

	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>10-04-2012</b>	<b>A</b>
Dependencia	Aprobado		Pág.	
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>	<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>		<b>i(114)</b>	

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	<b>JEFERSON DE JESUS PABON MARTÍNEZ</b>		
FACULTAD	<b>INGENIERÍA</b>		
PLAN DE ESTUDIOS	<b>INGENIERÍA MECÁNICA</b>		
DIRECTOR	<b>LEONARDO NAVARRO TORRADO</b>		
TÍTULO DE LA TESIS	<b>ANÁLISIS DE FALLAS DE LLANTAS OTR (OFF THE ROAD) EN LA FLOTA DE CAMIONES MINEROS DE LA MINA CALENTURITAS VIA LA LOMA CESAR</b>		
<b>RESUMEN</b> (70 palabras aproximadamente)			
<p>EL PRESENTE TRABAJO SE FUNDAMENTÓ EN EL DESARROLLO DE UN ANÁLISIS DE FALLAS EN LLANTAS OTR, MEDIANTE LA INVESTIGACIÓN Y RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y BASADO EN LA METODOLOGIA DE ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ PARA DISEÑAR UN MODELO DE FALLAS PARA LA EMPRESA KALTIRE S.A DE SUCURSAL DE COLOMBIA, CON EL FIN DE ELABORAR MEDIDAS PREVENTIVAS PARA EXTENDER LA VIDA ÚTIL DE LAS LLANTAS, DISMINUIR LA OCURRENCIA DE DAÑOS Y REDUCIR COSTOS DE MANTENIMIENTO.</p>			
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
PÁGINAS: 114	PLANOS:	ILUSTRACIONES: 63	CD-ROM: 1



**ANALISIS DE FALLAS DE LLANTAS OTR (OFF THE ROAD) EN LA FLOTA DE  
CAMIONES MINEROS DE LA MINA CALENTURITAS VÍA LA LOMA CESAR**

**JEFERSON DE JESUS PABON MARTINEZ**

**Trabajo de grado modalidad pasantías presentado como requisito para optar el título de  
Ingeniero Mecánico.**

**Director**

**LEONARDO NAVARRO TORRADO**

**Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA**

**FACULTAD DE INGENIERIAS**

**INGENIERÍA MECÁNICA**

**Ocaña, Colombia**

**Abril 2017**

## Índice

<b>Capítulo 1. Análisis de fallas de llantas OTR (off the road) en la flota de camiones mineros de la mina calenturitas vía la loma cesar</b> .....	1
1.1.Descripción de la empresa.....	1
1.1.1. Misión.....	1
1.1.2. Visión.....	2
1.1.3. Objetivos de la empresa.....	2
1.1.4. Descripción de la estructura organizacional.....	3
1.1.5. Descripción de la dependencia y/o proyecto al que fue asignado.....	3
1.2.Diagnóstico inicial de la dependencia asignada.....	4
1.2.1. Planteamiento del problema.....	5
1.3.Objetivos. ....	6
1.3.1. Objetivo general. ....	6
1.3.2. Objetivos específicos.....	6
1.4.Descripción de las actividades a desarrollar.....	7
<b>Capítulo 2. Enfoque referencial</b> .....	8
2.1 Enfoque conceptual.....	8
2.2 Enfoque Legal.....	23
<b>Capítulo 3. Informe del cumplimiento de trabajo</b> .....	30
3.1. Presentación de resultados.....	30
<b>Capítulo 4. Diagnóstico final</b> .....	80
<b>Capítulo 5. Conclusiones</b> .....	81
<b>Capítulo 6. Recomendaciones</b> .....	82
<b>Referencias</b> .....	83
<b>Apéndices</b> .....	84

## **Dedicatoria**

Quiero dedicar este logro a Dios por permitirme terminar mi carrera de ingeniería mecánica.  
A toda mi familia, por su confianza y apoyo incondicional en el transcurrir de esta etapa y mi vida.

## **Agradecimientos**

Quiero dar las gracias a Dios por darme la fortaleza, entendimiento, voluntad y salud para sacar adelante la carrera.

A mi madre por su abrumador esfuerzo y apoyo incondicional, de igual forma a mi padre, mi abuela y mi hermana que siempre creyeron en mis capacidades.

A la señora Martha Rodríguez y su esposo William Navarro por abrirme las puertas de su hogar y adoptarme en su familia.

A mis compañeros Sergio Jácome, Carlos José Abril, Javier López Vega, Gilver Toquica Sepúlveda, Félix Moreno, Víctor Alfonso Navarro y José Chiquillo; por estos años de amistad y compañerismo.

A los ingenieros Jhon Arévalo Toscano, Leonardo Navarro, Jaider Vergel Pabón, Gustavo Guerrero, Edwin Espinel y demás personas que contribuyeron a mi formación académica.

A Yamile Navarro por su apoyo vehemente y paciencia en mis últimos años de estudio.

A la empresa Kaltire S.A de C.V sucursal Colombia, por darme la oportunidad de aplicar mis conocimientos en el entorno laboral. Al ingeniero Juan Carlos Martínez, al contador Oscar Molina Tilano, a la supervisora de seguridad industrial Sandra Viviana Herrera, a la ingeniera industrial Luisa Oñate, a Yesid Peñaranda, Jesús Maurello Vaca, Junior Romero y demás personal de la empresa Kaltire , por brindarme la oportunidad de desempeñarme en mi cargo laboral, adquiriendo conocimientos para su futura aplicación.

**Lista de tablas**

Tabla 1. Matriz DOFA.....	4
Tabla 2. Descripción de las actividades a desarrollar.....	7
Tabla 3. Caracterización de la flota mina calenturitas. ....	58
Tabla 4 Causas de desechos de llantas 2009-2016.....	59
Tabla 5. Causas de fallas de reparación en 2015.....	60

## Lista de figuras

Figura 1. Estructura organizacional empresa Kaltire.....	3
Figura 2. Fuerzas, momentos y grados de libertad de una llanta.....	12
Figura 3. Ángulo de deslizamiento y área de contacto de la llanta. ....	14
Figura 4. Neumático convencional.....	15
Figura 5. Neumático Radial.....	16
Figura 6. Partes del Neumático. ....	17
Figura 7. Partes del Conjunto Llanta-Rin. ....	19
Figura 8. Información Impresa en el costado de la llanta. ....	20
Figura 9. Funcionamiento de la llanta. ....	21
Figura 10. Energía y tiempo en el funcionamiento de la llanta.....	22
Figura 11. Zonas de la llanta.....	30
Figura 12. Estructura de la llanta.....	31
Figura 13. Desgarramiento de la banda de rodamiento.....	34
Figura 14. Daño por agentes químicos en la banda de rodamiento.....	35
Figura 15. Corte en banda no pasante. ....	35
Figura 16. Corte en banda pasante. ....	36
Figura 17. Impacto en banda de rodamiento.....	37
Figura 18. Separación por corte. ....	37
Figura 19. Separación por calor. ....	38
Figura 20. Corte en el Hombro. ....	39
Figura 21. Impacto en hombro. ....	39

Figura 22. Separación mecánica.....	40
Figura 23. Grietas en el hombro.....	40
Figura 24. Desgaste circular por contacto entre neumáticos gemelos.....	41
Figura 25. Corte en costado.....	42
Figura 26. Impacto en costado.....	42
Figura 27. Laminaciones en el costado.....	43
Figura 28. Separación mecánica en el costado.....	43
Figura 29. Corte circunferencial en el costado. ....	44
Figura 30. Alteración por agentes atmosféricos. ....	44
Figura 31. Separación de la zona baja. ....	45
Figura 32. Separación en la zona de retorno. ....	46
Figura 33. Rotura en la zona baja. ....	46
Figura 34. Explosión del talón. ....	47
Figura 35. Talón dañado. ....	47
Figura 36. Butilo despegado. ....	48
Figura 37. Talón torcido. ....	48
Figura 38. Desintegración del butilo.....	49
Figura 39. Separación del butilo. ....	49
Figura 40. Grietas en el butilo. ....	50
Figura 41. Grietas circunferenciales en el butilo. ....	50
Figura 42. Unión abierta de butilo.....	51
Figura 43. Desgaste normal. ....	52
Figura 44. Desgaste irregular entre ambos hombros. ....	52

Figura 45. Desgaste tipo diente de sierra. ....	53
Figura 46. Desgaste en un área de rodado. ....	53
Figura 47. Desgaste por patinamiento. ....	54
Figura 48. Desgaste alternado de la huella. ....	54
Figura 49. Desgaste en ambos hombros. ....	55
Figura 50. Desgaste en hondo. ....	55
Figura 51. Desgaste en diagonal. ....	56
Figura 52. Desgaste en las puntas de las huellas. ....	56
Figura 53. Desgaste del taco. ....	57
Figura 54. Desgaste de un lado. ....	57
Figura 55. Factores que afectan la vida de los neumáticos. ....	61
Figura 56. Patrón de huella para tracción y para roca. ....	62
Figura 57. Clasificación de los neumáticos TRA. ....	63
Figura 58. Degradación del rendimiento del neumático en función la presión. ....	66
Figura 59. Aumento de la temperatura del neumático respecto al número de ciclos. ....	67
Figura 60. Rotación de llantas. ....	68
Figura 61. Convergencia y divergencia en llantas. ....	69
Figura 62. Inclinación positiva y negativa de las ruedas. ....	70
Figura 63. Efectos de la sobrecarga en la vida del neumático. ....	72

**Lista de apéndices**

Apéndice A. Modelo RCA para fallos en llantas OTR.....	85
Apéndice B. Modelo RCA para desgastes en llantas OTR.....	96

## **Resumen**

Esta práctica se enfoca en el desarrollo de un análisis de las fallas de llantas OTR de la empresa KALTIRE S.A de C.V Sucursal Colombia. La propuesta de creación de este análisis nace debido a la falta de claridad, consenso de criterios por parte de los técnicos en llantas en los modos de falla presentados en las llantas y la disposición de las mismas, desconociendo los planes de acción preventivos para que los daños presenten una disminución dentro de la mina; y la falta de concientización de los operadores de equipos de la importancia de las llantas.

Para realizar el análisis se recurrió a la metodología de análisis de causa raíz que permite reconocer los modos de falla, sus causas y acciones preventivas para evitarlos o en su defecto disminuirlos. Se realizó una investigación exhaustiva de los modos de falla, de los factores que inciden en la duración de las llantas OTR y las medidas que se pueden tomar para prevenir el deterioro temprano de las llantas. Finalmente se realizó el modelo de causa raíz que expone toda la información de manera organizada, para dar una guía a los empleados de la empresa.

## **Introducción**

La empresa KALTIRE S.A DE CV SUCURSAL COLOMBIA, dedicada al mantenimiento preventivo y correctivo de llantas de equipo minero, busca satisfacer las necesidades de sus clientes para obtener una mayor durabilidad de las llantas OTR, por esto surge la necesidad de estructurar un análisis causa raíz que permita el mantenimiento preventivo de las llantas desde un enfoque más claro, preciso y estandarizado.

El diseño del modelo de análisis de causa raíz, establece una mejora a los procedimientos de inspección de llantas, identificación de daños y disposición de llantas, que contribuyen a una mejor gestión y mantenimiento de las llantas, y podrían ayudar a reducir los elevados costos que representan las llantas para la producción en la mina, reduciendo drásticamente el desecho de llantas y contribuyendo a una mejor selección de llantas.

Con la aplicación del modelo, los técnicos en llantas y operadores podrían llevar a cabo un mejor cuidado de las llantas, con el fin de lograr que éstas lleguen a su vida útil y no que sean desechadas prematuramente.

## **Capítulo 1. Análisis de fallas de llantas OTR (off the road) en la flota de camiones mineros de la mina calenturitas vía la loma cesar**

### **1.1. Descripción de la empresa**

KALTIRE fue fundada en Canadá por Tom Foord en 1953, basado en su creencia fundamental de que el suministro de Neumáticos de alta calidad a un precio justo, respaldados por un servicio superior, produce la satisfacción en el cliente. Es lo que ha llegado a ser conocido como "True Service". La empresa Kaltire es una multinacional canadiense que se dedica al suministro de llantas para equipo liviano y equipo pesado, mantenimiento preventivo y correctivo de las mismas. Hoy día en KALTIRE Colombia cuenta con 7 centros de costo distribuidos en los departamentos de Cesar, Guajira, Valle y Santander donde realiza el mantenimiento y reparación de llantas OTR de los equipos, así mismo la distribución y mantenimiento de llantas para equipo mediano y liviano.

En el departamento del Cesar, en el municipio de la Jagua de Ibirico, se encuentra ubicado el proyecto Calenturitas, este proyecto es el más grande de la zona del Cesar y posee alrededor de 6 años de antigüedad en la mina Calenturitas. El proyecto cuenta con un grupo de trabajo integro, capacitado y responsable, que a diaria se esfuerza para resaltar y engrandecer el nombre de la organización; el proyecto en la actualidad está acreditado con la certificación internacional BUREAU BERITAS.

#### **1.1.1 Misión**

Lograr el liderazgo en la comercialización de nuestros productos y servicios, a través siempre de la percepción de valor de nuestros clientes

### **1.1.2 Visión**

Proveer a los Clientes de Soluciones de abasto y servicio de Excelencia, que contribuyan a la Máxima Productividad de sus equipos y el uso eficiente de sus Recursos.

### **1.1.3 Objetivos de la empresa**

- Proporcionar a los clientes un nivel de calidad y valor tanto de servicios como de productos que excedan sus expectativas y superen a la competencia.
- Dar a cada integrante del equipo el liderazgo de calidad, la capacitación y administración necesarias para proporcionar la calidad y valor al cliente. Nuestros integrantes del equipo trabajaran de forma segura y tendrán la ambición, entusiasmos y energía de ser productivos, eficientes y contribuir con una atmósfera optimista en el lugar de trabajo.
- Lograr una ganancia justa en todas nuestras operaciones.
- Expandir nuestra compañía en forma equilibrada y deliberada con el propósito de fortalecer nuestra habilidad de servir al cliente y proporcionar un futuro sólido para nuestra gente. Sin embargo, nuestra velocidad de financiar o administrar a un estándar consistente de calidad.
- Conducirnos con honestidad e integridad, estando conscientes de nuestra imagen y con un respeto modesto de nuestros éxitos. Nuestra imagen se define por la conducta de cada uno de nosotros.
- Construir relaciones a largo plazo con nuestros proveedores con base en competitividad, valor y respeto mutuo de los objetivos.
- Mejorar de forma continua cada aspecto de nuestra compañía, reconociendo nuestra responsabilidad con nuestros clientes, entre nosotros, con las comunidades y el ambiente.

### 1.1.4 Descripción de la estructura organizacional

La empresa Kaltire está organizada por proyectos, en cada uno de ellos hay un rango de autoridad y responsabilidad definido. Los integrantes del proyecto tienen asignados deberes y responsabilidades para sus labores.



Figura 1. Estructura organizacional empresa Kaltire.

Fuente: Inducción y Reinducción KALTIRE

### 1.1.5 Descripción de la dependencia y/o proyecto al que fue asignado.

El área administrativa de la empresa Kaltire en el proyecto Calenturitas está conformada por el gerente del proyecto, el coordinador administrativo y la supervisora SSTA. La coordinación administrativa en la actualidad está a cargo de dos personas, y entre sus funciones están: mantener actualizada las base de datos para el mantenimiento de las llantas TTC (Total Tire Control) y TOMS (Tire and Operations Management System), realizar actas de desecho de llantas, registrar datos de la verificación de presiones, hacer el estatus diario (informe de mantenimientos de llantas realizados a la flota de la mina), enviar informes al cliente y realizar inventario de almacén y de llantas; ente otras.

La supervisora SSTA es la encargada de manejar y actualizar el sistema de gestión y seguridad en el trabajo de la empresa Kaltire y el exigido por la mina, ente sus funciones están la programación de observaciones de comportamiento, de capacitaciones, evaluación de puestos de trabajo, manejo den programa RACI (reporte de actos y condiciones inseguros) y supervisión de cierre de acciones y procedimientos, programa de manejo de sustancias químicas y de residuos sólidos, así como la inspección de todos los elementos de seguridad de la empresa. Actualmente estas dependencias del área administrativa poseen deficiencias en las demoras de entrega de informes; debido al surgimiento de imprevistos, la gran cantidad de tareas que se deben realizar diariamente y la escasez de personal para llevar las tareas a cabo.

Sin embargo ambos puestos son esenciales para el correcto funcionamiento de las operaciones de la empresa, así que cualquier mejora dentro de las funciones que se ejecutan día a día, contribuirá a un mejor desempeño y la optimización de los procesos administrativos y productivos, y es ahí donde se le brinda la oportunidad al pasante universitario.

## 1.2 Diagnóstico inicial de la dependencia asignada.

### Tabla 1.

#### *Matriz DOFA*

<b>Lista de fortalezas</b>	<b>Lista de debilidades</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Reglamentos y políticas establecidos</li> <li>● Programas y capacitaciones al personal</li> <li>● La mayoría de los Procedimientos de trabajo están establecidos</li> <li>● Hay un sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Poca claridad y unanimidad para conocer las causas de una falla</li> <li>● El personal no usa una codificación de daños estándar</li> <li>● Carencia de un registro de inspección de las llantas</li> <li>● Retrabajo y acumulación de trabajo</li> </ul>

---

**Lista de Oportunidades**

- |  |   |   |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● Interés de la empresa por mejorar y actualizar los procesos de trabajo</li> <li>● La empresa brinda la oportunidad a estudiantes para realizar las practicas</li> <li>● El área administrativa colabora pala la recopilación de la información</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Mejorar el registro de la información a las bases de datos.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Clasificar las formas en la que puede fallar una llanta y sus causas.</li> <li>● Determinar mejoras para el proceso de inspección de la llantas</li> <li>● Llevar a cabo la codificación de fallas en llantas</li> </ul> |
|--|---|---|
- 

**Lista de Amenazas**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● Selección inadecuada de llantas sin tener en cuenta si es la adecuada (por imprevistos o porque no hay en inventario)</li> <li>● Mecánicos OTR no siguen los procedimientos interviniendo directamente en la vida de las llantas</li> <li>● Perdas de información</li> <li>● Estrés al personal por altas cargas de trabajo</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Facilitar información acerca de los aspectos que afectan la vida de las llantas para un mejor cuidado</li> <li>● Aumentar la vida de la llanta mediante la descripción de acciones preventivas</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Realizar un procedimiento para la correcta selección de llantas</li> </ul> |
|---|--|---|
- 

Fuente: Elaboración propia

### 1.2.1 Planteamiento del problema

La empresa KALTIRE S.A DE CV SUCURSAL COLOMBIA, presenta problemas en lo que respecta a la inspección de llantas y determinación de fallas, tareas preventivas para el alargamiento de la vida de las llantas y selección de llantas para cada equipo.

En la inspección de llantas ocasiona pérdidas de información cuando se precisa ingresar al sistema el estado de las llantas inspeccionadas y existen errores en el ingreso de datos al tener un sistema de codificación diferente entre el personal administrativo y de operaciones. Además de que hay poca objetividad y unanimidad a la hora de determinar exactamente la falla que se presenta tanto en las llantas inspeccionadas como en las llantas que están rodando, debido a que todavía no hay una herramienta que permita dar un veredicto estándar sobre el fallo de la llanta.

Esto también ha ocasionado problemas cuando hay accidentes o condiciones inseguras dentro del taller en la que deben ser investigadas las causas de las fallas de la llanta implicada.

Así mismo en algunos procedimientos no se tienen en cuenta factores que pueden optimizarse para una vida más larga de la llanta; tales como el diseño de las vías, el clima, el equipo minero, etc. Es por eso que se debe identificar acciones preventivas para cada falla encontrada según los aspectos mencionados anteriormente y además determinar el proceso para una mejor selección de las llantas según su aplicación.

### **1.3 Objetivos.**

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

Elaborar un análisis de fallas llantas OTR (off the road) en la flota de camiones mineros de la mina calenturitas vía la Loma cesar.

#### **1.3.2 Objetivos específicos.**

Identificar los modos de falla que se presentan en la vida útil de las llantas.

Determinar las acciones preventivas a cada falla identificada para alargar la vida útil de la llanta y mejorar el rendimiento de la misma.

Formular un modelo general que facilite la identificación y tipos de acciones proactivas para las fallas de las llantas, mejorando las operaciones de la empresa KALTIRE.

## 1.4 Descripción de las actividades a desarrollar.

**Tabla 2.**

*Descripción de las actividades a desarrollar*

<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>ACTIVIDADES A DESARROLLAR</b>
Elaborar un análisis de fallas llantas OTR (off the road) en la flota de camiones mineros de la mina calenturitas vía la Loma cesar.	Identificar los modos de falla que se presentan en la vida útil de las llantas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Recopilar información y fotos de las fallas en llantas</li> <li>● Determinar los modos de falla de las llantas y su disposición dentro de la empresa.</li> <li>● Localizar la causas posibles de cada falla.</li> </ul>
	Determinar las acciones preventivas a cada falla identificada para alargar la vida útil de la llanta y mejorar el rendimiento de la misma.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Elaborar un análisis estadístico de fallas en llantas desechadas y reparadas en el proyecto calenturitas.</li> <li>● Recopilar información acerca de los factores a tener en cuenta para una mayor durabilidad de la llanta.</li> <li>● Describir acciones preventivas ideales para las fallas en las llantas</li> </ul>
	Formular un modelo general que facilite la identificación de fallas y las acciones proactivas para el cuidado las llantas, mejorando las operaciones de la empresa KALTIRE.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Realizar una base de datos donde se compile todos los modos de falla, con sus causas y medidas de prevención.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

## Capítulo 2. Enfoque referencial

### 2.1 Enfoque conceptual

**Análisis Causa raíz.** Es una herramienta utilizada para identificar las causas que originan los fallos o problemas, las cuáles al ser corregidas evitarán la ocurrencia de los mismos. Es una técnica de identificación de causas fundamentales que conducen a fallos o fallos recurrentes. Las causas identificadas son causas lógicas y su efecto relacionado, es importante mencionar que es un análisis deductivo, el cuál identifica la relación causal que conduce al sistema, equipo o componente a un fallo. Se utilizan una gran variedad de técnicas y su selección depende del tipo de problema, disponibilidad de la data y conocimiento de las técnicas: análisis causa-efecto, árbol de fallo, diagrama espina de pescado, análisis de cambio, análisis de barreras y eventos y análisis de factores causales. El análisis de causa raíz puede aplicarse:

- En forma proactiva para evitar fallos recurrentes de alto impacto en costes de operación y mantenimiento.
- En forma reactiva para resolver problemas complejos que afectan la organización.
- Equipos/sistemas con un alto coste de mantenimiento correctivo.
- Particularmente, si existe una data de fallos de equipos con alto impacto en costes de mantenimiento o pérdidas de producción.
- Análisis de fallos repetitivos de equipos o procesos críticos.
- Análisis de errores humanos en el proceso de diseño y aplicación de procedimientos y de supervisión.

El Reliability Center Inc. Desarrolló una metodología de cinco (5) pasos llamada PROACTTM por sus siglas en inglés: PReserving Failure Data, Ordering the Analysis.

Analyzing the Data, Communicating Findings and Recommendations, Tracking to Ensure Success.

- **Recolectar Datos del Fallo (Preserve Failure Data)** : Este paso consiste en reunir todos los datos relacionados con el fallo o el problema estudiado. Se debe asegurar ser lo más objetivo posible y evitar suposiciones, puesto que sólo se llegará a un resultado real contando con datos confiables. La data debe ser recolectada, clasificada y analizada cuidadosamente sin obviar detalles.
- **Ordenar el Análisis (Order the Análisis)** : Se debe asegurar que el equipo destinado a realizar el análisis sea multidisciplinario, conformado por representantes de cada departamento involucrado con el fin de descartar y realizar un análisis de puntos de vista o de conclusiones pre-concebidas.
- **Analizar los Datos (Analyze the Data)**: En este paso el equipo debe tomar cada pieza del rompecabezas y ponerla en su lugar, para efectuar esto existen diversos métodos, sin embargo, aquí se usará el árbol de fallos propuesto por el RCI (Reliability Center Inc.). El árbol de fallos promueve un proceso de deducciones lógicas y disciplinadas que obliga al equipo a trabajar en reversa desde el fallo hasta las causas. Constantemente se desarrollan hipótesis de cómo un evento puede ser consecuencia de otro precedente. Cuando todas las posibilidades han sido identificadas, se debe desarrollar estrategias para verificar si, de hecho, estos eventos han ocurrido. Para esto es necesario que la información (datos del fallo) haya sido cuidadosamente tratada.
- **Comunicar resultados y recomendaciones (Communicate Findings and Recommendations)**: Cuando el proceso de ACR está completado, las soluciones de los

fallos parecen aparentes. El próximo paso es presentar los hallazgos y recomendaciones en una forma que motive a tomar acciones que corrijan el problema.

- En Vías de Asegurar el Éxito (Tracking to Ensure Success): En este punto se propone realizar los cambios e inversiones necesarias para evitar que el fallo ocurra nuevamente por la misma causa, eliminando ésta y realizando un seguimiento para detectar los beneficios obtenidos. (Améndola, 2002)

**Definición de neumático.** La llanta o neumático es el único punto de contacto que existe entre el terreno y el equipo en movimiento, al adherirse y friccionarse permite realizar desplazamientos de inicio, frenado y dirección de los automotores. Una llanta principalmente está compuesta de caucho o material sintético y está en algunos casos reforzada con elementos textiles, más una estructura interior hecha de fierro o cuerdas de acero entretrejidadas de múltiples formas.

Los neumáticos generalmente tienen hilos que los refuerzan. Dependiendo de la orientación de estos hilos, se clasifican en diagonales (convencionales) o radiales. Los de tipo radial son el estándar para casi todos los automóviles modernos.

**Historia del neumático.** El veterinario escocés, John BoydDunlop, inventó los primeros neumáticos inflados en el 1888. Fijó tubos de goma a ruedas de madera y cubrió los puntos de contacto con lona gruesa. Montó estos primeros neumáticos en un triciclo e hizo un viaje de prueba, donde no se presentaron problemas. A continuación, Dunlop sujetó piezas de goma en la lona para evitar el patinaje y probó estos neumáticos en una bicicleta. El resultado fue exitoso y se convirtió en el inicio de los neumáticos.

C.K. Welch inventó en 1891 el neumático con talón, lo que fue un gran adelanto en la historia de los neumáticos. En el mismo año, los hermanos Michelin patentaron neumáticos que pudieron ser montados o desmontados a mano. En 1904, Firestone y Goodyear Tire Company desarrollaron neumáticos con talón con costados rectos. A continuación, en el año 1908 casi todos los fabricantes de neumáticos en los EE.UU. usaron este método de producción.

Mientras tanto, en 1913, Britain desarrolló el neumático con estructura radial, que varió de la estructura diagonal anterior y en la que se usaron capas de tejido. Sin embargo, este método no se empezó a usar ampliamente hasta unos 35 años después, en 1948, cuando fue adoptado por Michelin. Las capas de tejido se hicieron de un grueso hilo de algodón. Debido a su alto precio, el ventajoso y resistente hilo de seda no pudo usarse en la fabricación de telas de cuerda para neumáticos. No obstante, en 1928, la empresa americana Dupont desarrolló la teoría básica de las reacciones sintéticas que se siguió perfeccionando rápidamente en los años 30. Antes de 1948, el tejido de rayón que ofreció ventajas en comparación con el tejido de algodón termosensible, tuvo una participación en el mercado de un 75%.

En 1948 se inventó el nylon que compitió con el rayón hasta 1959. A partir de 1960, el nylon empezó a dominar el mercado. En 1962 apareció un nuevo tejido de algodón, el poliéster. En los años 70, el tejido de acero tomó el liderazgo y se extendió por los mercados europeos y americano en los 80. En 1972, Dupont inventó una fibra de poliamida con la denominación Kevlar, la cual era cinco veces más fuerte que el acero y gozaba de una buena estabilidad de forma, pero resultaba tan caro que su uso quedó limitado a neumáticos para vehículos de turismo selectos.

De esta manera, el desarrollo de materiales y procesos de producción, junto con la aceleración de los rendimientos de los vehículos fueron el punto de salida para un enfoque sobre las

capacidades dinámicas de los neumáticos. En particular, a fin de ser paralelo al desarrollo de carreteras y coches, los neumáticos para vehículos han sido diseñados para proporcionar una velocidad, control y seguridad mejorados. Los nuevos neumáticos económicos y de alto rendimiento continúan siendo desarrollados. Igual que en los automóviles mismos, los neumáticos han demostrado un desarrollo excelente en relación a las velocidades máximas de conducción. (Virhuez, 2008)

**Comportamiento mecánico de los neumáticos.** Para poder describir el comportamiento mecánico de las llantas, SAE (Society Automotive Engineers) establece, en la recomendación práctica 670e, un sistema de ejes coordenados dextrógiro, el cual se muestra en la ilustración 4.

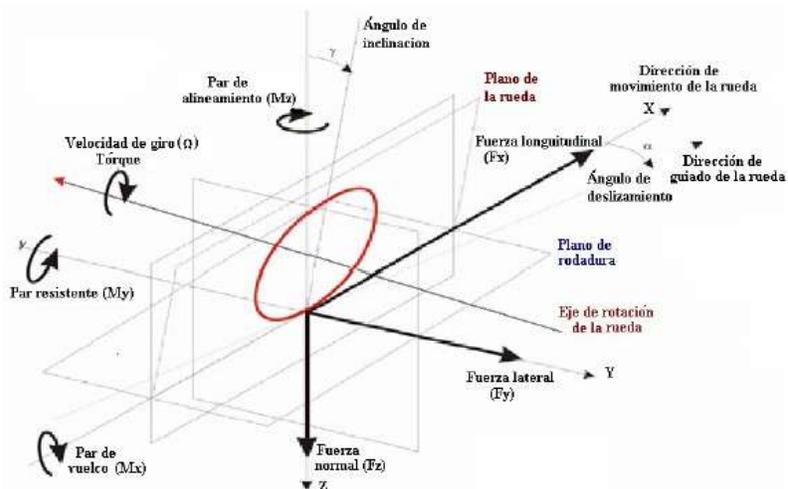


Figura 2. Fuerzas, momentos y grados de libertad de una llanta

Fuente: Tesis diseño conceptual de un banco de pruebas para determinar rigidez en llantas neumáticas, 2004.

Este sistema de referencia tiene su origen al centro del área de contacto de la llanta con la superficie de rodamiento. El eje X, formado con la intersección del plano del Rin y el plano del camino, se orienta positivamente en el sentido de avance. El eje z, vertical y perpendicular al

plano del camino, es positivo hacia abajo. El eje Y se encuentra contenido en el plano del camino, cuyo sentido positivo resulta de acuerdo a un sistema ortogonal dextrógiro.

En la misma figura se indican también las fuerzas y momentos a los que pudiera estar sujeto el neumático de un vehículo en movimiento, atendiendo no sólo a la rotación de la llanta, sino considerando también los desplazamientos en el espacio. Así, se pueden identificar desplazamientos en la dirección de viaje,  $x$ , en la dirección transversal,  $y$ , y verticales,  $z$ .

Estas fuerzas ( $F$ 's) y momentos ( $M$ 's y  $T$ ), como usualmente se describen en la dinámica de la llanta, son resultado de la interacción de la misma con el medio circundante, tanto para producir su movimiento, como las que ofrecen resistencia al mismo. Además de estas acciones, en la figura se describen ángulos y planos necesarios para describir el movimiento de la llanta. Estos son:

- Plano de la rueda o Rin. - Plano central de la rueda, normal al eje de giro.
- Ángulo de inclinación ( $\alpha$ ). – Ángulo formado entre el eje Z y el plano de la rueda.
- Ángulo de deslizamiento ( $\alpha$ ). – Ángulo que se forma entre el eje X y la dirección de viaje del centro de contacto de la llanta.

Estas fuerzas y momentos producen que la llanta se deforme, lo cual refleja el efecto de sus propiedades mecánicas que repercuten en el movimiento. Un parámetro importante en el comportamiento de la llanta, es el ángulo de deslizamiento,  $\alpha$ , el cual se debe a la deformación que sufre debido a la elasticidad lateral del material.

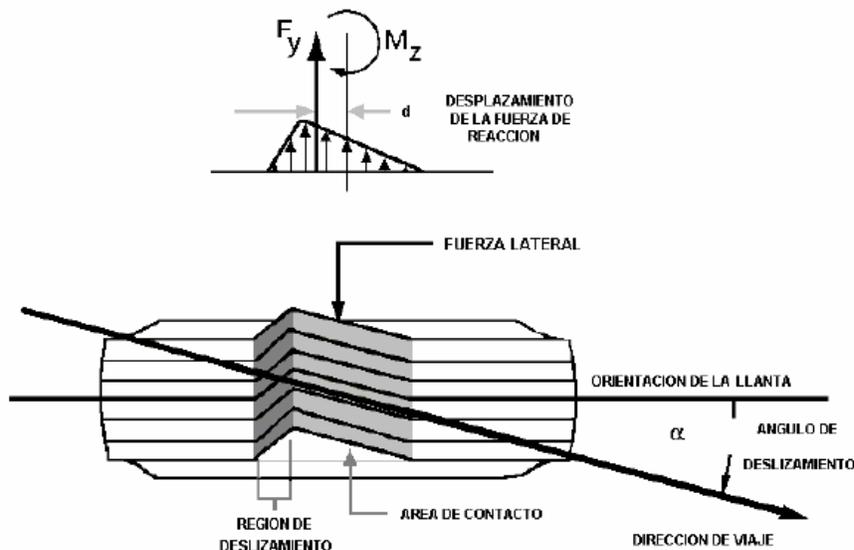


Figura 3. Ángulo de deslizamiento y área de contacto de la llanta.

Fuente: Tesis diseño conceptual de un banco de pruebas para determinar rigidez en llantas neumáticas, 2004.

De este ángulo, producto de la capacidad de deformación elástica de la llanta, se derivan una variedad de características mecánicas, que proporcionan a la llanta propiedades únicas para su empleo en los vehículos terrestres, rigiendo su comportamiento dinámico. (Orozco, 2004)

### **Tipos de neumáticos según su construcción:**

**Neumáticos convencionales.** Este tipo de neumático se caracteriza por tener una construcción diagonal que consiste en colocar las capas de manera tal, que las cuerdas de cada capa queden inclinadas con respecto a línea del centro orientadas de ceja a ceja. Este tipo de estructura brinda al neumático dureza y estabilidad que le permiten soportar la carga del vehículo. La desventaja de este diseño es que proporciona al neumático una dureza que no le permite ajustarse adecuadamente a la superficie de rodamiento ocasionando un menor agarre, menor estabilidad en curvas y mayor consumo de combustible (Conae, 2012).



Figura 4. Neumático convencional

Fuente: Soluciones Michelin, obras civiles y obras públicas, pág. 5. Edición 2015

**Neumáticos radiales:** En la construcción radial, las cuerdas de las capas del cuerpo van de ceja a ceja formando semióvalos. Son ellas las que ejercen la función de soportar la carga. Sobre las capas del cuerpo, en el área de la banda de rodamiento, son montadas las capas estabilizadoras. Este tipo de construcción permite que el neumático sea más suave que el convencional lo que le permite tener mayor confort, manejabilidad, adherencia a la superficie de rodamiento, tracción, agarre, y lo más importante contribuye a la reducción del consumo de combustible. (Ver figura 5).



Figura 5. Neumático Radial

Fuente: Soluciones Michelin, obras civiles y obras públicas, pág. 5. Edición 2015.

**Partes del neumático.** Los neumáticos están constituidos por diversas partes, el presente estudio se enfocará solo en las llantas fuera de carretera empleadas en los complejos mineros. Las llantas OTR (Off the road) son de construcción radial en su gran mayoría, la profundidad de su huella es su característica distintiva, los neumáticos fuera de carretera son una línea especial, altamente. Recomendada para aplicaciones mineras por su resistencia al corte de agentes externos e internos y por su capacidad para soportar grandes cargas, están diseñados para trabajar en ambientes y condiciones extremas. (Ver Figura 6).

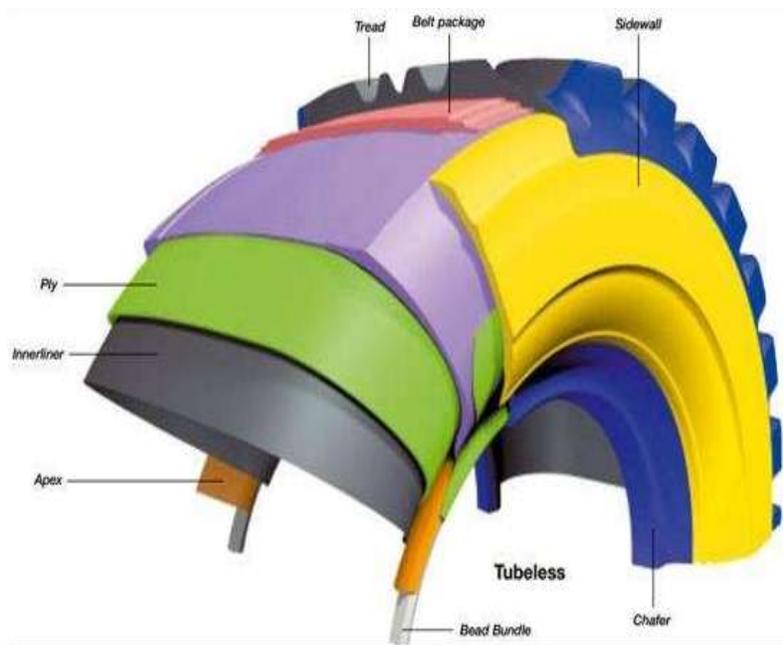


Figura 6. Partes del Neumático.

Fuente: Software de Kaltire “Total Tyre Control”

- **Banda de rodamiento (Tread):** Se encuentra en contacto directo con el suelo y proporciona agarre y tracción, protege la carcasa que se encuentra ubicada debajo de ella; como es el punto de contacto con el terreno sufre desgaste continuo de su estructura.

Cinturones estabilizadores de acero y nylon (Belt package): Son capas de telas de acero que proporcionan resistencia a la llanta, estabilidad a la banda de rodamiento y previenen penetraciones al canal interior.
- **Flanco o costado (Sidewall):** Ofrece protección a las capas por daños ocasionados por los bordes del camino, es altamente flexible y resistente al clima, su función primordial es soportar las constantes flexiones mecánicas derivadas de las agresiones del terreno.
- **Capas o cuerdas de carcasa (Ply):** Las capas radiales transmiten toda la carga, las fuerzas de frenado y la dirección entre la rueda y la carretera, también resisten las cargas de

rotura del neumático ocasionadas por la presión de operación.

- **Butilo forro interior (Innerliner):** Es una capa de goma, que posee una cámara cuya función radica en evitar la pérdida de aire interior.
- **Punta de talón (Beadbundle):** Permite brindar el ajuste y la posición correcta de los sellos de la llanta sobre el Rin.
- **Chafer:** Es una capa de caucho duro que es altamente resistente a la erosión de la zona de talón, se encuentra ubicado por la pestaña de la llanta.
- **Relleno de talón (Apex):** Relleno de caucho en la zona del talón y la pared lateral más baja, proporciona una transición progresiva de la zona del talón rígido a la pared lateral flexible (Costado).
- **Talón:** Está compuesto por aceros de alta tenacidad conformados en un aro inextensible, sus funciones principales son anclar las telas del cuerpo y retener el ensamble del neumático con el Rin. La forma del contorno se adapta al borde de la rueda para prevenir que el neumático deslice y se desasiente del Rin.
- **Hombro:** Es el borde externo de la pisada del neumático que envuelve el área del costado.
- **Tacos:** Son canales moldeados en los ribetes de la banda de rodamiento que provee de un escape adicional de agua, ayudando a minimizar el hidropneumático.
- **Sipes:** Son ranuras pequeñas, estrechas moldeadas en los elementos del diseño de la pisada que cumplen la función de disipar los esfuerzos de los tacos.
- **Surcos:** Son canales circunferenciales entre las costillas del neumático que permiten el escape fácil y rápido del agua (Virhuez, 2008).

**Partes del conjunto llanta - rin.** El acople perfecto del conjunto llanta – rin es el que me permite realizar el movimiento del equipo, el correcto ajuste de cada uno de sus elementos propicia un ambiente hermético que evita el escape del aire o nitrógeno alojado en el interior del neumático. A continuación se detallarán cada una de las partes que lo conforman, es necesario resaltar que además el aire o el nitrógeno forman parte esencial de este conjunto. (Ver figura 7).

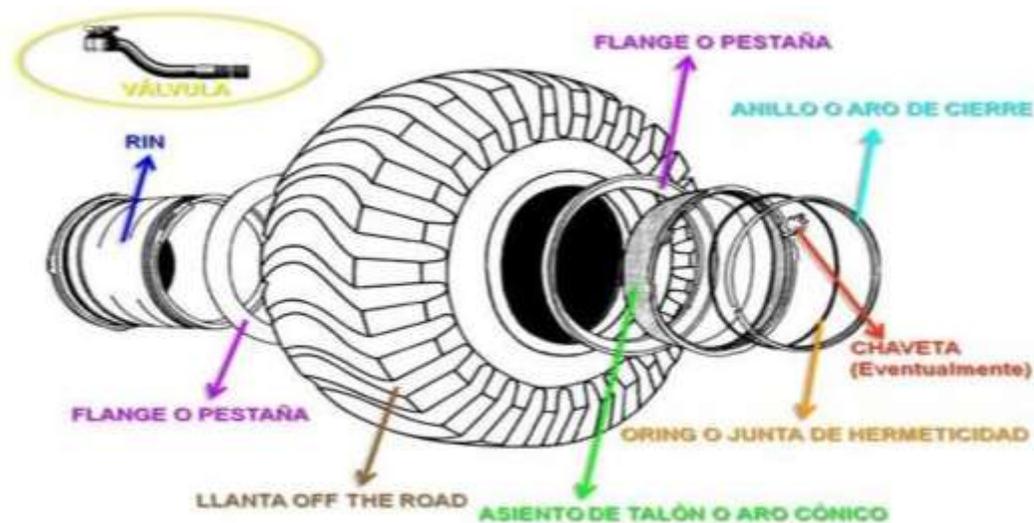


Figura 7. Partes del Conjunto Llanta-Rin.  
Fuente: Manual de obras públicas y minería Michelin.

**Información impresa en el costado neumático.** Los diferentes fabricantes de llantas a nivel internacional imprimen en el costado del neumático diferentes datos que definen el tipo de llanta, su modo de uso, los compuestos empleados, la clasificación de velocidad, la carga máxima soportada, las dimensiones, las advertencias de seguridad y otra información importante acerca de la llanta que ha sido adquirida. La información consignada en el flanco es denominada marcaje, el marcaje provee a profundidad las características de la llanta. Una de las partes importantes del marcaje es el número de serie, este es un código alfanumérico único que identifica el neumático y lo distingue de cualquier otro, haciendo una analogía, el número de

serie en el contexto actual sería igual al número de cedula de ciudadanía; por lo tanto queda claro que es irrepetible.

En la imagen ilustrativa de marcajes no aparece visible esta información, pero es indispensable conocer que las llantas presentan este detalle. A continuación se presenta un ejemplo del marcaje de llantas de la compañía Michelin Transite. (Ver figura 8).

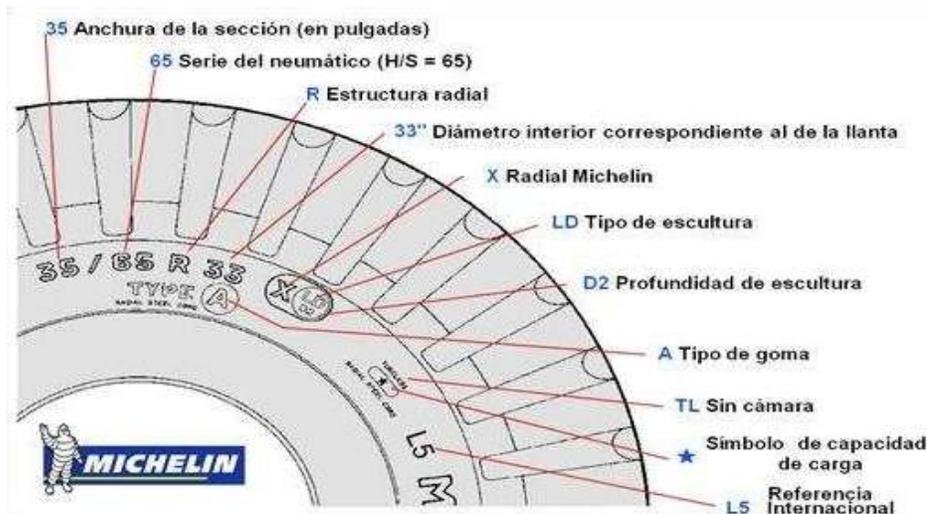


Figura 8. Información Impresa en el costado de la llanta.  
Fuente: Manual de obras públicas y minería Michelin.

- **Anchura de sección:** Este criterio hace referencia al valor en pulgadas del ancho del neumático, es el primer número que se indica en la dimensión de la llanta.
- **Serie del neumático (H/S):** Es el resultado del cociente numérico de la altura del costado y el ancho de la sección del neumático.
- **Estructura (R):** Define el tipo de construcción del neumático, en este caso radial.
- **Tipo y profundidad de escultura:** Estos parámetros indican el tipo de labrado de la banda de rodadura, su profundidad y en algunas ocasiones permite distinguir el fabricante del activo.

- **Tipo de goma:** Precisa características del comportamiento de la llanta y de su aplicabilidad. Los diferentes fabricantes de neumáticos han normalizado códigos para identificación de las particularidades de sus productos. A continuación se detallan los códigos normalizados de las principales empresas fabricantes de neumáticos.
- **Tubeless TL:** Indica que el neumático no tiene cámara también llamado sellomatic, en caso contrario se denomina TubetypeTT (Con cámara). Símbolo de capacidad de carga (\*): Una estrella, indica que el neumático se utilizará en máquinas de trabajo (cargadoras de superficies, niveladoras, etc.). Dos estrellas, indican que el neumático se utilizará en máquinas de transporte (dumpers rígidos, motor scrapers, etc.). Tres estrellas, indican que estos neumáticos van destinados a usos específicos como por ejemplo en minas subterráneas.



Figura 9. Funcionamiento de la llanta

Fuente: Guía de mantenimiento de los neumáticos obras públicas y minería.

**Funcionamiento del neumático.** El neumático se encuentra en reposo (posición 1), a medida que el neumático gira (posición 2), los flancos se aplastan, lo que provoca un calentamiento de los constituyentes internos del neumático. La intensidad de dicho calentamiento se incrementa hasta el contacto con el suelo (posición 3); a continuación, disminuye hasta retomar la posición

inicial (posición 1).

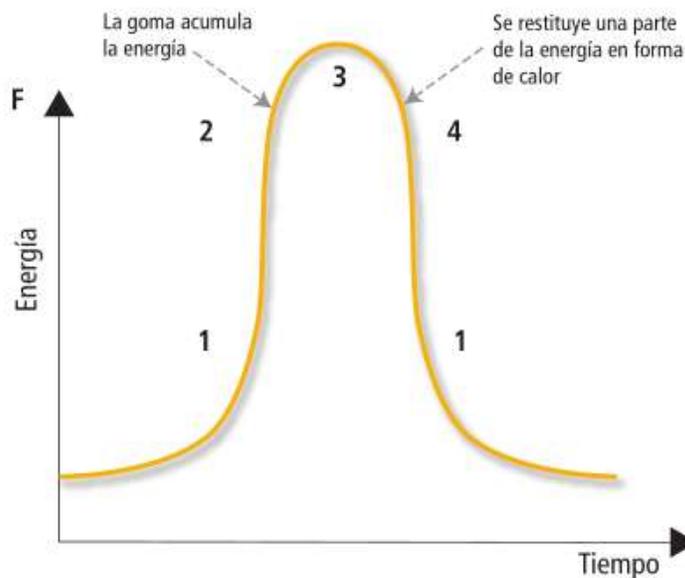


Figura 10. Energía y tiempo en el funcionamiento de la llanta.

Fuente: Guía de mantenimiento de los neumáticos obras públicas y minería. Goodyear Europe Tires OTR tyres, tyre technology.

Si la acción descrita más arriba es demasiado rápida, se puede superar la temperatura óptima de funcionamiento del neumático, lo que provoca una degradación del neumático. El neumático, inflado con aire (o con nitrógeno), es el órgano de contacto entre el suelo y la máquina. Está sometido a numerosas tensiones: Como la presión, la carga, la velocidad, la temperatura, la naturaleza de los suelos y el estado de las pistas. El tipo de neumático más adecuado será el que permita reducir el conjunto de dichas tensiones sin favorecer a ninguna. Se trata, por tanto, de encontrar el mejor compromiso posible (Goodyear, 2010).

## 2.2 Enfoque legal

**Política de SGSST.** KALTIRE S.A DE C.V. SUCURSAL COLOMBIA empresa dedicada al suministro de llantas, y al mantenimiento preventivo y correctivo de las mismas, está convencida que el efectivo control de sus riesgos Físicos, Químicos, Eléctricos, Biológicos, Biomecánicos, mecánicos y Psicosociales forma parte integral de cada de uno de los procesos de su operación. Es por ello que nuestro compromiso es lograr que cada miembro del equipo de colaboradores reciba un Liderazgo de Calidad, Capacitación y Gerencia requerida para el desarrollo de actividades tendientes a:

- Prevenir incidentes, lesiones y enfermedades laborales.
- Cumplir con todos los requisitos legales y otros que se suscriba con nuestros clientes y aquellos que se definan al interior de KALTIRE S.A DE C.V. SUCURSAL COLOMBIA.
- Velar por el cumplimiento de altos estándares de seguridad industrial y salud ocupacional establecidos por nuestros clientes y los definidos al interior de nuestra compañía.
- Asegurar la existencia de controles para las actividades de Alto Riesgo.
- Mantener un Sistema de Gestión de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional, basado en la identificación de peligros y evaluación de riesgos.
- Todos estos esfuerzos dispondrán de los recursos humanos, físicos, técnicos, tecnológicos, logísticos y financieros necesarios para lograr un entorno de trabajo seguro en pro de la calidad de vida laboral y el mejoramiento continuo en la gestión y desempeño del Sistema de Gestión SST (Kaltire, 2013).

**Política de alcohol y drogas.** KALTIRE S.A DE C.V. SUCURSAL COLOMBIA consiente que el consumo de alcohol, drogas y tabaquismo producen efectos negativos a la salud, desempeño a la seguridad, eficiencia y productividad.

ESTABLECE:

- Ningún trabajador podrá presentarse al sitio de trabajo en estado de embriaguez, o bajo influencia de estupefacientes. Ni consumir tabaco en las áreas de trabajo.
- Está prohibida la utilización indebida de medicamentos no formulados o el consumo, posesión, distribución o venta de drogas no recetadas o de sustancias alucinógenas, enervantes o que generen dependencia y tabaco, en funciones del trabajo y dentro de sus instalaciones (Código Sustantivo de Trabajo Art. 60)

Así mismo la empresa se compromete a:

- Promover un ambiente de trabajo libre del consumo de sustancias alucinógenas y enervantes, desarrollando actividades de promoción y prevención orientadas en un estilo de vida y trabajo saludable.

De igual manera la organización estará sujeta a las políticas de no alcohol, no drogas y no tabaquismos de las empresas clientes (Kaltire, 2013).

**Política ambiental.** KALTIRE S.A DE C.V. SUCURSAL COLOMBIA empresa dedicada al suministro de llantas, y al mantenimiento preventivo y correctivo de las mismas, está consiente que debido a las actividades propias de la organización se generan aspectos e impactos ambientales y se compromete a:

- Crear conciencia ambiental a todo el personal para que sean gestores y promuevan la protección del ambiente en las áreas de trabajo y ambientes familiares.
- Promover el uso eficiente de los recursos naturales, como recurso agua y energía.
- Controlar la adecuada disposición de los Residuos sólidos generados.
- Implementar programas para la prevención, mitigación y/o compensación de los Aspectos ambientales significativos generados.
- Cumplir con los requisitos legales ambientales vigentes y otros requisitos que la organización disponga.
- Mantener los procesos para el mejoramiento continuo del programa ambiental.
- Garantizar los recursos físicos, humanos, logísticos y financieros que permitan el cumplimiento de esta política.

Todos estos esfuerzos dispondrán de los recursos humanos, físicos, técnicos, tecnológicos, logísticos y financieros necesarios para lograr un entorno de trabajo en pro de aportar para el sostenimiento del ambiente (Kaltire, 2013).

**Política de seguridad vial.** Es compromiso de KALTIRE, instaurar actividades de promoción y prevención de accidentes por conducción. Por ello, todos los contratistas, subcontratistas y trabajadores propios provistos con vehículos de la empresa para el ejercicio de su labor diaria, son responsables de participar en las diversas actividades que se programen y desarrollen, con el fin de disminuir la probabilidad de ocurrencia de accidentes que puedan afectar la integridad física, mental y social de los trabajadores, contratistas, subcontratistas, comunidad y/o ambiente y permitan e mejoramiento continuo del Plan.

Para cumplir este propósito, KALTIRE S.A. de C.V. SUCURSAL COLOMBIA se enmarca bajo los siguientes parámetros:

- Cumplir con la reglamentación establecida en el Código Nacional de Tránsito terrestre según la ley 769 de 2002 y aquella normatividad que la modifiquen, enmarcando los principios de seguridad, calidad, preservación de un ambiente sano y la protección del espacio público.
- Realizar acciones que permitan materializar los lineamientos definidos en la normatividad legal vigente, en su reglamento interno de trabajo, en los manuales de funciones y perfiles del cargo, para asegurar una adecuada regulación de horas de descanso.
- Implementar acciones para que los trabajadores, contratistas y visitantes participen de una movilidad con velocidad prudente que se enmarque en el verdadero cumplimiento de la normatividad legal vigente.
- Establecer estrategias de concientización de su personal y contratistas, a través de capacitaciones de orientación a la prevención de accidentes por conducción, no uso de Equipos de comunicación móvil mientras se conduce, uso adecuado del cinturón de seguridad obligatorio para el conductor y los pasajeros, respeto de las señales de tránsito vehicular, adoptando conductas pro-activas frente al manejo defensivo y ofensivo.
- Vigilar la responsabilidad de su personal y contratistas frente a la realización de los mantenimientos preventivos y correctivos de los vehículos de la compañía, provistos para el ejercicio de su labor, con el objeto de mantener un desempeño óptimo de estos y establecer medidas de control para evitar la ocurrencia de accidentes que puedan generar daños a la persona o a la propiedad.
- Destinar los recursos financieros, humanos y técnicos necesarios para dar cumplimiento a la política (Kaltire, 2013).

**Política de derechos humanos.**

- **Derechos Humanos.** Kaltire está comprometido al 100% con los estándares de los derechos humanos, como se hace referencia en Declaración Universal de las Naciones Unidas sobre los Derechos Humanos.
- **Mano de Obra.** Oportunidad Equitativa Kaltire no discriminará con base en raza, herencia, lugar de origen, color, origen étnico, ciudadanía, religión, sexo, orientación sexual, edad, estatus marital, estatus familiar o incapacidad.
- **Mano de Obra Forzada y Horas de Trabajo Justas.** Kaltire no se compromete o apoya el trabajo forzado. No se tolerarán las amenazas, intimidación o daño, castigo físico para forzar a las personas a actuar de forma involuntaria. Las horas y condiciones de trabajo cumplirán con las leyes aplicables y los estándares de la industria.
- **Mano de Obra Infantil.** Edad mínima básica para el trabajo debe ser no menor a la edad para terminar la educación obligatoria, que es generalmente de 18 años. El trabajo peligroso no lo deben realizar menores de 18 años.

**Política de conflictos de intereses.**

- **Soborno.** Está estrictamente prohibido el ofrecimiento internacional de beneficios monetarios o de otro tipo (Ej. regalos) para o de un integrante del equipo, contratista o voluntario de Kaltire de o para otra persona, funcionario gubernamental, organización o compañía con el fin de asegurar una ventaja en la realización de negocios. Esto incluye los pagos de facilitación, que son pagos no oficiales (por lo regular en una cantidad pequeña) para asegurar o expeditar una acción rutinaria o servicio que está normalmente permitido. Sin embargo, no esperamos que nadie comprometa su seguridad física o

seguridad en general. Si se requiere un pago para asegurar la seguridad física o en general éste se debe reportar.

- **Conflictos de Interés** Se deberá divulgar cualquier transacción en donde un integrante del equipo personalmente se beneficiará o su independencia pudiese cuestionarse.
- **Fraude** Kaltire no tolerará una representación falsa, engaño intencional, malversación u otra forma de fraude.
- **Contribuciones Comunitarias, Políticas y Religiosas** Las contribuciones en nombre de Kaltire a partidos políticos y organizaciones religiosas y funcionarios están prohibidas sino hay una autorización de por medio (Kaltire, 2013).

#### **Políticas de quejas y reclamos.**

- **Responsabilidades en incumplimiento.** A los integrantes del equipo se le invita a reportar las conductas de no cumplimiento al supervisor más cercano, o si hay algún motivo para creer que esto será ineficaz, al cargo de mayor jerarquía correspondiente o a la Línea de Puerta Abierta de Kaltire. Todas las quejas se tomarán de forma seria e investigarán en caso de ser necesario. No habrá represalias por reportar de buena fe una violación al código o participar en la Investigación de la Compañía por una queja. Es la responsabilidad de cada Gerente de Kaltire dar seguimiento sobre cada problema y si es necesario reportarlo al siguiente Gerente sénior. En el caso de incumplimiento del Código de Conducta de Kaltire, habrá consecuencias disciplinarias que varían en magnitud e incluyen el despido (Kaltire, 2013).

#### **Reglamento interno de trabajo.**

- Condiciones de admisión.

- Periodo de prueba.
- Horarios.
- Vacaciones.
- Permisos.
- Salarios.
- Obligaciones especiales (empresa y trabajadores).
- Escala de faltas y sanciones.
- Reclamos.

**Reglamento de higiene y seguridad industrial.** El reglamento de higiene y seguridad industrial compromete al empleador a proporcionar condiciones seguras de trabajo por medio de la identificación de riesgos y aplicación de controles para la prevención de accidentes de trabajo y enfermedades laborales y cumplimiento de la normatividad legal Vigente en materia de seguridad y salud ocupacional (Kaltire, 2013).

## Capítulo 3. Informe del cumplimiento del trabajo

### 3.1 Presentación de resultados

Cada objetivo fue desarrollado con sus respectivas actividades, según cronograma propuesto en el plan de trabajo inicial.

**Objetivo específico. Identificar los modos de falla que se presentan en la vida útil de las llantas.**

#### Recopilar información y fotos de las fallas en llantas

Se realizó una búsqueda de documentos y materiales dentro de la empresa y se encontró un archivo con el inventario de las fallas que más se daban dentro de la mina y algunos manuales de las empresas proveedoras de llantas y empresas especialistas en análisis de fallas en llantas.

**Determinar los modos de falla de las llantas y su disposición dentro de la empresa.**



Figura 11. Zonas de la llanta

Fuente: Evaluación de daños en llantas OTR/ Kaltire Mining Tire Group

**Zonas de la llanta** Son las localizaciones físicas de cada parte externa e interna de las llantas OTR, y permiten establecer un lenguaje estándar de localización para reportes de daños y anomalías en la llanta.

**Componentes y estructura interna de la llanta.** Para localizar e interpretar el origen de los daños, debemos conocer las partes internas de las llantas y las zonas donde principalmente los daños están localizados:



Figura 12. Estructura de la llanta

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group.

La disposición del neumático indica la acción a realizar con él, luego de que éste haya sido inspeccionado. La empresa Kaltire maneja básicamente tres disposiciones: disponible, que indica que el neumático puede seguir rodando (aunque a veces resultan necesarios unos ajustes); reparación, que indica que el neumático requiere una intervención correctiva porque ha perdido

propiedades de su estructura como rigidez o estabilidad; y por último el desecho, que indica que el neumático no puede ser reparado debido a un grave daño y que debe ser sustituido por otro. A continuación se listan los modos de falla comunes en llantas OTR y su disposición más común.

#### Fallas en la banda de rodamiento

- Desgarramiento (Reparación)
- Daño por agentes químicos. (Desecho)
- Corte en la banda no pasante. (Reparación)
- Corte en la banda pasante. (reparación)
- Impacto en la banda de rodamiento. (Desecho)
- Separación por corte. (Reparación)
- Separación por calor. (Desecho)

#### Daños en el hombro

- Corte en el hombro. (Reparación)
- Impacto en el hombro. (Desecho)
- Separación mecánica. (Desecho)
- Grietas en el hombro. (Reparación)

#### Daños en el costado

- Contacto entre neumáticos gemelos. (Disponible)
- Cortes en el costado. (Reparación)
- Impacto en el costado. (Desecho)
- Laminaciones en el costado. (Disponible)
- Separación mecánica en el costado. (Reparación)

- Corte circunferencial en el costado. (Disponible)
- Alteración por agentes atmosféricos. (Disponible)

#### Daños en la zona baja

- Separación de la zona baja. (Reparación)
- Separación en la zona del retorno. (Reparación)
- Rotura en la zona baja. (Desecho)

#### Fallas en el talón

- Explosión del talón. (Desecho)
- Talón dañado. (Desecho)
- Butilo despegado. (Desecho)
- Talón Torcido. (Disponible)

#### Daños internos de la llanta

- Desintegración del butilo. (Desecho)
- Separación del butilo. (Desecho)
- Grietas en el butilo. (Disponible)
- Grietas circunferenciales en el butilo. (Disponible)
- Unión abierta del butilo. (Disponible)

Desgastes: que en general tienen una disposición estándar de disponible.

### Localizar las causas posibles de cada falla.

#### Fallas en la banda de rodamiento

**Desgarramiento.** Presenta una superficie áspera de la banda de rodamiento con numerosas pequeñas escamas o trozos desprendidos. Generado por la mala aplicación de la llanta a las condiciones de servicio. Agravada por alta torsión, sobre inflado y giros cortos, especialmente en llantas de tracción. Las llantas con escamado mínimo pueden ser puestas de nuevo en servicio. Si el daño se extiende por debajo de  $2/32''$ . Se remueve la llanta si hay acero visible.



Figura 13. Desgarramiento de la banda de rodamiento

Fuente: Guía de análisis de condiciones para la llanta radial.

**Daño por agentes químicos.** Ocasionado por la exposición a químicos, generalmente de naturaleza solvente, que atacan al hule de la banda de rodamiento.

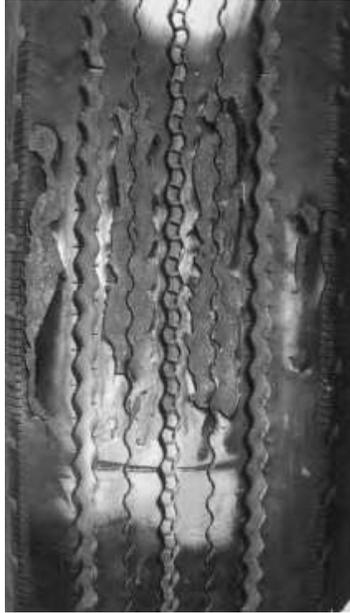


Figura 14. Daño por agentes químicos en la banda de rodamiento.

Fuente: Guía de análisis de condiciones para la llanta radial.

**Corte en la banda no pasante.** Daño operacional en el caucho de la banda, normalmente generado por penetración de rocas llegando a tocar el primer cinturón de protección o en ocasiones mucho más profundo. Es posible hacer una reparación preventiva si la llanta es removida a tiempo y el corte está dentro de las tolerancias aceptadas.



Figura 15. Corte en banda no pasante.

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group.

**Corte en la banda pasante.** Daño producido por la penetración de rocas afiladas lanzadas en la vía. Generalmente, este daño corta a través de los cinturones y penetra la carcasa generando una pérdida de aire. Comúnmente, es posible reparar la llanta con el parche adecuado y un posterior proceso de vulcanización.



Figura 16. Corte en banda pasante.

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group.

**Impacto en la banda de rodamiento.** Es producido por causas operacionales cuando la llanta pasa sobre una roca grande, redonda o filosa, generando daño en los cinturones y carcasa, produciendo un escape de aire. A veces, la deformación excesiva solo debilita la carcasa y el escape de aire ocurre horas después.

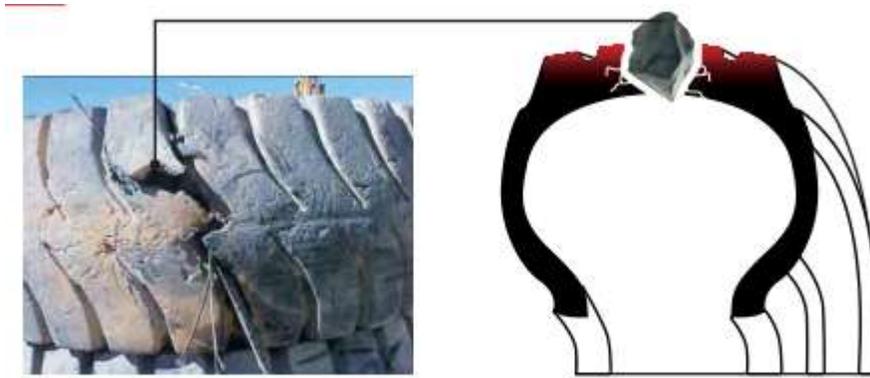


Figura 17. Impacto en banda de rodamiento

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group.

**Separación por corte.** Desprendimiento de la banda localizado o generalizado. Ocasionado por un corte profundo hasta las cuerdas de protección o trabajo, el agua se introduce allí, causando la oxidación de los cinturones y si a esto, se le agrega el movimiento dinámico de la llanta y la fricción de los cinturones, la separación es inminente.



Figura 18. Separación por corte.

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group.

**Separación por calor.** Separación de todo el caucho desde la banda hasta El primer cinturón de protección. La degradación se debe a altas temperaturas. El caucho pasa del estado sólido a líquido, perdiendo sus propiedades de adherencia. Este Fenómeno ocurre cuando la llanta excede su TKPH.

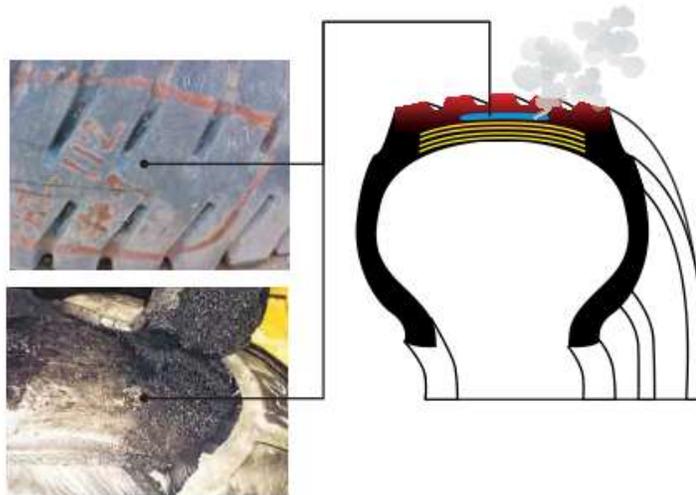


Figura 19. Separación por calor.

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group.

### **Daños en el hombro**

**Corte en el hombro.** Es generado por el contacto con una roca afilada normalmente no penetra la carcasa. Después de hacer una primera evaluación del daño, la reparación puede ser posible. Es recomendable instalar un parche de refuerzo porque es una zona crítica de la llanta y con la alta posibilidad de separación.

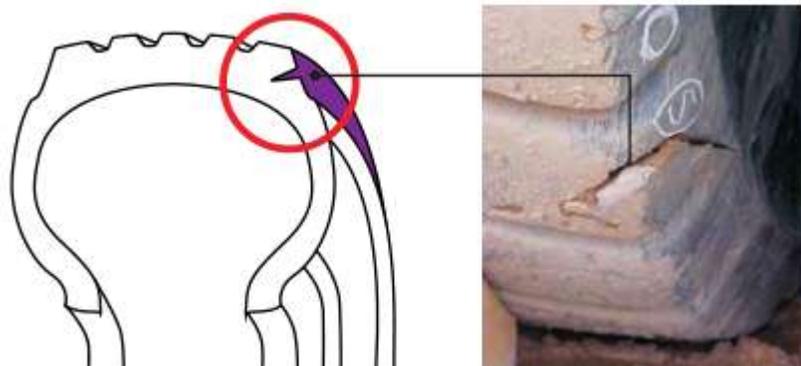


Figura 20. Corte en el Hombro

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group.

**Impacto en el hombro.** Este daño es producido cuando llanta pasa sobre una roca de mayor tamaño, con una deformación excesiva en la carcasa provocando una ruptura y muchos daños a los cinturones. Esto puede ocasionar un desinflado instantáneo o serio debilitamiento de la carcasa.

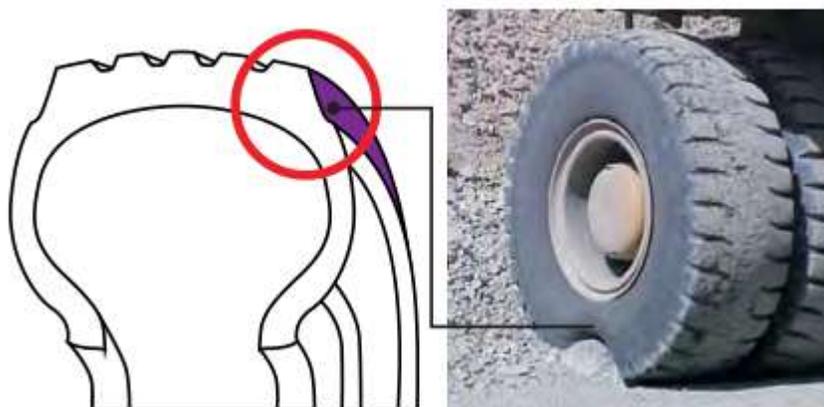


Figura 21. Impacto en hombro

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group.

**Separación mecánica.** Se caracteriza por la separación de los extremos de los cinturones de trabajo, causado por un sobreesfuerzo capaz de superar la fuerza que mantiene unidos al caucho y el acero, generando la separación de estos componentes.

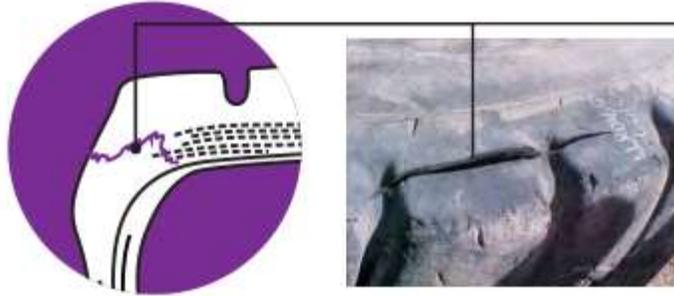


Figura 22. Separación mecánica.

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group

**Grietas en el hombro.** Es producido por el excesivo torque en el equipo de trabajo, transmitiendo esfuerzos mecánicos críticos a la base de las ranuras en llantas radiales, principalmente en la zona del hombro/banda, por esfuerzos en diagonal y uso incorrecto del equipo.



Figura 23. Grietas en el hombro.

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group

## **Daños en el costado**

**Contacto entre neumáticos gemelos directo o indirecto.** El contacto de dos neumáticos provoca un desgaste circular en los flancos. Cuando este contacto es demasiado importante, se puede producir una degradación de la goma hasta el punto de inutilizar los dos neumáticos, en plazo breve. Al no flexionar libremente los neumáticos, los cables de la carcasa trabajan en condiciones anormales y se pueden producir roturas por fatiga después de un cierto tiempo de rodaje y en algún sitio que no corresponda necesariamente a las marcas exteriores de contacto.



Figura 24. Desgaste circular por contacto entre neumáticos gemelos.

Fuente: Tesis Modelo general de análisis causa raíz de fallas y desgastes irregulares de llantas en la flota de transporte de mercancías coordinadora mercantil s.a., 2005.

**Cortes en el costado.** El costado es la parte más vulnerable de la llanta, porque está más expuesto a cortes. Estos cortes son producidos por rocas presentes en el camino, curvas, derramamientos, zonas de cargue y botaderos. NOTA: No se deben confundir cortes con grietas. Los cortes son el resultado de un accidente y las grietas provienen de la fatiga del caucho por cristalización.

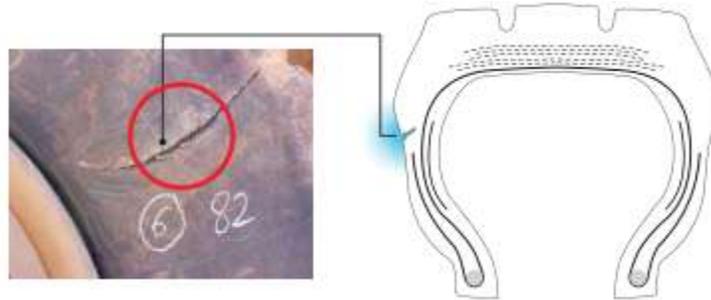


Figura 25. Corte en costado.

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group

**Impacto en el costado.** Esto ocurre por la penetración de grandes rocas en la Estructura, objetos extraños, incrustación del eyector de roca, etc. Usualmente la llanta es desechada.

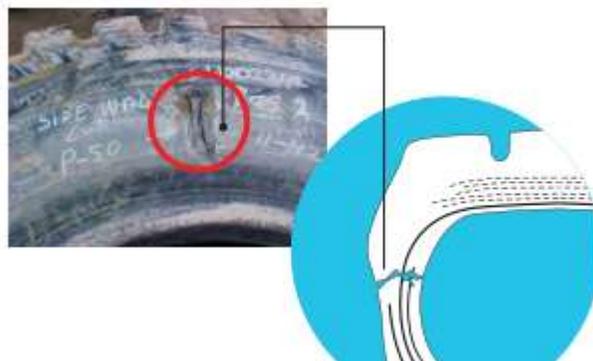


Figura 26. Impacto en costado.

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group

**Laminaciones en el costado.** Separación entre las capas de caucho en el costado debido a pequeñas agresiones, fatiga o cristalización del caucho. Los movimientos y excesos de flexión dinámica en el costado, sobrecarga y bajas presiones en la llanta pueden acelerar y extender el daño.

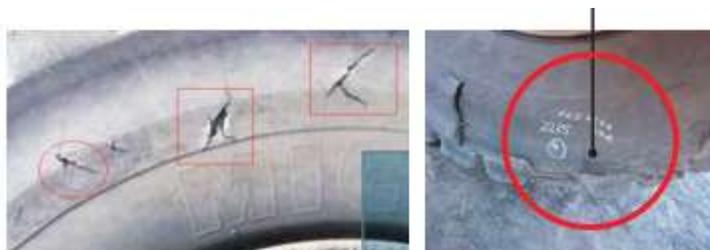


Figura 27. Laminaciones en el costado.

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group

**Separación mecánica en el costado.** Separación circunferencial en los extremos de los cinturones por el alto torque de la transmisión y a sobre-esfuerzos. En cargadores y Dozers ocurre frecuentemente en el eje frontal. Esto es conocido como Fenómeno de radialización en el retorno de la carcasa. También puede presentarse en eje trasero del equipo.



Figura 28. Separación mecánica en el costado.

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group

**Corte circunferencial en el costado.** Este tipo de daño es producido por los componentes del equipo, eyectores de roca u objetos metálicos. Algunas veces este daño se presenta en los camiones debido a rocas atrapadas entre las llantas duales, causando serios daños. Si el daño es mínimo, la llanta puede seguir operando.



Figura 29. Corte circunferencial en el costado.

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group

**Alteración por agentes atmosféricos.** Causada por una exposición del hule a los elementos ambientales. Agravada por periodos largos de estacionamiento y altas concentraciones de ozono. Todas las llantas pueden eventualmente llegar a mostrar esta condición en una etapa tardía de su vida de servicio. Tales llantas pueden ser utilizadas en un eje de dirección si el daño es menor; en posiciones duales si esta condición es moderada.

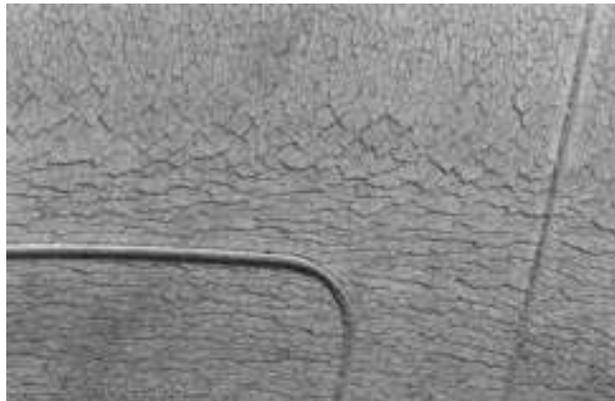


Figura 30. Alteración por agentes atmosféricos.

Fuente: Tesis Modelo general de análisis causa raíz de fallas y desgastes irregulares de llantas en la flota de transporte de mercancías coordinadora mercantil s.a., 2005.

### **Daños en la zona baja**

**Separación de la zona baja.** Este daño se presenta como grietas circunferenciales en la zona donde sienta el flange, debido a fricciones y flexión excesiva de la llanta. Estos esfuerzos cristalizan el caucho debido al calor generado, causando grietas que podrían moverse hasta tocar el retorno de la carcasa. Generalmente, este daño es producido en llantas que operaron en el eje frontal y que fueron movidas al eje trasero. Algunas veces, este daño puede ser visto en llantas frontales con pocas horas, la principal razón son problemas con la suspensión, causando una sobrecarga directa en la llanta debido a que esta realiza el trabajo de la suspensión.



Figura 31. Separación de la zona baja.

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group.

**Separación en la zona del retorno.** Daño causado entre las capas de la llanta en las zonas superiores, zonas bajas y el comienzo del asentamiento del flange. Esta separación causa una acumulación de vapores haciendo una burbuja. Algunas causas posibles son: Flexión excesiva de la llanta, sobrecargas, carreteras con ondulaciones o baja presión. Se debe tener cuidado para no confundir con una separación en el retorno, la cual se localiza en el sector donde las cuerdas de la carcasa terminan y representa un riesgo mucho mayor.

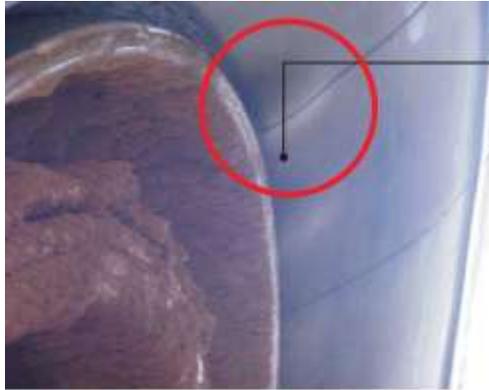


Figura 32. Separación en la zona de retorno.

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group.

**Rotura en la zona baja.** Este daño causa una ruptura en la carcasa en la zona baja debido a la flexión excesiva en esta zona. Algunas causas posibles son: sobrecarga por ondulaciones en la carretera y alta velocidad (Esto causa un mayor impacto del flange con esta zona), mala instalación de la llanta debido a poca lubricación del asiento de talón y rin o flange dañado.



Figura 33. Rotura en la zona baja.

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group.

## Fallas en el talón

**Explosión del talón.** Este daño es producido por la ruptura interna de la estructura de la carcasa. Las posibles causas son: Mala instalación, componentes de rin dañados (doblados, afilados u oxidados), malos frenados del equipo, altas temperaturas en la zona baja del talón.



Figura 34. Explosión del talón.

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group.

**Talón dañado.** Este daño causa una deformación en el talón, causando una grieta en el asiento del rin. La causa principal es una mala instalación, uso de lubricante incorrecto, componentes dañados y/u oxidados, mal ajuste de los componentes en proceso de armado.



Figura 35. Talón dañado.

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group.

**Butilo despegado.** Es causado por la separación del caucho de protección y el butilo de la llanta. Debido a que ambos son productos de caucho de diferentes durezas y están unidos difícilmente por vulcanización. Algunas causas posibles son la alta temperatura de la llanta y/o rin o flexión excesiva.



Figura 36. Butilo despegado.

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group.

**Talón Torcido.** Causado por el uso inadecuado de las herramientas o técnicas incorrectas utilizadas durante el montaje de la llanta o daños durante el embarque.



Figura 37. Talón torcido.

Fuente: Tesis Modelo general de análisis causa raíz de fallas y desgastes irregulares de llantas en la flota de transporte de mercancías coordinadora mercantil s.a., 2005.

## Daños internos de la llanta

**Desintegración del butilo.** Este daño es causado por el deterioro del butilo. Las causas principales son: operar con baja presión, calor generado dentro de la llanta, esto causa la degradación del butilo en pequeños pedazos de caucho.

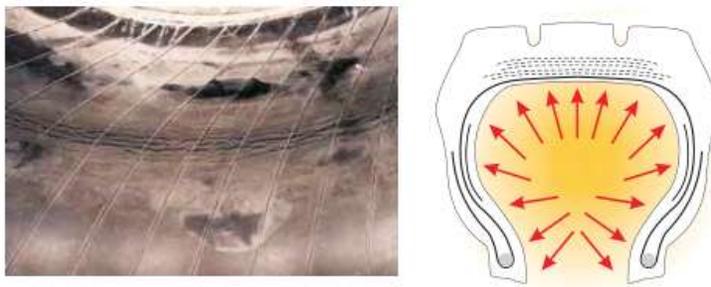


Figura 38. Desintegración del butilo

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group.

**Separación del butilo.** Este daño es causado por la pérdida de adherencia del forro de butilo, causando la acumulación de vapores y por ende la formación de burbujas dentro de la llanta. Las causas principales pueden ser: Defectos de fábrica cuando fue instalado el forro de butilo o un evento operacional, como el paso sobre una roca grande con una extrema deformación de la carcasa.

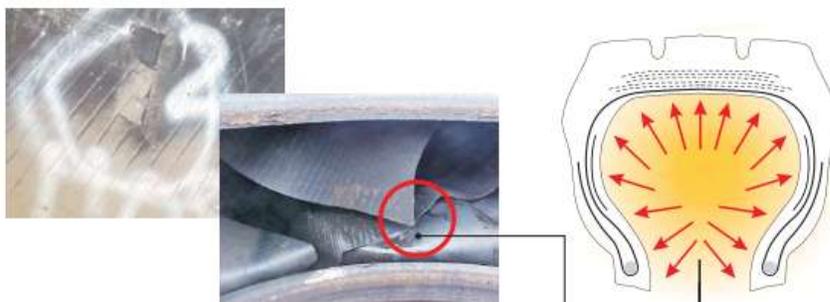


Figura 39. Separación del butilo.

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group.

**Grietas en el butilo.** Este daño es causado por sobre-esfuerzos o fatiga en la carcasa, inicia con un pequeño despegamiento del foro de butilo, también puede ser que los cinturones no están trabajando juntos, siendo que algunos cinturones se extienden o contraen más que otros causando una fuerza transversal superior a la resistencia del butilo. Otra causa puede ser diferencias de grosor en el forro de butilo.

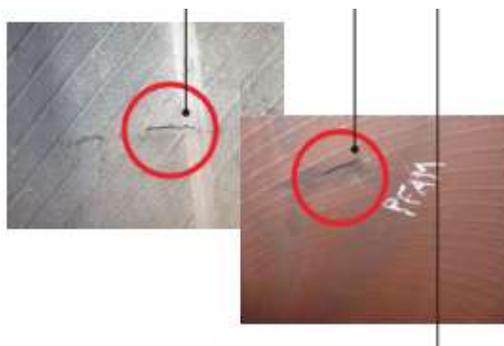


Figura 40. Grietas en el butilo.

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group.

**Grietas circunferenciales en el butilo.** Este daño es causado por la fatiga de la carcasa, con presencia de grietas circunferenciales en la zona de flexión de la llanta al nivel del refuerzo interno (entre carcasa y butilo). Hay presencia de degradación del butilo y en algunas ocasiones degradación estructural en el costado.



Figura 41. Grietas circunferenciales en el butilo.

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group.

**Unión abierta del butilo.** Causada por la pérdida de adhesión en la unión del butilo debido a flexión excesiva, ocasionada por bajo inflado; puede también estar relacionada con la fabricación de la llanta. Se debe reparar con hule cojín para asegurar la integridad de la retención del aire si las cuerdas de la carcasa no están visibles.

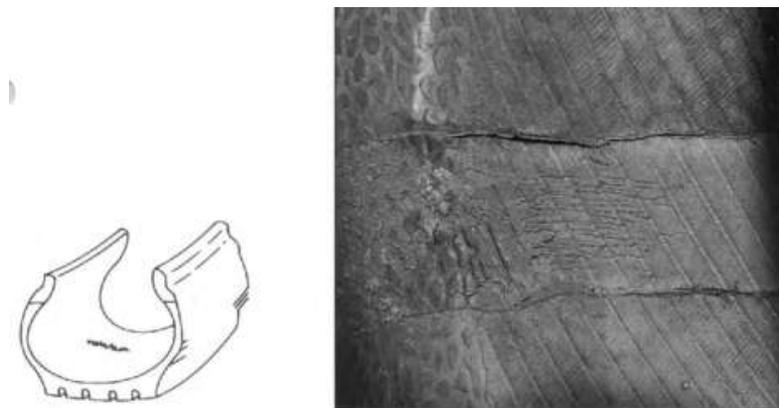


Figura 42. Unión abierta de butilo

Fuente: Guía de análisis de condiciones para la llanta radial.

### **Desgastes**

**Desgaste normal.** Cuando una llanta muestra un desgaste uniforme en toda su banda se considera desgaste normal. En acuerdo con las políticas del sitio, la llanta puede ser usada hasta que se vea el primer cinturón de protección para optimizar su uso, pero la llanta no podrá ser reencauchada.

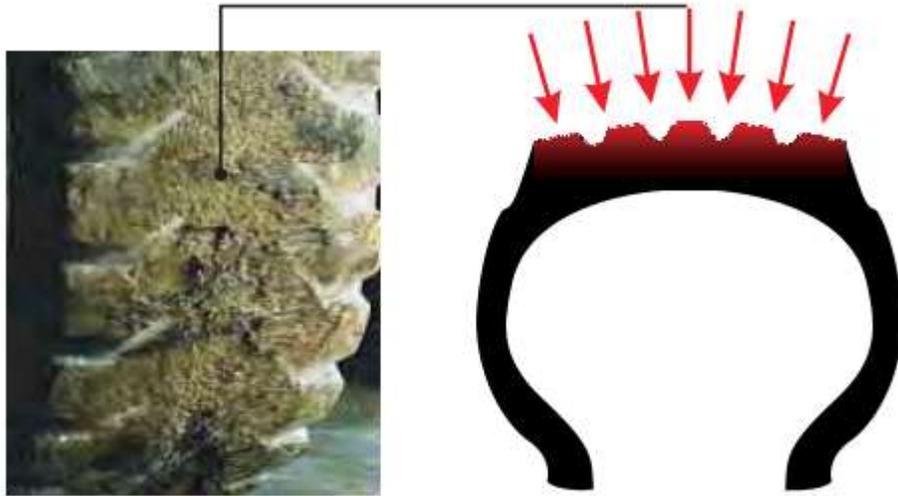


Figura 43. Desgaste normal.

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group.

**Desgaste irregular entre ambos hombros.** Este desgaste es ocasionado por un mal ajuste de convergencia o divergencia haciendo que un extremo esté más sobrecargado, por lo tanto tendrá más desgaste. Se debe asegurar que el cilindro de suspensión está correctamente calibrado siguiendo las recomendaciones del fabricante.



Figura 44. Desgaste irregular entre ambos hombros.

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group.

**Desgaste tipo diente de sierra.** Este daño ocurre en los hombros de las llantas, generalmente en llantas montadas en el eje frontal de los camiones. Normalmente, es producido por dos razones principales: Causas operacionales (curvas cerradas, cámber invertido en la carretera, vías sub estándar, sobrecarga, etc.) y problemas mecánicos (daño en el cilindro de suspensión, problemas de divergencia, cámber del equipo, etc.)

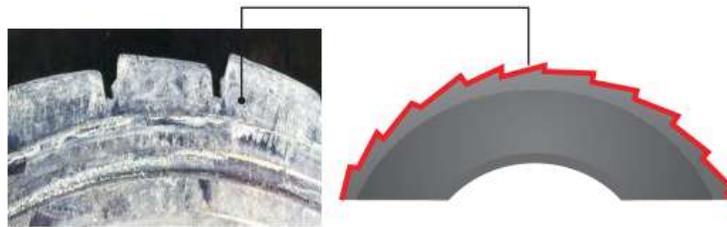


Figura 45. Desgaste tipo diente de sierra.

Fuente: Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group.

**Desgaste en un área de rodado.** La llanta tiene un marcado en un área de la banda de rodamiento, esto pasa por el mal funcionamiento del freno del vehículo o por el mal frenado o por frenado de emergencia también puede ocurrir si es que las llantas estuvieron en aceite, gasolina u otros químicos.

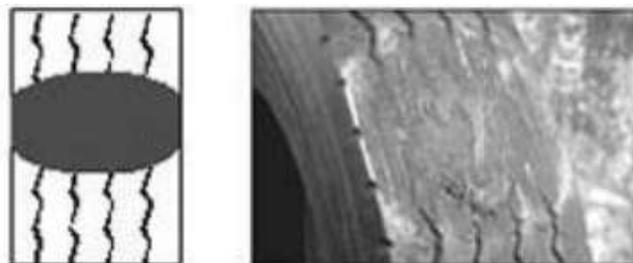


Figura 46. Desgaste en un área de rodado.

Fuente: Información técnica Fallas técnicas en neumáticos/llantas

**Desgaste por patinamiento.** Causado por patinamiento en llantas de tracción sobre hielo, arena, grava, etc.



Figura 47. Desgaste por patinamiento.

Fuente: Guía de análisis de condiciones para la llanta radial.

**Desgaste alternado de la huella.** Las huellas no se están gastando de forma consistente porque no están haciendo contacto uniforme con la pista. Causas probables: Duales desiguales, Diferente inflado de duales (10psi o mas) y Diseño de la llanta.



Figura 48. Desgaste alternado de la huella.

Fuente: Información técnica Fallas técnicas en neumáticos/llantas

**Desgaste en ambos hombros.** La banda de rodamiento no está haciendo contacto con la autopista, solo las porciones más alejada de la llanta están llevando todo el peso porque la llanta esta con bajo estándares de inflado para el trabajo.



Figura 49. Desgaste en ambos hombros.

Fuente: Tesis Modelo general de análisis causa raíz de fallas y desgastes irregulares de llantas en la flota de transporte de mercancías coordinadora mercantil s.a., 2005.

**Desgaste en hondo.** Se presenta por sobreinflado.



Figura 50. Desgaste en hondo.

Fuente: Tesis Modelo general de análisis causa raíz de fallas y desgastes irregulares de llantas en la flota de transporte de mercancías coordinadora mercantil s.a., 2005.

**Desgaste en diagonal.** La llanta no está rodando en la pista de una manera uniforme o si no está rebotando ligeramente a los costados. Causas probables: Rodaje suelto, Mal montaje de la llanta, Desbalance de la llanta, Diseño de la banda de rodamiento, Rodajes, muelles o amortiguadores, otros componentes en la suspensión desgastados, Dual disperejas diferencia presión en los cuales (10psi o mas)

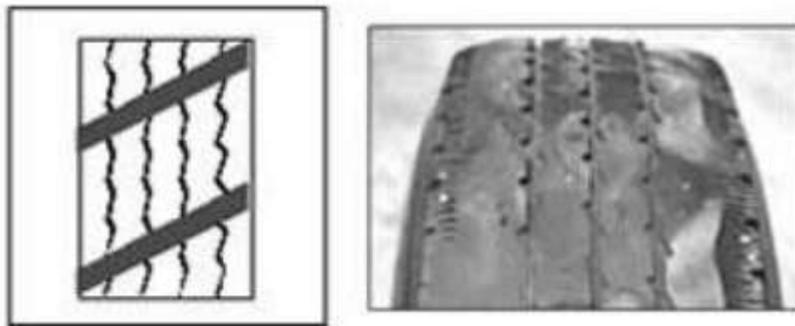


Figura 51. Desgaste en diagonal.

Fuente: Información técnica Fallas técnicas en neumáticos/llantas

**Desgaste en las puntas de las huellas.** Las llantas no están rodando en la pista de forma total.

Causas probables: Desalineado

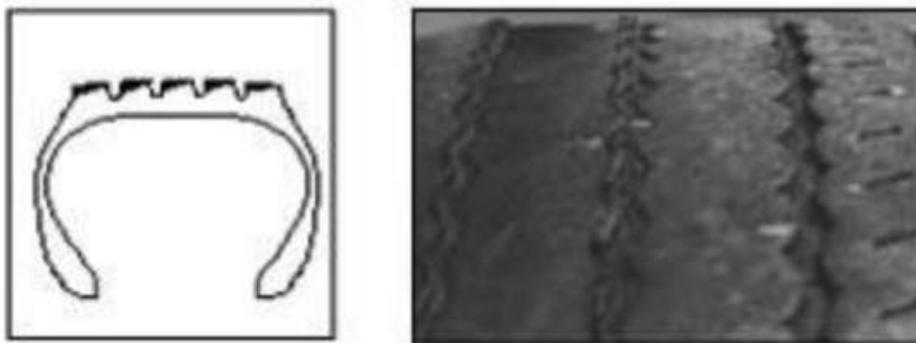


Figura 52. Desgaste en las puntas de las huellas.

Fuente: Información técnica Fallas técnicas en neumáticos/llantas

**Desgaste del taco.** Desgaste en una porción de los tacos han sido trillados como en una porción si fuera un borrador, los tacos están distorsionados en la aceleración u operación por la que no hacen contacto directo con la pista. Causas probables: Duales disparejas, Presión de aire inconsistente (10 psi o más), Fuerza del torque en mal estado, Diseño de la banda de rodamiento.



Figura 53. Desgaste del taco.

Fuente: Información técnica Fallas técnicas en neumáticos/llantas

**Desgaste de un lado.** El neumático se está gastando de un lado por falta de alineamiento cámbler inclinado o eje, no soporta el exceso de carga. Causa Probables: Vehículo desalineado y Ejes sobrecargados.

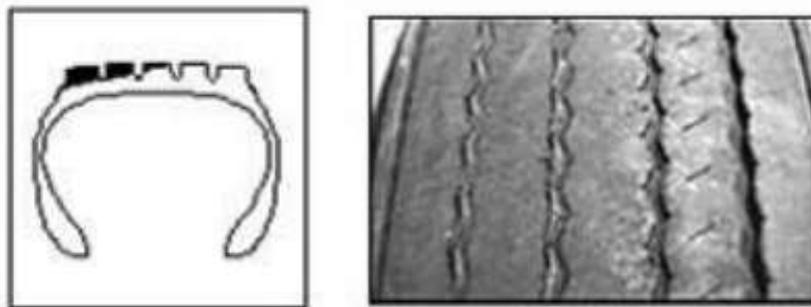


Figura 54. Desgaste de un lado.

Fuente: Información técnica Fallas técnicas en neumáticos/llantas

**Objetivo específico. Determinar las acciones preventivas a cada falla identificada para alargar la vida útil de la llanta y mejorar el rendimiento de la misma.**

**Elaborar un análisis estadístico de fallas en llantas desechadas y reparadas en el proyecto calenturitas.**

Toda la información sobre la gestión del mantenimiento de las llantas se obtiene del software TTC que luego es registrada como consolidados en bases de datos creadas en Excel. Así que se realizó una pequeña recolección de datos y se evidenciarán los tipos de equipos pesados con los que cuenta la mina actualmente, las causas de desechos de llantas desde el 2009 hasta octubre de 2016 dentro de la empresa y las causas de fallas de reparación de llantas del año 2015.

**Tabla 3**

*Caracterización de la flota mina calenturitas.*

<b>Caracterización de la flota de camiones mina calenturitas</b>					
<b>Cod Tipo De Veh</b>	<b>Descripción</b>	<b>Num de Veh</b>	<b>Num de Pos</b>	<b>Num de Ejes</b>	<b>Fabricante</b>
16H	Motoniveladora Cat 16H	15	6	3	Caterpillar
16M	Motoniveladora Cat 16M	5	6	3	Cat
24M	Motoniveladora CAT 24M	12	6	3	Cat
769C	R/D Truck,769C	1	6	2	Caterpillar
773B	R/D Truck,773B	2	6	2	Caterpillar
777	Camión Cat 777D	15	6	2	Caterpillar
777C	R/D Truck,777C	3	6	2	Caterpillar
777F	Camión Cat 777F	143	6	2	Caterpillar
789C	Camión Cat 789C	56	6	2	Caterpillar
793C	Camión 793C	14	6	2	Cat
793D	Camión 793D2	14	6	2	Cat
834H	Tractor de Llantas Cat 834H	10	4	2	Caterpillar
854K	Topador Frontal 854K	2	4	2	Caterpillar
988H	Cargador 988H	9	4	2	Caterpillar

993K	cargador frontal 993k	6	4	2	Caterpillar
A30E	Volvo A30E	16	6	3	Volvo A30E
A40E	Dumper Articulado A40E	16	6	3	Volvo A40E
EH3500	Camión Hitachi EH3500	36	6	2	Hitachi
EH4000	Camión Hitachi EH4000	36	6	2	Hitachi
MG 374	MOTONIVELADORA MG 16 G	1	6	3	CATERPILLA
MG381	Motoniveladora CAT 24M	0	6	3	CATERPILLAR
WA600	Montallantas WA 600	1	4	2	Komatsu
<b>TOTAL</b>		413	2422		

Fuente: Software TTC Kaltire calenturitas

**Tabla 4**

*Causas de desechos de llantas 2009-2016*

<b>Causas de Desechos de llantas 2009-2016</b>		
<b>Causa</b>	<b>Cantidad</b>	<b>porcentaje</b>
Corte en el costado	1068	29,26
Separación por corte	752	20,60
Separación del costado	440	12,05
Rodó lonas	381	10,44
Separación del hombro	237	6,49
Impacto	225	6,16
Daño en la banda	141	3,86
Falla de reparación	62	1,70
corte pasante	61	1,67
Múltiples cortes	59	1,62
Separación del butilo	54	1,48
Sobrecarga	46	1,26
Separación de la banda	38	1,04
Accidente	27	0,74
Reparada	13	0,36
Run Flat	10	0,27
Sobrepasó vida útil	9	0,25
Explosión	8	0,22
Excedió el TKPH	5	0,14
Desgaste irregular	4	0,11
Fricción con el rin	4	0,11

Rodó baja de presión	3	0,08
Fatiga de la carcasa	1	0,03
Explosión	1	0,0273973
<b>TOTAL</b>	<b>3650</b>	

Fuente: Consolidado de desechos Kaltire calenturitas

Después de revisar el consolidado se puede evidenciar que el corte en el costado y la separación por corte son los daños que ocasionan un 50% de desecho de llantas. Además se evidencia también mediante el consolidado, que las llantas dan en promedio 6596 horas de rodaje antes de desecharse y que se desechan un promedio anual de 980 llantas.

### Tabla 5

*Causas de fallas de reparación en 2015*

<b>Causas de fallas de reparación 2015</b>	
<b>Causa</b>	<b>Porcentaje</b>
DESPRENDIMIENTO DEL PARCHE	31,32
PARCHE MAL SELECCIONADO	20,88
DESPRENDIMIENTO DE REPARACIÓN	15,93
DAÑO EN BUTILO	9,89
SEPARACIÓN POR CORTE	9,34
CORTE EN COSTADO	3,85
DEFICIENCIA EN PULIDO Y RETIRO DE BÚTILO	2,75
IMPACTO	2,20
SEPARACIÓN EN COSTADO	1,65
MONTAJE INADECUADO	1,10
ESTALLIDO POR PARCHE	0,55
SEPARACIÓN POR CALOR	0,55

Fuente: Consolidado de Reparaciones Kaltire calenturitas

Después de revisar el consolidado se puede evidenciar que el desprendimiento del parche y el parche mal seleccionado son las causas que ocasionan el 51.88% de las fallas de reparación;

siendo estas ocasionadas principalmente por el reparador que no sigue los procedimientos establecidos. Además anualmente se reparan 236 llantas en promedio y con la reparación se puede alargar la vida de la llanta entre un 34 y 280 por ciento. Reparar una llanta cuesta aproximadamente entre 8 y 36 millones de pesos colombianos, dependiendo del daño a reparar.

### Recopilar información acerca de los factores a tener en cuenta para una mayor durabilidad de la llanta.



Figura 55. Factores que afectan la vida de los neumáticos.

Fuente: Guía de utilización y mantenimiento de los neumáticos de ingeniería civil Michelin.

### **Selección del neumático.**

**Patrón.** El patrón del neumático está normalmente relacionado con el tipo de operación en la que el neumático se utilizará. Los fabricantes ofrecen típicamente una variedad de patrones que van desde la tracción hasta patrones para roca. Como lo sugiere el nombre, un patrón de tracción está diseñado para maximizar la tracción disponible. Este tipo de neumáticos está usualmente caracterizado por un estilo abierto de la banda de rodamiento, con muchas huellas individuales. Un patrón para roca tiene normalmente pocas huellas individuales.



Figura 56. Patrón de huella para tracción y para roca.

Fuente: Bridgestone OTR databook July 2016

**Composición del neumático.** La composición del neumático se refiere al tipo de caucho y construcción usada. Los fabricantes pueden variar la rigidez y dureza de la estructura y el caucho para lograr características óptimas del neumático. Los neumáticos están normalmente disponibles en tres tipos de composiciones: resistente al corte, resistente al calor y ultra resistente al calor. La elección adecuada se basa en el historial de fallas, condiciones de operación y TKPH (toneladas-kilómetros por hora).

**Profundidad de la banda.** La profundidad de la banda es de un 150% de una profundidad de banda de un neumático estándar y la profundidad extra es de 250% a la de un neumático estándar. En la figura hay elecciones que deben hacerse en cuanto al tipo de rendimiento del neumático requerido. Las elecciones implican un intercambio entre resistencia al calor y resistencia al corte, debido a que la resistencia de la carcasa y dureza del caucho varía entre los dos tipos de neumáticos. Esta variación en la dureza cambia la cantidad de energía generada por revolución del neumático. Se puede extender la vida de los neumáticos se podría aumentar la profundidad de la banda de rodamiento, pero la profundidad real de la banda de rodamiento dependerá del rendimiento pasado de los neumáticos en el lugar, o experiencia práctica de operaciones similares.

Ref.	Código de identificación normalizado	Función	Vehículos	Características Principales Requeridas
E1 E2 E3 E4 E7	RIB TRACCIÓN ROCA ROCA (escultura prof.) FLOTACIÓN	Transporte		Resistencia al calor Resistencia al corte Resist. al desgaste Resis. al estallido por impacto
G1 G2 G3 G4	RIB TRACCIÓN ROCA ROCA (escultura prof.)	Expianación Nivelación		Tracción Maniobrabilidad (Estabilidad direccional)
L2 L3 L4 L5 L3S L4S L5S	TRACCIÓN ROCA ROCA (escultura prof.) ROCA (esc. muy prof.) LISA LISA (escultura prof.) LISA (esc. muy prof.)	Carga y Empuje	 	Resistencia al corte Resistencia al desgaste

**Definiciones:**  
**C:** Compactor (compactadora)  
**G:** Grader (niveladorA)  
**E:** Earthmoving (transporte)  
**L:** Loader and Bulldozer (cargadoras y bulldozers)

**Indices:**  
**S:** Smooth, liso (galería, terreno muy duro)  
**1:** liso, longitudinal (rodaje fácil)  
**2:** Acanalada (tracción normal)  
**3:** roca (normal)  
**4:** roca (altura de goma importante)  
**5:** roca (altura de goma muy importante)  
**7:** flotación (trabajo sobre terreno blando)

Figura 57. Clasificación de los neumáticos TRA

Fuente: Tyre Selection, Use and Operational Issues to Maximize Tyre Life.

**TKPH** (toneladas kilometro por hora): es una expresión de la capacidad de trabajo de un neumático, que tiene en cuenta la máxima temperatura interna de operación permitida en el neumático y es uno de los criterios usados para seleccionar un neumático para una mina específica. El TKPH de la mina puede ser encontrada por la siguiente formula:

$$TKPH = \left( \frac{Q_c + Q_v}{2} \right) * \left( \frac{N * L}{H} \right)$$

Donde

$Q_c$ =carga por neumático con equipo cargado

$Q_v$ = carga por neumático con equipo vacío

$N$ =Numero de cargas en un día/turno de trabajo

$L$ =Longitud del ciclo

$H$ =número de horas trabajando en un día/turno

Cada neumático tiene un TKPH dado el cual es calculado desde formulas empíricas o pruebas de acuerdo a SAE J1015. El TKPH del sitio es el que se calcula con la formula anterior. Como norma general si el TKPH del neumático es más grande que el TKPH de la mina, la capacidad térmica del neumático debiera ser suficiente para la mina. Se debe calcular para cada posición de neumático.

### **Mantenimiento de los neumáticos**

**Almacenamiento:** Se recomienda de preferencia el almacenaje interior. La humedad, las temperaturas elevadas, así como las grandes variaciones de temperatura y la luz son factores de aceleración del envejecimiento de la goma; factores que se amplifican en zonas muy soleadas y/o

expuestas a tormentas frecuentes (presencia de ozono). La zona de almacenamiento debe ser suficientemente amplia para que las máquinas de manipulación puedan circular sin riesgo de frotamientos o choques contra los neumáticos.

- En ciertas condiciones, el almacenaje exterior es posible. Se deben respetar las siguientes condiciones:
- Duración máxima de 4 meses para un almacenaje exterior;
- Suelo limpio y bien drenado, sin grandes asperezas que puedan dañar los neumáticos. Evitar los terrenos con pasto o barro;
- Ningún almacenaje cerca de materiales polvorientos, productos inflamables o de sustancias contaminantes (aceite, grasa, hidrocarburos, etc...);
- Almacenaje lejos de los puestos de soldadura eléctrica, cargadores de baterías y, en general, de toda fuente de producción de ozono (centrales eléctricas, transformadores, etc.);
- Se recomienda cubrir con lonas opacas, con la condición que haya una buena aireación para evitar todo tipo de condensación.

**Presión de inflado:** Es uno de los aspectos más contribuyentes a la vida del neumático. Los efectos del mantenimiento de la presión pueden causar un desgaste acelerado y otros problemas como el sobre inflado y el inflado insuficiente.

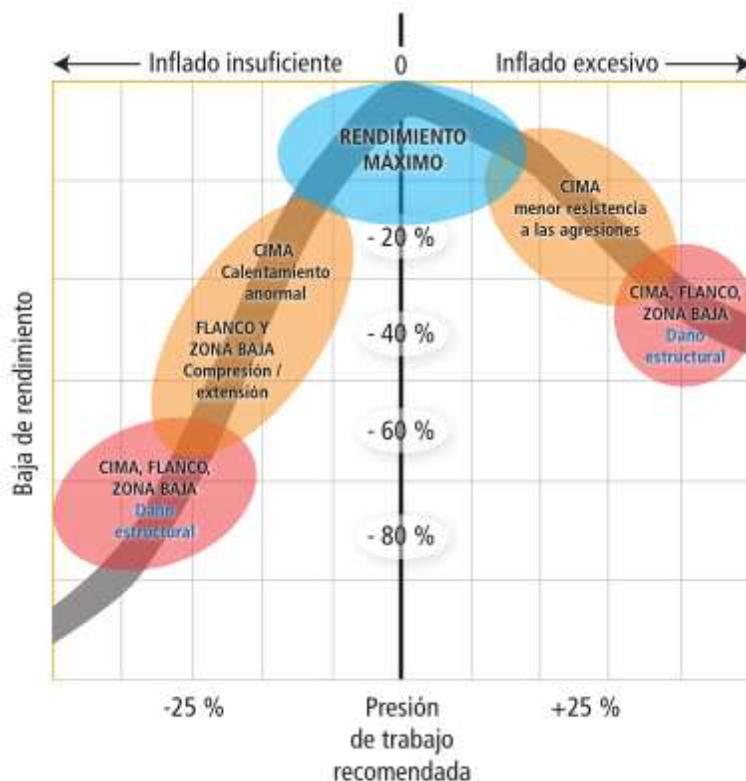


Figura 58. Degradación del rendimiento del neumático en función la presión

Fuente: Guía de utilización y mantenimiento de los neumáticos de ingeniería civil Michelin.

**Temperatura interna de funcionamiento:** La temperatura crítica del aire al interior del neumático es el límite a partir del cual el nivel de calentamiento constituye un peligro para el neumático. En caso de no haber fuentes térmicas exteriores al neumático, se acepta que esta temperatura crítica se alcanza cuando el aire al interior del neumático es de 80° C o 176° F.

Cuando el aire interno alcanza esta temperatura, quiere decir que la de los componentes del neumático es aún más elevada, hasta alcanzar incluso la temperatura de degradación total del caucho. El aumento de la temperatura se debe a: el calentamiento del neumático mismo y la transferencia parcial del calentamiento de los frenos y reductores del vehículo.

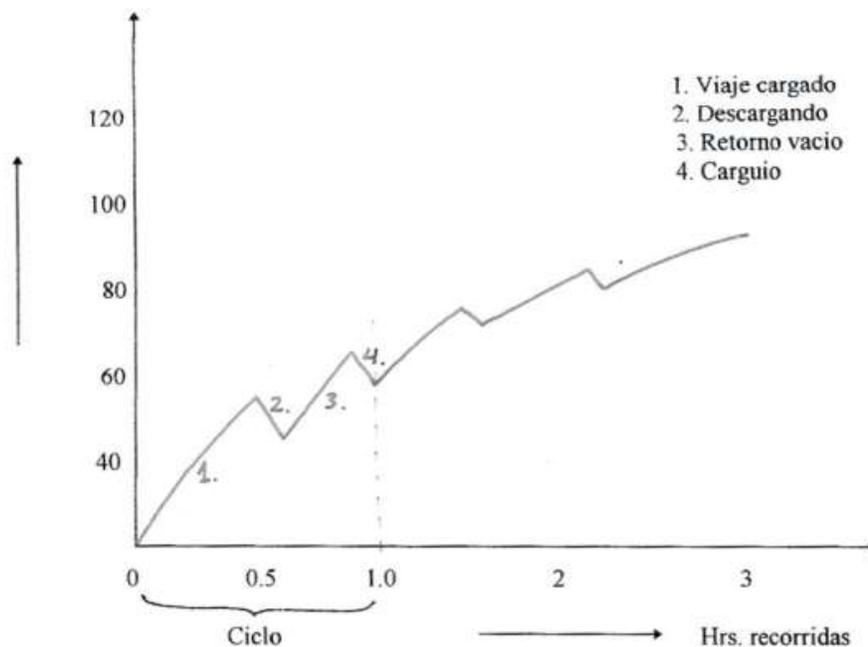


Figura 59. Aumento de la temperatura del neumático respecto al número de ciclos

Fuente: Presentación 8-Neumaticos-Off-the-Road

**Neumáticos Gemelos.** Se trata del montaje de dos neumáticos a la misma maza o cubo de un eje, para duplicar la capacidad de carga de este último.

Cada llanta de un conjunto “gemelo” debe tener el mismo diámetro que su compañera. Si fueran diferentes, la mayor quedará con una carga desproporcionada y la menor tendrá un asentamiento irregular sobre el suelo, presentado un desgaste multiescamado. Además las maquinas deben estar equipadas con un eyector de rocas y evitar que cuerpos extraños queden atorados entre ellos.

Cuando existe un mal pareo entre los conjuntos en el mismo eje, la menor no sólo tendrá una carga desproporcionada, además dará un número mayor de vueltas para alcanzar a la mayor, lo cual provocará problemas en el diferencial.

**Rotación de llantas.** Pasar los neumáticos del eje de tracción a los ejes no tractivos contribuye a aumentar su durabilidad y alargar su vida hasta en un 20%, siempre y cuando todos los neumáticos sean del mismo tipo. Se recomienda hacerlo entre los 5 mil y 10 mil kilómetros. En el caso de camiones y vehículos pesados, se recomienda aplicar la técnica de la figura 60.

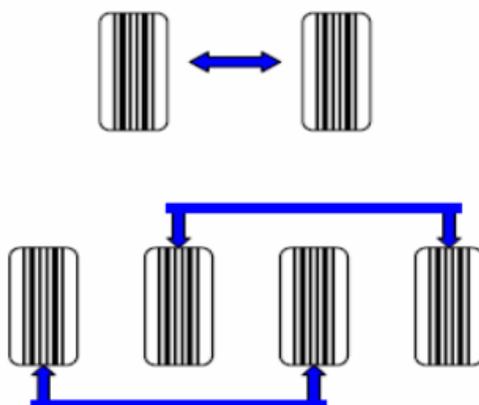


Figura 60. Rotación de llantas.

Fuente: Tesis Modelo general de análisis causa raíz de fallas y desgastes irregulares de llantas en la flota de transporte de mercancías coordinadora mercantil s.a., 2005.

### **Mantenimiento del vehículo.**

Desde el punto de vista del neumático, un correcto mantenimiento vehículo incluye ajustes del cámber, alineación de las ruedas (paralelismo), alineación de ejes y ajustes de los frenos.

**Paralelismo.** Hace referencia al ángulo (visto desde arriba, en planta) que forman las ruedas de un mismo eje. Para optimizar su duración de vida, durante el rodaje, los neumáticos deben permanecer tan paralelos como sea posible, ya sea con carga o sin ella. Hay:

- "convergencia" cuando la distancia entre las partes anteriores de las ruedas en el eje es menor que aquella de las partes posteriores de las mismas;

- "divergencia" en caso contrario.

El valor de convergencia recomendado por el constructor está indicado en el manual de mantenimiento de cada máquina. No es necesariamente "0" dado que:

- las medidas de paralelismo se realizan con el vehículo detenido, preferentemente sin carga y si es posible, con las ruedas suspendidas;
- el valor de convergencia o divergencia puede ser el resultado de un compromiso entre el desgaste del neumático y el comportamiento del vehículo, o entre el paralelismo sin carga y con carga.

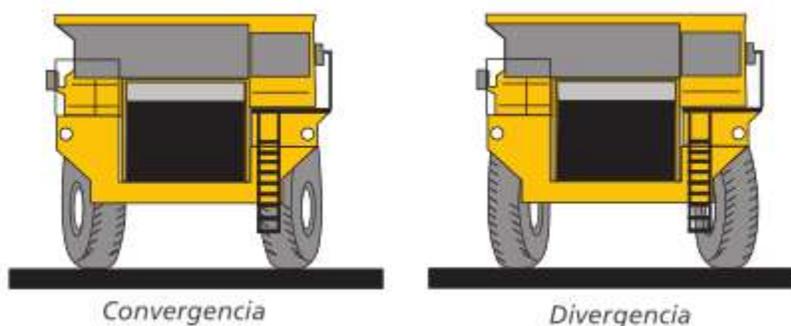


Figura 61. Convergencia y divergencia en llantas.

Fuente: Guía de utilización y mantenimiento de los neumáticos de ingeniería civil Michelin.

**Inclinación de la rueda (cámbor).** Mirando de frente un vehículo, representa el ángulo formado por las ruedas delanteras con respecto a la vertical. Se dice que la inclinación de las ruedas es "negativa" cuando la parte superior de ellas está inclinada hacia el vehículo. En caso contrario, es positiva.

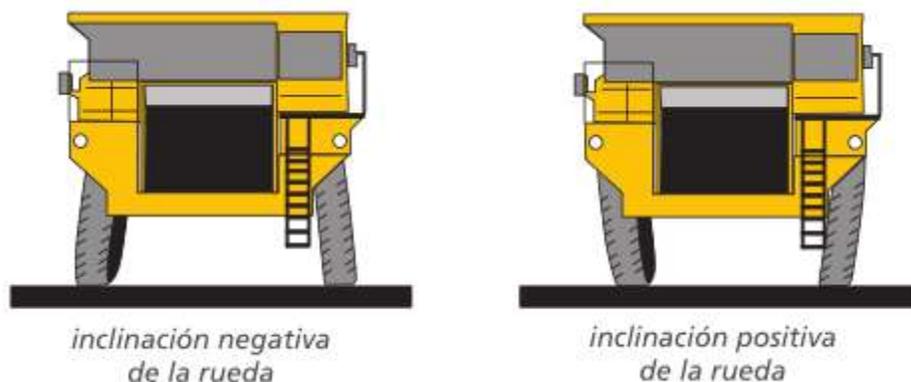


Figura 62. Inclinación positiva y negativa de las ruedas.

Fuente: Guía de utilización y mantenimiento de los neumáticos de ingeniería civil Michelin.

**Ajuste de frenos.** Un ajuste incorrecto de los frenos, especialmente los de arrastre puede provocar excesivas cargas de calor en el neumático y fallas prematuras. Si los niveles de calor son extremos existe la posibilidad de un incendio del neumático e incluso una explosión.

### Vías

El perfil de las pistas, el trazado de las curvas y las rampas tienen mucha importancia en la sobrecarga dinámica y en el desgaste de los neumáticos.

**Drenaje.** El drenaje es una consideración mayor. Durante los periodos de lluvia, grandes cantidades de agua pueden acumularse y correr por la pendiente, causando derrubios (depósitos de fragmentos de rocas). Éstos pueden causar la sobrecarga del neumático, daños por impacto, reducción de la tracción y pérdida del control. La combinación de neumáticos húmedos y el deslizamiento de las ruedas de tracción aumentan dramáticamente la tasa de desgaste.

**Radios de la curva.** Las curvas agudas deben ser minimizadas cuando sea posible. Desde el punto de vista de un neumático, las curvas deben ser lo más grande posible. Si esto no es posible, la velocidad deberá reducirse al mínimo para reducir los accidentes.

**Rampas.** Una rampa en descenso incrementará el esfuerzo de los neumáticos del eje delantero, y en el eje trasero para el caso de una rampa en ascenso. Como norma general la pendiente de la rampa no debe sobrepasar el 10%.

**Mantenimiento.** Un mantenimiento adecuado de la superficie de la vía, reducción de los grados de la pista, ampliación del ancho de la carretera, ampliación del radio de la curva, mantenimiento de las distancias de acarreo adecuadas, mantenimiento y mejora de sistemas de drenaje; preservan los neumáticos de accidentes tales como choques, cortes, perforaciones.

### **Operación de vehículos**

**Manejo.** La manera de conducir el equipo influirá en la duración de los neumáticos. Se tienen en cuenta variables como la velocidad del vehículo, posicionamiento del vehículo, velocidad de curvado, cambio de marchas, deslizamiento / deslizamiento de la rueda, prevención de Obstáculos. Dentro de estas la velocidad del vehículo es un factor crítico. Los conductores deben conocer las limitaciones de los vehículos que están conduciendo, algunas prácticas comunes que ayudan al desgaste de los neumáticos son:

- Frenazos brutales y repetitivos
- Bruscas aceleraciones
- Curvas tomadas a gran velocidad
- Patinazo de las ruedas motrices
- Transitar por vías no adecuadas

**Sobrecarga.** Son frecuentes durante la explotación y pueden deberse a:

- El tipo y/o estado del material trabajado (densidad, tamaño de los fragmentos transportados).
- Apoyarse en una berma con muchas rocas presentes que pueden causar daños.
- Malas prácticas de carga como una carga incorrecta o una repartición no uniforme de las cargas de los diferentes neumáticos.

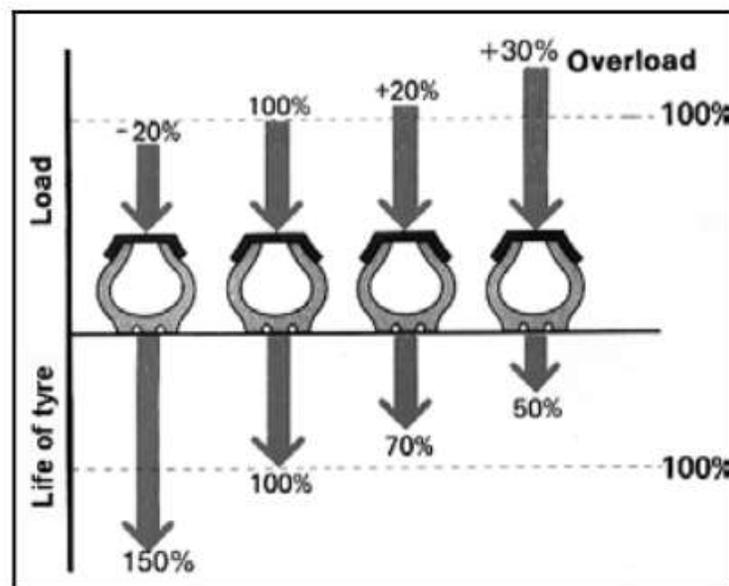


Figura 63. Efectos de la sobrecarga en la vida del neumático

Fuente: Tyre Selection, Use and Operational Issues to Maximize Tyre Life.

**Describir acciones preventivas ideales para las fallas en las llantas.**

### Selección de la llanta

- Chequear los parámetros de selección de los neumáticos.

- Cambio de los tipos de neumáticos según terreno, utilizar la cubierta más adecuada según las condiciones de utilización
- Verificar que el TKPH del neumático sea el adecuado a las condiciones presentes.
- Realizar un análisis histórico de fallas de los neumáticos usados.
- Participar en capacitaciones de proveedores de Llantas; para conocimiento de Vida útil y utilización de llantas.

## **Mantenimiento del neumático**

### **Almacenaje**

- Cambiar las medidas de preservación y almacenaje. Eliminar fuentes de producción de humedad. Cambiar tipo de neumáticos para mayor resistencia del material en ambientes húmedos.
- Almacenar en un lugar fresco, a una temperatura constante, sin excesiva calefacción, sin ventilación ni humedad.
- Evitar el almacenamiento de neumáticos apilados, el cual provoca una deformación exagerada y favorece el ataque del ozono.

### **Presión**

- Revisar la metodología y los equipos de calibración.
- Calibrar llantas según lo recomendado por el fabricante.
- Bajar la presión de inflado para aumentar la capacidad de rodar sobre suelos de poca consistencia.
- Regular presión en caso de ser necesario

### **Temperatura**

- Remover o controlar la fuente de calor que origina el sobrecalentamiento del neumático.
- Supervisar frecuentemente la temperatura interna del neumático
- Permitir la refrigeración del neumático por medio de sistemas de ventilación aprovechar la aerodinámica del vehículo para adoptar medidas de ventilación adecuadas.

### **Montaje**

- Evaluar el estado de capacitación de los mecánicos dedicados a la tarea del montallantas.
- Verificar el uso adecuado de herramientas apropiadas para el montaje
- Realizar una adecuada inspección de neumáticos de manera frecuente.
- Chequear los parámetros de montaje de los neumáticos.
- En el montaje, utilizar exclusivamente el lubricante admitido por el fabricante de las cubiertas
- Reparar los cortes para evitar su propagación y posibles filtraciones de sustancias corrosivas.
- Revisar el estado de las válvulas y otros posibles escapes en la estructura de la carcasa
- Desmontar llantas al hacer trabajos de soldaduras en el chasis o carrocería
- Antes del montaje, verificar que la llanta está limpia y seca.
- Montar de forma adecuada la llanta según par de apriete recomendado por fabricante del vehículo
- Pulir los rines antes del montaje de la llanta, siempre que se note la presencia de impurezas.
- Asegurarse que el eyector de roca está correctamente alojado antes del montaje.

- Evitar el deterioro de los talones durante el montaje. No producir heridas en el interior de las cubiertas.
- Renovar los neumáticos antiguos cuando hayan cumplido su vida útil.

### **Neumáticos Gemelos**

- Realizar un montaje de neumáticos gemelos correctos.
- Verificar las características de los neumáticos gemelos sean iguales (construcción, dimensiones, presiones de inflado, marca)
- Verificar la existencia del eyector de roca en el equipo.
- Evitar los roces de los costados, observar estos con el fin de permutar o dar vuelta sobre la llanta antes de la aparición de cortes de goma y de las lonas en la carcasa.
- Inspección periódica de neumáticos gemelos.

### **Rotación**

- Realizar la rotación adecuada de los neumáticos según normativas establecidas.

### **Mantenimiento del equipo**

- Verificar el paralelismo entre llantas según su aplicación
- Realizar una adecuada calibración de la inclinación de las ruedas
- Verificar la alineación de los ejes
- Verificar las componentes de los frenos del vehículo
- Ajustar la suspensión del equipo.
- Verificar el alineamiento de los ejes y de ser necesario balancearlos.

## **Vías**

- Rediseñar vías que causen accidentes o daños en llantas.
- Reorganizar la ruta de trabajo del equipo, evitando correr por partes con alto contenido de Obstáculos.
- Verificar el buen funcionamiento de los drenajes o la existencia de los mismos.
- Establecer señales de tránsito en zonas de alto desgaste o con curvas pronunciadas, que regulen la velocidad.
- Comprobar la pendiente de las rampas frecuentemente.
- Controlar actividades de botaderos, fijando a un personal dedicado a la medición de presión, cocadas y sacar piedras incrustadas a las llantas. (inspectores de campo)
- Limpiar las vías para eliminar obstáculos del camino
- Informar al operador sobre las maniobras en las curvas y los esfuerzos mecánicos a los que se ven sometidos las llantas.
- Verificación de la longitud y duración de los ciclos.

## **Malas prácticas de operación**

### **Manejo**

- Seguimiento de la actitud del operador
- Dar a conocer las limitaciones operativas en cuánto a la capacidad de las llantas.
- Capacitar al operador sobre el cuidado de las llantas y hacerlos conscientes de los costos representativos.

- Evitar en lo posible el contacto con lubricantes, carburantes, etc. Así como el estacionamiento en suelos impregnados con cuerpos grasos.
- Evaluar la capacidad y habilidad de manejo del conductor.
- Determinar si el operador conoce las reglas de señalización (prioridades, adelantamientos, límites de velocidad, etc.)
- Mantener una constante supervisión sobre el conductor.
- Controlar la operación inadecuada del vehículo
- Comprobar velocidad real del equipo
- Mirar constantemente el estado de la banda de rodamiento después del rodaje (operador). reportando el daño encontrado.
- Adecuar el manejo del vehículo según las condiciones del terreno y climáticas.
- En condiciones climáticas adversas, abstenerse de conducir el vehículo.

### **Sobrecarga**

- Implementar un sistema de control de exceso y balanceo de carga de los camiones
- Evitar las flexiones continuas de la carcasa en la sobrecarga del vehículo.
- Comprobar la distribución de carga en el equipo.
- Examinar prácticas de carga del operador de la pala.
- Limpiar los sitios de cargue que tengan presencia de rocas.
- Optimizar el posicionamiento de los equipos durante la carga.

**Objetivo específico: Formular un modelo general que facilite la identificación de fallas y las acciones proactivas para el cuidado las llantas, mejorando las operaciones de la empresa KALTIRE.**

**Realizar una base de datos donde se compile todos los modos de falla, con sus causas y medidas de prevención.**

El diseño del modelo general de análisis causa raíz está basado en la estructuración de las posibles causas que puedan haber ocasionado un tipo de falla o desgaste irregular que comúnmente ocurren en las llantas neumáticas de los vehículos OTR. La identificación de cada una de las posibles causas de cada una de las fallas o desgastes, se establecieron a través de los estudios e investigaciones realizadas por las compañías expertas en la fabricación de llantas.

El modelo RCA fue construido a través del diagrama causa y efecto, en el cuál se parte de un tipo de falla que se puede dar en una parte específica o componente estructural del neumático. Estas fallas son el efecto primario, el cual se le considera además dependiendo el caso, como un problema o incidente, problema si es un desgaste irregular o el inicio de una falla (la llanta aún es operable) o incidente cuándo la falla detiene el servicio funcional de la llanta neumática. A este incidente o falla, se le otorgan las posibles causas que pueden haber ocasionado tal hecho. El número de causas dependen de la complejidad y el número de factores que influyen al aumento de la probabilidad de que ocurra un incidente. En el caso de las llantas neumáticas los factores que más intervienen en la incidencia de hechos no deseados son los factores de operación, factores de mantenimiento, montaje, factores de selección y diseño.

Las causas pueden ser de tipo operacional, mecánico, de diseño o selección, de factor humano o simplemente accidental. Todas éstas se describen usando la metodología: causa 1/ Causa raíz 2, ejemplo: Rodaje en terrenos con condiciones adversas/ Vía de trabajo. Estas causas tienen un tipo o método de comprobación o prueba, de tal forma que se afirme que la causa seleccionada como consecuente del hecho sea la efectiva. Estos métodos están consignados en el **Apéndice A**. Además, se hace la recomendación para prevenir y solucionar la falla presente y las técnicas de monitoreo y predicción básicas están consignadas de igual forma. Es importante describir que estas pautas son guías, y lo indispensable es que el ingeniero use alternativas eficientes basadas en las recomendaciones descritas.

Adicionalmente en el **Apéndice B** se especifican los desgastes que se pueden presentar en las llantas neumáticas en su periodo de operación. Se parte del tipo de desgaste, se le otorgan las diferentes causas raíces e inmediatamente se describe la solución.

## Capítulo 4. Diagnostico Final

El plan de trabajo “ANALISIS DE FALLAS DE LLANTAS OTR (OFF THE ROAD) EN LA FLOTA DE CAMIONES MINEROS DE LA MINA CALENTURITAS VIA LA LOMA CESA”, ayuda a disminuir o eliminar las falencias en la determinación de causas en daños en llantas OTR, presentando un documento estándar que genera un consenso de criterios entre los técnicos de llantas, reparadores, jefes de taller y coordinadores administrativos.

Es necesario que los miembros de la empresa reconozcan la importancia del cuidado y mantenimiento de las llantas para poder optimizar la vida de las mismas, para eso se realiza la investigación pertinente que da como resultado el modelo causa raíz de las llantas OTR que ayudará a establecer mejores procedimientos y políticas de mantenimiento futuros.

Al finalizar el proceso de aprendizaje bajo la modalidad pasantía, se realiza una charla donde se dan opiniones positivas sobre el desempeño del estudiante, actitud y los aportes que generó la empresa aplicando los conocimientos adquiridos a lo largo de estos años de estudio; causando una gran satisfacción en la empresa y dejando las puertas abiertas para futuros puestos de trabajo.

## Capítulo 5. Conclusiones

Se investigó los diferentes modos de falla, según el área en donde se encontraban en la llanta, todo esto además con evidencias fotográficas y las causas posibles de cada modo de falla presentado debido a las condiciones de trabajo, operación del equipo y procedimientos de mantenimiento.

Se realizó un análisis estadístico de las causas de las fallas desechadas y reparadas y también de los tipos de vehículos que circulan en la mina; determinándose el promedio de vida de una llanta y el promedio de llantas desechadas, y los costos representativos de la reparación.

Se buscó los diferentes factores que inciden en la vida de los neumáticos OTR, que pueden hacer que sea desechada prematuramente. Estos factores se definieron para tener un mejor entendimiento de los mismos y de qué manera afectaban la vida de las llantas y finalmente determinar las medidas preventivas que ayudarían a optimizar la vida de las llantas.

Se crea el modelo RCA de fallas en llantas OTR, con el fin de disminuir los desechos de llantas, la mala inspección por parte de los técnicos, determinar las causas de falla cuando éstas fallas en plena operación y aumentar las horas de rodaje de las llantas dentro de la mina.

## Capítulo 6. Recomendaciones

Para utilizar el modelo RCA, se recomienda que los técnicos, supervisores, coordinadores y operarios de equipos sean capacitados para poder utilizar el modelo en cada situación que lo requiera. También es recomendable que los supervisores encargados vigilen que este modelo sea empleado por los técnicos de la empresa.

Se recomienda diseñar nuevos procedimientos de inspección en fallos en llantas, para que esta metodología de RCA sea usada de forma eficaz, y que estos estén al alcance de los miembros de la empresa.

Se recomienda adquirir nuevas tecnologías de inspección de llantas como rayos X, ultrasonidos y bancos de rigidez que permitan tener mayor confiabilidad a la hora de diagnosticar daños.

Se recomienda designar personal para monitorear las condiciones de las vías, para que ayuden a definir tramos de vías que podrían causar daños en los neumáticos y que vigilen que estos tramos sean adecuados para el tránsito (topógrafos, geólogos, cartógrafos, etc.)

## Referencias

- Amendola León, L. (2016). *Modelos Mixtos de confiabilidad*. Valencia, España: PMM Institute for learning.
- Bridgestone Corporation. (2016) *Databook off the road tires*. Tokyo, Japon. Off-The-Road Tire Department.
- Dirección de transporte Conae. *Manual de información técnica de neumáticos*. México D.F.
- GALGO MR. *Manual de inspección y ajustes de llantas radiales y convencionales*.
- Grupo de mejora continua los titanes. *Problema: vida de llantas no optimizadas*. Barrick pierina
- KALTIRE. (2010). Sistema de gestión Kaltire.
- KALTIRE. (2014). Evaluación De Daños Llantas OTR/KALTIRE Mining Tire Group.
- KALTIRE. (2016). Hoja de cálculo en Excel: Rendimiento (scrap)
- KALTIRE. (2016). Hoja de cálculo en Excel: Reparación
- The Maintenance Council. (1995). *Guía de análisis de condiciones para la llanta (neumático radial)*. U.S.A.
- MICHELIN. (2012). *Guías de utilización y mantenimiento de neumáticos de ingeniería civil*. Paris, Francia.
- Moubray, J. (2004). *Rcm Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*. Asheville, Norte de carolina: ALANDO LLC
- Orozco, P.R., Fabella, M.J., y Martínez, M. (2004). *Diseño conceptual de un banco de pruebas para determinar rigidez en llantas neumáticas*. México D.F. Instituto Mexicano Del Transporte
- Paredes Sánchez, C. (2008) *Eficiencia en tiempo de vida de neumáticos con relación a rotación de posiciones uno y dos en volquetes komatsu 930E-3*. Lima, Perú: Universidad nacional de ingeniería.
- TCC. (S.F.). Software de Kaltire Total Tyre Control.
- Urueta, J.G., Valenzuela, E.B. (2005). *Modelo general de análisis causa raíz de fallas y desgastes irregulares de llantas en la flota de transporte de mercancías coordinadora mercantil s.a*. Cartagena, Colombia. Universidad Tecnológica De Bolívar
- Woodman, C.A., Cutler, A.T. *Tyre Selection, Use and Operational Issues to Maximize Tyre Life*. Otraco (international) Pty Ltd, 2-12.

# Apéndices

### Apéndice A. Modelo RCA para fallos en llantas OTR

FALLA (DISPOSICIÓN)	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	POSIBLE CAUSA RAÍZ	MÉTODO DE VERIFICACIÓN	MEDIDA PREVENTIVA	MEDIDAS DE MONITOREO
Desgarramiento de la banda de rodamiento (Reparación)	Superficie áspera de la banda con numerosas escamas o trozos desprendidos.	Mala selección del neumático	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Verificar si los neumáticos anteriores también se han dañado por el mismo modo de falla y en la misma ruta de trabajo</li> <li>● Consultar con su proveedor de neumáticos, la aplicación seleccionada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Chequear los parámetros de selección de los neumáticos.</li> <li>● Cambiar de los tipos de neumáticos según terreno, utilizar la cubierta más adecuada según las condiciones de utilización.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Realizar un análisis histórico de fallas de los neumáticos usados.</li> <li>● Establecer una metodología que permita una mejor selección de los neumáticos que tenga en cuenta a las condiciones cambiantes de la mina.</li> </ul>
		Alta torsión/Operador	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Verificar si el vehículo presenta arranques tempestivos o movimientos y sonidos bruscos cuando se realizan cambios de marcha.</li> <li>● Evaluar la forma del incidente, revisar los descargos del operador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Realizar mantenimiento ajustando el arranque y las marchas del equipo</li> <li>● Revisar la capacidad y habilidad de manejo del conductor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Monitorear los sistemas que permitan detectar fallas en el vehículo.</li> <li>● Supervisar el estilo de conducción del conductor realizando observaciones de conducción y seguimiento.</li> </ul>
		Sobreinflado/ Mala calibración	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Los cortes están ubicados más que todo en la parte central de la banda de rodamiento.</li> <li>● Verificar la calibración de la llanta y la metodología de la elaboración.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Revisar la metodología y los equipos de calibración.</li> <li>● Calibrar llantas según lo recomendado por el fabricante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Revisar periódicamente la presión de los neumáticos, si es posible en operación.</li> <li>● Control de monitoreo.</li> </ul>
		Radios de Giros cortos/ Operador	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Comprobar el radio de giro de la curva</li> <li>● Evaluar la forma del incidente, revisar los descargos del operador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Rediseñar vías que causen accidentes o daños en llantas.</li> <li>● Informar al operador sobre las maniobras en las curvas y los esfuerzos mecánicos a los que se ven sometidos las llantas.</li> <li>● Revisar la capacidad y habilidad de manejo del conductor.</li> <li>● Establecer señales de tránsito en zonas de alto desgaste o con curvas pronunciadas, que regulen la velocidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Mantener la vía en su estado original con ayuda del equipo auxiliar. (motoniveladoras)</li> <li>● Supervisar el estilo de conducción del conductor realizando observaciones de conducción y seguimiento.</li> </ul>
Daño por agentes químicos en banda de rodamiento (Desecho)	Caucho ampollado, esponjado o deteriorado.	Contacto con sustancias	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Detectar presencia de sustancias en la goma del neumático.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Evitar en lo posible el contacto con lubricantes, carburantes, etc. Así como el estacionamiento en suelos impregnados con cuerpos grasos.</li> <li>● En el montaje, utilizar exclusivamente el lubricante admitido por el fabricante de las cubiertas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Chequear el contenido de sustancias impregnadas a la goma y los lubricantes utilizados con cierta frecuencia.</li> </ul>

Corte no pasante/ Corte pasante en banda de rodamiento (Reparación)	Corte pequeño en la superficie de la banda de rodamiento/Corte en la banda de rodamiento que penetra la carcasa	Rodaje en suelos con mucha roca/ Ruta de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Verificar la ruta de trabajo del vehículo afectado.</li> <li>● Revisar cortes y su profundidad en todas las ruedas, si existen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Reorganizar la ruta de trabajo del equipo, evitando correr por partes de alto contenido de obstáculos.</li> <li>● Cambiar los tipos de neumáticos según terreno, utilizar la cubierta más adecuada según las condiciones de utilización.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Revisar los cambios de las rutas de trabajo.</li> <li>● Realizar estudios de los estados físicos de las vías.</li> </ul>
		Rodaje en suelos con mucha roca/ Operador	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Dialogar con el conductor acerca de su recorrido e indagar sobre su nivel de conocimiento de manejo y cuidado de llantas. Realizar cronología de hechos si es posible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Capacitar al operador sobre el cuidado de las llantas y hacerlos conscientes de los costos representativos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Establecer una metodología con la cual se esté evaluando el nivel de conocimiento de los operadores.</li> </ul>
		Mal Almacenaje (contacto con ozono y humedad)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Revisar las condiciones de almacenaje de los neumáticos, medir humedad relativa.</li> <li>● Mirar el estado del caucho respecto a la concentración de humedad en el mismo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Eliminar fuentes de producción de humedad.</li> <li>● Cambiar tipo de neumáticos para mayor resistencia del material en ambientes húmedos.</li> <li>● Almacenar en un lugar fresco, a una temperatura constante, sin excesiva calefacción, sin ventilación ni humedad.</li> <li>● Evitar el almacenamiento de neumáticos apilados, el cual provoca una deformación exagerada y favorece el ataque del ozono.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Medir constantemente la humedad en los sitios de almacenaje y chequear que se estén cumpliendo las medidas de selección de los neumáticos.</li> </ul>
		Sobreinflado/ Mala calibración	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA-DESGARRAMIENTO EN LA BANDA DE RODAMIENTO/ CAUSA: SOBREENFLADO/MALA CALIBRACIÓN		
Impacto en banda de rodamiento. (Desecho)	Ruptura localizada a través del caucho de la banda de rodamiento y la carcasa	Rodaje en suelos con mucha roca/ Ruta de trabajo	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA CORTE NO PASANTE/ CORTE PASANTE EN LA BANDA DE RODAMIENTO / CAUSA: RODAJE EN SUELOS CON MUCHA ROCA/RUTA DE TRABAJO		
		Rodaje en suelos con mucha roca/ Operador	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA CORTE NO PASANTE/ CORTE PASANTE EN LA BANDA DE RODAMIENTO / CAUSA: RODAJE EN SUELOS CON MUCHA ROCA/OPERADOR		
		Sobreinflado/ Mala calibración	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA-DESGARRAMIENTO EN LA BANDA DE RODAMIENTO/ CAUSA: SOBREENFLADO/MALA CALIBRACIÓN		
		Alta velocidad/operador	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Dialogar con el conductor acerca de la velocidad de conducción en su recorrido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Capacitar al operador sobre el cuidado de las llantas y hacerlos conscientes de los costos representativos.</li> <li>● Reducir la velocidad de fábrica máxima permitida del vehículo.</li> <li>● Establecer señales de tránsito en zonas de alto desgaste o con curvas pronunciadas, que regulen la velocidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Establecer puestos de control con medidores de velocidad</li> </ul>

		Mala selección del neumático	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Verificar si los neumáticos anteriores también se han dañado por el mismo modo de falla y en la misma ruta de trabajo</li> <li>● Consultar con su proveedor de neumáticos, la aplicación seleccionada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Chequear los parámetros de selección de los neumáticos.</li> <li>● Cambiar de los tipos de neumáticos según terreno, utilizar la cubierta más adecuada según las condiciones de utilización.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Realizar un análisis histórico de fallas de los neumáticos usados.</li> <li>● Establecer una metodología que permita una mejor selección de los neumáticos que tenga en cuenta a las condiciones cambiantes de la mina.</li> </ul>
Separación por corte en banda de rodamiento. (Reparación)	Desprendimiento de la banda localizado o generalizado	Cortes antiguos	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Mirar las heridas de la banda si es posible. (existencia de cortes)</li> <li>● Evaluar la forma del incidente, revisar los descargos del operador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Mirar constantemente el estado de la banda de rodamiento después del rodaje (operador).</li> <li>● Revisar la capacidad y habilidad de manejo del conductor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Monitorear el estado de los neumáticos y la cantidad de cortes presentes.</li> </ul>
		Mala inspección/ técnicos OTR	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Dialogar con el técnico OTR acerca del incidente. Si es posible hacer una cronología de los hechos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Capacitar al personal técnico OTR según los procedimientos establecidos</li> <li>● Realizar tareas de inspección con supervisión del jefe de taller</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Evaluar el estado de capacitación de los mecánicos dedicados a la tarea de montallantas.</li> <li>● Realizar observaciones de tarea</li> </ul>
		Martilleo del neumático	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Mirar el tipo de desgaste producido.</li> <li>● Revisar el estado de la suspensión y otros componentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Verificar el estado mecánico de las piezas que hacen parte del sistema de suspensión además de su lubricación.</li> <li>● Corregir los defectos mientras sea posible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Inspeccionar de manera periódica el estado de los elementos de la suspensión realizando a su vez un mantenimiento adecuado.</li> </ul>
Separación por calor en banda de rodamiento. (Desecho)	Separación de todo el caucho desde la banda hasta el primer cinturón de protección.	Calentamiento excesivo/ Neumático mal refrigerado	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Mirar las posibles fuentes de calor y el estado de cubrimiento del neumático</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Remover o controlar la fuente de calor que origina el sobrecalentamiento del neumático.</li> <li>● Permitir la refrigeración del neumático por medio de sistemas de ventilación</li> <li>● aprovechar la aerodinámica del vehículo para adoptar medidas de ventilación adecuadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Verificar escapes no adecuados de la tubería de escape.</li> <li>● Vigilar las temperaturas de los neumáticos con instrumentos si es posible.</li> </ul>
		Calentamiento excesivo/ Baja presión	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Detectar la calibración de la llanta antes de su rodaje.</li> <li>● Descubrir fugas en la cámara.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Revisar la metodología y los equipos de calibración.</li> <li>● Calibrar llantas según lo recomendado por el fabricante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Revisar periódicamente la presión de los neumáticos, si es posible en operación.</li> <li>● Control de monitoreo</li> </ul>
		Calentamiento excesivo/ Ciclos de carga y descarga	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Verificación de la longitud y duración de los ciclos.</li> <li>● Verificar que el TKPH del neumático sea el adecuado a las condiciones presentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Crear ciclos de una duración y longitud más corta.</li> <li>● Reorganizar la ruta de trabajo del equipo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Revisar periódicamente la ruta de trabajo</li> <li>● Comprobar el TKPH de la ruta de trabajo y del neumático frecuentemente.</li> </ul>
Corte en el hombro. (Reparación)	Generado al contacto con una roca afilada, normalmente no penetra la carcasa.	Rodaje en suelos con mucha roca/ Ruta de trabajo	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA CORTE NO PASANTE/ CORTE PASANTE EN LA BANDA DE RODAMIENTO / CAUSA: RODAJE EN SUELOS CON MUCHA ROCA/RUTA DE TRABAJO		

		Rodaje en suelos con mucha roca/ Operador	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA CORTE NO PASANTE/ CORTE PASANTE EN LA BANDA DE RODAMIENTO / CAUSA: RODAJE EN SUELOS CON MUCHA ROCA/OPERADOR		
Impacto en el hombro. (Desecho)	Una llanta pasa sobre una roca de mayor tamaño, con una deformación excesiva en la carcasa provocando una ruptura.	Rodaje en suelos con mucha roca/ Ruta de trabajo	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA CORTE NO PASANTE/ CORTE PASANTE EN LA BANDA DE RODAMIENTO / CAUSA: RODAJE EN SUELOS CON MUCHA ROCA/RUTA DE TRABAJO		
		Rodaje en suelos con mucha roca/ Operador	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA CORTE NO PASANTE/ CORTE PASANTE EN LA BANDA DE RODAMIENTO / CAUSA: RODAJE EN SUELOS CON MUCHA ROCA/OPERADOR		
		Sobrecarga	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Determinar con que presión fue calibrada la llanta.</li> <li>●Verificar el posicionamiento de la carga dentro del furgón y su cantidad.</li> <li>●Observar las características de la llanta montada. Revisar si es la recomendada.</li> <li>●Revisar que los neumáticos gemelos son los correspondientes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Establecer un control de cargas de los vehículos, estrategias para la ubicación correcta del centro de gravedad de la carga.</li> <li>●Elegir el neumático correspondiente a la carga de trabajo.</li> <li>●Realizar un montaje de neumáticos gemelos correctos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Realizar pesajes para la autorización y control efectivo de la carga.</li> </ul>
		Mal posicionamiento del equipo/ operador	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Examinar prácticas de carga y de ubicación del operador de la pala.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Limpiar los sitios de cargue que tengan presencia de rocas.</li> <li>●Optimizar el posicionamiento de los equipos durante la carga.</li> <li>● Evaluar conocimientos del operador de la pala</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Supervisar los puntos de cargue y botaderos</li> </ul>
Separación mecánica en el hombro. (Desecho)	Separación de los extremos de los cinturones de trabajo.	Sobrecarga	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA IMPACTO EN EL HOMBRO / CAUSA: SOBRECARGA		
		Calentamiento excesivo/ Ciclos de carga y descarga	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Verificación de la longitud y duración de los ciclos.</li> <li>●Verificar que el TKPH del neumático sea el adecuado a las condiciones presentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Crear ciclos de una duración y longitud más corta.</li> <li>●Reorganizar la ruta de trabajo del equipo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar periódicamente la ruta de trabajo</li> <li>●Comprobar el TKPH de la ruta de trabajo y del neumático frecuentemente.</li> </ul>
Grietas en el hombro. (Reparación)		Alta torsión/Operador	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA-DESGARRAMIENTO EN LA BANDA DE RODAMIENTO/ CAUSA: ALTA TORSIÓN/OPERADOR		
		Mal Almacenaje (contacto con ozono y humedad)	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar las condiciones de almacenaje de los neumáticos, medir humedad relativa.</li> <li>●Mirar el estado del caucho respecto a la concentración de humedad en el mismo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Eliminar fuentes de producción de humedad. ●Cambiar tipo de neumáticos para mayor resistencia del material en ambientes húmedos.</li> <li>●Almacenar en un lugar fresco, a una temperatura constante, sin excesiva calefacción, sin ventilación ni humedad.</li> <li>●Evitar el almacenamiento de neumáticos apilados, el cual provoca una deformación exagerada y favorece el ataque del ozono.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Medir constantemente la humedad en los sitios de almacenaje y chequear que se estén cumpliendo las medidas de selección de los neumáticos.</li> </ul>

Contacto entre neumáticos gemelos directo o indirecto (Disponible)	Desgaste circular en el costado	Mal montaje/ Técnico OTR	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar la metodología del montaje (tiempo invertido en la operación, par aplicado, no de pernos, etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Evaluar el estado de capacitación de los mecánicos dedicados a la tarea del montallantas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar después de cada montaje la aplicación completa de todas las pautas necesarias para llevarlo de manera efectiva</li> </ul>
		Operación inadecuada/operador	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar los descargos de la operación del vehículo momentos antes del incidente.</li> <li>●Chequear rastros de sobre esfuerzos en los ejes y sistema de transmisión y suspensión del vehículo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Capacitar al operador sobre el cuidado de las llantas, las capacidades del vehículo dentro de su rango operativo y hacerlos conscientes de los costos representativos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Evaluar con frecuencia la operación y el conocimiento de las ventanas operativas del operador</li> </ul>
		Objeto ubicado entre los neumáticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Retirar el elemento alojado entre las llantas.</li> <li>●Ver la posibilidad de rodar con un equipo sin neumáticos gemelos.</li> <li>●Mejorar el mantenimiento de los caminos si es posible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Rodar por rutas con carencia de objetos que puedan ocasionar ésta falla si es posible.</li> <li>●Realizar mantenimiento de las vías mediante equipo auxiliar (motoniveladoras)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar detalladamente las rutas a correr por el vehículo</li> </ul>
Cortes en el costado. (Reparación)	Corte en la superficie del costado	Rodaje en suelos con mucha roca/ Ruta de trabajo	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA CORTE NO PASANTE/ CORTE PASANTE EN LA BANDA DE RODAMIENTO / CAUSA: RODAJE EN SUELOS CON MUCHA ROCA/RUTA DE TRABAJO		
		Rodaje en suelos con mucha roca/ Operador	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA CORTE NO PASANTE/ CORTE PASANTE EN LA BANDA DE RODAMIENTO / CAUSA: RODAJE EN SUELOS CON MUCHA ROCA/OPERADOR		
		Mal posicionamiento del equipo/ operador	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Examinar prácticas de carga y de ubicación del operador de la pala.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Limpiar los sitios de cargue que tengan presencia de rocas.</li> <li>●Optimizar el posicionamiento de los equipos durante la carga.</li> <li>●Evaluar conocimientos del operador de la pala</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Supervisar los puntos de cargue y botaderos</li> </ul>
		Derramamiento de roca/ Sobrecarga	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Examinar prácticas de carga y de ubicación del operador de la pala.</li> <li>●Comprobar la pendiente de las rampas frecuentemente.</li> <li>●Verificar la velocidad del equipo con el conductor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Evaluar conocimientos del operador de la pala</li> <li>●Implementar un sistema de control de exceso y balanceo de carga de los camiones.</li> <li>●Mantener la pendiente de las rampas menor a 10°</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Supervisar los puntos de cargue y botaderos</li> <li>●Evaluar conocimientos del operador de pala</li> <li>●Evaluar estilo de conducción del operador en rampas.</li> </ul>
Impacto en el costado. (Desecho)	Rotura localizada a lo largo del costado	Penetración de rocas y objetos/ operación inadecuada y accidentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Si es un impacto, el objeto impactado debe estar cerca al lugar de incidencia. La llanta debe mostrar rastro del impacto, marca, abolladura, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Controlar la forma de operación del vehículo.</li> <li>●Dar a conocer las ventanas operativas en cuánto a la capacidad de las llantas en cuanto a la resistencia de golpes laterales</li> <li>●Realizar mantenimiento de las vías mediante equipo auxiliar (motoniveladoras)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar la cantidad de obstáculos curvas y la dificultad de las mismas, con el fin de reconocer la tendencia a sufrir una flexión exagerada y determinar medidas de control</li> </ul>

		Prolongación de grietas	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar la cantidad de reparaciones de la llanta. Tal vez una de las reparaciones no quedó del todo bien, o afectó la resistencia en otro punto cercano de la llanta.</li> <li>●Revisar la vida útil y el estado de envejecimiento de la carcasa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Repara todo corte importante para evitar su progresión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar con frecuencia la cantidad de cortes, su profundidad y longitud.</li> <li>●Establecer un patrón para ordenar reparación</li> </ul>
		Incrustación del eyector de roca	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Verificar posición del eyector de rocas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Realizar un buen ajuste del eyector de roca.</li> <li>●Transitar por vías con pocas ondulaciones para evitar desajuste del eyector</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Inspección frecuente del eyector de roca</li> </ul>
Laminaciones en el costado. (Disponibile)	Separación entre las capas de caucho en el costado.	Cristalización del caucho/ Mal almacenaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar las condiciones de almacenaje de los neumáticos, medir humedad relativa.</li> <li>●Mirar el estado del caucho respecto a la concentración de humedad en el mismo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Eliminar fuentes de producción de humedad.</li> <li>●Cambiar tipo de neumáticos para mayor resistencia del material en ambientes húmedos.</li> <li>●Almacenar en un lugar fresco, a una temperatura constante, sin excesiva calefacción, sin ventilación ni humedad.</li> <li>●Evitar el almacenamiento de neumáticos apilados, el cual provoca una deformación exagerada y favorece el ataque del ozono.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Medir constantemente la humedad en los sitios de almacenaje y chequear que se estén cumpliendo las medidas de selección de los neumáticos.</li> </ul>
		Flexión excesiva/ Baja presión	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar la presión de aire y cuándo fue calibrada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Evitar las flexiones continuas de la carcasa en la opresión del vehículo.</li> <li>●Evadir obstáculos en lo posible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Establecer medidas de revisión con cierta frecuencia.</li> </ul>
Separación mecánica en el costado. (Reparación)	Separación circunferencial en los extremos de los cinturones.	Alta torsión/Operador	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA-DESGARRAMIENTO EN LA BANDA DE RODAMIENTO/ CAUSA: ALTA TORSIÓN/OPERADOR		
		Sobrecarga	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA IMPACTO EN EL HOMBRO / CAUSA: SOBRECARGA		
Corte circunferencial en el costado. (Disponibile)	Corto de forma radial en el costado	Objeto ubicado entre los neumáticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Retirar el elemento alojado entre las llantas.</li> <li>●Ver la posibilidad de rodar con un equipo sin neumáticos gemelos.</li> <li>●Mejorar el mantenimiento de los caminos si es posible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Rodar por rutas con carencia de objetos que puedan ocasionar ésta falla si es posible.</li> <li>●Realizar mantenimiento de las vías mediante equipo auxiliar (motoniveladoras)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar detalladamente las rutas a correr por el vehículo</li> </ul>

Alteración por agentes atmosféricos en el costado. (Disponible)	Agrietamiento del caucho en la superficie.	Mal Almacenaje (contacto con ozono y humedad)	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar las condiciones de almacenaje de los neumáticos, medir humedad relativa.</li> <li>●Mirar el estado del caucho respecto a la concentración de humedad en el mismo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Eliminar fuentes de producción de humedad.</li> <li>●Cambiar tipo de neumáticos para mayor resistencia del material en ambientes húmedos.</li> <li>●Almacenar en un lugar fresco, a una temperatura constante, sin excesiva calefacción, sin ventilación ni humedad.</li> <li>●Evitar el almacenamiento de neumáticos apilados, el cual provoca una deformación exagerada y favorece el ataque del ozono.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Medir constantemente la humedad en los sitios de almacenaje y chequear que se estén cumpliendo las medidas de selección de los neumáticos.</li> </ul>
Separación de la zona baja. (Reparación)	Grietas circunferenciales en la zona baja	Flexión excesiva/ Baja presión	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA LAMINACIONES EN EL COSTADO / CAUSA: FLEXIÓN EXCESIVA/ BAJA PRESIÓN		
		Calentamiento excesivo/ Baja presión	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Detectar la calibración de la llanta antes de su rodaje.</li> <li>●Descubrir fugas en la cámara.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar la metodología y los equipos de calibración.</li> <li>●Calibrar llantas según lo recomendado por el fabricante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar periódicamente la presión de los neumáticos, si es posible en operación.</li> <li>●Control de monitoreo</li> </ul>
		Suspensión mal ajustada/ Mantenimiento mecánico	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Verificar el estado de los amortiguadores</li> <li>●Buscar neumáticos con desgaste irregular</li> <li>●Preguntar al conductor por ruidos y vibraciones al conducir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar los componentes de la suspensión</li> <li>●Corregir desajustes y desbalanceo</li> <li>●Retirar piezas subestándar</li> <li>●Evitar caminos con ondulaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar periódicamente la suspensión del vehículo</li> </ul>
Separación en la zona del retorno. (Reparación)	Esta separación causa una acumulación de vapores haciendo una burbuja.	Flexión excesiva/ Baja presión	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA LAMINACIONES EN EL COSTADO / CAUSA: FLEXIÓN EXCESIVA/ BAJA PRESIÓN		
		Sobrecarga	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA IMPACTO EN EL HOMBRO / CAUSA: SOBRECARGA		
		Rodaje en terreno con ondulaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Verificar el estado de las vías y rutas de trabajo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Realizar mantenimiento de las vías con equipo auxiliar (motoniveladoras)</li> <li>●Evitar conducir por vías con ondulaciones</li> <li>●Revisar componentes de la suspensión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar frecuentemente las rutas de trabajo</li> </ul>
Rotura en la zona baja. (Desecho)	Este daño causa una ruptura en la carcasa en la zona baja debido a la flexión excesiva en esta zona.	Rodaje en terreno con ondulaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Verificar el estado de las vías y rutas de trabajo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Realizar mantenimiento de las vías con equipo auxiliar (motoniveladoras)</li> <li>●Evitar conducir por vías con ondulaciones</li> <li>●Revisar componentes de la suspensión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar frecuentemente las rutas de trabajo</li> </ul>

		Alta velocidad/operador	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Dialogar con el conductor acerca de la velocidad de conducción en su recorrido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Capacitar al operador sobre el cuidado de las llantas y hacerlos conscientes de los costos representativos.</li> <li>●Reducir la velocidad de fábrica máxima permitida del vehículo.</li> <li>●Establecer señales de tránsito en zonas de alto desgaste o con curvas pronunciadas, que regulen la velocidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Establecer puestos de control con medidores de velocidad</li> </ul>
		Falta de lubricación o lubricante incorrecto/ mal montaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Buscar un exceso de calor en la zona baja de la llanta</li> <li>●Dialogar con el técnico OTR sobre el procedimiento ejecutado</li> <li>●Validar lubricante utilizado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Realizar un buen procedimiento de montaje por parte del técnico OTR</li> <li>●Seleccionar el lubricante recomendado por el fabricante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Supervisar las operaciones de montaje</li> <li>●Evaluar los conocimientos y prácticas del técnico OTR</li> </ul>
Explosión del talón. (Desecho)	Producido por la ruptura interna de la estructura de la carcasa.	Mal montaje/ Técnico OTR	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA-CONTACTO ENTRE NEUMATICOS GEMELOS DIRECTO O INDIRECTO EN EL COSTADO/ CAUSA: MAL MONTAJE		
		Componentes de rin dañados	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Verificar si hay golpes, torceduras o aberturas en el rin o sus componentes</li> <li>●Verificar tiempo de rodaje de los componentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Realizar el montaje de las llantas de tal forma que no se golpeen partes susceptibles del rin o componentes.</li> <li>●Montar de forma adecuada la llanta según par de apriete recomendado por fabricante del vehículo.</li> <li>●Pulir los rines antes del montaje de la llanta, siempre que se note la presencia de impurezas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Supervisar procesos de montaje del rin y sus componentes</li> </ul>
		Malos frenados del equipo/ Operador	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Mirar el estado de los frenos</li> <li>●Determinar la cantidad de frenadas en el recorrido de operación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar el funcionamiento de los frenos.</li> <li>●Implementar sistemas de frenado auxiliar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Monitorear la forma adecuada de la evacuación del calor generad por los frenos</li> <li>●Evaluar al operador en términos de frenados</li> </ul>
		Calentamiento excesivo/ Neumático mal refrigerado	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Mirar las posibles fuentes de calor y el estado de cubrimiento del neumático</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Remover o controlar la fuente de calor que origina el sobrecalentamiento del neumático.</li> <li>●Permitir la refrigeración del neumático por medio de sistemas de ventilación</li> <li>●aprovechar la aerodinámica del vehículo para adoptar medidas de ventilación adecuadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Verificar escapes no adecuados de la tubería de escape.</li> <li>●Vigilar las temperaturas de los neumáticos con instrumentos si es posible.</li> </ul>
Talón dañado. (Desecho)	Deformación del talón	Mal montaje/ Técnico OTR	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA-CONTACTO ENTRE NEUMATICOS GEMELOS DIRECTO O INDIRECTO EN EL COSTADO/ CAUSA: MAL MONTAJE		

		Falta de lubricación o lubricante incorrecto/ mal montaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Buscar un exceso de calor en la zona baja de la llanta</li> <li>●Dialogar con el técnico OTR sobre el procedimiento ejecutado</li> <li>●Validar lubricante utilizado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Realizar un buen procedimiento de montaje por parte del técnico OTR</li> <li>●Seleccionar el lubricante recomendado por el fabricante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Supervisar las operaciones de montaje</li> <li>●Evaluar los conocimientos y prácticas del técnico OTR</li> </ul>
		Componentes de rin dañados	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Verificar si hay golpes, torceduras o aberturas en el rin o sus componentes</li> <li>●Verificar tiempo de rodaje de los componentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Realizar el montaje de las llantas de tal forma que no se golpeen partes susceptibles del rin o componentes.</li> <li>●Montar de forma adecuada la llanta según par de apriete recomendado por fabricante del vehículo.</li> <li>●Pulir los rines antes del montaje de la llanta, siempre que se note la presencia de impurezas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Supervisar procesos de montaje del rin y sus componentes</li> </ul>
Butilo despegado. (Desecho)	Separación den caucho de protección y el butilo de la llanta.	Defecto de fábrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Consultar proceso de fabricación sobre el neumático implicado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Realizar pruebas a los neumáticos antes de poner a rodar</li> <li>●Inspeccionar llantas nuevas en búsqueda de objetos extraños, grietas, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar lotes de llantas antes y después del envío de las mismas.</li> <li>●Participar en capacitaciones de proveedores de Llantas</li> </ul>
		Calentamiento excesivo/ Neumático mal refrigerado	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Mirar las posibles fuentes de calor y el estado de cubrimiento del neumático</li> <li>●Inspeccionar si hay trabajos de soldadura en componentes del rin.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Remover o controlar la fuente de calor que origina el sobrecalentamiento del neumático.</li> <li>●Permitir la refrigeración del neumático por medio de sistemas de ventilación</li> <li>●Aprovechar la aerodinámica del vehículo para adoptar medidas de ventilación adecuadas.</li> <li>●Desmontar llantas al hacer trabajos de soldadura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Verificar escapes no adecuados de la tubería de escape.</li> <li>●Vigilar las temperaturas de los neumáticos con instrumentos si es posible.</li> </ul>
		Calentamiento excesivo/ Baja presión	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Detectar la calibración de la llanta antes de su rodaje.</li> <li>●Descubrir fugas en la cámara.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar la metodología y los equipos de calibración.</li> <li>●Calibrar llantas según lo recomendado por el fabricante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar periódicamente la presión de los neumáticos, si es posible en operación.</li> <li>●Control de monitoreo</li> </ul>
Talón Torcido. (Disponible)		Uso inadecuado de herramientas/ Mal montaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Verificar el uso adecuado de herramientas apropiadas para el montaje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Proporcionar herramientas adecuadas y en buen estado.</li> <li>●Capacitar a los técnicos OTR en el manejo de las herramientas</li> <li>●Evitar el deterioro de los talones durante el montaje.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Supervisar las operaciones de montaje</li> </ul>
		Mal montaje/ Técnico OTR	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA-CONTACTO ENTRE NEUMATICOS GEMELOS DIRECTO O INDIRECTO EN EL COSTADO/ CAUSA: MAL MONTAJE		

Desintegración del butilo. (Desecho)	Deterioro del butilo	Baja presión/ mala calibración	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Chequear el estado de la válvula.</li> <li>●Revisar el estado de la cámara para localizar posibles escapes.</li> <li>●Determinar el estado de operación del vehículo momentos antes de la ocurrencia del incidente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar la metodología y los equipos de calibración.</li> <li>●Calibrar llantas según lo recomendado por el fabricante.</li> <li>● Revisar el estado de las válvulas y otros posibles escapes en la estructura de la carcasa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar periódicamente la presión de los neumáticos, si es posible en operación.</li> <li>●Control de monitoreo</li> </ul>	
		Calentamiento excesivo/ Sistema de frenos	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Mirar el estado de los frenos</li> <li>●Determinar la cantidad de frenadas en el recorrido de operación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar el funcionamiento de los frenos.</li> <li>●Capacitar al operador sobre el cuidado de las llantas, las capacidades del vehículo dentro de su rango operativo y hacerlos conscientes de los costos representativos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Monitorear la forma adecuada de la evacuación del calor generad por los frenos</li> <li>●Evaluar al operador en términos de frenados</li> </ul>	
Separación del butilo. (Desecho)	Formación de burbujas dentro de la llanta	Defecto de fábrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Consultar proceso de fabricación sobre el neumático implicado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Realizar pruebas a los neumáticos antes de poner a rodar</li> <li>●Inspeccionar llantas nuevas en búsqueda de objetos extraños, grietas, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar lotes de llantas antes y después del envío de las mismas.</li> <li>●Participar en capacitaciones de proveedores de Llantas</li> </ul>	
		Rodaje en suelos con mucha roca/ Ruta de trabajo	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA CORTE NO PASANTE/ CORTE PASANTE EN LA BANDA DE RODAMIENTO / CAUSA: RODAJE EN SUELOS CON MUCHA ROCA/RUTA DE TRABAJO			
		Rodaje en suelos con mucha roca/ Operador	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA CORTE NO PASANTE/ CORTE PASANTE EN LA BANDA DE RODAMIENTO / CAUSA: RODAJE EN SUELOS CON MUCHA ROCA/OPERADOR			
Grietas en el butilo. (Disponible)	Pequeñas rajaduras en el butilo	Sobrecarga	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA IMPACTO EN EL HOMBRO / CAUSA: SOBRECARGA			
		Flexión excesiva/ Baja presión	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA LAMINACIONES EN EL COSTADO / CAUSA: FLEXIÓN EXCESIVA/ BAJA PRESIÓN			
		Cinturones no trabajan juntos	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar la presencia de los cinturones y el estado en que se encuentran</li> <li>●Revisar presencia de ralladuras en la estructura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●El protector debe corresponder a la dimensión de la cubierta en función del ancho de la llanta.</li> <li>●Asegurarse que el protector está correctamente alojado antes del montaje.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Supervisar el montaje</li> <li>●chequear posibles cambios en la posición de los cinturones después de cierto kilometraje recorrido.</li> </ul>	
		Deterioro por cuerpos extraños	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar perforaciones en la cámara.</li> <li>●Mirar el estado de suciedad del interior de la cubierta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Asegurarse antes del montaje, que los elementos están completamente limpios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Chequear en cada desmontaje la presencia de suciedad.</li> </ul>	
Grietas circunferenciales en el butilo. (Disponible)	Presencia de grietas circunferenciales en la zona de flexión de la llanta al nivel del refuerzo interno	Deterioro por cuerpos extraños	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar perforaciones en la cámara.</li> <li>●Mirar el estado de suciedad del interior de la cubierta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Asegurarse antes del montaje, que los elementos están completamente limpios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Chequear en cada desmontaje la presencia de suciedad.</li> </ul>	

		Desintegración del butilo	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA DESINTEGRACIÓN DEL BUTILO		
Unión abierta del butilo. (Disponible)	Pérdida de adhesión del butilo	Flexión excesiva/ Baja presión	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA LAMINACIONES EN EL COSTADO / CAUSA: FLEXIÓN EXCESIVA/ BAJA PRESIÓN		
		Defecto de fábrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Consultar proceso de fabricación sobre el neumático implicado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Realizar pruebas a los neumáticos antes de poner a rodar</li> <li>● Inspeccionar llantas nuevas en búsqueda de objetos extraños, grietas, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Revisar lotes de llantas antes y después del envío de las mismas.</li> <li>● Participar en capacitaciones de proveedores de Llantas</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

### Apéndice B. Modelo RCA para desgastes en llantas OTR

DESGASTE	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	POSIBLE CAUSA RAÍZ	MÉTODO DE VERIFICACIÓN	MEDIDA PREVENTIVA	MEDIDAS DE MONITOREO
Normal	Zona localizada de desgaste excesivo que muestra marcas de abrasión	Mal estado de las vías	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Verificar condiciones de las vías (rampas, drenajes, Radios de curva)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Realizar mantenimiento de las vías con equipo auxiliar (motoniveladora)</li> <li>● Reorganizar la ruta de trabajo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Revisar los cambios de las rutas de trabajo.</li> <li>● Realizar estudios de los estados físicos de las vías.</li> <li>● Tomar medidas del desgaste de la banda</li> </ul>
		Operación del vehículo	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Verificar estilo de conducción (Marchas, velocidad, frenados)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Capacitar al operador sobre el cuidado de las llantas y hacerlos conscientes de los costos representativos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Establecer una metodología con la cual se esté evaluando el nivel de conocimiento de los operadores.</li> </ul>
		Demasiado tiempo en servicio	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Verificar horas de rodaje del neumático</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Si el neumático supera las horas de rodaje esperadas, sacar fuera de servicio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Tomar medidas del desgaste de la banda</li> </ul>
Irregular entre ambos hombros	Un extremo del neumático está más sobrecargado	Mal ajuste de divergencia o convergencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Verificar el paralelismo de los neumáticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Verificar que el cilindro de suspensión está correctamente calibrado siguiendo las recomendaciones del fabricante</li> <li>● Ajustar los neumáticos a un paralelismo correcto</li> <li>● Ejecutar rotación de llantas programadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Inspección frecuente del paralelismo antes del desmontaje</li> <li>● Tomar medidas del desgaste de la banda</li> </ul>
Tipo diente de sierra	Escultura con dientes separados	Mal ajuste de divergencia o convergencia	VER RECOMENDACIONES EN DESGASTE IRREGULAR ENTRE AMBOS HOMBROS/ CAUSA: MAL AJUSTE DE DIVERGENCIA A CONVERGENCIA		
		Mal ajuste del cámber	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Verificar la inclinación de las ruedas antes del desmontaje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Ajustar la inclinación del cámber según la aplicación del vehículo y las condiciones del terreno</li> <li>● Ejecutar rotación de llantas programadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Inspección frecuente del cámber antes del desmontaje</li> <li>● Tomar medidas del desgaste de la banda</li> </ul>
		Operación del vehículo	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Verificar estilo de conducción (Marchas, velocidad, frenados)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Capacitar al operador sobre el cuidado de las llantas y hacerlos conscientes de los costos representativos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Establecer una metodología con la cual se esté evaluando el nivel de conocimiento de los operadores.</li> </ul>

		Mal estado de las vías	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Verificar condiciones de las vías (rampas, drenajes, Radios de curva)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Realizar mantenimiento de las vías con equipo auxiliar (motoniveladora)</li> <li>● Reorganizar la ruta de trabajo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Revisar los cambios de las rutas de trabajo.</li> <li>● Realizar estudios de los estados físicos de las vías.</li> <li>● Tomar medidas del desgaste de la banda</li> </ul>
		Averías en suspensión	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Verificar el estado de los amortiguadores</li> <li>● Buscar neumáticos con desgaste irregular</li> <li>● Preguntar al conductor por ruidos y vibraciones al conducir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Revisar los componentes de la suspensión</li> <li>● Corregir desajustes y desbalanceo</li> <li>● Retirar piezas subestándar</li> <li>● Evitar caminos con ondulaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Inspeccionar de manera periódica el estado de los elementos de la suspensión realizando a su vez un mantenimiento adecuado.</li> </ul>
En un área de rodado	La llanta tiene un marcado en un área de la banda de rodamiento	Mal frenado/ Mala operación	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Mirar el estado de los frenos</li> <li>● Determinar la cantidad de frenadas en el recorrido de operación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Revisar el funcionamiento de los frenos.</li> <li>● Implementar sistemas de frenado auxiliar</li> <li>● Ejecutar rotación de llantas programadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Monitorear la forma adecuada de la evacuación del calor generado por los frenos</li> <li>● Evaluar al operador en términos de frenados</li> <li>● Tomar medidas del desgaste de la banda</li> </ul>
		Llanta en contacto con químicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Detectar presencia de sustancias en la goma del neumático.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Evitar en lo posible el contacto con lubricantes, carburantes, etc. Así como el estacionamiento en suelos impregnados con cuerpos grasos.</li> <li>● En el montaje, utilizar exclusivamente el lubricante admitido por el fabricante de las cubiertas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Chequear el contenido de sustancias impregnadas a la goma y los lubricantes utilizados con cierta frecuencia.</li> <li>● Tomar medidas del desgaste de la banda</li> </ul>
Por patinamiento	Cortes o líneas circunferenciales en la banda de rodamiento	Mal frenado/ Mala operación	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Mirar el estado de los frenos</li> <li>● Determinar la cantidad de frenadas en el recorrido de operación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Revisar el funcionamiento de los frenos.</li> <li>● Implementar sistemas de frenado auxiliar</li> <li>● Ejecutar rotación de llantas programadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Monitorear la forma adecuada de la evacuación del calor generad por los frenos</li> <li>● Evaluar al operador en términos de frenados</li> <li>● Tomar medidas del desgaste de la banda</li> </ul>

		Mala selección de la llanta	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Verificar si los neumáticos anteriores también se han dañado por el mismo modo de falla y en la misma ruta de trabajo</li> <li>● Consultar con su proveedor de neumáticos, la aplicación seleccionada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Chequear los parámetros de selección de los neumáticos.</li> <li>● Cambiar de los tipos de neumáticos según terreno, utilizar la cubierta más adecuada según las condiciones de utilización.</li> <li>● Buscar un diseño con huellas más largas y elementos de estabilidad que provean con sólidas nervaduras salientes para afueras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Realizar un análisis histórico de fallas de los neumáticos usados.</li> <li>● Establecer una metodología que permita una mejor selección de los neumáticos que tenga en cuenta a las condiciones cambiantes de la mina.</li> </ul>
Alternado de la huella	Las huellas no se están gastando de forma consistente.	Gemelos desiguales	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Verificar las dimensiones y marcas de los neumáticos gemelos</li> <li>● Revisar que los neumáticos gemelos son los correspondientes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Selección de diseño con huellas iguales de los gemelos</li> <li>● Consiga llantas con las mismas medidas y marca.</li> <li>● Ejecutar rotación de llantas programadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Supervisar el montaje de llantas</li> <li>● Tomar medidas del desgaste de la banda</li> </ul>
		Diferencia de presiones entre neumáticos gemelos	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Evaluar la forma del incidente, revisar los descargos del operador. Si es posible, obtener datos de las condiciones de manejo (inconvenientes) momentos antes del incidente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Revisar la metodología y los equipos de calibración.</li> <li>● Inflar llantas gemelas con la misma presión</li> <li>● Ejecutar rotación de llantas programadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Revisar periódicamente la presión de los neumáticos, si es posible en operación.</li> <li>● Tomar medidas del desgaste de la banda</li> </ul>
En ambos hombros	Solo las porciones más alejadas de la llanta están llevando todo el peso	Bajo inflado/ Mala calibración	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Chequear el estado de la válvula.</li> <li>● Revisar el estado de la cámara para localizar posibles escapes.</li> <li>● Determinar el estado de operación del vehículo momentos antes de la ocurrencia del incidente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Revisar la metodología y los equipos de calibración.</li> <li>● Calibrar llantas según lo recomendado por el fabricante.</li> <li>● Revisar el estado de las válvulas y otros posibles escapes en la estructura de la carcasa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Revisar periódicamente la presión de los neumáticos, si es posible en operación.</li> <li>● Tomar medidas del desgaste de la banda</li> </ul>
En hondo	Solo el centro de la banda luce desgastado	Sobre inflado/ Mala calibración	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Verificar la calibración de la llanta y la metodología de la elaboración.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Revisar la metodología y los equipos de calibración.</li> <li>● Calibrar llantas según lo recomendado por el fabricante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Revisar periódicamente la presión de los neumáticos, si es posible en operación.</li> <li>● Tomar medidas del desgaste de la banda</li> </ul>

En diagonal	La llanta no está rodando en la pista de una manera uniforme o si no está rebotando ligeramente a los costados.	Mal montaje de la llanta	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar la metodología del montaje (tiempo invertido en la operación, par aplicado, no de pernos, etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Evaluar el estado de capacitación de los mecánicos dedicados a la tarea del montallantas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar después de cada montaje la aplicación completa de todas las pautas necesarias para llevarlo de manera efectiva</li> </ul>	
		Mala selección de la llanta	VER RECOMENDACIONES EN DESGASTE POR PATINAMIENTO/ CAUSA: MALA SELECCIÓN DE LA LLANTA			
		Gemelos desiguales	VER RECOMENDACIONES EN DESGASTE ALTERNADO DE LA HUELA/ CAUSA: GEMELOS DESIGUALES			
		Mal ajuste de divergencia o convergencia	VER RECOMENDACIONES EN DESGASTE IRREGULAR ENTRE AMBOS HOMBROS/ CAUSA: MAL AJUSTE DE DIVERGENCIA A CONVERGENCIA			
En las puntas de las huellas	Las llantas no están rodando en la pista de forma total	Mal ajuste de divergencia o convergencia	VER RECOMENDACIONES EN DESGASTE IRREGULAR ENTRE AMBOS HOMBROS/ CAUSA: MAL AJUSTE DE DIVERGENCIA A CONVERGENCIA			
		Desbalanceo de los ejes	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Verificar holguras o roturas en articulaciones</li> <li>●Verificar alineamiento de ejes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Alinear ejes y ajustar o cambiar articulaciones</li> <li>●Ejecutar rotación de llantas programadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Inspeccionar frecuentemente el balanceo de los ejes</li> <li>●Tomar medidas del desgaste de la banda</li> </ul>	
Del taco	Tacos distorsionados en operación	Gemelos desiguales	VER RECOMENDACIONES EN DESGASTE ALTERNADO DE LA HUELA/ CAUSA: GEMELOS DESIGUALES			
		Diferencia de presiones entre neumáticos gemelos	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Evaluar la forma del incidente, revisar los descargos del operador. Si es posible, obtener datos de las condiciones de manejo (inconvenientes) momentos antes del incidente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar la metodología y los equipos de calibración.</li> <li>●Inflar llantas gemelas con la misma presión</li> <li>●Ejecutar rotación de llantas programadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Revisar periódicamente la presión de los neumáticos, si es posible en operación.</li> <li>●Tomar medidas del desgaste de la banda</li> </ul>	
		Mala selección de la llanta	VER RECOMENDACIONES EN DESGASTE POR PATINAMIENTO/ CAUSA: MALA SELECCIÓN DE LA LLANTA			
		Demasiado tiempo en servicio	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Verificar horas de rodaje del neumático</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Si el neumático supera las horas de rodaje esperadas, sacar fuera de servicio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Tomar medidas del desgaste de la banda</li> </ul>	
De un lado	El neumático se está gastando de un lado	Mal ajuste del cámber	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Verificar la inclinación de las ruedas antes del desmontaje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Ajustar la inclinación del cámber según la aplicación del vehículo y las condiciones del terreno</li> <li>●Ejecutar rotación de llantas programadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Inspección frecuente del cámber antes del desmontaje</li> <li>●Tomar medidas del desgaste de la banda</li> </ul>	

		Desbalanceo de los ejes	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Verificar holguras o roturas en articulaciones</li> <li>● Verificar alineamiento de ejes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Alinear ejes y ajustar o cambiar articulaciones</li> <li>● Ejecutar rotación de llantas programadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Inspeccionar frecuentemente el balanceo de los ejes</li> <li>● Tomar medidas del desgaste de la banda</li> </ul>
		Mala distribución de carga/ Ejes sobrecargados	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Verificar el posicionamiento de la carga dentro del furgón y su cantidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Establecer un control de cargas de los vehículos, estrategias para la ubicación correcta del centro de gravedad de la carga.</li> <li>● Ejecutar rotación de llantas programadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Realizar pesajes para la autorización y control efectivo de la carga.</li> <li>● Tomar medidas del desgaste de la banda</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia