.mx/my_documents/201392417176.pdf.

- Desvío del eje de tracción: afecta a los neumáticos de dirección, de tracción y del remolque. Este desvío de ejes, mostrado en la figura 19, se refiere al paralelismo que existe entre los ejes. Cuando no se encuentran paralelos el tractocamión intenta jalar en la dirección en la que los ejes están más cerca uno del otro. La distancia máxima tolerable será de 3.2 mm entre los ejes.

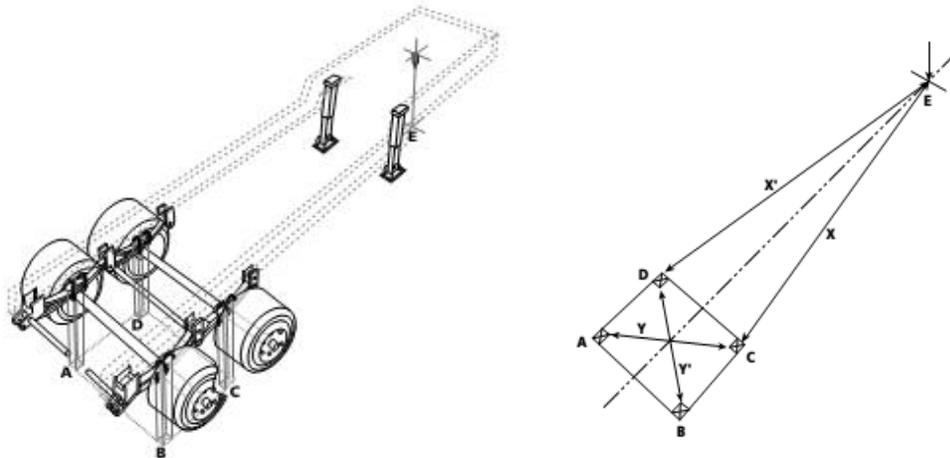
Figura 19. **Desalineación en ejes posteriores**



Fuente: Industrias Michelin México S.A. De C.V. *Manual de servicio para llanta de camión Michelin X One*. Consultado el 7 de septiembre de 2018. Recuperado de https://michelinb2b.com.mx/my_documents/201392417176.pdf.

- Alineación de semirremolques: cuando un tractocamión tira de un remolque desalineado, este provoca un desgaste irregular en las llantas direccionales, ya que el operador controla la dirección en todo momento. De acuerdo con el *Manual de llantas Michelin* la diferencia entre extremos de eje, es decir, el paralelismo entre ejes debe ser menor a 1.5 mm y entre ejes menor a 3 mm. En la figura 20 se indica la forma en que debe existir una simetría en la disposición de los neumáticos de los semirremolques.

Figura 20. **Alineación de remolque**



Fuente: Industrias Michelin México S.A. De C.V. *Manual de servicio para llanta de camión Michelin X One*. Consultado el 7 de septiembre de 2018. Recuperado de https://michelinb2b.com.mx/my_documents/201392417176.pdf.

La alineación del tractocamión debe realizarse a determinado período para mantener la estabilidad y prolongar la vida del neumático. El remolque es un equipo que, si está desalineado, tendrá una incidencia fuerte en el tractocamión. Los equipos que sirven para realizar alineaciones generalmente tienen preestablecidos los parámetros de las tolerancias de cada medida.

- Balanceo de aro y neumático: las vibraciones en los neumáticos también serán motivo de disminución en el rendimiento kilométrico. Son la mayor razón por la que ocurren vibraciones en los neumáticos armados y por un montaje incorrecto. Este se da cuando la ceja del neumático no asienta en el aro. Para realizar el balanceo debe emplearse un equipo especial.
- Mantenimiento de sistema de dirección y frenos: se debe prestar atención a los sistemas mecánicos, ya que estos pueden afectar al rendimiento de los neumáticos. El sistema de frenos debe ser eficiente, ya que unos frenos defectuosos harán que se calienten excesivamente provocando daño en los neumáticos, Blanco (2016). Deben contar con los sistemas articulados de suspensión y dirección en buenas condiciones.

1.3.4.8. Estado de las carreteras

Según Paredes (2008), el perfil de las pistas, la forma y el trazado de las curvas, así como las pendientes, tienen incidencia en el rendimiento de neumáticos. El mantenimiento de la calzada y la limpieza de las áreas de carga favorecen el rendimiento de los neumáticos.

De acuerdo con Hurtado (2017), existen valores de coeficiente de fricción más altos en algunos neumáticos que otros, esto por los elastómeros con que se fabrica el neumático.

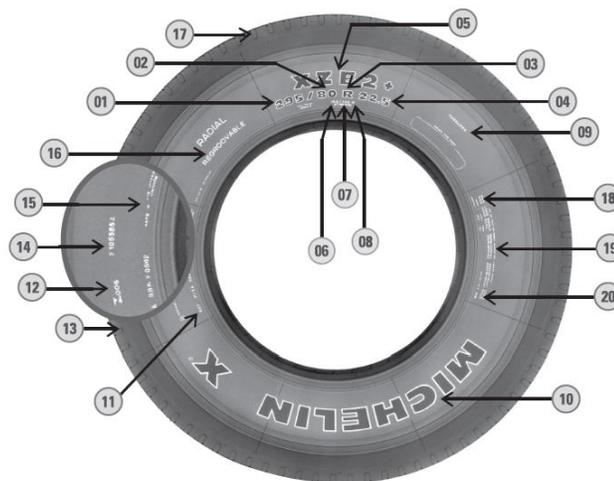
1.3.5. Nomenclatura del neumático

Son especificaciones universales que indican las características propias de cada neumático. En el casco los neumáticos traen impresa información

importante que sirve para conocer las capacidades, medidas, aplicaciones y datos de fabricación.

En la figura 21 se muestra la cara de un neumático con las indicaciones de la nomenclatura que trae impresa:

Figura 21. **Marcaciones sobre una llanta**



Fuente: Industrias Michelin. *Folleto al usuario información de uso de un neumático Michelin*. Consultado el 10 de septiembre de 2018. Recuperado de <https://camiones-omnibus.michelin.com.co/docroot/michelin/br/pdf/MANUAL-TECNICO-LLANTAS-COLOMBIA-PL.pdf>.

- Ancho de sección nominal: puede estar en milímetros o pulgadas. La medida 295/80R22.5 está describiendo un ancho de sección de 295mm, se identifica por el primer número antes de la diagonal. Por ejemplo, una medida 11R22.5 está describiendo un ancho de sección de 280mm (11 pulgadas) y en el sistema inglés coincide con el número que está antes de la letra, según el *Manual de servicio para llanta de camión Michelin X One*.

- Serie: este valor indica la relación que existe entre el ancho de sección y la altura está dada en porcentaje.
- Tipo de construcción: puede ser convencional o radial. Se puede determinar que es convencional cuando no trae letra después de la serie del neumático o del ancho de sección. La letra R en la nomenclatura indica que es un neumático de construcción radial.
- Diámetro nominal del rin: es la medida del diámetro del rin, en la nomenclatura 295R22.5 se dice que tiene un diámetro de rin de 57.15mm (22.5”), según el *Manual de servicio para llanta de camión Michelin X One*. De acuerdo con este manual las tuercas deben lubricarse y deben ser apretadas con un torque de 675 N.mm
- Figura de la banda de rodadura: el diseño de la banda de rodadura depende del fabricante, cada uno nombra su diseño. De acuerdo con Blanco (2016), existen diferentes tipos de dibujo, el cual va definiendo la aplicación apropiada para cada forma. Esta forma mejora el rendimiento del neumático si su aplicación es la correcta.
- Índice de carga para neumáticos de tractocamiones: como lo describe el Manual técnico de información de uso de un neumático Michelin (2009), los neumáticos tienen una capacidad de carga, para conocer la cual se debe consultar una tabla que indica la capacidad en kilogramos. Los neumáticos tienen impresa la capacidad de carga tanto en montaje simple como en dual. Con un montaje gemelado, el índice de carga será menor por neumático, debido a un factor de seguridad. Diferentes índices de carga se muestra en la tabla VII.

Tabla VII. Índice de carga para neumáticos de tractocamiones

Índ./Kg	Índ./Kg	Índ./Kg	Índ./Kg	Índ./Kg	Índ./Kg	Índ./Kg
70-335	88-560	106-950	124-1600	142-2650	160-4500	178-7500
71-345	89-580	107-975	125-1650	143-2725	161-4625	179-7750
72-355	90-600	108-1000	126-1700	144-2800	162-4750	180-8000
73-365	91-615	109-1030	127-1750	145-2900	163-4875	181-8250
74-375	92-630	110-1060	128-1800	146-3000	164-5000	182-8500
75-387	93-650	111-1090	129-1850	147-3075	165-5150	183-8750
76-400	94-670	112-1120	130-1900	148-3150	166-5300	184-9000
77-412	95-690	113-1150	131-1950	149-3250	167-5450	185-9250
78-425	96-710	114-1180	132-2000	150-3350	168-5600	186-9500
79-437	97-730	115-1215	133-2060	151-3450	169-5800	187-9750
80-450	98-750	116-1250	134-2120	152-3550	170-6000	188-10000
81-462	99-775	117-1285	135-2180	153-3650	171-6150	189-10300
82-475	100-800	118-1320	136-2240	154-3750	172-6300	190-10600
83-487	101-825	119-1360	137-2300	155-3850	173-6500	191-10900
84-500	102-850	120-1400	138-2360	156-4000	174-6700	
85-515	103-875	121-1450	139-2430	157-4125	175-6900	
86-530	104-900	122-1500	140-2500	158-4250	176-7100	
87-545	105-925	123-1550	141-2575	159-4375	177-7300	

Fuente: Industrias Michelin. *Folleto al usuario información de uso de un neumático Michelin*. Consultado el 10 de septiembre de 2018. Recuperado de <https://camiones-omnibus.michelin.com.co/docroot/michelin/br/pdf/MANUAL-TECNICO-LLANTAS-COLOMBIA-PL.pdf>.

- Índice de velocidad: la velocidad máxima recomendada para un neumático está escrita en su cara. Existen predeterminados, como el mostrado en la tabla VIII. Se identifica con una letra y debe consultarse en la tabla de índices de velocidad para conocer el valor.

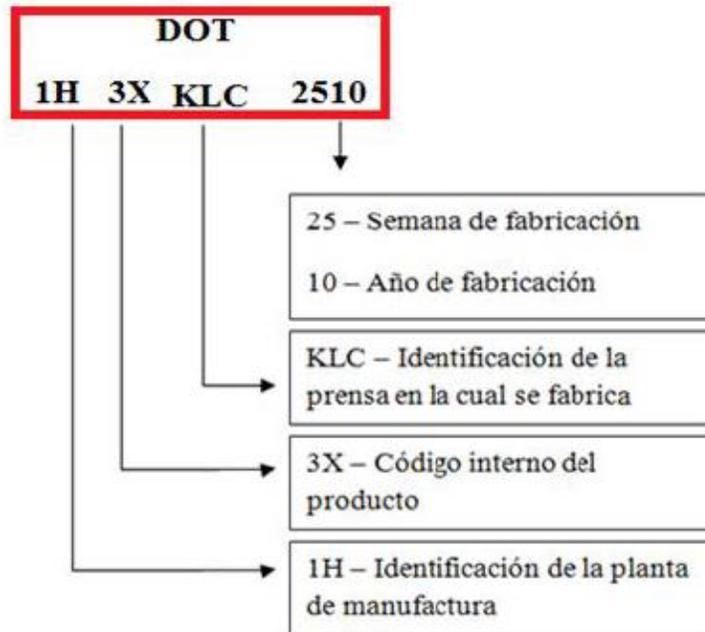
Tabla VIII. Índice de velocidad para neumáticos

Índice	E	F	G	J	K	L	M	N	P	Q
Km/h	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
Índice	R	S	T	H	V	W	Y	VR	ZR	
Km/h	170	180	190	210	240	270	300	>210	>240	

Fuente: Industrias Michelin. *Folleto al usuario información de uso de un neumático Michelin*. Consultado el 10 de septiembre de 2018. Recuperado de <https://camiones-omnibus.michelin.com.co/docroot/michelin/br/pdf/MANUAL-TECNICO-LLANTAS-COLOMBIA-PL.pdf>.

- Utilización de tubo: esta especificación viene impresa en la pared e indica si el neumático debe o no usar tubo. A estos neumáticos se les conoce como neumáticos con cámara. Esta tecnología ha estado evolucionando, ya que esta cámara o tubo está propensa a fallas en el camino.
- Nombre del fabricante: el nombre o la marca vienen escritos de una forma bastante visible y permiten que el neumático sea identificado fácilmente.
- Indicación DOT: por sus siglas en inglés significa US Department of Transportation. El DOT indica el lugar y fecha de fabricación, los últimos dígitos especifican el número de semana y año en que el neumático fue construido. Esta fecha es muy importante conocerla debido a que el neumático sufrirá deterioro con el paso del tiempo y el uso. La figura 22 indica la forma de leer un DOT en un neumático.

Figura 22. Descripción de DOT



Fuente: Paucar, B., Tacuri, L. (2015). *Estudio de las condiciones que generan un desgaste anormal de los neumáticos radiales para vehículos pesados que impiden su reutilización como base para reencauche.*

- Indicador de desgaste: es una marca impresa en el costado del neumático que, cuando el desgaste alcanza esta marca, deja en forma visible la indicación de profundidad límite. De acuerdo con Moscoso (2010) la medida de retiro del neumático para ser vitalizado debe ser de 3 mm
- País de fabricación: es el lugar de donde proviene y donde fue elaborado el neumático. Es importante el origen para cuando se hacen mediciones de rendimiento y también se puede tener una idea de la calidad del producto que se comercializa.
- Remarcado de la banda de rodadura: indica la posibilidad de remarcar la banda de rodadura con una herramienta especial, profundizando las ranuras

para conseguir más kilómetros de uso. Esta opción viene indicada en el casco del neumático.

1.3.6. Vitalización

La vitalización consiste en reutilizar un neumático usado, cambiando la banda de rodadura por una nueva. La banda de rodadura nueva que se instala depende de la aplicación que se desea. (Paucar *et al.*, 2015).

Según Moscoso (2010) para realizar la vitalización se realizan los siguientes pasos:

- Inspección inicial
- Raspado de la banda de rodadura
- Reparación de neumático
- Cementado
- Corte de banda a medida
- Instalación de banda de rodadura
- Vulcanización
- Evaluación de vitalización

Por lo anterior, para realizar una vitalización el estado del neumático debe estar en buenas condiciones. De lo contrario no se podrá realizar esta labor.

1.3.7. Maximización de rendimiento

La vida útil del neumático es la duración que el neumático debe tener, cumpliendo la función para lo que fue creado. (Blanco, 2016). La maximización

se refiere a prolongar su duración estimada, sus dimensiones de medición serán en kilómetros.

Si se eliminan o reducen los factores que afectan la vida útil del neumático, se estima obtener una mayor duración del rendimiento kilométrico. Esto supone reducir paros no programados, mayor disónibilidad de los tractocamiones obteniendo para los dueños de la empresa una mejor rentabilidad, para el ambiente una reducción en generación de desecho y mayor seguridad en la conducción.

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo de campo correspondió al desarrollo de la investigación. En él se detalla la forma de llevarlo a cabo y la estructuración para llegar a la presentación de resultados, discusión de estos y elaboración de conclusiones.

2.1. Visita de reconocimiento

La empresa de transporte pesado cuenta con una flota de tractocamiones de 45 unidades utilizados para mover cargas tirando de semirremolques y realizando distribución de materias comerciales en el interior de la república y a Centroamérica. Por ser transporte terrestre se movilizan sobre asfalto, pavimento y terracería en carreteras sinuosas, regionales y urbanas. La empresa está establecida estratégicamente en el departamento de Escuintla, cuenta con infraestructura apropiada y un departamento de mantenimiento que gestiona las actividades relacionadas al mantenimiento de los tractocamiones.

Para esta fase, la empresa estuvo dispuesta a colaborar para realizar la visita de reconocimiento al lugar y el acceso a los datos históricos donde se encontró el inventario de neumáticos y reportes de la pila de desechos de neumáticos.

Se recurrió a la observación directa y elaboración de una entrevista estructurada para recabar información para elaborar la propuesta de mantenimiento. Se verificaron las actividades del supervisor de neumáticos, se conoció la estructura organizacional del departamento de neumáticos, se recopilaron datos de rendimiento kilométricos de neumáticos y sus fallos.

Se evidenció que han realizado mantenimientos esporádicos a los tractocamiones para mejorar el rendimiento de neumáticos. Se comprobó que llevan un control en el desecho de los neumáticos, utilizando el formato del anexo 1.

Se determinó que el supervisor de neumáticos se encarga de realizar la programación de cambios de neumáticos con base en su desgaste, esta programación la realiza en el formato presentado en el anexo 2. Los cambios de neumáticos se registran en el formato del anexo 3, detallando el estado del neumático y razón de cambio.

2.2. Toma de datos en campo y recopilación de información

La entrevista estructurada (ver apéndice 2) se aplicó al supervisor de neumáticos, al supervisor de mantenimiento de tractocamiones, al auxiliar administrativo, a los auxiliares operativos y al técnico en mantenimiento. El objetivo fue ampliar la comprensión de las operaciones del departamento de neumáticos. También permitió complementar el método detallado en la observación directa.

Se realizó ficha técnica y estudio de los neumáticos de la muestra, con el apoyo de personal de la empresa. Se validaron los datos históricos, se midió la presión en los neumáticos y se anotó el estado en el que se encontraron. Además, se balancearon los neumáticos y se alineó el tractocamión. Se redactó un alista de cada componente y sistemas del tractocamión que intervienen en el desempeño del neumático, el cuál sirvió para realizar el diseño del plan de mantenimiento.

2.3. Plan de mantenimiento preventivo

Para poder elegir un modelo práctico en relación al mantenimiento de neumáticos, se realizó un árbol de decisión, en la cual se considera la mejor alternativa y la que se adapta a las necesidades de la empresa, eligiendo la estrategia de mantenimiento basada en fiabilidad (ver apéndice 3).

Para el desarrollo de esta filosofía de mantenimiento se analizaron los datos históricos de la pila de desechos de neumáticos, detallando los fallos técnicos que limitan el rendimiento kilométrico.

Los pasos que se realizaron para diseñar el plan de mantenimiento son los siguientes:

- Creación de ficha técnica
- Lista de componentes de los sistemas de neumáticos, frenos, suspensión y dirección.
- Determinar fallos técnicos y causas de bajo rendimiento de neumáticos.
- Establecer variables de control: para estandarizar el mantenimiento preventivo como medida preventiva para maximizar rendimiento kilométrico en neumáticos.
- Plan de mantenimiento.

En relación con el mantenimiento de neumáticos en la empresa fue posible determinar fortalezas y debilidades. Dentro de las fortalezas encontradas se determinó que se cuenta con un buen inventario, un método de recolección de información apropiado a través del estudio de neumáticos, indicadores de efectividad del cambio de neumáticos y control básico en la presión de inflado de

los neumáticos, la empresa cuenta con herramienta y equipo avanzado. Se determinó que la fortaleza más grande es el reporte de la pila de desechos.

Por otro lado, las debilidades principales que deberán tratarse son la deficiencia administrativa, estimaciones de desgaste, estudio de neumáticos con una periodicidad muy baja, tareas de mantenimiento no estandarizadas, fallos funcionales no identificados y desconocimiento de variables a controlar para mejorar el rendimiento kilométrico.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Para cumplir con los objetivos propuestos en esta sección se presentan los resultados obtenidos de la investigación siguiendo el desarrollo de estos.

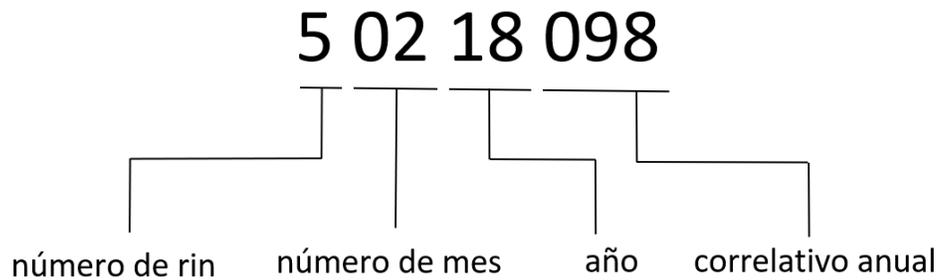
3.1. Determinación del método de mantenimiento de la empresa

De acuerdo con el objetivo específico propuesto de determinar el método que utiliza la empresa para realizar el mantenimiento a los neumáticos, se presentan los siguientes resultados

3.1.1. Aplicación de la observación directa

Dentro de la recopilación de información se determinó la manera en que se identifica cada neumático, la cual cuenta con un número correlativo único, a este número económico se le llama número de neumático o número de quemado. Este identifica al neumático y facilita el control del inventario, el cuál será indispensable para los cálculos de rendimiento. Este número se coloca en todos los neumáticos con la herramienta adecuada por calor. La lógica del número de quemado se muestra en la figura 23.

Figura 23. **Código correlativo para identificar neumáticos**



Fuente: elaboración propia.

El número de rin se identifica con el primer dígito. Los siguientes dos dígitos identifican al número de mes, seguido de dos dígitos más que indica el año en que el neumático ingreso al inventario y los últimos tres dígitos son un correlativo que se contabiliza a partir del número 1 durante el año. Como el volumen de compra no supera los mil neumáticos se mantiene en tres dígitos. En la flota de la empresa de transportes existen diferentes números de rin, pero para la presente investigación se utilizó solo rin 22.5. En el número del neumático se le asigna un código para identificar el rin, estas claves están mostradas en la tabla IX.

Tabla IX. **Claves para identificar número de rin**

código	rin
2	15
4	20
5	22.5
6	24.5
8	17.5

Fuente: elaboración propia.

El registro del número de correlativo se asigna a los neumáticos nuevos, este número se escribe en una hoja de cálculo cada vez que hay nuevos ingresos. Este registro lo realiza el almacenista.

De acuerdo con lo que se pudo observar, el cambio de neumáticos se controla llenando un formato (ver anexo 3). Este cambio se realiza cuando la medida de profundidad mínima de la banda es de 2.4 mm, en este mismo formato se anota la información básica de todos los neumáticos del tractocamión. El formato tiene un espacio para 14 neumáticos debido a que es un formato general para toda la flota de la empresa y en este sentido hay semirremolques de 12 neumáticos, dejando las posiciones 1 y 2 siempre para los neumáticos delanteros del tractocamión.

Los formatos se tienen establecidos desde el año 2014, pero según se describe en el planteamiento del problema, se tienen debilidades administrativas que provocan estimaciones incorrectas en el rendimiento kilométrico.

Las mediciones del rendimiento kilométrico para neumáticos se realizan en el formato denominado estudio de neumáticos (ver anexo 4), el cual se hace cada 3 meses. La información que se genera se almacena en una hoja de cálculo de Microsoft Excel®. Se tiene el inconveniente que cuando se establecen criterios de rendimiento por kilómetro, se estima un desgaste lineal de 0.8 mm por mes.

A continuación, se muestra la tabla X, con el resumen de los rendimientos kilométricos históricos de toda la población de la flota de tractocamiones.

Tabla X. **Rendimiento kilométrico de neumáticos en el año 2018**

mes	rendimiento
enero	78,370
febrero	101,729
marzo	81,807
abril	103,451
mayo	92,308
junio	92,883
julio	88,813
agosto	67,839
septiembre	94,374
octubre	77,687
noviembre	95,292
diciembre	67,091

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Aplicación de la entrevista estructurada

De la entrevista estructurada se puede detallar cada respuesta del supervisor de neumáticos, mantenimiento y también los técnicos para desarrollar el plan de mantenimiento.

La pregunta número uno hizo referencia a si se tiene conocimiento de la existencia de un plan de mantenimiento preventivo enfocado en los neumáticos. Todos los entrevistados concordaron que si se cuenta con plan de mantenimiento. Este plan de mantenimiento se refiere a las tareas que se realizan sobre la marcha. Como área de oportunidad se identifica la falta de seguimiento en cuanto a los registros actualizados de medición de profundidad de banda de rodadura y mejorar tareas de mantenimiento.

La pregunta número dos, solicitaba una explicación detallando la forma en que se ejecuta el mantenimiento a neumáticos. De las respuestas que se obtuvieron la inspección visual es la que tiene coincidencia la mayoría. También se explica la frecuencia de levantado de esta la inspección. Sin embargo, la inspección visual no es suficiente para obtener un mantenimiento apropiado. Las tareas realizadas en el mantenimiento se anotan en el formato registro diario trabajos en llantera transportes, anexo 5.

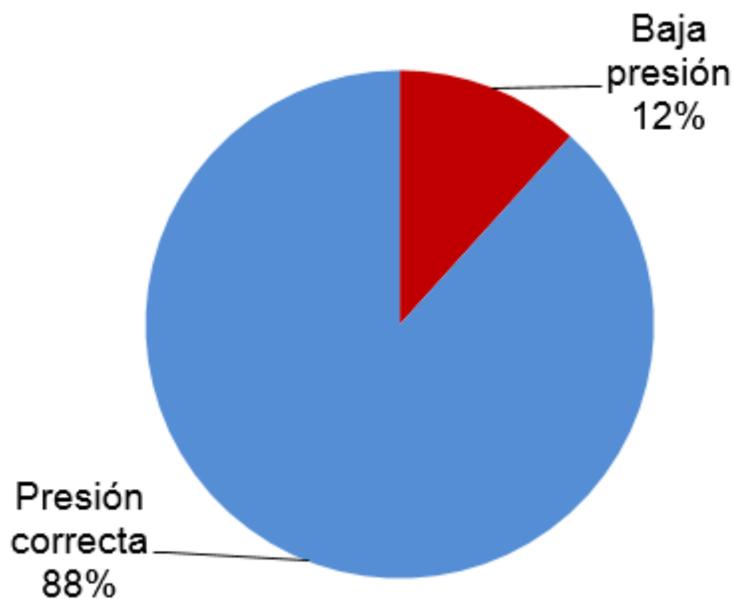
La pregunta número tres, le pidió a los entrevistados dar a conocer el método que conozcan para inventariar los neumáticos. En este sentido todos respondieron con diferentes respuestas. Pero como se mencionó el único método de controlar el inventario de neumáticos es a través del seguimiento del número de quemado en el neumático, que como una fortaleza se encuentra estampado en todos los neumáticos.

La pregunta número cuatro consistió en describir la forma que se realiza el remplazo del neumático. De esta manera se conoció la forma de medir el rendimiento kilométrico de los neumáticos. A lo cual todos coincidieron en que se realiza de dos maneras, por la profundidad de la banda de rodamiento y la otra forma a través de determinar el estado físico del neumático. Como área de oportunidad se identifica la forma en que se estima el desgaste de un neumático, ya que no es lineal, además de que se realizan solo cuatro inspecciones al año, utilizando el formato del anexo 4, lo que resulta en un bajo control administrativo.

La pregunta cinco trataba de que el entrevistado pudiera indicar su conocimiento sobre indicadores de mantenimiento de neumáticos. De acuerdo con la respuesta obtenida solo una persona no conoce sobre estos indicadores, de esta manera se pudo establecer una fortaleza ya que se pretende mantener una meta con relación a algún valor medido y el deseo del personal de

mantenimiento de alcanzarlo. Uno de los indicadores es el de control de presiones de inflado en los neumáticos, para lo cual utilizan el formato del anexo 6. El porcentaje de neumáticos con un inflado correcto se muestra en el gráfico circular de la figura 24. Claramente se aprecia que hay una brecha por trabajar, ya que no deberían existir neumáticos con baja presión de inflado.

Figura 24. **Porcentaje de neumáticos con baja presión de inflado correcto**



Fuente: elaboración propia.

La sexta pregunta se les solicitó a los entrevistados cuantificar el cuidado que se le da al cuidado de los neumáticos, donde 5 es el máximo. La mayoría coincidió en asignar un 4, debido a que hay casos en los que la tarea específica de mantenimiento programado o el cambio de los neumáticos a un tractocamión no se cumplen. Otro indicador es la medición del cumplimiento al programa de cambio de neumáticos, este se mide y se tiene un porcentaje de cumplimiento alto, pero aun así hay muchos neumáticos que no se cambian oportunamente, lo

que provoca un paro de equipo fuera de programa, de acuerdo con el porcentaje mostrado en la tabla XI:

Tabla XI. **Porcentaje de cumplimiento de programa de cambio de neumáticos 2018**

mes	cumplimiento
enero	85%
febrero	88%
marzo	92%
abril	74%
mayo	73%
junio	90%
julio	69%
agosto	68%
septiembre	60%
octubre	75%
noviembre	88%
diciembre	85%

Fuente: elaboración propia.

La pregunta número siete trataba sobre las causas que de acuerdo con los entrevistados provocan un bajo rendimiento en los neumáticos. Las principales causas que conocen se listan a continuación:

- Desgaste irregular.
- Neumático estallado por golpe.
- Sobre calentamiento del neumático.
- Banda de rodamiento con un desprendimiento interno.
- Conducción inapropiada.

- Deslizamiento del neumático en la calzada.
- Presión de inflado insuficiente o sobre carga.
- Carreteras en mal estado.
- Desajuste de piezas mecánicas.
- Desalineamiento.
- Procedimiento de reparación inadecuado.

Con la octava pregunta, se buscó que los entrevistados cuantificaran el tiempo de paro de un tractocamión por mantenimiento o reparaciones de neumáticos, siendo 5 un tiempo adecuado y 1 un tiempo excesivo. El promedio del tiempo que se emplea en mantenimiento de neumáticos es de 3.6. Como área de mejora se identifica que no se tiene una manera de medir el tiempo de mantenimiento.

En la pregunta nueve se les pidió a los entrevistados su opinión sobre los beneficios de tener un plan de mantenimiento. Siendo las siguientes:

- Prolongar el tiempo de vida del neumático
- Reducción de costos
- Aumento del TMEF

Con la pregunta número diez se buscó obtener la opinión sobre las soluciones posibles para mejorar el rendimiento kilométrico. Consideran importante las siguientes soluciones:

- Controlar el peso en las unidades
- Mejorar las presiones en los neumáticos
- Realizar balanceo y alineación
- Mejorar conducción de los tractocamiones

- Estandarizar medidas.
- Neumáticos apropiados para cada aplicación

Con la información recabada de la observación directa y la entrevista estructurada se realiza un análisis FODA de la empresa, que permitió abordar necesidades detectadas, la figura 25 muestra el análisis resumido.

Figura 25. **Análisis FODA para mantenimiento de neumáticos**

Análisis Interno	Análisis Externo
FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
-Inventario de neumáticos.	-Estudio de neumáticos.
-Programa de cambios de neumáticos.	-Indicadores de desempeño.
-Reporte de pila de desechos.	-Sobrecarga de equipos.
-Equipo y herramienta.	-Estándar en causas de bajo rendimiento.
DEBILIDADES	AMENAZAS
-Deficiencia administrativa.	-Carreteras en mal estado.
-Pocas consultas al manual de fabricante.	-Mercado de neumáticos.
-Programa de mantenimiento endeble.	-Operación de los tractocamiones.
	-Proceso de vitalización.

Fuente: elaboración propia.

3.2. Causas que afectan el rendimiento kilométrico

De acuerdo con el objetivo propuesto de establecer las causas que afectan el rendimiento kilométrico en neumáticos de los tractocamiones de la empresa y utilizando de base el apartado anterior se listan las siguientes causas:

- Desgaste anormal en la superficie de rodamiento.
 - Desgaste irregular

- Neumático parcial o totalmente dañado.
 - Heridas con objetos en el neumático.

- Daño de pestaña de neumático.
 - Golpes
 - Sobre calentamiento

- Daño subsuperficial de neumático.
 - Separación de cinturones o caucho.

- Daño en la vitalización.
 - Desprendimiento de la banda de rodadura.

Estas causas que provocan un bajo rendimiento kilométrico en los neumáticos son el fundamento para determinar las variables que deben controlarse para mitigar o eliminen dichos fallos.

3.2.1. Determinación de los fallos técnicos

De acuerdo con García, S. (2010) un fallo técnico es el que supone un funcionamiento anormal. Son todos los fallos que ocasionan la parada eventual del equipo.

Tomando como base los fallos en neumáticos determinados en el capítulo anterior en la sección 2.2.2. se presentan los fallos resumidos en la tabla XII, con la posible causa que los provocan. Estos fallos serán de utilidad para realizar el plan de mantenimiento preventivo.

Las causas que provocan un bajo rendimiento en los neumáticos se tomaron del análisis de la pila de desecho y la observación directa del capítulo 2, a continuación, se expone cada uno de los fallos, analizando la manera en que se muestra:

- **Desgaste irregular:** se presenta en la banda de rodadura y se refiere a la forma en que una sección tiene más desgaste que otra parte, puede ser en los hombros o en el centro de la rodada. Provocado por una presión inadecuada, sobrecarga, aplicación incorrecta del neumático o falta de alineación y balanceo.
- **Desgaste prematuro:** es un desgaste con un patrón uniforme pero que muestra una duración en kilómetros baja. Esto debido a la elección del neumático, una configuración incorrecta y también un ajuste de presión incorrecto.
- **Herida lateral:** esto se refiere a un daño superficial o total provocado por un objeto corto punzante que en el primer caso deja una laceración y en el

segundo caso penetra las paredes del neumático o las capas radiales de la banda de rodadura. Es provocado por objetos en la calzada, pero se incrementan por condiciones del neumático (ver tabla XII), haciéndolo más susceptible a este fallo.

- Deterioro o destrucción de neumático: en este caso el neumático sufre daños irreversibles, provocados por fallos mecánicos del tractocamión, un objeto entre los neumáticos, neumáticos muy antiguos, fallos no atendidos oportunamente y baja presión de inflado. Estos inconvenientes dañan la estructura interna del neumático, provocando una disgregación de las paredes del neumático o daños puntuales que dejan inservible el neumático.
- Ceja dañada: una ceja puede estar dañada por impactos o por un exceso de calor que impide que pueda utilizarse el neumático. Las causas pueden ser provocadas por un sobre calentamiento, un montaje del neumático inadecuado, una configuración de aro y neumático inadecuado o contaminación de la pestaña por oxido o químico.
- Separación de segmentos de caucho: este fallo se puede observar como un abultamiento o un surco que sobresale de la geometría del neumático. Esto se debe a que la presión del aire contenida en el neumático está intentando escapar por esta parte, debido a que internamente el neumático sufrió un daño en su estructura radial, lo más común es observar cables de acero oxidados o rotos. Pueden ser causas de este fallo un neumático muy antiguo, una falla de fabricación, un objeto que penetre y de paso a oxidación en los cables de acero o un golpe que dañe la estructura interna.
- Daño por falla en la vitalización: este inconveniente se presenta en los neumáticos vitalizados, es decir que pasaron por un proceso de cambio de

banda de rodadura, en el cual el neumático sufre cambios de temperatura y pueden presentarse desprendimientos de la banda de rodadura o daño del neumático. Este fallo es provocado por la calidad del neumático, por un proceso de vitalización inadecuado o por una falla mecánica del tractocamión o por alguna de las razones mencionada en los puntos anteriores.

Para armar la tabla se analizaron todas las posibilidades descritas en la sección anterior y se tomó de base el punto 1.3.4. citado en el marco teórico de la presente investigación. Se muestran las causas que provocan bajo rendimiento en los neumáticos y se presentan de forma organizada, esta información servirá de base para crear el plan de mantenimiento.

La primera columna se refiere a los síntomas o causas visibles en los neumáticos que llegan a su fin de vida útil, extraído de la pila de desecho o del estudio de neumáticos. La segunda columna recoge los fallos que provocan un bajo rendimiento. La tercera columna indica que falla se tiene, para dar sentido a la investigación. La cuarta columna indica las causas de los fallos. La última columna expone las soluciones a estos problemas.

En esta tabla se identifican las causas que ocasionan los fallos en los neumáticos. Por tanto, estas causas son las que se deben atender con el plan de mantenimiento. Muchas de las causas son las mismas que provocan diferentes mecanismos de fallo, por tal razón bastará con agrupar estas razones y en la columna de posibles soluciones se toman las acciones a ejecutar en el plan de mantenimiento.

Tabla XII. **Causas de bajo rendimiento de neumáticos**

Síntoma	Fallo funcional ¿qué?	Fallo técnico ¿Por qué?	Causa raíz	Posible solución
Desgaste anormal de la banda de rodamiento	Desgaste irregular	Presión de neumático inadecuada.	Pérdida de presión o el ajuste es incorrecto	Programa de ajustes de presión, cambio de válvulas, reparación de neumáticos adecuada.
	Desgaste prematuro	Sobrecarga del vehículo.	Selección de neumático incorrecto porque no se realiza consulta en manual de fabricante.	Consultar ficha técnica de neumáticos para seleccionar neumático correcto.
		Aplicación inadecuada del neumático.		
		Configuración incorrecta del neumático.	No se cuenta con plan de alineación y balanceo.	
		Alineación de tractocamión incorrecta.		Medir neumáticos para mantener una configuración correcta, a través de estudio de neumáticos.
	Balanceo de neumático incorrecto.		Incluir en mantenimiento alineación de tractocamión y semirremolque y balanceo de neumáticos	
Neumático parcial o totalmente dañado	Herida lateral del neumático	Conducción inadecuada	Falta de entrenamiento del operador	Programa de entrenamiento de operador.
	Herida en la banda de rodadura	Objetos en la calzada	Evaluar neumáticos de tractocamión.	Mantenimiento de tractocamión
	Deterioro completo de neumático (carcasa disgregada)	Carreteras en malas condiciones	Desconocimiento de estado de calzada.	Estudio de neumáticos mas frecuente.
		Daño mecánico del tracto camión	Pérdida de presión o el ajuste es incorrecto	Programa de ajustes de presión, cambio de válvulas, reparación de neumáticos adecuada.
	Arranque de banda de rodadura	Baja presión de neumático	Sobrecarga del vehículo.	
	Deslizamiento de la banda de rodadura.	Piedra entre el gemelado	Falta de mantenimiento de tractocamión	
Daño por químico	Neumático muy antiguo	No se inspecciona con regularidad el neumático		
		No se identificó la falla oportunamente		

Continuación tabla XII.

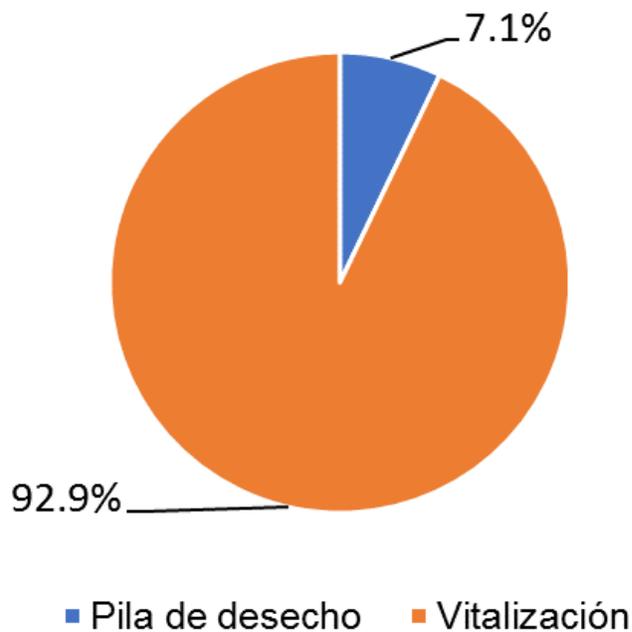
Síntoma	Fallo funcional ¿qué?	Fallo técnico ¿Por qué?	Causa raíz	Posible solución
Daño de ceja de neumático	Ceja golpeada o deformada.	Frenos mal ajustados	Falta de mantenimiento a tractocamión	Mantenimiento de tractocamión
	Ceja dañada por exceso de calor.	montaje de neumático en aro inadecuado Tamaño del aro incorrecto. contaminación en pestaña.	Herramienta mal utilizada o no utilizada reparación inadecuada No se realiza consulta a manual de	Programa de reparación y montaje de neumáticos apropiado. Consultar ficha técnica de
Daño subsuperficial de neumático	Separación de capas en hombro	Contaminación de cables de acero por oxidación.	Pinchazo no atendido a tiempo	Programa de ajustes de presión, cambio de válvulas, reparación de neumáticos adecuada.
	Separación de capas en banda de rodadura	Neumático muy antiguo. Falla de diseño de neumático.	reparación inadecuada No se realizó estudio de neumáticos para determinar su edad Neumático de baja calidad o falla	Estudio de neumáticos mas frecuente. Consultar ficha técnica de neumáticos para seleccionar
Daño de banda de rodadura de vitalización	Desprendimiento de banda de rodadura.	Arranque de banda vitalizada.	Proceso de vitalización inadecuado.	Consultar ficha técnica de neumáticos para seleccionar neumático correcto.
	Daño parcial o total del neumático.	Daño total del neumático	Neumático de baja calidad	Analizar empresa prestadora de servicio de vitalización.
			Neumático no tiene las cualidades para ser vitalizado.	Mantenimiento de tractocamión.
			Falla mecánica de tractocamión Estudio de neumáticos con intervalo muy grande.	Estudio de neumáticos mas frecuente

Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Resultado de identificar las causas de bajo rendimiento kilométrico

La estrategia del mantenimiento basado en fiabilidad utilizada permitió detectar las causas de los fallos que ocasionan un bajo rendimiento kilométrico en neumáticos. La figura 26, muestra el porcentaje de neumáticos que terminaron en la pila de desecho sin concluir su vida útil, a consecuencia de no tener ningún plan de acción al respecto. Asimismo, muestra un porcentaje de neumáticos que se enviaron a vitalizar.

Figura 26. Cantidad de neumáticos que no terminaron su vida útil



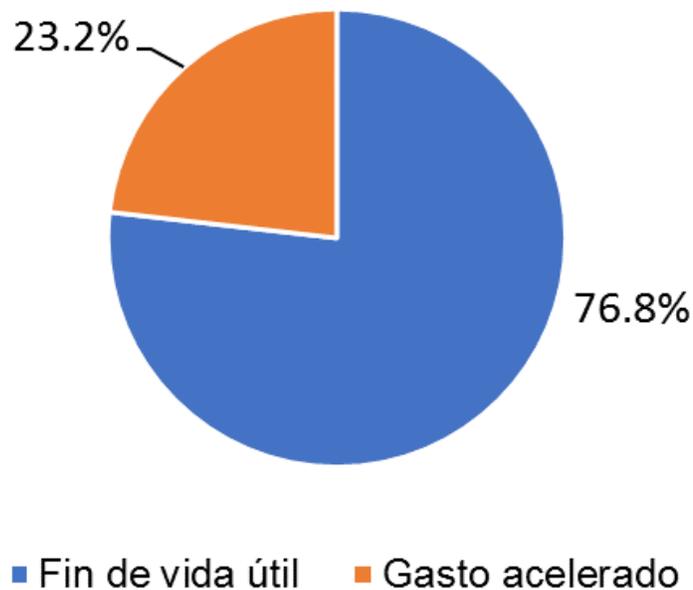
Fuente: elaboración propia.

Existe un porcentaje de neumáticos que no terminaron su vida útil, estos se reciclaron en la pila de desecho debido a que su rendimiento fue interrumpido.

Por otra parte, según se expone en el punto 1.3.6. estos neumáticos no pudieron reutilizarse a través del proceso de vitalización.

Para que se considere que un neumático terminó su vida útil, debe alcanzar un límite de 3 mm en la banda de rodadura. Del porcentaje mostrado en la figura anterior, hay una cantidad que se retiró con más de 3 mm de profundidad, muchos de ellos pudieron haberse rescatado realizando mantenimiento sobre la causa que generó ese desgaste prematuro. La figura 27 muestra el porcentaje de neumáticos que se enviaron a vitalizar, pero que no alcanzaron un kilometraje adecuado, ya que no se identificaron oportunamente las causas de bajo rendimiento, listadas en la tabla XII.

Figura 27. **Cantidad de vitalizaciones superior al límite de 3mm**



Fuente: elaboración propia.

3.3. Variables de control para estandarización del mantenimiento preventivo

De acuerdo con el objetivo propuesto de definir las variables de control para estandarizar los procedimientos de mantenimiento, se presentan los siguientes resultados.

Después de determinar los fallos se establecen sus medidas preventivas que los mitigan o los eliminan. Las tareas propuestas por realizarse en los neumáticos y tractocamiones son:

- Inspección visual y datos
- Mediciones técnicas
- Ajuste de presión de neumáticos
- Consultas al manual del fabricante
- Alineación, balanceo y rotación de neumáticos
- Mantenimiento de partes mecánicas de tractocamión

Los intervalos en el que se puede trabajar son: kilómetros, días, semanas y mes.

3.3.1. Inspección visual y toma de datos

Esta tarea es de las más rentables y, como fortaleza, ya se realiza a través de los estudios de neumáticos. Para ello, se utilizará el mismo formato del anexo 4 pero con una frecuencia mucho menor para ampliar los datos de rendimiento. Se debe contar con un técnico que realizará tomas de datos e inspección visual durante los mantenimientos preventivos de los tractocamiones, para obtener un estudio de neumáticos con una frecuencia de 2 meses, además se realizarán

estudios trimestrales acomodándolo de tal manera que se intercalen y se pueda obtener más información de la flota en estudio. Los neumáticos de la muestra están instalados en las unidades que aparecen en la tabla XIII, esta presenta el cronograma de inspecciones por realizarse en el formato de estudio de neumáticos.

Tabla XIII. **Plan estratégico de estudio de neumáticos**

ID de unidad	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul
TC-043		T	E	T		T	E	T		T	E	T
TC-050		T	E	T		T	E	T		T	E	T
TC-069		T	E	T		T	E	T		T	E	T
TC-074		T	E	T		T	E	T		T	E	T
TC-078	T		T	E	T		T	E	T		T	E
TC-080		T	E	T		T	E	T		T	E	T
TC-097	T		T	E	T		T	E	T		T	E
TC-109	T		T	E	T		T	E	T		T	E
TC-110	T		T	E	T		T	E	T		T	E

T = Inspección en Taller

E = Inspección en campo

Fuente: elaboración propia.

El cronograma anterior establece los meses propuestos para realizar un estudio de neumáticos y reducir los tiempos de inspección para obtener datos más certeros de las mediciones y estado físico de los neumáticos. La primera columna muestra el código del tractocamión que se analizará, las otras columnas indican el mes cuando debe realizarse la inspección. La letra T significa taller, esto indica que la inspección debe realizarse en el taller de mantenimiento de tractocamiones, aprovechando el mantenimiento rutinario del mismo. La letra E significa estudio de neumáticos, esta indicación se refiere a los estudios

bimensuales específicos para la inspección de neumáticos, a realizarse en campo.

3.3.2. Mediciones técnicas

Los neumáticos que se instalan en forma dual, es decir dos neumáticos por cada punta de eje, deben compartir características como se describe en la teoría de esta investigación. Es importante que en el estudio de neumáticos se considere realizar esta tarea para asegurar tener instalaciones correctas.

El auxiliar administrativo quien se encarga de ingresar los datos será el responsable de analizarla y tomar las medidas para indicar al supervisor sobre los cambios necesarios, como se establece en la figura 16.

- Diámetros de neumáticos, con una diferencia máxima de 6mm.
- Distancia entre gemelados 330 mm será el espaciado mínimo.

3.3.3. Ajuste de presión de neumáticos

Se establece un método de inspección sistemática para ajustar la presión correcta de los neumáticos. De acuerdo con la tabla VII, se determina que la presión de inflado debe adecuarse a la operación, la siguiente tabla muestra los datos de ajuste de presión.

También se debe evaluar el estado de la válvula de inflado, ya que esta representa un punto vulnerable para la pérdida de aire.

La inspección y ajuste de presiones se realizará todos los días, llevando la bitácora del anexo 6. Si se encuentra un neumático con un diferencial de presión,

respecto a los otros, de 60 kPa se debe reportar para su reparación y evaluar cuál será la causa que provoca la pérdida de presión. Este formato servirá para llevar un control e historial de las presiones de los neumáticos de cada tractocamión, llenando la información que se; en el espacio de fecha y kilometraje se escribe esta información; en las celdas de presión encontrada se anotará la presión a la que se encontró cada neumático. Cada neumático está representado con los números que lo ubican en el tractocamión, como se vio en la figura 3; asimismo, en la casilla de presión nivelada, se anotará la presión a la que se ajustó el neumático; en la profundidad se escribirá la medida en milímetros de la banda de rodadura. Por último, en las observaciones se escribirán las notas referentes al estado físico del neumático o recordatorios para el supervisor del departamento de neumáticos.

De acuerdo con el párrafo anterior, se muestra la tabla siguiente donde se anotan las presiones encontradas en los neumáticos de los tractocamiones descritos.

Tabla XIV. **Medida de presión en neumáticos en kPa**

Unidad	Medida neumático	Posiciones de neumáticos									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TC-043	295/80R22.5	655.0	620.5	620.5	551.6	586.1	620.5	620.5	586.1	586.1	586.1
TC-050	11R22.5	606.7	689.5	689.5	689.5	620.5	655.0	655.0	620.5	606.7	620.5
TC-069	295/80R22.5	689.5	689.5	689.5	689.5	689.5	689.5	689.5	689.5	689.5	689.5
TC-074	295/80R22.5	689.5	689.5	689.5	689.5	689.5	689.5	689.5	586.1	689.5	689.5
TC-078	295/80R22.5	758.4	758.4	758.4	758.4	758.4	758.4	689.5	689.5	689.5	689.5
TC-080	295/80R22.5	689.5	689.5	689.5	689.5	689.5	689.5	689.5	689.5	689.5	689.5
TC-097	295/80R22.5	620.5	620.5	689.5	689.5	689.5	689.5	689.5	689.5	689.5	689.5
TC-109	295/80R22.5	620.5	620.5	689.5	689.5	689.5	689.5	689.5	689.5	689.5	689.5
TC-110	295/80R22.5	758.4	758.4	758.4	758.4	758.4	758.4	758.4	758.4	758.4	758.4

Fuente: elaboración propia.

Las presiones correctas, de acuerdo con la tabla V del marco teórico, debe estar en 760 kPa, lo cual debe mejorar el rendimiento kilométrico por la teoría que expone la presente investigación en el punto 1.3.4.1. y expuesto gráficamente en la figura 10. La tabla XIV muestra las presiones encontradas cuando se realizó la inspección, cada neumático, luego de realizar las mediciones, la presión se ajustó a 760 kPa.

3.3.4. Consultas al manual de fabricante

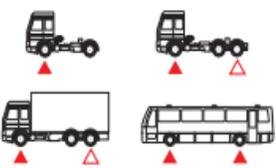
Cada vez que se requiera instalar un neumático por primera vez se debe consultar el manual de fabricante, este manual es una guía rápida de la aplicación de los neumáticos. Indica cuál es el lugar de uso donde se desempeñará adecuadamente, además de obtener datos importantes de medidas del neumático.

El supervisor del área de neumáticos recolectará todos los manuales que se requieran para cada marca de neumático. Esto le facilitará el mantenimiento y tendrá la información adecuada.

En la figura 28 se debe considerar la recomendación del fabricante, ya que la aplicación correcta del neumático es primordial. Los fabricantes muestran sus tipos de neumáticos. En este ejemplo, el neumático marca Pirelli FR01, es recomendable para tractocamiones de dos y tres ejes en la posición direccional y para camiones de tres ejes en posición direccional; pero para autobuses se puede utilizar en todas las posiciones. Asimismo, el neumático es recomendable para carreteras asfaltadas sinuosas, interpretado por el dibujo que aparece en aplicación y lo descrito en la descripción.

Otro factor importante en la selección del neumático es el código de carga, como se establece en la tabla VII del marco teórico. En él, la segunda línea 152/148M indica que una llanta simple soporta 3,550 Kg y cuando esta montada en una configuración doble, es decir gemelada, soporta 3,150 Kg. La letra M según la tabla VIII, el tractocamión podría llegar a una velocidad de 130 km/h con ese neumático.

Figura 28. Ejemplo de datos de manual de fabricante

POSICIÓN		FR:01			
		IP	MEDIDA	CÓDIGO DE CARGA E DE VELOCIDAD	PROFUNDIDAD DEL SURCO (mm)
		2256500	275/80R22.5TL	149/146M	16.0/15.5
		2343900	295/80R22.5TL	152/148M	16.0/15.5
		2454900	315/80R22.5TL	156/150L (154M)	16.0/15.5
		2458800	12R22.5TL	152/148M	16.0
		2481700	235/75R17.5TL	132/130M	13.0/12.5
		2477300	275/70R22.5TL	148/145L	16.0/15.5
		2458600	11R22.5TL	148/145L	16/15.5
		2148200	285/70R19.5TL	146/144L	14.0
		2682900	10.00R20TT	146/143K	16.0
		2078200*	245/70R19.5TL	136/134M	13.0

APLICACIÓN



NEUMÁTICOS PARA MEDIAS y LARGAS DISTANCIAS EN CARRETERAS ASFALTADAS, SINUOSAS Y/O CON SUBIDAS Y BAJADAS.

Fuente: elaboración propia. Portafolio de productos Pirelli.

Por último, la profundidad de la banda de rodadura es muy importante conocerla para estimar el desgaste que tiene en cada medición, tomando el valor original como referencia.

3.3.5. Alineación, balanceo y rotación de neumáticos

Es necesario que el tractocamión este muy bien alineado para que los neumáticos cumplan su función y no presenten desgaste prematuro. Eliminando

la convergencia o divergencia de la dirección o desalineamiento de los ejes traseros, como se expone en el apartado 1.3.4.7. Asimismo, es importante que los semirremolques sean inspeccionados y alineados. La alineación de la población de tractocamiones se muestra en la tabla XV.

Tabla XV. Registro de alineación

Unidad	Motivo para alinear	Programado	Validación alineación	Justificar por qué no se alineó.	Observaciones
TC-043	CAMBIO LLANTAS	NO	SI	-	Alineado sin inconveniente
TC-050	SERVICIO	SI	SI	-	Alineado sin inconveniente
TC-069	SERVICIO	SI	SI	-	Alineado sin inconveniente
TC-074	SERVICIO	SI	SI	-	Alineado sin inconveniente
TC-078	SERVICIO	SI	SI	-	Alineado sin inconveniente
TC-080	SERVICIO	SI	NO	reprogramar por desajuste en tren delantero	Desajuste en King Pin
TC-097	SERVICIO	SI	SI	-	Alineado sin inconveniente
TC-109	SERVICIO	SI	SI	-	Alineado sin inconveniente
TC-110	SERVICIO	SI	SI	-	Alineado sin inconveniente

Fuente: elaboración propia.

Se realizará la alineación, balanceo y rotación de neumáticos en cada mantenimiento del tractocamión utilizando los equipos existentes en la empresa, empleando los formatos establecidos (ver anexo 7 y 8 respectivamente). Esta tarea la realizará un técnico que operará el equipo de alineación y balanceo, llevando una bitácora del trabajo.

La alineadora utilizada para los mantenimientos de alineación es marca Hunter WA360-DPS760T, la cual opera bajo tecnología de posicionamiento (ver

figura 29), este equipo permite realizar ajustes muy precisos, ver ficha técnica de alineadora en el anexo 9.

Figura 29. **Alineación de tractocamión**

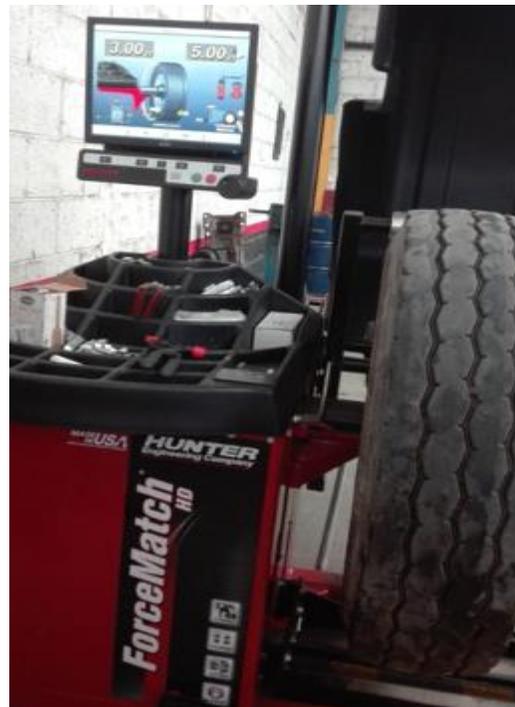


Fuente: elaboración propia.

El balanceo de los neumáticos de los tractocamiones se realiza con una balanceadora de servicio pesado marca Hunter GSP962243E, se balancearán los 10 neumáticos aprovechando el mantenimiento de la unidad, utilizando el formato del anexo 8 para su registro. La figura 30 muestra el montaje del neumático en el equipo para balancear. Cuando los neumáticos se instalan

después de ser balanceados, se deben rotar de sus posiciones con que se tenía originalmente para no fatigar el neumático por una constante temperatura elevada en el neumático, como se mencionó en el apartado 1.3.4.2. y, además, la rotación regular de los neumáticos promueve un desgaste uniforme de todas las llantas. (Ccoñas, 2014).

Figura 30. **Balaneo de neumáticos**



Fuente: elaboración propia.

En el formato del anexo 7, se anotará la fecha; el código que identifica el tractocamión en la columna de unidad; la razón se refiere al indicar por qué se hará el trabajo, si amerita anotarlo; en la columna alineación se describe si se alinea por estar en el plan de mantenimiento o por un cambio de neumáticos; en la columna explicación se describe si no se alineó por qué razón no se hizo

o si se tendrá algún pendiente; en la columna de diagnóstico se detallan los motivos que evidencien fallos en los componentes mecánicos; por último anota su nombre y firma el técnico encargado del trabajo.

El formato del anexo 8 para el control de balanceos se llena anotando la fecha del trabajo, el código del tractocamión, los kilómetros del tractocamión, el número del neumático, explicado en la figura 23; luego, se marca el número de plomo que se utilizará y, en el apartado contrapeso, se escribe la cantidad total que se empleó. En las observaciones se describirá cualquier nota relevante que deba considerarse. Por último, escribe su nombre y firma el técnico que realizará el trabajo.

El registro de los balances realizados en la muestra propuesta se detalla en la tabla del apéndice 4 donde se observó que un 40 % de neumáticos requirió ajuste de balance con más de 200 gramos, mientras otros necesitaron muy poco ajuste o ninguno.

3.3.6. Mantenimiento de partes mecánicas de tractocamión

Dentro de la rutina de mantenimiento se debe trabajar en mantener el control en el mantenimiento al sistema de freno, dirección y suspensión. Se establece cuál es la inspección que debe realizarse. Esta se hará en el mantenimiento del área de neumática y en el taller de mantenimiento cuando corresponda mantenimiento, de acuerdo con las razones expuestas en el marco teórico, tomando en cuenta los componentes y sistemas del tractocamión, este apartado se detallará en la tabla XIX.

3.3.7. Resultado de definir las variables de control para mejorar rendimiento kilométrico

El rendimiento kilométrico del neumático está limitado por causas que no se trabajaron oportunamente. Se obtuvo el rendimiento kilométrico histórico, bajo las condiciones de interrupción de la vida útil, como se menciona en el apartado anterior. La tabla XVI muestra los kilómetros promedio que rindieron las diferentes marcas de neumáticos, considerando la aplicación de estos. Los rendimientos kilométricos son las mismas marcas y diseños de banda de rodadura que los que se tienen en la muestra poblacional de la presente investigación.

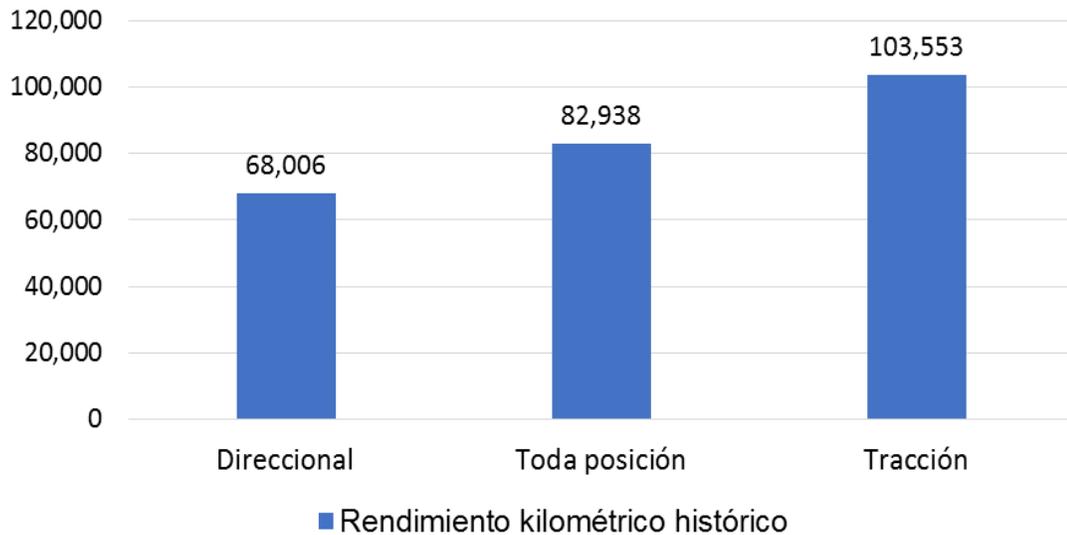
Tabla XVI. Rendimiento kilométrico histórico

Marca	Diseño banda de rodadura	Marca y diseño	Diseño de aplicación	Rendimiento kilométrico
Hankook	AH22	Hankook AH22	Dirección	47,023
Michelin	XZE	Michelin XZE	Dirección	89,607
Pirelli	FR01	Pirelli FR01	Dirección	74,884
Pirelli	FR88	Pirelli FR88	Dirección	67,831
Triangle	TR696	Triangle TR696	Dirección	60,686
Toyo	M320	Toyo M320	Toda posición	82,938
Hankook	DH05	Hankook DH05	Tracción	104,510
Pirelli	TR01	Pirelli TR01	Tracción	102,595

Fuente: elaboración propia.

Con la información anterior se presenta la gráfica de barras de la figura 31, donde se observa el rendimiento kilométrico de todos los neumáticos que llegaron a su fin de vida útil, con el mantenimiento que se evidenció en el apartado situacional de la empresa.

Figura 31. Rendimiento histórico



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Si se compara la tabla X con la tabla XVI se nota que toda la flota de tractocamiones presenta un mayor rendimiento en el promedio total que la muestra de estudio, debido a que en el promedio del año anterior existieron unidades que alcanzaron un mejor rendimiento kilométrico.

Al analizar las causas de bajo rendimiento kilométrico, se puede realizar la proyección como sigue:

La estimación de la proyección se realiza de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Proyección = \frac{Km}{mm} \times (H - h)$$

Donde:

H = Profundidad de banda de rodadura nueva

h = Profundidad de retiro límite (3mm)

El kilometraje por cada milímetro se estima tras la medición del recorrido de un neumático sobre el desgaste que se obtuvo en la banda de rodadura.

$$\frac{Km}{mm} = \frac{Km_f - Km_i}{H_i - h_f}$$

Por ejemplo, un neumático Pirelli TR01 con medida 295/80R22.5, tiene una profundidad de banda de rodadura como nueva de 22.22 mm, se instala en un tractocamión con 265,340 km y se vuelve a medir cuando se retira a los 359,613 km y para este kilometraje se tiene una profundidad de banda de rodadura de 3 mm. En la figura 32 se muestra la herramienta utilizada para medir profundidades en la banda de rodadura.

Figura 32. **Toma de profundidad**



Fuente: elaboración propia.

$$Km_i = 265,340$$

$$Km_f = 359,613$$

$$H_i = 22.22$$

$$H_f = 3$$

$$Proyección = \frac{359613 - 265340}{22.22 - 3} \times (22.22 - 3) = 94,273 \text{ Km}$$

Esta proyección muestra el ejemplo de cálculo de un recorrido estimado, mostrando un incremento en la cantidad de kilómetros debido a la aplicación del mantenimiento. Esta estimación puede cumplirse en un escenario con un rendimiento relativamente superior al histórico y otro con una mayor cantidad de kilómetros debido a que el neumático cumplirá su vida útil. La siguiente tabla detalla este pronóstico:

Tabla XVII. **Pronóstico de rendimiento kilométrico**

Marca	Diseño banda de rodadura	Marca y diseño	Diseño de aplicación	Primer escenario rendimiento km	Segundo escenario rendimiento km	% de incremento en rendimiento kilométrico
Hankook	AH22	Hankook AH22	Direccional	48,322	54,383	2.7 - 13.5
Michelin	XZE	Michelin XZE	Direccional	93,592	108,386	4.3 - 17.3
Pirelli	FR01	Pirelli FR01	Direccional	96,455	104,808	22.4 - 28.6
Pirelli	FR88	Pirelli FR88	Direccional	76,216	82,914	11.0 - 18.19
Triangle	TR696	Triangle TR696	Direccional	70,206	74,331	13.6 - 18.4
Toyo	M320	Toyo M320	Toda posición	83,500	100,011	0.7 - 17-1
Hankook	DH05	Hankook DH05	Tracción	104,510	109,440	0 - 4.5
Pirelli	TR01	Pirelli TR01	Tracción	104,214	114,758	1.6 - 10.6

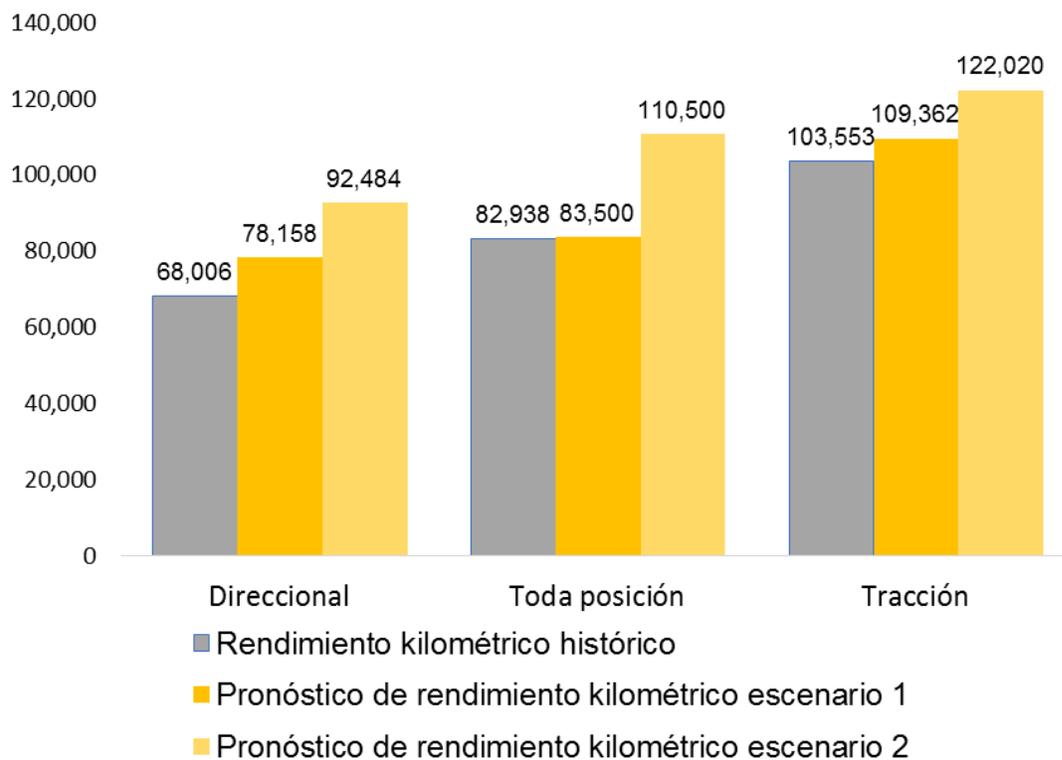
Fuente: elaboración propia.

Al establecer un programa de mantenimiento se estima que los neumáticos llegarán a su fin de vida útil, aún en con el primer escenario existe una mejora en

el rendimiento. El incremento del rendimiento kilométrico puede estar entre un 7.0 % y un 16.0 % en promedio.

Se puede hacer un comparativo de los valores obtenidos en la proyección de rendimiento kilométrico de la tabla XVII y los valores históricos de la tabla XVI, mostrados en la gráfica de barras de la figura 33, en donde la estimación considera solamente la marca de neumáticos de la muestra poblacional.

Figura 33. **Comparativo de rendimientos históricos y pronóstico**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

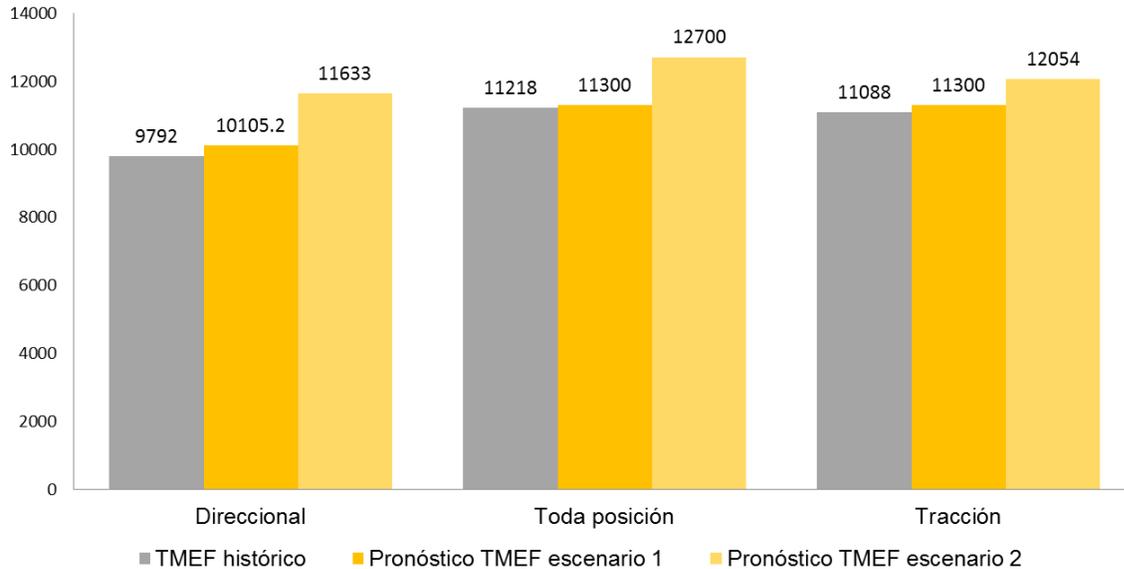
Puede notarse el incremento que se tiene al realizar una proyección, maximizando así el rendimiento kilométrico. En definitiva, se aprecia una mejora

estimada al realizar un mantenimiento preventivo en los neumáticos de la flota de tractocamiones.

En la sección 1.3.6. se menciona que cuando un neumático llega al final de vida útil sin daños en su construcción, puede realizarse una vitalización, lo cual se refiere a cambiar la banda de rodadura por una nueva, con ello se obtiene una reducción de costos y beneficios directos para la empresa e indirectamente para el medio ambiente al generar menos desechos en un período de tiempo.

En cuanto al tiempo medio entre fallas se estima un incremento debido al cumplimiento del plan de mantenimiento para neumáticos. Con base en la información histórica de los estudios de neumáticos en los tractocamiones, se calcula tiempo medio entre fallas histórico de la flota de tractocamiones estimando el tiempo de y, posteriormente, se proyecta el tiempo que le falta al neumático por recorrer, con este valor se calcula el nuevo TMEF. En la figura 34 se tiene una gráfica que compara el TMEF real y el estimado de la flota completa de tractocamiones, dado en horas.

Figura 34. **Comparativo de TMEF**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En la gráfica de barras se nota claramente que al hacer la proyección de TMEF supera el valor actual. Como se menciona en el apartado 1.2.2.2. el TMEF es un indicador técnico que muestra el intervalo con que ocurren fallas, por tal razón se espera que con un plan de mantenimiento los fallos se reduzcan o sean evitados.

3.4. Propuesta de plan de mantenimiento aplicado a neumáticos

Para el cumplimiento del objetivo general de diseñar un plan de mantenimiento preventivo aplicado a neumáticos para una flota de 45 tractocamiones de 300kW, para maximizar su rendimiento kilométrico se presentan los siguientes resultados.

Un plan de mantenimiento es un documento que engloba un grupo de tareas de mantenimiento que pueden ajustarse según se requiera, mejorando la función

de los tractocamiones y neumáticos, estudiando sus fallos y creando mecanismos que los eviten. Este plan debe satisfacer las necesidades descritas y debe ser aplicable en la flota de tractocamiones de la empresa.

La metodología propuesta para el plan de mantenimiento se basa en la fiabilidad, por su apego a la investigación y debido a las ventajas que ofrece para aplicarse a los neumáticos de tractocamiones, haciendo uso de las fortalezas con que tiene la empresa.

Como se describe en el apartado 1.2.3.4 los pasos requeridos para su implementación son los siguientes:

- Creación de ficha técnica
- Lista de componentes de los sistemas de neumáticos, frenos, suspensión y dirección.
- Determinar fallos técnicos y causas de bajo rendimiento de neumáticos.
- Establecer variables de control: para estandarizar el mantenimiento preventivo como medida preventiva para maximizar rendimiento kilométrico en neumáticos.
- Plan de mantenimiento.

3.4.1. Creación de ficha técnica

Para llevar a cabo el plan de mantenimiento, en primer lugar, se creará la ficha técnica de los neumáticos. En esta ficha se anotarán los siguientes datos:

- Medida de neumático
- Marca de neumático
- Diseño de la banda de rodadura

- Aplicación de neumático
- Ubicación en el tractocamión
- Procedencia
- Fecha de recepción
- DOT de neumático
- Número de neumático o número de quemado
- Profundidad de la banda de rodadura
- Pliegos de construcción

En esta ficha técnica se incluyen los 74 neumáticos que es la estimado en el marco metodológico.

En la tabla XVIII se presenta la ficha técnica de los sistemas mecánicos que tienen conexión con los neumáticos: sistema de dirección, suspensión y frenos:

Tabla XVIII. **Ficha técnica de los sistemas mecánicos**

Sistema	Descripción	Marca	Modelo	Capacidad Kg
Dirección	Eje delantero	Dana Spicer	E-1462I	6,636
Suspensión	Muelles	Kenworth taper leaf	T460	5,455
Frenos	Tambor	Bendix	ES 16.5x5	6,636

Fuente: archivo de empresa analizada.

Esta información será útil para desglosar los componentes mecánicos de cada sistema. El sistema se refiere a todo el conjunto de elementos que conforman un mecanismo para las diferentes funciones de operación del tractocamión, el modelo es importante que se tenga en la ficha técnica ya que servirá para detallar adecuadamente los componentes del sistema.

En el apéndice 1, se muestra la tabla con ficha técnica de neumáticos que se realizó en campo, donde se anotó la medida del neumático, el país de procedencia, el diseño de la banda de rodadura. Con base en la ficha técnica del neumático se determina su aplicación, la ubicación se refiere al lugar donde se encuentra el neumático como se estableció en la figura 3, el número de neumático funciona bajo la lógica que se expone en la figura 23 y finalmente la profundidad de la banda de rodamiento.

De acuerdo con esta ficha técnica de neumáticos, los tractocamiones que las emplean son nueve, estos aparecen listados en la primera columna, seguidamente se muestra la medida del neumático, como se mencionó en el apartado 1.3.5. del marco teórico. La marca y modelo se utilizan para acudir al manual o catalogo específico y así obtener información de la aplicación del neumático. El apartado 1.3.4.3. describe las diferentes construcciones para las regiones geográficas, en este caso en la ficha técnica muestra que los neumáticos listados son para uso regional, es decir que son para uso en carreteras sinuosas, donde el tractocamión no puede transitar a gran velocidad, donde está sometido a curvas y frenadas.

El DOT como se trató en el marco teórico indica la semana y año de fabricación del neumático, dato necesario para estimar que tan degradado pueda estar el caucho.

En las últimas columnas se tiene el número del neumático para darle trazabilidad al mismo y la profundidad de la banda de rodadura. Este último dato es el principal a considerar para estimar el tiempo de vida del neumático en función del kilometraje recorrido.

3.4.2. Componentes de los sistemas mecánicos de tractocamión

Es necesario contar con la lista de componentes de los sistemas, ya que serán necesarios para la elaboración del plan de mantenimiento, estos componentes se listan en la tabla XIX.

Tabla XIX. Lista de componentes de eje Dana Spicer E-1462I

Sistema	Descripción de componente	Número de parte	Cantidad
Dirección	Kit de pin rey	328347	1
Dirección	Pin Rey	1460SC102	2
Dirección	Buje de pin rey	1460HD100	4
Dirección	Espárrago de seguridad de pin rey	160HP104-1	2
Dirección	Espárrago de seguridad de pin rey	160HP104-2	2
Dirección	Grasera de pin rey	819790	4
Dirección	Rótula de dirección izquierda	971748	10
Dirección	Rótula de dirección derecha	971749	10
Dirección	Seguro de rótula de dirección	HP102	2
Dirección	Rodamiento de carga axial	220HC104	2
Dirección	Tuerca de seguridad	140HN105	2
Dirección	Seguro de tuerca de muñón	HP115	2
Dirección	Retenedor de bufa	3202036	2
Dirección	Set de rodamientos delantero exterior	SET413	2
Dirección	Set de rodamientos delantero interno	SET406	2
Dirección	Barra auxiliar de dirección	463DS4619B	1
Frenos	Kit de Zapata de freno 4720	KIT4720	2
Frenos	Kit de resortes y bujes de zapata	KIT8081	2
Frenos	Tambor de freno	65710	2
Frenos	Espárrago de bufa	BR50-082	20
Frenos	Ajustador de freno	278323BXW	2
Frenos	Kit de bujes de eje de levas	127808ETN	2
Suspensión	Buje de suspensión	B13-1002	4
Suspensión	Amortiguador	665858	2
Suspensión	Hojas de suspensión delantera	B81-6018-003	2

Fuente: elaboración propia, tomado archivo de empresa analizada.

Con los números de parte y la clasificación por sistemas se utilizará para determinar el mantenimiento mecánico de los sistemas de frenos, suspensión y dirección del tractocamión. Los números de parte corresponden específicamente al modelo de tractocamión estudiado en la presente investigación, Kenworth modelo T460.

La cantidad de componentes son útiles para conocer qué cantidad es la necesaria para un tractocamión. Puede ser de utilidad tanto para personal administrativo como para personal de mantenimiento.

De acuerdo con García (2010), el plan de mantenimiento incluye una lista de tareas que se deben ejecutar, derivadas de las fallas. Por ello, el análisis se centra en los sucesos negativos ocurridos en los neumáticos, descritos en la tabla XII.

En las secciones anteriores se establece el inventario de neumáticos, la lista de sistemas y componentes del tractocamión, así como la estrategia de mantenimiento que se utilizará. Con esta información se crean las actividades que incluirá en el plan.

Las rutas de mantenimiento son tareas que se seleccionan de la lista de tareas planeadas. Su propósito es cumplir con el mantenimiento de las partes mecánicas del tractocamión y acciones que se deben realizar en el cuidado de los neumáticos.

La tabla XX presenta el plan de mantenimiento bosquejado en una ruta de mantenimiento que se seguirá de acuerdo con las frecuencias establecidas en kilómetros y días. En esta tabla se resume todo el plan de mantenimiento que

debe realizarse con una frecuencia establecida, con estas tareas se pretende eliminar los fallos en los neumáticos encontrados en el análisis de la tabla XII.

La tabla está dividida en tareas que representan a los distintos sistemas del tractocamión. Las tareas globales reúnen más trabajos por realizarse en diferentes componentes; la frecuencia establecida del tiempo al que se debe realizar el mantenimiento. La descripción de las tareas se realiza partiendo de la generalidad a lo específico mostrado en la tabla XII a través de los fallos detectados. La referencia muestra el formato que debe utilizarse o la medida de la variable por ajustar. En los formatos la referencia se realizó con el número de anexo; y el número de parte es un recordatorio del número de componente que se utilizará. Si se requiere un cambio de componente, la base de estos números de componente está en la tabla XIX, con las cantidades que se utilizará para cada tractocamión.

En la descripción se muestra una lista de tareas que deben realizarse. Especifica la actividad que se realizará en el tractocamión o en los neumáticos. Si corresponde una tarea semanal y una mensual, la tarea de mayor frecuencia anula a la de menor frecuencia.

Todas las tareas mostradas en la descripción de la tabla están elaboradas partiendo de los fallos detectados en los neumáticos, las tareas las debe realizar un técnico en neumáticos y validado por el supervisor de departamento de neumáticos. Estas tareas pueden cambiarse y mejorarse.

La ruta de mantenimiento es una guía escrita para técnicos y supervisores, que detallan los trabajos que deben ejecutarse.

La frecuencia de los 16,000 km se debe a que a los tractocamiones se les realiza mantenimiento en este período, se pretende aprovechar la parada del tractocamión para realizar todas las tareas que se indican.

Tabla XX. Plan de mantenimiento

Frecuencia semanal			
Tarea	Descripción	Referencia	Número de parte
Ajustes y lubricación	Ajuste de presión de neumático	760 kPa / anexo 8	
	Torquear tuercas de rueda	675 N.m	
	Limpia y lubricar pernos y tuercas de ruedas, de ser necesario		
	Engrasear pin rey		
	Engrasar todos los puntos de lubricación de tren delantero y suspensión		
Frecuencia mensual			
Tarea	Descripción	Referencia	Número de parte
Inspección visual	Verificar el estado físico del neumático		
	Verificar que el neumático no tenga cortes o laceraciones		
	Verificar paredes del neumático que esté en buen estado		
	Verificar deformaciones en banda de rodamiento		
	Verificar que no exista desprendimiento de la banda de rodadura		
Estudio de neumáticos	Realizar estudio de neumáticos utilizando formato establecido	anexo 5	
	Medir profundidad de banda de rodadura	mínimo 3 mm	
	Validar diferencia de profundidades en neumáticos gemelados	máximo 3 mm	
	medir distancia entre neumáticos gemelados	mínimo 335 mm	
	Validar ubicaciones e información de neumático	anexo 5	
	Verificar que la aplicación del neumático sea la correcta	anexo 1	
	Verificar que no tenga desgaste irregular la banda de rodadura		
	Validar DOT de neumático	anexo 1	
	Inspeccionar el estado del aro, que no esté golpeado o rajado		
	Cambiar neumático de ser necesario, programando el cambio	anexo 3 y anexo 4	
Trabajos en neumáticos	Balanceo de neumáticos	anexo 10	
	Evaluar estado de tuercas de aro		
	Validar información de neumático de acuerdo a ficha técnica	anexo 1	
	Alinear eje de dirección de tractocamión	anexo 9	
	Alinear ejes de tracción de tractocamión	anexo 9	
	Realizar rotación de neumáticos	anexo 7	
	Alinear el semirremolque con el que trabaja el tractocamión	anexo 9	

Continuación tabla XX.

Frecuencia 16,000 km			
Tarea	Descripción	Referencia	Número de parte
Tareas en sistema de dirección	Evaluar holgura de rótulas de dirección, cambiar de ser necesario		971748 y 971749
	Revisar holgura de pin rey utilizando una palanca		
	Reemplazar pin rey de ser necesario		328347
	Revisar esparrago de pin rey y reemplazar de ser necesario		160HP104-2
	Nivelar aceite hidráulico de dirección asistida		ATF
	Inspeccionar tuercas de sujeción de suspensión que estén apretadas		
	Cambiar seguro de tuerca de rodamiento de rueda de ser necesario		HP115
	Verificar estado de esparragos de ruedas, cambiar de ser necesario		BR50-082
	Verificar estado de barra auxiliar de dirección, cambiar de ser necesario		463DS4619B
	Cambiar rodamientos de ser necesario		SET413 y SET406
	Cambiar retenedores de bufas de ser necesario		3202036
Engrase de rodamientos de rueda			
Tareas en sistema de freno	Inspección visual del estado de los frenos		
	Limpieza de zapatas y tambores de freno		
	Evaluar estado de tambores		
	Verificar desgaste de tambor cambiar de ser necesario		65710
	Cambiar kit de resortes de zapatas de freno al cambiar zapatas de freno		KIT8081
	Limpieza de ajustador de frenos		
	Revisar espesor de zapatas de freno, cambiar de ser necesario		KIT4720
	Inspeccionar holgura de ejes de levas de frenos		
	Cambiar bujes de eje de levas de ser necesario		127808ETN
Verificar estado de ajustador de freno, cambiar de ser necesario		278323BXW	
Tareas en sistema de suspensión	Cambiar amortiguador de ser necesario		665858
	Revisar estado de amortiguadores de suspensión		
	Evaluar hojas de suspensión que no estén quebradas o corridas		
	Cambiar hojas de suspensión de ser necesario		B81-6018-003
	Inspeccionar bujes de suspensión, cambiar de ser necesario		B13-1002
	Revisar componentes de suspensión neumática		

Fuente: elaboración propia.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Durante el desarrollo del trabajo, se obtuvo información para elaborar el diseño del plan de mantenimiento aplicado a neumáticos, comparando la situación inicial y el nuevo diseño. El propósito fue obtener el comparativo de los rendimientos actuales y los estimados al realizar un mantenimiento preventivo.

4.1. Análisis interno

De acuerdo con los resultados, se alcanzaron los objetivos establecidos para elaborar esta investigación. El diseño de plan de mantenimiento propuesto permite lograr mejoras significativas en la empresa, confirmando los beneficios de su diseño. Dicho éxito se muestra en la matriz de consistencia de sistematización de la investigación mostrada en el apéndice 5.

Anteriormente, el método para realizar el mantenimiento, incluso con la existencia de formatos, herramienta y equipo no era capaz de unificar todo el mantenimiento. Con la estandarización de las tareas de mantenimiento, el trabajo para los técnicos se facilita y los resultados para la empresa mejora.

También al realizar el mantenimiento bajo un plan establecido, los técnicos y supervisores de mantenimiento podrán abarcar más puntos de inspección que antes no se atendían o no se veían en un mantenimiento cotidiano.

El mantenimiento a neumáticos debe ser parte de la cultura de mantenimiento del departamento de neumática. El supervisor de mantenimiento

puede tener un instrumento que sea práctico y efectivo, con tareas estandarizadas.

La estrategia de mantenimiento presentada enfatiza el análisis de los fallos, para accionar sobre el plan de mantenimiento, mejorando continuamente. Se tuvo inconvenientes para que algunos técnicos identificaran con claridad los fallos.

De acuerdo con la opinión del supervisor de neumática y auxiliares administrativos, se les facilita llevar el control en la pila de desecho, identificando de una manera clara y estandarizada los daños encontrados, para poder tomar acciones sobre ellas. Asimismo, el realizar el estudio de neumáticos en un período más corto, admitirá tomar mejores decisiones sobre cambios de neumáticos o detectar problemas de forma anticipada y evitar daños prematuros en los neumáticos.

Un logro fue que las actividades de mantenimiento eran fáciles de implementar, realizando calibraciones de presión en neumático, alineaciones, balanceos, rotación de neumáticos y el mantenimiento a los sistemas de suspensión y frenos del tractocamión. También se mostró un incremento del tiempo medio entre fallas.

La limitación que puede darse es que el neumático se retire antes de que acabe su vida útil por control de cambios de neumáticos, donde algunos tengan un desgaste mayor que otros, en una misma unidad y se proceda a una vitalización sin considerar el aprovechamiento de dicho neumático. Por tal motivo, será necesario mantener un control de desgaste a través del estudio de neumáticos y establecer políticas de cambio para que puedan aprovecharse en otras unidades con una labor y características similares.

4.2. Análisis externo

La metodología utilizada para el diseño del plan de mantenimiento preventivo expuesto por García (2010) permite ser adaptada a la industria de tractocamiones y comparado con el estudio realizado por Paredes (2008), su análisis resulta exitoso si se sigue una metodología como la presentada en esta investigación. Paredes (2008) en su investigación concluye en que un mantenimiento preventivo a neumáticos logra aumentar su rendimiento.

Las causas de bajo rendimiento kilométrico en neumáticos, expuestas el capítulo 2, tienen congruencia con las razones presentadas por el autor Blanco (2016), en la presentación y discusión de resultados de su investigación evidencia como al trabajar sobre estas causas que afectan el rendimiento, se obtiene un incremento en el rendimiento de los. En el mismo sentido la investigación de los autores Paucar et al., (2015) muestra mejoras al final de la vida útil de un neumático al realizarles mantenimiento. En virtud de ello, en esta investigación, se sugieren tareas acordes a las establecidas por los investigadores mencionados anteriormente para maximizar el rendimiento kilométrico de los neumáticos.

Ccoñas (2014) expone en su trabajo de investigación los beneficios de un mantenimiento de neumáticos, este difiere a la presente investigación debido a que este autor enfoca el estudio en reducción de costos. Aunque la manera en que se desarrolla la identificación de fallos para promover acciones que controlen y minimicen el desgaste acelerado de los neumáticos es similar a la presente investigación.

Moscoso (2010) hace referencia a que se deben cuidar los neumáticos para que sean vitalizados sin complicaciones y además se tengan beneficios

económicos. También se reducen desechos que contaminan el entorno. Este trabajo de investigación difiere del objetivo de Moscoso (2010) de realizar un mantenimiento a los neumáticos para vitalizarlos y no una maximización del rendimiento kilométrico del neumático sin vitalizar.

La carretera por donde transitan los tractocamiones influye en el rendimiento del neumático, debido a la resistencia a la rodadura o al estado de la calzada. En esta investigación no se enfatiza la relación del desgaste del neumático debido a las carreteras, como lo muestra Hurtado (2017) y Campos (2008) pero aporta información valiosa en cuanto al buen desempeño que debe tener el neumático al mantenerlo apropiadamente, realizando tareas de mantenimiento mostradas en el capítulo 3.

El diseño de mantenimiento para neumáticos es válido para otras industrias de transporte, incluso para ampliarse a toda la flota de transporte de la empresa en estudio. Esta investigación contribuyó a demostrar que un diseño de plan de mantenimiento se adapta a la industria en general y que puede ser efectivo en donde se implante. La aplicación de la metodología tratada es válida para empresas que lo requieran, lo importante es la divulgación dentro de los actores que están involucrados en el mantenimiento, para que se cree la cultura de la planificación y cumplimiento.

CONCLUSIONES

1. A través del diagnóstico realizado se determinó que la empresa no contaba con un plan de mantenimiento para neumáticos; sin embargo, contaba con bases importantes que podían usarse en la elaboración del plan de mantenimiento, siendo el control de inventario y análisis de neumáticos que terminaban su vida útil.
2. Se establecieron las causas que afectan el rendimiento kilométrico en los neumáticos de tractocamiones: desgaste irregular de banda de rodamiento, daños en ceja, daños parciales o totales, fallas subsuperficiales y defectos de la vitalización de la banda de rodamiento vitalizada; localizando la razón que las originaron y con ello plantear una solución a cada una.
3. Se definieron las variables de control: inspección visual; mediciones y ajustes técnicos; alineación, balanceo y rotación de neumáticos; y tareas en los tractocamiones. Estas variables se estandarizaron para diseñar el plan de mantenimiento y reducir desgastes prematuros y fallos en los neumáticos.
4. Se diseñó un plan de mantenimiento preventivo aplicado a neumáticos para una flota de 45 tractocamiones de 300kW para maximizar su rendimiento kilométrico, pronosticando un incremento del 7 % al 16 %, obteniendo el completo desempeño del neumático, cumpliendo el total de su vida útil y mejorando el tiempo medio entre fallas entre 202 y 1,400 h.

RECOMENDACIONES

1. Se hace hincapié en que el supervisor de neumáticos mantenga el control del inventario, análisis en la pila de desecho y programa de cambios de neumáticos. También es importante que se contrate a una empresa para mejorar el análisis de los neumáticos que se encuentran en la pila de desechos.
2. El gerente debe gestionar la capacitación del supervisor de neumáticos para tecnificar la identificación de causas que afecten el rendimiento kilométrico y así incluir nuevas tareas al plan de mantenimiento, buscando la mejora continua. Asimismo, realizar un programa entrenamiento para operadores y supervisores de transporte, como el mostrado en el apéndice 6.
3. El jefe de transportes y supervisor de neumáticos deben realizar la revisión mensual de neumáticos, acortando su plazo de evaluación y tomar mejores decisiones con datos actualizados, para aumentar su rendimiento kilométrico.
4. Se sugiere al gerente implementar el plan de mantenimiento propuesto a toda la flota de tractocamiones y ampliar el análisis a un estado económico financiero calculando el ratio de costo por kilómetro de los neumáticos.

REFERENCIAS

1. Acuña, E. (2016). *Diseño de un plan estratégico de mantenimiento preventivo para una flota de tractocamiones Kenworth en la empresa Transportes Hagemsa*. (Tesis de pregrado). Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2477>.
2. Batz, B. (2013). *Diseño de un sistema de costos estándar de una empresa reencauchadora de llantas para transporte pesado*. (Tesis de pregrado). Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Guatemala.
3. Blanco, J. (2016). *Incremento de la vida útil de neumáticos para reducir costos de operación en camiones Caterpillar 797F en Toromocho-Chinalco Perú*. (Tesis de pregrado). Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú. Recuperado de <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3636>.
4. Campos, J. (2008). *Seguimiento y comparación del comportamiento de tramos con mezcla drenante, según zona geográfica y condiciones locales*. (Tesis de pregrado). Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Santiago, Chile. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103220>.

5. Ccoñas, J. (2014). *Control de desgaste de neumáticos para reducir costos de operación en volquetes FAW-360-Empresa ICCGSA-QUINUA I-AYACUCHO*. (Tesis de pregrado). Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú. Recuperado de <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/>.
6. Cárcel, F. (2014). *La gestión del conocimiento en la ingeniería del mantenimiento industrial: Investigación sobre la incidencia en sus actividades estratégicas*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España: OmniaScience. Recuperado de https://play.google.com/store/books/details/La_gesti%C3%B3n_del_conocimiento_en_la_ingenier%C3%ADa_de_ma?id=Xn5AgAAQBAJ&hl=bs.
7. Castro, G. (2008). *Materiales y compuestos para la industria del neumático*. Departamento de ingeniería mecánica Universidad de Buenos Aires. Argentina, Argentina. Recuperado de https://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Materiales_y_Compuestos_para_la_Industria_del_Neumatico.pdf.
8. Continental. (2019). *Información técnica llantas para camión*. Recuperado de <https://blobs.continental-tires.com/www8/servlet/blob/847082/e5d189ae7b81a501beadf47d96b52810/informacion-tecnica-2016-data.pdf>
9. Corazón, E. (2014). *Diseño de la investigación de la gestión de un programa de mantenimiento a llantas de flotas vehiculares aplicados desde centros de servicio automotrices*. (Tesis de

pregrado). Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Guatemala.

10. Crespo; et al. (2012). *Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos: Desarrollo y aplicación práctica de un modelo de gestión del mantenimiento*. Sevilla, España: Ingeman. Recuperado de https://books.google.com.gt/books/about/Ingenier%C3%ADa_de_Mantenimiento_y_Fiabilida.html?id=8xsnQ1aMg2gC&redir_esc=y.
11. Cuesta, F. (2010). *Manual y contrato de mantenimiento de la infraestructura eléctrica de una fábrica*. Universidad Carlos III. Departamento de ingeniería eléctrica. Madrid. España. Recuperado de <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/10713>.
12. Double Coin. (2019). *Libro de datos y referencias de neumáticos para camiones*. Recuperado de <https://www.doublecointires.com/wp-content/uploads/Double-Coin-TBR-Data-Book-Spanish.pdf>
13. Duffuaa; et al. (2000). *Sistemas de mantenimiento: planeación y control*. México, D.F.: Limusa, S.A. De C.V.
14. García, S. (2010). *Organización y gestión industrial de mantenimiento*. Madrid, España: Díaz de Santos, S.A.
15. Hurtado, A. (2017). *Estudio del coeficiente de fricción en asfalto con presencia de hielo y arena empleando el péndulo deslizante*. (Tesis de maestría). Sección de estudios de postgrado e investigación de Instituto Politécnico Nacional. México, México.

Recuperado de [https:// tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/ 123456789/ 23793/1/tesisAHMA.pdf](https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/23793/1/tesisAHMA.pdf)

16. Industrias Michelin. (2018). *Folleto al usuario información de uso de un neumático Michelin*. Recuperado de [https:// camiones-omnibus.michelin.com.co/docroot /michelin/br/pdf/ MANUAL-TECNICO-LLANTAS-COLOMBIA-PL.pdf](https://camiones-omnibus.michelin.com.co/docroot/michelin/br/pdf/MANUAL-TECNICO-LLANTAS-COLOMBIA-PL.pdf)
17. Industrias Michelin México S.A. De C.V. (2018). *Manual de servicio para llanta de camión Michelin X One*. Recuperado de [https://michelinb2b .com.mx/my_ documents/ 201392417176 .pdf](https://michelinb2b.com.mx/my_documents/201392417176.pdf)
18. Martínez, M. (2006). *Análisis financiero de la empresa Servicios y Transporte de Guatemala*. (Tesis de pregrado). Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Guatemala.
19. Ministerio de comunicaciones, infraestructura y vivienda. (2019). *Dirección General de Caminos*. Recuperado de [https://www.caminos.gob.gt/Descargas/Red% 20 Vial%20Registrada %202014.pdf](https://www.caminos.gob.gt/Descargas/Red%20Vial%20Registrada%202014.pdf).
20. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y vivienda Guatemala, C.A. (2010). *Reglamento para el control de pesos y dimensiones de vehículos automotores de carga y sus combinaciones*. Guatemala: Autor.
21. Moscoso, F. (2010). *Manual de especificaciones técnicas y estándares de trabajo para el rencauche de neumáticos*. (Tesis de pregrado).

Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad del Azuay.
Cuenca, Ecuador. Recuperado de
<http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/625/1/07920.pdf>.

22. Paredes, C. (2008). *Eficiencia en tiempo de vida de neumáticos con relación a rotación de posiciones uno y dos en volquetes Komatsu 930 E-3*. (Tesis de pregrado). Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
23. Paucar *et al.*, (2015). *Estudio de las condiciones que generan un desgaste anormal de los neumáticos radiales para vehículos pesados que impiden su reutilización como base para reencauche*. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Cuenca, Ecuador. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7975/1/UPS-CT004843.pdf>.
24. Superintendencia de Administración Tributaria (SAT). (2019). *Parque vehicular Guatemala julio 2019*. Recuperado de <https://portal.sat.gob.gt/portal/parque-vehicular/>
25. The Maintenance Council. USA. (1995). *Guía de análisis de condiciones para la llanta (neumático) radial*.
26. Yokohama. Información técnica Yokohama (2016). *Neumáticos para camiones y buses*.

APÉNDICES

Apéndice 1. Ficha técnica de neumáticos

ID de unidad	Medida del neumático	Marca de neumático	Diseño banda de rodadura	Uso del neumático	Diseño de aplicación	Ubicación en tractocamión	País de procedencia	DOT	Número de neumático	profundidad banda rodadura mm
TC-050	11R22.5	Toyo	M320	Regional	Toda posición	1	Japón	2417	50319155	15.08
TC-050	11R22.5	Toyo	M320	Regional	Toda posición	2	Japón	2417	50319156	15.08
TC-050	11R22.5	Toyo	M320	Regional	Toda posición	3	Japón	2518	51018609	8.73
TC-050	11R22.5	Toyo	M320	Regional	Toda posición	4	Japón	2618	51018610	8.73
TC-050	11R22.5	Toyo	M320	Regional	Toda posición	5	Japón	2618	51018611	8.73
TC-050	11R22.5	Toyo	M320	Regional	Toda posición	6	Japón	2518	51018612	8.73
TC-050	11R22.5	Toyo	M320	Regional	Toda posición	7	Japón	2418	51018613	8.73
TC-050	11R22.5	Toyo	M320	Regional	Toda posición	8	Japón	2518	51018614	8.73
TC-050	11R22.5	Toyo	M320	Regional	Toda posición	9	Japón	2418	51018615	8.73
TC-050	11R22.5	Toyo	M320	Regional	Toda posición	10	Japón	2518	51018616	8.73
TC-069	11R22.5	Toyo	M320	Regional	Toda posición	1	Japón	4617	50218075	10.32
TC-069	11R22.5	Toyo	M320	Regional	Toda posición	2	Japón	4617	50218076	10.32
TC-069	11R22.5	Toyo	M320	Regional	Toda posición	4	Japón	4617	50218077	7.94
TC-069	11R22.5	Toyo	M320	Regional	Toda posición	5	Japón	4617	50218079	7.94
TC-069	11R22.5	Toyo	M320	Regional	Toda posición	3	Japón	4617	50218080	7.94
TC-069	11R22.5	Toyo	M320	Regional	Toda posición	6	Japón	0915	50218081	7.94
TC-069	295/80R22.5	Triangle	TR696	Regional	Dirección	8	China	4617	50916410	6.35
TC-069	295/80R22.5	Triangle	TR696	Regional	Dirección	7	China	4617	50916421	6.35
TC-069	295/80R22.5	Triangle	TR696	Regional	Dirección	9	China	4617	50916443	5.56
TC-069	295/80R22.5	Triangle	TR696	Regional	Dirección	10	China	4617	50916454	5.56
TC-074	295/80R22.5	Pirelli	FR88	Regional	Dirección	1	Brasil	5016	50518220	7.94
TC-074	295/80R22.5	Pirelli	FR88	Regional	Dirección	2	Brasil	4716	50518221	7.94
TC-074	295/80R22.5	Hankook	DH05	Regional	Tracción	3	Corea	0518	50618325	19.05
TC-074	295/80R22.5	Hankook	DH05	Regional	Tracción	4	Corea	0518	50618326	19.05
TC-074	295/80R22.5	Hankook	DH05	Regional	Tracción	5	Corea	0518	50618327	19.05
TC-074	295/80R22.5	Hankook	DH05	Regional	Tracción	6	Corea	0518	50618328	19.05
TC-074	295/80R22.5	Hankook	DH05	Regional	Tracción	7	Corea	0515	50618329	19.05
TC-074	295/80R22.5	Hankook	DH05	Regional	Tracción	8	Corea	0515	50618330	19.05
TC-074	295/80R22.5	Hankook	DH05	Regional	Tracción	9	Corea	0515	50618331	19.05
TC-074	295/80R22.5	Hankook	DH05	Regional	Tracción	10	Corea	0418	50618332	19.05
TC-043	295/80R22.5	Michelin	XZE	Regional	Dirección	1	Brasil	4616	51017443	4.76
TC-043	295/80R22.5	Michelin	XZE	Regional	Dirección	2	Brasil	4616	51017442	4.76
TC-078	295/80R22.5	Hankook	AH22	Regional	Dirección	1	Corea	2618	50519237	10.32
TC-078	295/80R22.5	Hankook	AH22	Regional	Dirección	2	Corea	4218	50519238	10.32
TC-080	295/80R22.5	Pirelli	FR88	Regional	Dirección	1	Corea	0718	50619299	13.49
TC-080	295/80R22.5	Pirelli	FR88	Regional	Dirección	2	Corea	0718	50619200	13.49

Continuación apéndice 1.

TC-080	295/80R22.5	Hankook	DH05	Regional	Tracción	3	Corea	4917	50618293	11.91
TC-080	295/80R22.5	Hankook	DH05	Regional	Tracción	4	Corea	4917	50618294	11.91
TC-080	295/80R22.5	Hankook	DH05	Regional	Tracción	5	Corea	4917	50618295	11.91
TC-080	295/80R22.5	Hankook	DH05	Regional	Tracción	6	Corea	4917	50618296	11.91
TC-080	295/80R22.5	Hankook	DH05	Regional	Tracción	7	Corea	4917	50618289	11.91
TC-080	295/80R22.5	Hankook	DH05	Regional	Tracción	8	Corea	4917	50618290	11.91
TC-080	295/80R22.5	Hankook	DH05	Regional	Tracción	9	Corea	4917	50618291	11.91
TC-080	295/80R22.5	Hankook	DH05	Regional	Tracción	10	Corea	4917	50618292	11.91
TC-097	295/80R22.5	Michelin	XZE	Regional	Dirección	1	Reino Unido	0318	50818456	7.94
TC-097	295/80R22.5	Michelin	XZE	Regional	Dirección	2	Reino Unido	3917	50919417	7.94
TC-097	295/80R22.5	Pirelli	TR01	Regional	Tracción	3	Brasil	0318	50919418	20.64
TC-097	295/80R22.5	Pirelli	TR01	Regional	Tracción	4	Brasil	3417	50919419	20.64
TC-097	295/80R22.5	Pirelli	TR01	Regional	Tracción	5	Brasil	0817	50919420	20.64
TC-097	295/80R22.5	Pirelli	TR01	Regional	Tracción	6	Brasil	1017	50919421	20.64
TC-097	295/80R22.5	Pirelli	TR01	Regional	Tracción	7	Brasil	0317	50919422	20.64
TC-097	295/80R22.5	Pirelli	TR01	Regional	Tracción	8	Brasil	3917	50919423	20.64
TC-097	295/80R22.5	Pirelli	TR01	Regional	Tracción	9	Brasil	0817	50919424	20.64
TC-097	295/80R22.5	Pirelli	TR01	Regional	Tracción	10	Brasil	0817	50919425	20.64
TC-109	295/80R22.5	Pirelli	FR01	Regional	Dirección	1	Brasil	2318	51118676	11.11
TC-109	295/80R22.5	Pirelli	FR01	Regional	Dirección	2	Brasil	2318	51118675	11.11
TC-109	295/80R22.5	Pirelli	TR01	Regional	Tracción	3	Brasil	2318	51118681	15.08
TC-109	295/80R22.5	Pirelli	TR01	Regional	Tracción	4	Brasil	2718	51118682	15.08
TC-109	295/80R22.5	Pirelli	TR01	Regional	Tracción	5	Brasil	2718	51118683	15.08
TC-109	295/80R22.5	Pirelli	TR01	Regional	Tracción	6	Brasil	2718	51118684	15.08
TC-109	295/80R22.5	Pirelli	TR01	Regional	Tracción	7	Brasil	2318	51118677	15.08
TC-109	295/80R22.5	Pirelli	TR01	Regional	Tracción	8	Brasil	2418	51118678	15.08
TC-109	295/80R22.5	Pirelli	TR01	Regional	Tracción	9	Brasil	2318	51118679	15.08
TC-109	295/80R22.5	Pirelli	TR01	Regional	Tracción	10	Brasil	2718	51118680	15.08
TC-110	295/80R22.5	Pirelli	TR01	Regional	Tracción	4	Brasil	1518	51118692	15.08
TC-110	295/80R22.5	Pirelli	FR01	Regional	Dirección	2	Brasil	4717	51118685	11.91
TC-110	295/80R22.5	Pirelli	FR01	Regional	Dirección	1	Brasil	4517	51118686	11.91
TC-110	295/80R22.5	Pirelli	TR01	Regional	Tracción	3	Brasil	1718	51118687	14.29
TC-110	295/80R22.5	Pirelli	TR01	Regional	Tracción	8	Brasil	1818	51118688	15.08
TC-110	295/80R22.5	Pirelli	TR01	Regional	Tracción	9	Brasil	1818	51118689	14.29
TC-110	295/80R22.5	Pirelli	TR01	Regional	Tracción	10	Brasil	1818	51118690	14.29
TC-110	295/80R22.5	Pirelli	TR01	Regional	Tracción	7	Brasil	1818	51118691	14.29
TC-110	295/80R22.5	Pirelli	TR01	Regional	Tracción	5	Brasil	1818	51118693	14.29
TC-110	295/80R22.5	Pirelli	TR01	Regional	Tracción	6	Brasil	1818	51118694	14.29

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Modelo de entrevista estructurada para recolectar información sobre el control del mantenimiento aplicado a neumáticos de la flota de tractocamiones

ENTREVISTA PARA EL DEPARTAMENTO DE NEUMATICOS

Instrucciones: la siguiente boleta de entrevista tiene como objetivo conocer cómo se lleva a cabo el mantenimiento de neumáticos de la flota de tractocamiones en la empresa de transportes. La información que proporcione será estrictamente académica y confidencial.

Preguntas

Marque la casilla con la respuesta que considere más apropiada. Si se le solicita describir la respuesta, por favor sea lo más breve y directo que pueda.

1. ¿Tiene conocimiento de si existe un plan de mantenimiento preventivo establecido específicamente para neumáticos de tractocamiones?

Si _____

No _____

2. Describa en forma breve la forma como realiza el control de mantenimiento de neumáticos.
3. ¿Se tiene un método de control para inventariar los neumáticos? De ser afirmativo, indique cuál es.
4. ¿Cómo sabe que debe realizar el cambio de un neumático?
5. ¿Tiene conocimiento de la existencia de indicadores de mantenimiento relacionados a los neumáticos de tractocamiones?

Continuación apéndice 2.

Si _____

No_____

6. Califique de 1 a 5 el cuidado que se le da a los neumáticos de los tractocamiones de la empresa a través del mantenimiento, donde 5 es el máximo.

1 _____

2_____

3_____

4_____

5_____

7. Indique todas las causas que conozca que provocan un bajo rendimiento por kilómetro en los neumáticos de los tractocamiones en la empresa.

8. Califique de 1 a 5 el tiempo que el tractocamión pierde por paro de máquina para realizar reparaciones o cambios de neumático, donde 1 es mucho tiempo perdido y 5 es el tiempo justo por mantenimiento.

1 _____

2_____

3_____

4_____

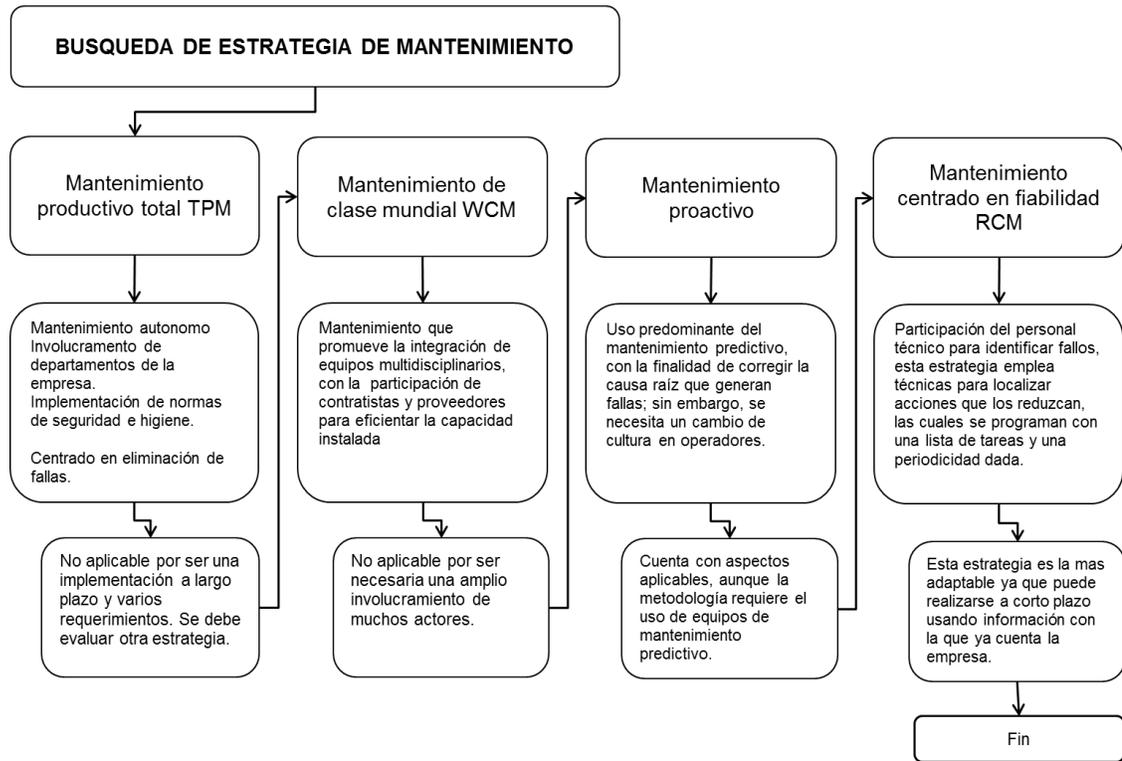
5_____

9. ¿Qué beneficios considera que se pueden obtener al establecer un plan de mantenimiento preventivo para neumáticos de un tractocamión?

10. De acuerdo con su experiencia, liste las posibles soluciones que considere ayuden a mejorar el rendimiento kilométrico de los neumáticos en los tractocamiones.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Árbol de decisión de estrategia de mantenimiento



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Registro de balances de neumáticos

Unidad	Posición	Número de neumático	Cantidad de plomos por medida								TOTAL	
			0.5	1	2	3	4	6	8	10		
TC-050	1	50319155		1				1			5	
TC-050	2	50319156						1			4	
TC-080	7	50618289			1	1				1	1	23
TC-080	8	50618290		1	1	1			1			12
TC-080	9	50618291										0
TC-080	10	50618292		1						1		9
TC-080	3	50618293						1			1	14
TC-080	4	50618294		1						1	1	19
TC-080	5	50618295			1				1			8
TC-080	6	50618296		1				1	1			11
TC-074	3	50618325						1	1			10
TC-074	4	50618326					1				1	13
TC-074	5	50618327					1				1	13
TC-074	6	50618328								1	1	18
TC-074	7	50618329										0
TC-074	8	50618330					1			1		11
TC-074	9	50618331			1					1	1	20
TC-074	10	50618332					1					3
TC-109	2	51118675		1				1				5
TC-109	1	51118676					1					3
TC-050	3	51018609		1						1	1	19
TC-050	4	51018610		1				1				5
TC-050	5	51018611					1				1	13
TC-050	6	51018612						1				4
TC-050	7	51018613		1							1	11
TC-050	8	51018614		1						1		9
TC-050	9	51018615							1			6
TC-050	10	51018616						1				4
TC-069	1	50218075									1	10
TC-069	2	50218076						1				4
TC-069	4	50218077								1		8
TC-069	5	50218079		1				1				5
TC-069	3	50218080						1			1	14
TC-069	6	50218081		1				1				5
TC-069	8	50916410							1			6
TC-069	7	50916421									1	10
TC-069	9	50916443		1								1

Continuación apéndice 4.

TC-069	10	50916454	1		1			5
TC-074	1	50518220			1		1	14
TC-074	2	50518221			1		1	14
TC-043	1	51017443		1				2
TC-043	2	51017442		1				2
TC-078	1	50519237					1	10
TC-078	2	50519238				1		6
TC-080	1	50619299				1		6
TC-080	2	50619200					1	8
TC-097	1	50818456				1		6
TC-097	2	50919417		1	1	1		22
TC-097	3	50919418		1			1	12
TC-097	4	50919419				1	1	14
TC-097	5	50919420		1	1			6
TC-097	6	50919421					1	18
TC-097	7	50919422		1			1	12
TC-097	8	50919423		1	1		1	24
TC-097	9	50919424		1	1		1	24
TC-097	10	50919425		1		1		17
TC-109	3	51118681					1	10
TC-109	4	51118682				1		14
TC-109	5	51118683				1		14
TC-109	6	51118684					1	6
TC-109	7	51118677		1		1		7
TC-109	8	51118678					1	10
TC-109	9	51118679				1		16
TC-109	10	51118680					1	18
TC-110	4	51118692		1			1	19
TC-110	2	51118685		1		1		7
TC-110	1	51118686		1			1	9
TC-110	3	51118687						10
TC-110	8	51118688		1		1		7
TC-110	9	51118689						0
TC-110	10	51118690		1	1		1	12
TC-110	7	51118691						0
TC-110	5	51118693						0
TC-110	6	51118694		1	1			1.5

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Matriz de consistencia de sistematización de la investigación

TÍTULO: diseño de investigación de plan de mantenimiento preventivo aplicado a neumáticos de una flota de tractocamiones de 300 KW para maximizar su rendimiento kilométrico				
	OBJETIVO	RESULTADOS	CONCLUSIONES	RECOMENDACIONES
G E N E R A L	Diseñar un plan de mantenimiento preventivo aplicado a los neumáticos para una flota de 45 tractocamiones de 300 kW para maximizar su rendimiento kilométrico.	Elaboración de diseño de plan de mantenimiento para neumáticos de tractocamiones. Proyectando mejoras en el rendimiento kilométrico	Se diseñó un plan de mantenimiento preventivo aplicado a neumáticos para una flota de 45 tractocamiones de 300kW para maximizar su rendimiento kilométrico, pronosticando un incremento del 7% al 16%, obteniendo el completo desempeño del neumático, cumpliendo el total de su vida útil y mejorando el tiempo medio entre fallas entre 202 y 1,400 h.	Se sugiere al gerente implementar el plan de mantenimiento propuesto a toda la flota de tractocamiones y ampliar el análisis a un estado económico financiero calculando el ratio de costo por kilómetro de los neumáticos.
E S P E C Í F I C O S	Determinar el método que se utiliza para realizar el mantenimiento de neumáticos en la empresa.	Fortaleza: inventario de neumáticos, personal idóneo, pila de desechos, equipo y herramienta. Debilidades: deficiencia administrativa, pocas consulta a manuales, programa de mantenimiento endeble.	A través del diagnóstico realizado se determinó que la empresa no contaba con un plan de mantenimiento para neumáticos; sin embargo, contaba con bases importantes que podían usarse en la elaboración del plan de mantenimiento, siendo el control de inventario y análisis de neumáticos que terminaban su vida útil.	Se hace hincapié en que el supervisor de neumáticos mantenga el control del inventario, análisis en la pila de desecho y programa de cambios de neumáticos. También es importante que se contrate a una empresa para mejorar el análisis de los neumáticos que se encuentran en la pila de desechos.
	Establecer las causas que afectan el rendimiento kilométrico en neumáticos de tractocamiones de la empresa	Se encontraron cinco razones que deriban las causas de bajo rendimiento kilométrico.	Se establecieron las causas que afectan el rendimiento kilométrico en los neumáticos de tractocamiones: desgaste irregular de banda de rodamiento, daños en ceja, daños parciales o totales, fallas sub superficiales y defectos de la vitalización de la banda de rodamiento vitalizada; localizando la razón que las originaron y con ello plantear una solución a cada una.	El gerente debe gestionar la capacitación del supervisor de neumáticos para tecnificar la identificación de causas que afecten el rendimiento kilométrico y así incluir nuevas tareas al plan de mantenimiento, buscando la mejora continua. Así mismo realizar un programa entrenamiento para operadores y supervisores de transporte.
	Definir las variables de control para estandarizar los procedimientos de mantenimiento, para aumentar el rendimiento kilométrico de los neumáticos	Se diseño el plan de mantenimiento preventivo	Se definieron las variables de control: inspección visual; mediciones y ajustes técnicos; alineación, balanceo y rotación de neumáticos; y tareas en los tractocamiones. Estas variables se estandarizaron para diseñar el plan de mantenimiento y reducir desgastes prematuros y fallos en los neumáticos.	El jefe de transportes y supervisor de neumáticos deben realizar la revisión mensual de neumáticos, acortando su plazo de evaluación y tomar mejores decisiones con datos actualizados, para aumentar su rendimiento kilométrico.

Fuente: elaboración propia.

Anexo 3. Formato para cambio de neumáticos

FORMATO PARA CAMBIO DE NEUMÁTICOS				HOROMETRO:						
IDENTIFICACIÓN:		#	LABOR mm	PSI	MARCA	MEDIDA	DISEÑO	PLIEGOS	NÚMERO DE NEUMÁTICO	OBSERVACIONES
		1								
		2								
		3								
		4								
		5								
		6								
		7								
		8								
		9								
		10								
		11								
		12								
		13								
		14								
OBSERVACIONES:										

Fuente: archivo de empresa analizada.

Anexo 4. Formato de estudio de neumáticos

FORMATO PARA ESTUDIO DE NEUMÁTICOS

UNIDAD _____

FECHA _____

km	POSICIÓN	DATOS DE NEUMÁTICOS			DISEÑO		PROF. Mm	PUEGOS	No. VITA	PSI	TAPON	TIPO ARO	CONDICIÓN ARO	TRABAJO A REALIZAR	DOT	OBSERVACIONES
		QUEMADO	MEDIDA	MARCA	CASCO	VITA / BANDA										
	1															
	2															
	3															
	4															
	5															
	6															
	7															
	8															
	9															
	10															
	11															
	12															
	13															
	14															

Fuente: archivo de empresa analizada.

Anexo 5. Formato registro de trabajos en departamento de neumáticos

REGISTRO DIARIO TRABAJOS EN DEPARTAMENTO NEUMÁTICOS FECHA _____

No.	CÓDIGO UNIDAD	KMS.	POS.	NEUMÁTICO RETIRADO			DISEÑO BANDA			DESTINO	MOTIVO RETIRO	NEUMÁTICO INSTALADO			DISEÑO BANDA			PROF.	ESTADO	OBS.
				QUEMADO	MEDIDA	MARCA	CASCO / ORIGINAL	VITA	PROF.			VITA	QUEMADO	MEDIDA	MARCA	CASCO / ORIGINAL	VITA			
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				

_____ Revisado Supervisor de neumáticos	Destino Repa R Corrimiento CR Cementerio CM Pinchada P Vitalizar Vita Rotación Rotar Venta CRV	Estado Nueva N Usada U Reparada RP Vitalizada VT
	_____ Autorizado Jefe de transportes	

Fuente: archivo de empresa analizada.

Anexo 6. Formato de reporte de presiones en neumáticos

Reporte de presiones en neumáticos

Unidad _____

Fecha	kilometraje	datos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		presión encontrada												
		presión nivelada												
		profundidad												
		observaciones												
		presión encontrada												
		presión nivelada												
		profundidad												
		observaciones												
		presión encontrada												
		presión nivelada												
		profundidad												
		observaciones												
		presión encontrada												
		presión nivelada												
		profundidad												
		observaciones												

Fuente: archivo de empresa analizada.

Anexo 7. Formato control de alineación de tractocamión

FORMATO PARA ALINEACIÓN DE NEUMÁTICOS

Fecha	Unidad	Razón por la que se alinea	Motivo de alineación	Explicación	Dagnóstico

Realizado por _____

firma _____

Fuente: archivo de empresa analizada.

Anexo 9. Ficha técnica alineadora Hunter WA360

Configuraciones de consolas

		WinAlign WT400 Premium	WinAlign WT300 Estándar
Hardware y software líderes en la industria	Procesador Intel Core i3 3.06 GHz (o mayor)	✓	✓
	4 GB de memoria SDRAM DDR3	✓	✓
	Disco duro 120 GB SSD (o mayor)	✓	✓
	Lector DVD-RW/CD-RW	✓	✓
	Sistema operativo Windows* 7	✓	✓
	Programa WinAlign HD con banco de datos de vehículos*	✓	✓
	Actualizaciones gratuitas para 2 años consecutivos	✓	✓
	2 años de actualizaciones gratuitas HunterNet access	✓	✓
	Módulo de red inalámbrico	✓	Opcional
	Videos de capacitación AlignGuide integrados	✓	Opcional
	Soporte para sensores DSP760T	✓	Opcional
	Soporte para compensación rodada	✓	Opcional
	Soporte para Empujador de vehículo	✓	Opcional



Premium



Estándar

* Se requieren los sensores de alineación de automóvil

Sensores DSP700T

	DSP760T	DSP740T
Ejes "en vivo"	3	2
Comunicación sin cables	✓	✓
Compensación continua Pro-Comp*	✓	✓
Compensación rodada**	✓	✓
Nivelación en pantalla Level Reminder*	✓	✓
Mecanismo de bloqueo del sensor	✓	✓
Retención de medida interrumpida	✓	✓
Construcción de peso liviano	✓	✓



DSP760T



DSP740T

** Requiere la consola WT 400.

Fuente: Manual técnico Hunter Engineering Company. (2014). Sistema de alineación HD Win Align.