

**MODELO GENERAL DE ANÁLISIS CAUSA RAÍZ DE FALLAS Y
DESGASTES IRREGULARES DE LLANTAS EN LA FLOTA DE
TRANSPORTE DE MERCANCIAS COORDINADORA
MERCANTIL S.A.**

**JOSÉ GREGORIO URUETA PUELLO
ELKIN BENJAMÍN VALENZUELA ARRIETA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.
2005**

**MODELO GENERAL DE ANÁLISIS CAUSA RAÍZ DE FALLAS Y
DESGASTES IRREGULARES DE LLANTAS EN LA FLOTA DE
TRANSPORTE DE MERCANCÍAS COORDINADORA MERCANTIL**

JOSE GREGORIO URUETA PUELLO

ELKIN BENJAMIN VALENZUELA ARRIETA

**Monografía presentada como requisito parcial para optar el título de
Ingeniero Mecánico**

Director

ALFONSO NUÑEZ NIETO

Ing. Mecánico

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C. 2005**

Nota de aceptación.

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Cartagena de indias, Noviembre 18 de 2005

Cartagena de indias, Noviembre 18 de 2005

SEÑORES:
COMITÉ DE GRADO
Facultad de ingeniería mecánica
Universidad tecnológica de Bolívar
Ciudad

Apreciados señores,

Por medio de la presente les permitimos informales que la monografía titulada **“MODELO GENERAL DE ANÁLISIS CAUSA RAÍZ DE FALLAS Y DESGASTES IRREGULARES DE LLANTAS EN LA FLOTA DE TRANSPORTE DE MERCANCÍAS COORDINADORA MERCANTIL”**, fue realizada cumpliendo con las pautas establecidas y los derechos de la información suministrada por la empresa.

Atentamente,

José G Urueta Puello

Elkin Valenzuela Arrieta

Cartagena de indias, Noviembre 18 de 2005

**SEÑORES:
COMITÉ DE GRADO
Facultad de ingeniería mecánica
Universidad tecnológica de Bolívar
Ciudad**

Respetados señores,

Con la presente me dirijo a ustedes con el fin de emitir mi concepto y aprobación en calidad de asesor de la monografía titulada “**MODELO GENERAL DE ANÁLISIS CAUSA RAÍZ DE FALLAS Y DESGASTES IRREGULARES DE LLANTAS EN LA FLOTA DE TRANSPORTE DE MERCANCÍAS COORDINADORA MERCANTIL**”, elaborada por los estudiantes José G. Urueta P. y Elkin B. Valenzuela A.

Este trabajo contiene las normas y procedimientos que la universidad exige y muestra una información basada en conceptos auténticos de la ingeniería y la gestión del mantenimiento.

Atentamente,

**Alfonso Núñez Nieto
Director de la monografía**

A Dios todopoderoso, por brindarnos el don de la sabiduría, a mi madre YADIRA ARRIETA, mi hermana YISETH VALENZUELA, mi novia NATALIA VÉLEZ que con su compañía y amor ha vivido paralela en toda mi carrera, familiares y amigos que por su compañía complemento el sentido de vivir, a mi compañero JOSÉ URUETA PUELLO que con su enorme y sincera amistad me acompaña a cruzar esta etapa de éxitos profesionales.

ELKIN VALENZUELA A.

A mis padres MIGUEL A. URUETA MENDOZA y MARIBEL PUELLO DE URUETA por brindarme el apoyo necesario para cumplir mis metas, a mi hermano ANGEL E. URUETA PUELLO por ser un gran hermano y ser un gran soporte en el desarrollo de mi carrera, a mi novia PAOLA TORRES OSORIO por estar siempre a mi lado incondicionalmente, a ELKIN VALENZUELA ARRIETA por ser un gran amigo a lo largo de nuestra trayectoria de formación personal y profesional y a todos mis amigos que siempre estuvieron ofreciéndome su amistad a favor de mi formación integral.

JOSÉ G. URUETA P.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de la monografía expresan sus agradecimientos por sus excelentes asesorías y colaboración para la preparación de éste trabajo de manera correcta:

- Alfonso Núñez Nieto, Jefe de Operaciones de la refinería ECOPETROL S.A. Director de la monografía. Por compartir herramientas de su gran conocimiento y experiencia.
- Jaime Muñoz, Técnico en ventas de la empresa MICHELIN en COLOMBIA, por darnos pautas importantes en desarrollo investigativo de éste proyecto.
- A COORDINADORA MERCANTIL S.A. por darnos la oportunidad de desarrollar nuestro trabajo y brindarnos las herramientas necesarias. Agradecemos en especial al Sr. GUSTAVO RODRÍGUEZ, gerente regional y a BYRON SILVA Coordinador nacional de mantenimiento.

RESUMEN

La presente monografía está redactada con fines netamente contribuyentes a los procesos de mantenimiento en la empresa Coordinadora Mercantil S.A una empresa que requiere altos grados de confiabilidad para la prestación eficaz de sus servicios y el cumplimiento de su compromiso social. La creación del modelo de análisis causa raíz en fallas y desgastes irregulares en llantas optimizará en relación de costos y tiempos de mantenimiento en los problemas presentados por estos ítems que han resultado siendo en los últimos tiempos mayor al 15% del presupuesto anual para el mantenimiento, a esto se le suma la influencia directa que tienen estas fallas y desgastes en el consumo del principal gasto en la empresa “*el combustible*”. Es por estos que los resultados de este proyecto luego de una capacitación al personal técnico y administrativo genera una cultura de gerenciamiento en riesgos de falla tomando de la mano la confiabilidad y e integridad de equipos que una empresa debe adoptar en aras de cuidar su razón de ser “*la rentabilidad*”.

Se resalta a través de su contenido la sesión teórica que nos muestra la fabricación de una llanta, su composición, partes, el comportamiento mecánico, las funciones que cumplen las llantas como parte de un sistema y sus funciones, se describen de forma concisa y descriptiva las fallas y los desgates irregulares para desembocar en la creación del modelo general RCA que como corazón de la investigación nos llevará a la consecución de las metas trazadas.

De forma estratégica se tiene en cuenta el ciclo de vida de una llanta en el cuál metódica y minuciosamente se identifican las fallas potenciales en cada una de las

etapas y de esta forma se abran paso las recomendaciones técnicas y operativas para el cuidado y mantenimiento óptimo.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	21
Identificación y descripción del problema	22
Objetivos	25
General	25
Específicos	25
Justificación	27
Metodología de la Investigación	29
1. LAS LLANTAS EN LOS VEHÍCULOS DE TRANSPORTE TERRESTRE	32
1.1. Los vehículos de Transporte terrestre	32
1.2. LA LLANTA NEUMÁTICA	33
1.2.1. Definición	33
1.3. COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS NEUMÁTICOS	34
1.4. FABRICACIÓN DE LAS LLANTAS	37
1.5. CARACTERÍSTICAS DE LAS LLANTAS	49
1.5.1. Funciones de los neumáticos	49
1.5.2. El caucho, material base para la fabricación de los neumáticos	53
1.6. COMPOSICIÓN Y TIPOS DE NEUMÁTICOS	54
1.6.1. Composición de un neumático	54
1.7. TIPOS DE NEUMÁTICOS	56
1.7.1. Neumáticos convencionales	56
1.7.2. Neumáticos radiales	58
1.8. BANDAS DE RODAMIENTO	60
1.8.1. Banda de rodamiento tipo tracción	60
1.8.2. Banda de rodamiento tipo dirección	61

1.8.3. Banda de rodamiento tipo mixta	62
1.9. VENTAJA Y DESVENTAJAS EN LOS TIPOS DE NEUMÁTICOS	62
1.10. ESPECIFICACIONES DE LOS NEUMÁTICOS	63
1.10.1. Nomenclatura de los neumáticos	63
1.11. DIMENSIONES DE LOS NEUMÁTICOS	68
2. MODOS DE FALLAS Y DESGASTES MÁS COMUNES	71
2.1. Problemas mecánicos	71
2.1.1. Convergencia	71
2.1.2. Divergencia	72
2.1.3. Camber	73
2.2. Problemas de presión	75
2.2.1. Baja presión	75
2.2.2. Exceso de presión	77
2.3. Efectos de la sobrecarga	79
2.4. FALLAS MÁS COMUNES EN LLANTAS NEUMÁTICAS	80
2.4.1. Fallas en la banda de rodamiento	80
2.4.1.1. Cortes múltiples	80
2.4.1.2. Separación en la cima	81
2.4.1.3. Deterioro de la goma	82
2.4.1.4. Deterioro de la goma en los hombros	82
2.4.2. Fallas en el flanco	83
2.4.2.1. Deterioro por objeto entre neumáticos gemelazos	83
2.4.2.2. Contacto entre neumáticos gemelazos	84
2.4.2.3. Bolsa de aire (reventada o no)	85
2.4.2.4. Rotura de carcasa	86
2.4.2.5. Roturas o grietas en la goma	86
2.4.2.6. Corte en el flanco	87

2.4.2.7.	Roces y desgaste circular	88
2.4.2.8.	Rotura sobre corte en la banda de rodamiento	88
2.4.3.	Fallas en el interior de la cubierta	89
2.4.3.1.	Roturas por impacto	89
2.4.3.2.	Dislocación de la carcasa	91
2.4.4.	Fallas en el enganche	92
2.4.4.1.	Por sobrecarga, bajo inflado o montaje incorrecto	92
2.4.4.2.	Por choque-pellizco	93
2.4.4.3.	Enganche deteriorado por aros u otros elementos de la llanta	94
2.4.4.4.	Deterioro de los talones durante el montaje o el desmontaje	94
2.4.4.5.	Deterioros debido al calor	95
2.4.4.6.	Talones deteriorados por mala posición sobre una llanta	97
2.4.4.7.	Talones deteriorados por cuerpos extraños	98
2.4.5.	Fallas en la cámara	98
2.4.5.1.	Cámara deteriorada por el protector	99
2.4.5.2.	Deterioro de la válvula	99
2.4.5.3.	Deterioro de la cámara por el talón de la cubierta	100
2.4.5.4.	Deteriorada por roce en el interior de la cubierta	100
2.4.5.5.	Deteriorada por cueros extraños	101
2.4.5.6.	Deterioro como consecuencia de una mala selección de la cámara	101
2.5.	DESGASTES IRREGULARES	102
2.5.1.	Desgaste regular rápido	102
2.5.2.	Desgaste anormal rápido	103

2.5.3. Paralelismo incorrecto entre neumáticos	103
2.5.4. Paralelismo incorrecto entre ejes	104
2.5.5. Desgaste creciente de un bode a otro	105
2.5.6. Desgaste en dientes de sierra	106
2.5.7. Desgaste redondo (llamado “en cono”)	106
2.5.7.1. Desgaste en hondo	107
2.5.8. Desgaste en olas y oblicuos	107
2.5.9. Desgaste en rail (circular)	109
2.5.10. Desgaste maxi-mini	109
2.5.11. Desgaste localizado	110
2.5.12. Desgaste más rápido de un neumático gemelazo	111
3. CUIDADO Y MANTENIMIENTO DE LOS NEUMÁTICOS	112
3.1. Alineación	112
3.2. Balanceo	112
3.3. Rotación de llantas	113
3.4. Recomendaciones de inflado para neumáticos	114
3.4.1. Presión correcta	115
3.5. Arreglos duales	116
4. ANÁLISIS CAUSA RAÍZ	116
4.1. ¿CUANDO SE EMPLEA?	117
4.2. ¿PORQUÉ UTILIZAR RCA?	117
4.3. PASOS PARA HACER RCA	118
4.3.1. Responder a un incidente y conservar la evidencia	118
4.3.2. Ordenar el equipo de análisis	119
4.3.3. Análisis de fallas y verificación de causas raíces	119
4.3.4. Comunicar hallazgos y recomendar	120
4.3.5. Monitoreo de resultados	120

5. MODELO GENERAL DE ANÁLISIS CAUSA RAÍZ	121
5.1. Propósito del modelo	121
5.2. Diseño del modelo	121
5.3. Componentes básicos del modelo general de RCA	122
5.4. Diagramas y tablas del modelo general de análisis causa raíz de las fallas y desgastes irregulares en llantas neumáticas	124
5.5. Aplicación del modelo general de RCA a un incidente a un incidente en la empresa.	145
CONCLUSIONES	153
RECOMENDACIONES	155
BIBLIOGRAFÍA	156

LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1 Porcentajes en costos de mantenimiento Anual	22
Ilustración 2 Etapas del ciclo de vida de las llantas	29
Ilustración 3 Configuración Rin, Llanta.	32
Ilustración 4 Fuerzas, momentos y grados de libertad de una llanta	35
Ilustración 5 Ángulo de deslizamiento y área de contacto de la llanta.	36
Ilustración 6 Estructuras principales de neumáticos	38
Ilustración 7 Porcentaje de mezcla de sustancias Banda de rodamiento Uniroyal Rally 440	42
Ilustración 8 Mezcla cuando sale de la calandria en forma de lámina	43
Ilustración 9 Extrusora de la película	44
Ilustración 10 Tira extraída de la extrusora	44
Ilustración 11 Neumático verde.....	46
Ilustración 12 Tipo de molde separado en ocho partes.	47
Ilustración 13 Prueba de uniformidad	49
Ilustración 14 Componentes de un Neumático (Radial).....	55
Ilustración 15 Composición de las lonas interiores de la llanta convencional	57
Ilustración 16 Corte transversal de una llanta convencional	57
Ilustración 17 Composición de las lonas interiores de la llanta Radial.....	59
Ilustración 18 Cinturones de llantas radiales	59
Ilustración 19 Corte transversal llanta Radial (sellomatic)	60
Ilustración 20 Llanta con banda de rodamiento tipo tracción	61
Ilustración 21 Llanta con banda de rodamiento tipo direccional	61
Ilustración 22 Llanta con banda de rodamiento mixta.....	62
Ilustración 23 Marcaje de un neumático Goodyear P215/65R15.....	64
Ilustración 24 Dimensiones importantes de los neumáticos	69

Ilustración 25 Convergencia	72
Ilustración 26 Desgaste producido por la convergencia (llanta derecha).....	72
Ilustración 27 Divergencia.....	73
Ilustración 28 Problema del Camber.....	74
Ilustración 29 Efectos de presión del aire baja	75
Ilustración 30 Llanta rodando a baja presión. Concentración de esfuerzos.....	76
Ilustración 31 Llanta con menos presión de aire, casi pinchada en su totalidad....	76
Ilustración 32 Estado de la llanta de acuerdo de la presión de inflado	77
Ilustración 33 Efectos del exceso de presión de aire sobre un neumático.....	78
Ilustración 34 Efectos de la Presión excesiva o baja en las llantas	79
Ilustración 35 Cortes múltiples.....	81
Ilustración 36 Llantas afectadas por el calentamiento excesivo.	82
Ilustración 37 Neumático con la goma deteriorada	82
Ilustración 38 Goma deteriorada en el hombro	83
Ilustración 39 Neumático deteriorado por objeto aprisionado.	84
Ilustración 40 Desgaste circular por causa de un contacto importante.	84
Ilustración 41 Neumático reventado por infiltración de aire de inflado	85
Ilustración 42 Canalización del aire interior filtrado.....	86
Ilustración 43 Rotura circular del flanco	86
Ilustración 44 Neumático con grietas.....	87
Ilustración 45 Neumático con corte en el flanco.....	88
Ilustración 46 Neumático con flanco deteriorado, debido a los roces con aceras..	88
Ilustración 47 Corte en la banda de rodamiento visto desde el interior de la carcasa.	89
Ilustración 48 Tensiones provocadas por obstáculos en carretera	89
Ilustración 49 Corte en neumático como consecuencia de la debilitación de los cinturones	90

Ilustración 50 Corte pequeño visto desde el interior de la carcasa	90
Ilustración 51 Neumático montado parcialmente sobre la acera	91
Ilustración 52 Rotura por tensión excesiva del flanco	91
Ilustración 53 Llantas dislocadas completa y parcial	92
Ilustración 54 Enganche dañado por sobre carga.....	92
Ilustración 55 Enganche afectado por sobrecalentamiento	93
Ilustración 56 Efectos del mal montaje sobre el enganche	93
Ilustración 57 Desgarro en el enganche por impactos	94
Ilustración 58 Enganche entrecortado por deformación.....	94
Ilustración 59 Enganche destrozado por mal montaje	95
Ilustración 60 Enganche deteriorad por el exceso de calor	96
Ilustración 61 Conducción del calor	96
Ilustración 62 Radiación del calor	96
Ilustración 63 Convección del calor	97
Ilustración 64 Diferencia entre las posiciones correcta y malas del talón	98
Ilustración 65 Desgaste de los talones por cuerpos extraños.....	98
Ilustración 66 Diferentes estados del protector en la llanta.....	99
Ilustración 67 Posiciones correcta e incorrecta de la válvula<	99
Ilustración 68 desprendimiento total (rodaje sin aire) y parcial (mal montaje) de la válvula.....	100
Ilustración 69 Muestra del deterioro de la cámara y el montaje sin protector	100
Ilustración 70 Cámara deteriorada por fricción	101
Ilustración 71 Perforaciones debidas a presencia de cuerpos extraños	101
Ilustración 72 Roturas por pliegues de la cámara	102
Ilustración 73 Desgaste regular de un neumático	102
Ilustración 74 Desgaste anormal por desalineación.....	104
Ilustración 75 Desgaste en un solo lado de la banda.....	104

Ilustración 76 Desgaste creciente	105
Ilustración 77 Desgaste tipo dientes de sierra	106
Ilustración 78 Desgaste redondo por bajo inflado	107
Ilustración 79 Desgaste por bajo inflado	107
Ilustración 80 Desgaste ondas y facetas, deformación por carreteras bombeadas	108
Ilustración 81 Desgaste en ondas y facetas	108
Ilustración 82 Desgaste circular	109
Ilustración 83 Desgaste de variación de mínimo a máximo y viceversa	110
Ilustración 84 Desgaste puntual por frenado	110
Ilustración 85 Desgaste a diferentes velocidades de neumáticos pares.....	111
Ilustración 86 Patrón básico de rotación en X según tracción	114
Ilustración 87 Rotación normal en vehículos pesados	114
Ilustración 88 Gráfico de Rendimiento Vs. Presión de inflado de los neumáticos	115
Ilustración 89 Relación carga / presión de arreglos sencillos y duales	115
Ilustración 90 Árbol lógico de fallas y pasos a seguir.....	120
Ilustración 91 Tipo de diagrama implementado para el modelo general de RCA	122
Ilustración 92 Posición de la llanta pinchada en el trailer.....	145
Ilustración 93 Imagen de la rotura de la llanta del trailer.....	146
Ilustración 94 Diagrama principal, ubicación de las fallas de acuerdo a los componentes	147
Ilustración 95 Diagrama de análisis de la falla	149
Ilustración 96 Rastro del impacto que sufrió la llanta.....	150
Ilustración 97 Sección del diagrama que conlleva a la causa raíz según análisis	151
Ilustración 98 Organigrama estratégico de mantenimiento.....	155

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Descripción de los componentes de una llanta radial	56
Tabla 2 Ventajas y desventajas entre los neumáticos tipo convencional y radial ..	63
Tabla 3 Descripción de los símbolos del marcaje de un neumático.....	65
Tabla 4 Índices de carga para las llantas de Michelin.....	65
Tabla 5 Descripción del índice del tipo de aplicación del neumático	66
Tabla 6 Símbolos de velocidad	67
Tabla 7 Descripción de las fallas y cada una de sus posibles causas	136
Tabla 8 Comparación de las imágenes de los modos de fallas con el del caso real.	148
Tabla 9 Verificación de las causas del modo de falla (Obtenido de la tabla 7)	149
Tabla 10 Análisis de la primera posible causa “Choque con objeto - impacto”	150
Tabla 11 Análisis de la segunda posible causa “Operación extrema, virajes a alta velocidad”	150
Tabla 12 Análisis de la tercera posible causa “presión de aire baja”	151

INTRODUCCIÓN

El transporte de mercancías es un negocio lleno de lemas comprometedores con el servicio, lo cuál siempre le abrirá un campo al mantenimiento como pieza fundamental para la eficiencia, eficacia y efectividad que toda organización busca en la integridad operativa de sus departamentos.

Dado el caso la empresa *Coordinadora Mercantil* se califican todos sus activos, en este caso camiones con un alto grado de criticidad lo cual invoca el concepto de la “confiabilidad e integridad de activos”. De esta forma incursionamos estadísticamente en los eventos de fallas del negocio y se encontró que el ítem de los neumáticos era uno de los aspectos modales y que además está presentando gastos significativos en el presupuesto de mantenimiento.

En ese orden de ideas esta investigación busca de manera explorativa la esquematización del análisis causa raíz de las fallas y desgaste irregulares en las llantas de los vehículos de más de 4 Ton., de tal forma que se encuentre la metodología más fácil para la optimización del mantenimiento en este ítem, y se culturice el ambiente de trabajo hacia la confiabilidad siendo consecuente con la disponibilidad que permanentemente demandará el servicio de la empresa.

Este modelo se reconoce como una obra 100% de ingeniería que siempre llevará atado la idea de gerenciar los riesgos dados por condiciones operativas o de mantenimiento, por tanto basándonos en modos de fallas técnicamente conocidos y publicados desglosaremos a través de nuestro esquema el camino más fácil de encontrar la causa raíz de cada problema.

IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la empresa de transporte de mercancías, Coordinadora Mercantil S.A. las fallas y los desgastes en las llantas neumáticas, se puede considerar que son eventos que ocurren a diario (de 5 a 10 veces por semana) y la razón es que como una empresa de transporte de mercancías que es, el negocio y la producción de éste como tal, está basado en la operación y la disponibilidad de sus principales activos, que son los vehículos, y como empresa que abarca el territorio nacional, requiere la movilización de una gran flota de éstos para lograr sus objetivos; más de 200 vehículos en todo el territorio nacional, esto indica más de 1000 llantas que inspeccionar y analizar para controlar una de las tantas variables que miden la disponibilidad de éstos activos.

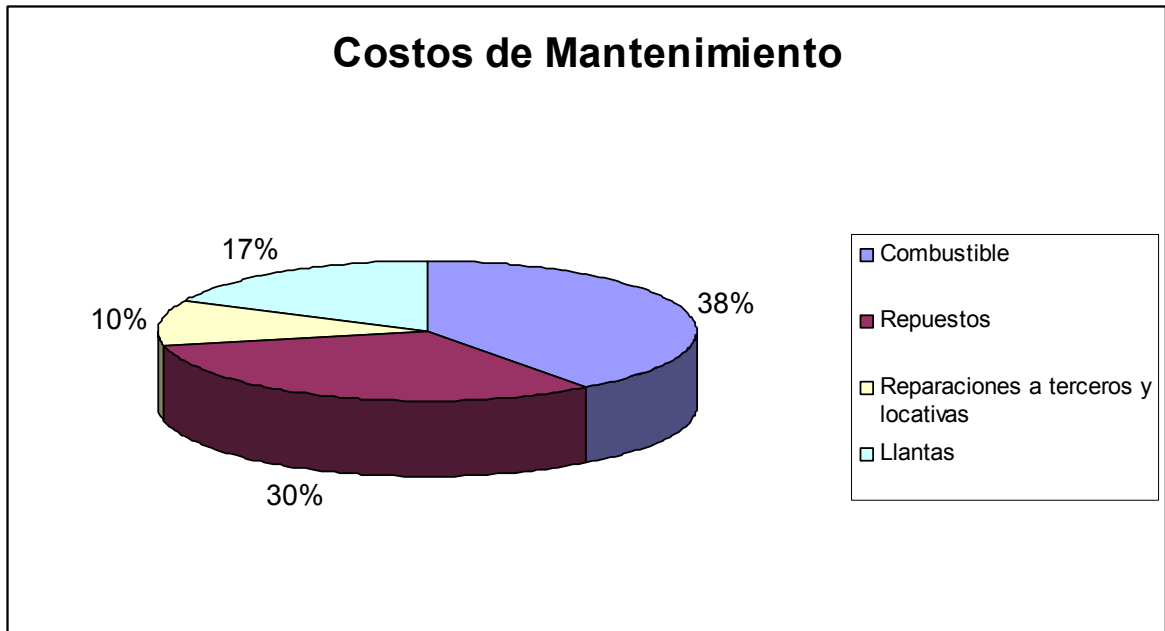


Ilustración 1 Porcentajes en costos de mantenimiento Anual

En cuanto al manejo de gastos en mantenimiento que regula la empresa de transporte de mercancías Coordinadora Mercantil S.A. el consumo de llantas representa el 17% del total invertido en mantenimiento, lo significa en valor monetario la cifra de \$765'000.000 en referencia a un costo total de \$4.500'000.000 invertidos en mantenimiento anual, de esta forma se convierte en el ítems unitario de mayor valor a esto sumándole la criticidad que poseen por los tiempos lucro cesantes a los que conducen. Estas estadísticas clasifican a las llantas como el tercer gasto representativo en la inversión del mantenimiento actual de la empresa en mención.

Para el control de las llantas se cumplen con un sistema de información, el cuál básicamente, consta de una base de datos en una hoja de cálculo donde se llevan las variables que determinan la vida útil de las llantas, de cada una de las flotas de las terminales ubicadas en diferentes partes del país.

El método empleado en la empresa, demanda de cierta manera, un conocimiento previo sobre los distintos modos de fallas de las llantas, conocimiento que varios de los ingenieros no poseen. La herramienta que algunos de los ingenieros utilizan es la experiencia, el ver visto todos los modos de falla más comunes en las llantas en forma repetida, herramienta con la cuál cualquier ingeniero “sin o con poca experiencia” en este ámbito se mostrará totalmente desarmado y sin fundamentos para determinar la causa de los hechos no deseados y que afectan a las llantas.

El control para la inspección de la forma de los desgastes de las llantas no es el recomendado, ya que no se realiza con la frecuencia que se requiere para prevenir la prolongación de éstos y sus efectos no deseados. Este control se realiza de manera aleatoria y cada ingeniero establece la frecuencia según su

criterio, al igual que las fallas accidentales, por tanto, la determinación de una metodología para el monitoreo de los desgastes en llantas es necesario, con el fin a la vez de unificar o globalizar la manera de control de estos hechos indeseables en la empresa a nivel nacional.

El no reconocer de manera específica, eficiente y segura la causa de una falla o desgaste irregular de una llanta, implica no asumir de manera efectiva medidas de prevención, predicción o monitoreo, trayendo como consecuencia la repetición de la falla, afectando en ocasiones de manera directa la integridad del recurso humano y/o del activo, de igual forma influiría en la imagen empresarial, desembocando de manera crítica en el aumento de los costos de operación.

La identificación de una falla o de un tipo de desgaste que se produzca en una llanta neumática, indiferente del tipo, es de gran importancia tanto el inversionista como el operador del vehículo.

Las fallas de las llantas son inevitables, ya que éstas tienen cierto periodo de vida útil y dependen de ciertos factores que van desde el número de reparaciones que se les realicen, hasta la selección adecuada para cierto tipo de vehículo y carga. De igual manera ocurren también con los desgates irregulares, que a veces resultan imperceptibles, aún cuando están ocurriendo.

Cuándo estas fallas o desgastes irregulares aparecen, resulta ser, en muchas ocasiones, una tarea larga y tediosa, o a veces, muy indecisa, encontrar la causa real por las cuáles ocurren cualquiera de los distintos eventos que afectan a las llantas de los vehículos de transporte terrestre.

OBJETIVOS

GENERAL

Reducir costos de mantenimiento y de operaciones mediante la aplicación de una metodología definida y detallada para identificar las posibles causas de las fallas y los desgastes irregulares que se puedan presentar en las llantas de vehículos de transporte de mercancías a través del método de análisis causa raíz.

ESPECÍFICOS

- Identificar los tipos de fallas mas comunes que se presentan bajo el ciclo de vida de las llantas.
- Establecer un modelo general que facilite las predicciones y tipos de soluciones para las fallas en llantas, optimizando las condiciones del mantenimiento y operación de la empresa Coordinadora Mercantil S.A.
- Brindar una guía con la cuál la empresa pueda capacitar al cuerpo operador respecto a la metodología del análisis de causa raíz de tal forma que encuentren en ella ventajas y facilidades de trabajo.

- Suministrar una herramienta para culturizar el medio laboral en de la confiabilidad, de manera que se desarrollen modalidades de trabajo dirigidas a mejores decisiones de costo óptimo.
- Implementar una aplicación informática que permita llevar el seguimiento de la vida útil de las llantas y realizar predicciones de éstas.
- Evaluar estadísticamente los resultados en términos de mantenimiento el la eficiencia de los análisis causa raíz desarrollados, que por supuesto se traducirán a términos económicos.

JUSTIFICACIÓN

Las llantas poseen en este negocio grandes aspectos operativos de congestionamiento que complican a la hora de evaluación en gastos de mantenimiento, por tanto esquematizando estas fallas se podrá ampliar y mejorar cada vez los procedimientos para el manejo de estos útiles y el condicionamiento en el uso operativo. A través de este proceso se adoptará un marco de conceptos firmes para toda clase de mantenimiento que se lleve en los talleres de análisis y reparación de flotas de trasportes.

El campo del mantenimiento en la ingeniería es el mas aplicado en el medio empresarial, por tanto como profesionales de esta rama debemos ser concientes al identificar que nuestro trabajo consiste en la evaluación de riesgo, en el gerenciamiento del mismo, cuya finalidad tiene la búsqueda de la eficiencia y disponibilidad de nuestros sistemas, que evacuen en hechos lucrativos. Por esta razón tratamos de hacer nuestro aporte a través de uno de los temas si no es el mas importante del mantenimiento: “Análisis de causa raíz” (RCA) que como se indica en su nombramiento es la herramienta estratégica que nos ayudará a optimizar de raíz las deficiencias de nuestro mantenimiento actual.

La búsqueda de la causa raíz de una falla o de un hecho que este afectando de manera continua un elemento, es una tarea en la cuál se deben de llevar a cabo ciertos pasos para conseguir, de manera efectiva la causa real de los eventos que ocasionan los efectos no deseados.

Para la obtención de la anhelada confiabilidad y disponibilidad en el negocio de transportes, la empresa *Coordinadora Mercantil* requiere del análisis de causa raíz para aprender de las fallas de las llantas siendo estas un elemento de alta

criticidad en el transporte de mercancías. Además con este método se entrará en la capacitación al personal de mantenimiento para mentalizarse en eliminar fallas y no corregir síntomas.

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN (organización del proyecto por etapas)

Bajo el campo de investigación se pretenderá identificar de forma metódica las etapas en el ciclo de vida del ítem investigado, las llantas, de esta forma se resaltarán los modos de fallas en cada paso para estructurar al final el modelo RCA. En este orden de ideas se obtendrá la optimización de las estrategias que se implementan en la selección, inspección, mantenimiento y operación de las llantas; como se esquematiza a continuación en el siguiente diagrama:

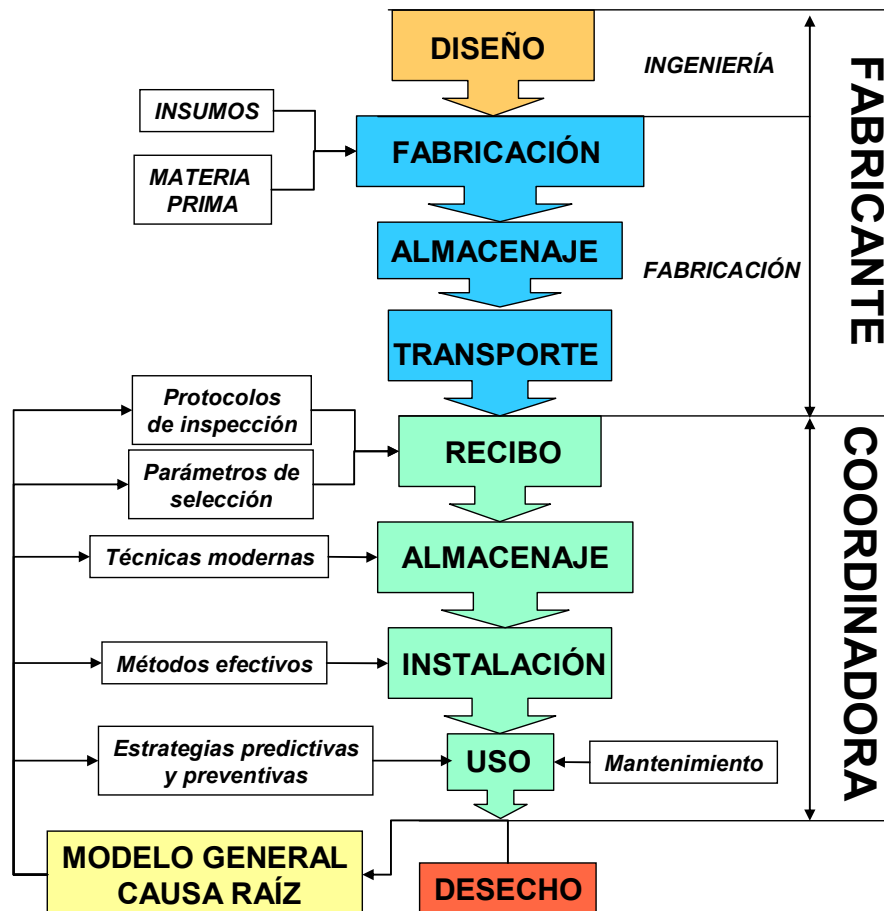


Ilustración 2 Etapas del ciclo de vida de las llantas

En cada etapa del ciclo de vida de las llantas existen unas fallas potenciales que serán identificadas a partir del planteamiento de las diferentes técnicas y metodologías de ingeniería para solucionar y detectar los diferentes modos de fallas que se presentan o que se puedan presentar en las llantas. Basándose en la técnica del RCA, se encontrará las causas a los modos de fallas más comunes, permitiéndose evaluar de manera inmediata la estrategia más apropiada con el fin de controlar los riesgos que éstas ocasionan y su prevención.

Como resultado del estudio RCA se establecerán diversas pautas, estrategias, recomendaciones y técnicas que se emplearán en cada una de las etapas del ciclo de vida de las llantas, desde que llegan a la empresa, hasta cuando esta se desecha. Todo esto con el fin de optimizar el mantenimiento por parte del consumo de llantas implementando los métodos de ingeniería, que permitan hacer las mejores selecciones para los tipos de vehículos, que permitan también seleccionar el protocolo de inspección más adecuado, aplicar las técnicas modernas de almacenaje, establecer los métodos más efectivos de instalación, definir las estrategias de monitoreo y prevención de fallas y consiguiendo principalmente, la reducción de costos por parte del consumo de llantas.

La aplicación a desarrollar será una mejora del sistema del control de llantas específicamente en la ciudad de Cartagena. Ésta constará en una hoja de Excel en la cuál se llevará el control de las variables existentes, pronósticos de duración, control de la base de datos y algunas otras variables que se puedan generar en el transcurso del desarrollo de la monografía. En las mejoras se incluyen: cambio del entorno de la hoja de trabajo con el objetivo de hacerla interactiva, cálculo de duración de llantas (pronósticos), control de fechas de cambio y rotación, muestra

de datos técnicos de las llantas y equipos (móviles) y algunas otras posibilidades de mejora que surjan en el transcurso del desarrollo de la monografía.

La complementación de la aplicación a desarrollar se dará a través del software usado en la compañía llamado IN ROADS, del cuál se podrá obtener información acerca del vehículo del viaje que realizó en última instancia, permitiendo conseguir valores reales de las variables de control de llantas. De igual forma el software de mantenimiento provee información necesaria de lo cuál se especificará en el trabajo la forma de cómo usar ésta información en el control de las llantas.

La capacitación al personal administrativo y operario es de gran importancia, y se realizará a través de un programa de charlas donde se culturice el ambiente de trabajo como aporte a la pro actividad empresarial.

1. LAS LLANTAS EN LOS VEHÍCULOS DE TRANSPORTE TERRESTRE

1.1. Los vehículos de transporte terrestre.

Un vehículo es un medio de locomoción, empleado para transportar bienes o personas. Los vehículos terrestres se desplazan sobre la superficie de la tierra, manteniendo los medios motrices en contacto con el piso (suelo), en contraste, los vehículos aéreos y los marítimos operan soportados por un fluido, aire y agua, respectivamente.

Los vehículos terrestres pueden ser clasificados en guiados y no guiados, estando los primeros restringidos en su movimiento a lo largo de una guía, como pueden ser rieles, mientras que los no guiados poseen autonomía direccional, moviéndose sobre caminos o fuera de ellos.

La mayoría de los vehículos terrestres no guiados utilizan llantas neumáticas, las cuales, forman parte de sus sistemas de soporte, de desplazamiento y de dirección.



Ilustración 3 Configuración Rin, Llanta.

El comportamiento de un vehículo terrestre es el resultado de la interacción entre el conductor, el vehículo y el medio. Con excepción de las fuerzas gravitacionales y aerodinámicas, las fuerzas y momentos que se aplican al vehículo las cuales

afectan su movimiento, son generadas o transmitidas a través del contacto entre la llanta y el camino. Es por esto, que las llantas se constituyen en uno de los elementos más importantes del esquema funcional y operativo de los vehículos de este tipo.

1.2. LA LLANTA NEUMÁTICA

1.2.1. Definición.

Descriptivamente, se considera que la llanta neumática es un toroide hecho de un compuesto sólido deformable elásticamente, montado sobre una estructura anular rígida (normalmente metálica) que, en conjunto, encierran un volumen de aire. Sin embargo, es común confundir lo que es una llanta, un neumático y una rueda, existiendo distintas definiciones, como *llanta*, descrita como el cerco metálico de las ruedas de los vehículos, el neumático o la cubierta de caucho de una rueda; *neumático* es la cubierta deformable y elástica que se monta en la llanta de las ruedas de ciertos vehículos, y que sirve de envoltura protectora a una cámara de aire que puede ser independiente o no, y *rueda* es una pieza de forma circular que gira alrededor de un eje.

Por el hecho de ser el elemento del vehículo que toma contacto con la vía, el neumático es, sin lugar a dudas, el órgano vital más influyente en la génesis del accidente.

El neumático nació destinado a proporcionar mayor confort a los vehículos, que en principio estaban dotados de ruedas rígidas y más tarde de ruedas provistas de una envuelta de goma. La situación actual ha variado, el confort ha pasado a segundo plano, ante la importancia que la seguridad ha tomado. Los vehículos en el presente tienen tantas posibilidades de adquirir grandes velocidades, que

resultaría totalmente inconsecuente proyectar las bandas de la rodadura con la idea primitiva de amortiguar los vaivenes producidos por las irregularidades de la carretera.

Los neumáticos, sobre todo los empleados en los vehículos pesados y especiales, pueden suponer desembolsos económicos considerables. Por eso, existe una cierta tendencia a aprovechar al máximo su rendimiento y evitar gastos de mantenimiento.

Esta decisión puede afectar de modo notable al componente de la seguridad, puesto que la vejez del neumático incide básicamente en sus prestaciones y durabilidad del mismo.

1.3. 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 2.

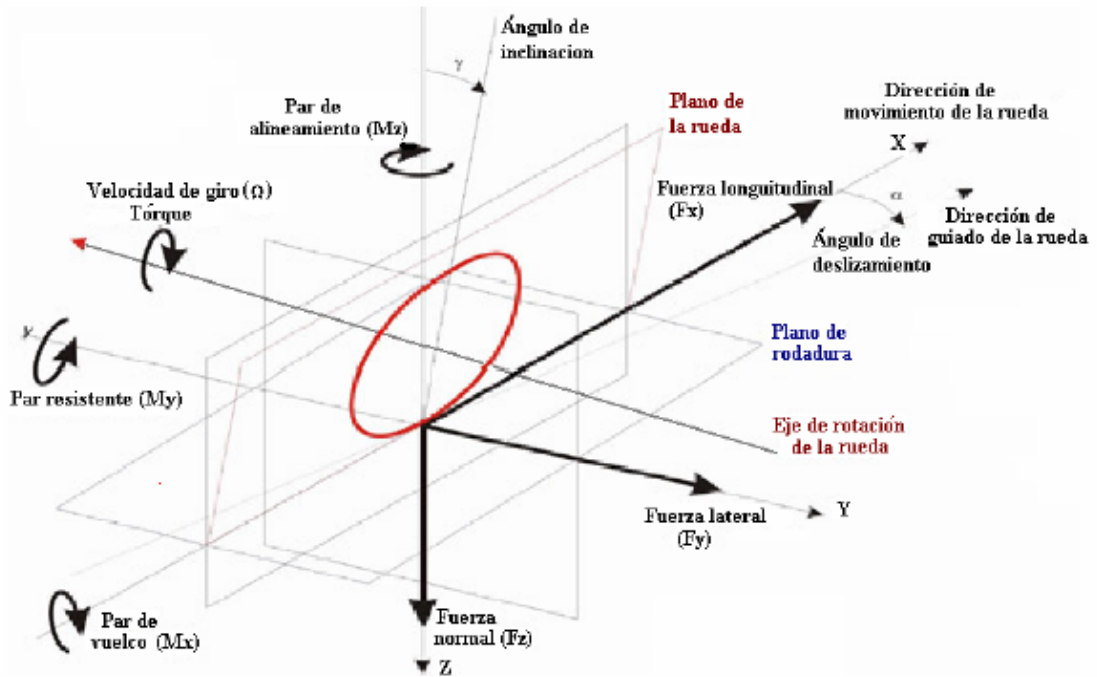


Ilustración 4 Fuerzas, momentos y grados de libertad de una llanta

Este sistema de referencia tiene su origen al centro del área de contacto de la llanta con la superficie de rodadura. 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 (α). – Ángulo formado entre el eje **Z** y el plano de la rueda.
- Ángulo de deslizamiento (α). – 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, α , el cual se debe a la deformación que sufre debido a la elasticidad lateral del material, representado en la ilustración 3.

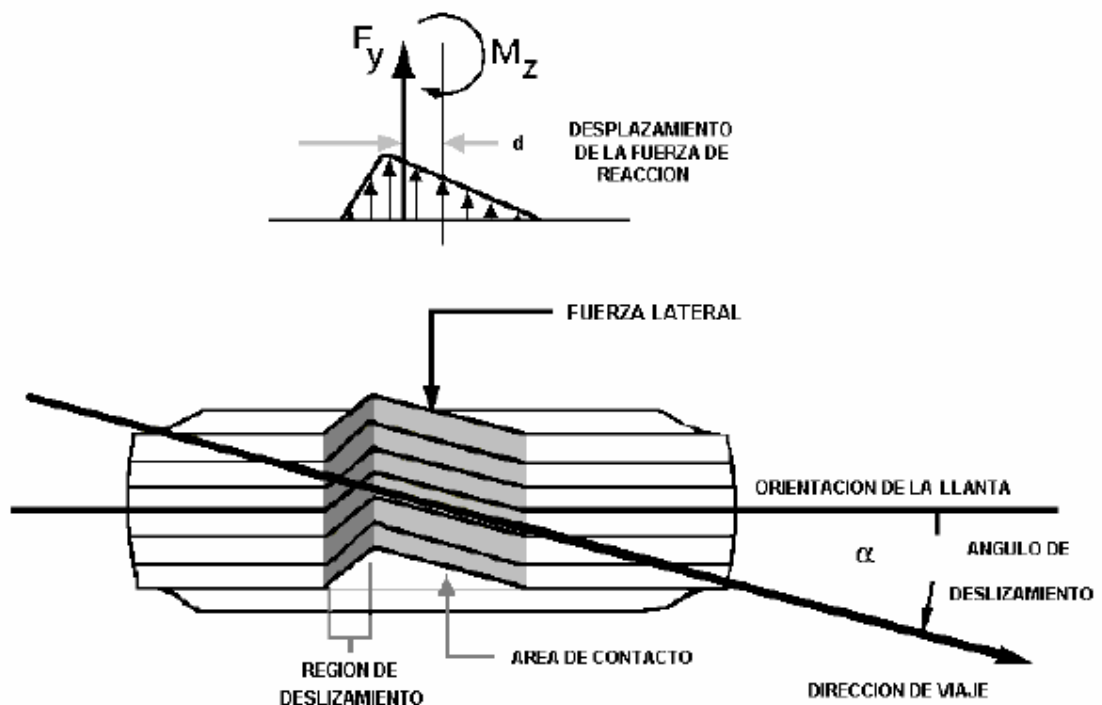


Ilustración 5 Ángulo de deslizamiento y área de contacto de la llanta.

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.

1.4. FABRICACIÓN DE LAS LLANTAS

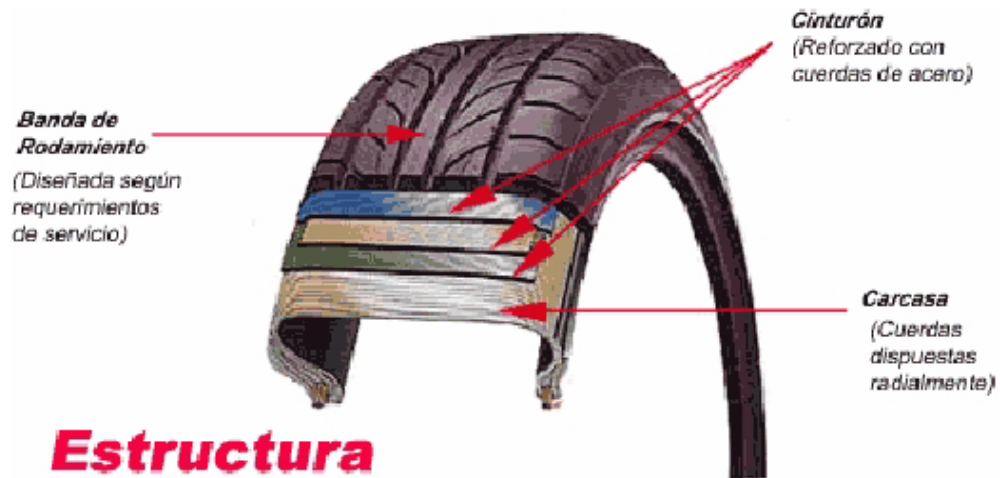
La fabricación de los neumáticos es un tema del que se debe de tener alguna noción o conocimiento, ya que existe una gran variedad de diseños de neumáticos con diferentes características, debido a la gran gama de automóviles existentes. El siguiente texto, da una idea acerca de las etapas de fabricación por las que tiene que pasar un neumático antes de ponerse a la venta.

La industria automotriz es quien realiza el control de calidad más alto sobre los neumáticos, independientemente de las pruebas realizadas con anterioridad por los fabricantes. De la misma manera, es la que se encarga de proporcionar a estos mismos, los datos técnicos sobre el nuevo modelo; por ejemplo: la carga sobre las ruedas, la geometría de la suspensión, relaciones de cambio y velocidad máxima, al igual que las normas y reglamentos como: DIN (Norma industrial alemana), Wdk (Federación de la industria alemana del caucho), DOT (Department of Transportation (EUA), ETRTO (European Tyre and Rim Technical Organization) y T.R.A (Tyre and Rim Association (EUA)).

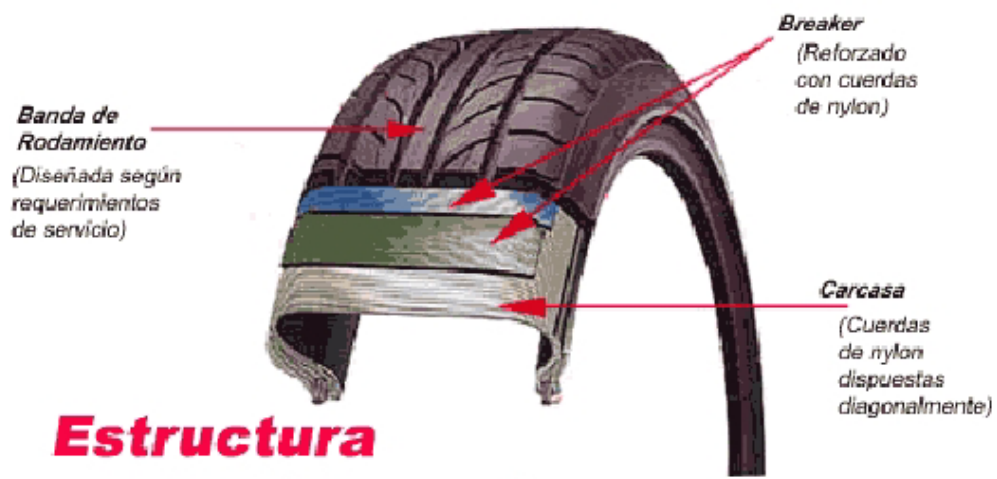
La fabricación del neumático se divide en tres etapas:

PRIMER ETAPA: Elaboración del Modelo

Los cálculos que requiere la elaboración de un neumático se realizan por medio de sistemas informáticos. Comienzan por el esqueleto del neumático, formado por el talón, el cinturón y la carcasa. A continuación se enumeran las diferentes partes del neumático.



Estructura Radial



Estructura Diagonal

Ilustración 6 Estructuras principales de neumáticos

Los resultados obtenidos de estos cálculos determinan el proceso de fabricación del neumático, los materiales y la combinación de estos. Así, es posible que se puedan realizar modelos de simulación que reducen el tiempo de desarrollo en pruebas, observando las reacciones del mismo. El método más utilizado es el de Elementos Finitos (FEM), que divide la estructura en partes y permite calcular, revisar y tomar en cuenta cada pequeño detalle, inclusive en movimiento.

Por ejemplo se pueden introducir muestras de la banda de rodadura y comprobar su estado ideal en la pantalla. Por lo tanto es el procedimiento más apto para analizar las deformaciones de la superficie de contacto.

SEGUNDA ETAPA: Exámenes

Consiste en la elección de mezclas que compondrán la banda de rodadura; y paralela a esta prueba transcurrirá el desarrollo del dibujo y de la banda de rodadura. En el momento en que se ha llegado a la solución adecuada, se pueden comenzar a fabricar a mano los primeros neumáticos, en los cuales el dibujo se cortará a mano.

Los neumáticos son sometidos a intensivos exámenes en diversos laboratorios, así como ensayos sobre terrenos de prueba y carretera. De esta manera se pueden optimizar las propiedades que se desean obtener.

A continuación se nombran algunas empresas en Europa que cuentan con circuitos de pruebas propios, que se utilizan constantemente para someter a prueba los nuevos modelos, así como desarrollar ensayos a puerta cerrada «indoor»: Conti (Jeversen), Dunlop (Wittlich/Eifel), Goodyear (Colmar Berg/Luxemburgo, Mireval/Francia para Europa), Kléber (Fontange/Francia), Michelin (Ladoux/Francia y Almería España), Pirelli (Vizzola/Italia), Semperit (Traiskirchen/Austria) y Uniroyal (Rocroi/Francia).

En estos circuitos se somete a los neumáticos a exámenes de resistencia, dando más importancia a los siguientes puntos:

- Fatiga mecánica del material
- Reconocimientos térmicos (temperaturas de 50 °C hasta – 40°C)
- Reacciones químicas

Este último proceso da su aprobación al producto y es entonces cuando puede ser incorporado al nuevo modelo. Al elegir el precio, el fabricante da la autorización de la fabricación del nuevo modelo de neumático en el equipamiento de serie del nuevo vehículo.

Los fabricantes de automóviles llevan a cabo exámenes igual de estrictos y sin concesiones. Si el neumático no aprueba los exámenes, entonces es devuelto, para hacerle los cambios necesarios, puesto que se exige un alto grado de seguridad, resistencia y estabilidad a altas velocidades. En estas pruebas también se vigila que haya un buen control en las reacciones de virado; pues deben de ser precisas, es decir, contar con una tracción lateral óptima y propiedades de rodadura ideales como:

- a) Retorno inmediato de la dirección a su posición inicial tras un cambio de orientación de las ruedas.
- b) Alta estabilidad en curvas.
- c) Comportamiento agradable de carga al dejar de accionar el acelerador y alta potencia de frenado
- d) Alta seguridad en el *aquaplaning* longitudinal y transversal (en curvas).

Estas propiedades se toman en cuenta en especial para neumáticos anchos de alto rendimiento. Las empresas automovilísticas exigen que cualquier neumático cumpla un total de 50 propiedades de producto especificadas anteriormente.

Al finalizar las pruebas, el fabricante puede empezar la producción en serie. Se encargan los moldes de vulcanización y se puntualizan los procesos de producción.

TERCERA ETAPA: Fabricación en Serie

La fabricación en serie es la etapa más larga de las tres, ya que es en donde se lleva a cabo la fabricación en sí. Y a su vez está compuesta por cuatro partes que son: mezcla de gomas, uso de acero y fibras sintéticas, vulcanización y control de calidad. A continuación se explicará cada una de ellas.

Mezcla de Gomas

Los diferentes tipos de cauchos se clasifican por su color y su grado de pureza en:

- **RSS** (*Ribbed-Smoked-Sheets*) (caucho en forma de bloques acanalados y ahumados)
- **ADS** (*Air-Dried-Sheets*) (Caucho secado con aire con leves impurezas)
- **Crepe** (Caucho natural lavado y laminado en piel)
- **TSR** (*Technical Specified Rubber*) (Clasificación técnica de diferentes productos de caucho asiáticos).

Un certificado de análisis provee al fabricante de neumáticos, información sobre las propiedades y cualidades del producto, como: impurezas, plasticidad y componentes volátiles.

Los materiales de caucho se mezclan con emulgentes y se someten a una batería de polimerización.

Por medio del negro de humo se le da su color característico.

El negro de humo es fabricado a partir de aceite y gas quemado por un proceso de escasez de aire. El aceite ayuda en la adherencia y hace que la mezcla sea blanda, lo cual ayuda a la precisión de virado.

Otro componente es el azufre ya que procura, que en la fase posterior de vulcanización las cadenas de moléculas de caucho formen redes, para después obtener goma elástica. Este proceso se denomina en química: formación de puentes sulfurosos.

Para cada neumático se utilizan diferentes mezclas de gomas (más de diez), y cada una se mezcla por separado. El proceso de mezclado se desarrolla automáticamente.

En la siguiente gráfica se muestra un ejemplo del porcentaje de sustancias en la mezcla de gomas:

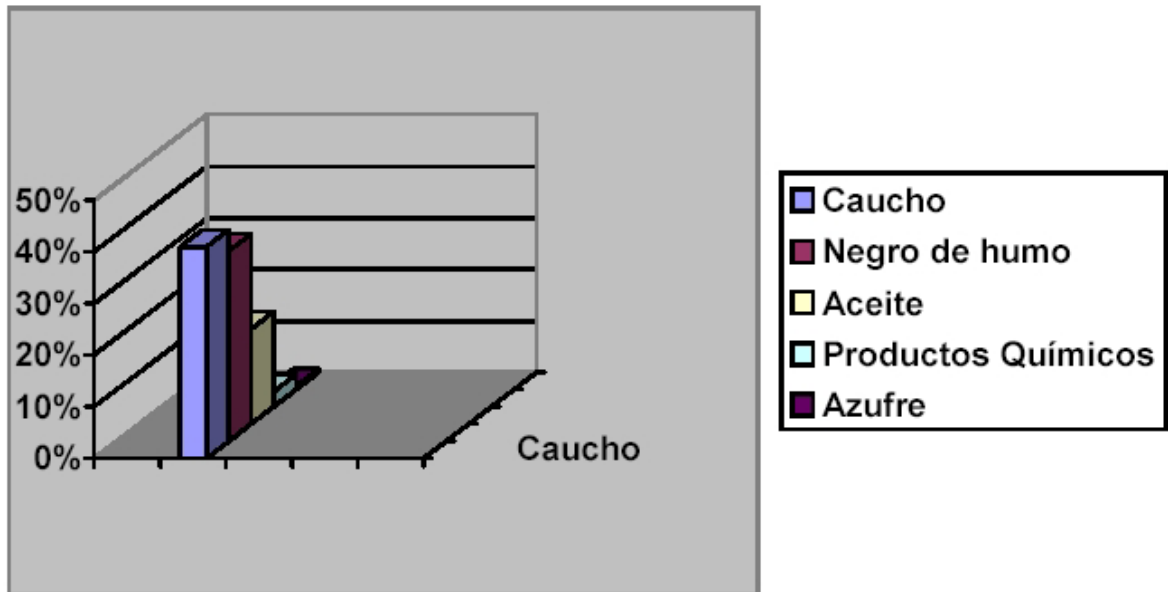


Ilustración 7 Porcentaje de mezcla de sustancias Banda de rodamiento Uniroyal Rally 440

Las fases del proceso de mezclado son las siguientes:

Fase1: En la sala de mezclas se añaden los ingredientes de la mezcla de gomas y se transportan mediante una cinta transportadora a la cámara de mezclas.

Fase2: La mezcla de cauchos debe amasarse constantemente hasta obtener una masa homogénea para proceder a los siguientes pasos de tratamiento.

Fase3: La mezcla de caucho sale de la calandria (- rodillos calentados - por las que emerge finalmente el material en forma de lámina o película) mediante un sistema de transporte.

Pero antes de que la mezcla preparada obtenga el visto bueno para su procesamiento, posterior se vulcanizan pruebas específicas para los ensayos de laboratorio.



Ilustración 8 Mezcla cuando sale de la calandria en forma de lámina

Durante estas pruebas las propiedades físicas de las muestras informan sobre el correcto funcionamiento del proceso de mezclado y amasamiento.

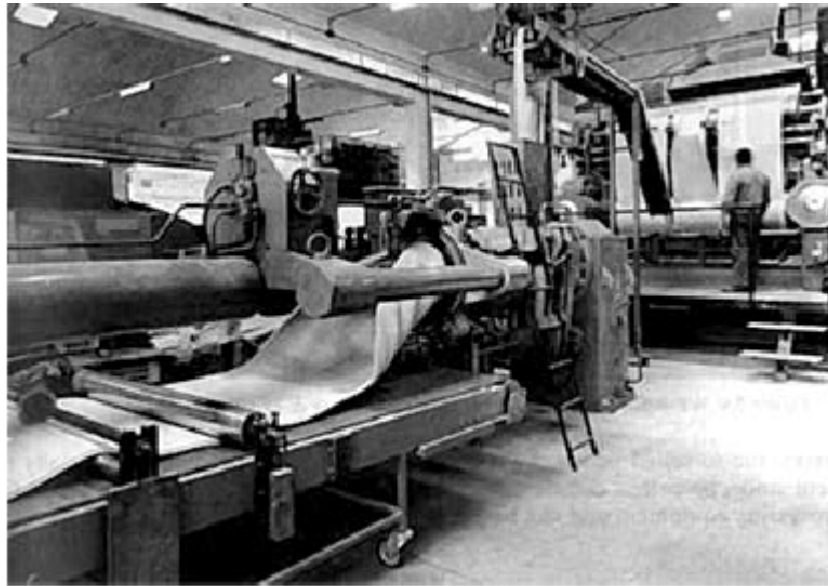


Ilustración 9 Extrusora de la película

Fase 4: En forma de una enorme tira y con la forma del perfil necesario, la mezcla comprimida abandona la extrusora.



Ilustración 10 Tira extraída de la extrusora

USO DE ACERO Y FIBRAS SINTÉTICAS

Al mismo tiempo que se realizan las mezclas; durante otras etapas diferentes, se obtiene la carcasa, los núcleos del talón y las capas del cinturón radial. En el caso de la carcasa de una llanta diagonal, se cablean las fibras textiles (fibras artificiales, normalmente de rayón) y se transforman en un cordón, que está unido por hilos transversales que después son cubiertos por capas finas de caucho en ambos lados. Las cuerdas están colocadas en ángulos de 35° a 40 grados entre capas, con respecto a la circunferencia de la llanta.

A diferencia de una llanta radial, donde la carcasa se conforma con una capa de acero en un ángulo de 90° respecto a la circunferencia. Entonces, vista la llanta por un costado, las cuerdas parecen irradiar desde el centro de la llanta.

El ángulo del hilo en una llanta radial es muy importante ya que influye en las propiedades de rodadura. El recubrimiento por caucho de los hilos de acero en una llanta radial, es una etapa que requiere de gran precisión, puesto que es una condición obligatoria para la obtención de un neumático resistente a altas velocidades.

Con el hilo de acero transformado en cables y ya recubierto por el caucho, es cortado por una guillotina, para alcanzar franjas con la anchura del cinturón deseada, y más tarde ser adicionada a una banda continua. Esta banda del cinturón se añade al cinturón de acero real, que llega a tener dos o más capas colocadas en diversas direcciones.

Los neumáticos sin cámara tienen una parte llamada “alma interna”, que es una capa de goma impermeable al aire que se aplica sobre el material de la carcasa en una etapa posterior de la fabricación en la calandria de tipo caperuza.

El núcleo del talón, cables de acero especial retorcidos y con forma de anillo, idéntico al anterior diámetro del neumático, recibe un recubrimiento de caucho. Por último, los anillos son completados por un método de elaboración que se realiza a máquina. Es en el tambor donde el neumático cobra forma. El tambor es como un fuelle de goma con forma de cilindro inflable, en el que se introduce el material a mano anticipadamente confeccionado y exactamente ajustado. Los dos talones se empujan por ambos lados encima de la carcasa, que todavía se encuentra en forma cilíndrica, y se fijan doblando los extremos de la capa de recubrimiento. Se aplican las partes laterales y el cinturón de acero se transporta por encima de la carcasa. En ese momento se produce el abombamiento, es decir dar la forma redondeada a la carcasa.

La presión del aire es quien abomba a cada una de las capas hasta llegar al alma interior del cinturón. Posteriormente se adicionan las capas de recubrimiento y el perímetro correspondiente de rodadura cortado, según la longitud. El resultado es el neumático en bruto, llamado “neumático verde” (green tyre) , todavía no tiene dibujo, no es elástica ni resistente.



Ilustración 11 Neumático verde

VULCANIZACIÓN

Es la última etapa, en donde el neumático obtiene su aspecto definitivo. Es decir se le añade el dibujo.

Dependiendo del modelo del neumático, se designa la temperatura a unos 150 o 170°C y a una alta presión. Así es como se desarrolla este proceso químico de transformación, en el que las cadenas de moléculas de caucho son reticuladas.

El neumático en bruto es prensado en los moldes, aplicando una presión de vapor o gas inerte (nitrógeno) de 12 hasta 24 atmósferas, para poder grabar el dibujo del neumático.



Ilustración 12 Tipo de molde separado en ocho partes.

El tiempo de calentamiento que requiere un neumático de automóvil es de 10 a 12 minutos, en función del tipo de neumático y del volumen de goma que se tenga.

Por ejemplo, en el caso de los neumáticos demasiados anchos se pueden necesitar varias horas. De todas formas el tiempo de calentamiento determina las futuras propiedades del neumático. En cuanto más tiempo esté el neumático en el molde, con más fuerza será reticulado y la goma se endurecerá más. Es muy importante que el tiempo sea muy preciso.

Después de este proceso el neumático puede ser montado en la llanta y ser utilizado.

CONTROL DE CALIDAD

Por lo complicado del proceso de fabricación y por las consecuencias notorias que tienen las oscilaciones mínimas o la elección de materiales, es indispensable la comprobación de cada neumático. Con el control visual son revisados con mucha sensibilidad cada uno de los neumáticos para detectar posibles defectos en la superficie, ya que los desperfectos de la subestructura no se pueden detectar en el análisis radiográfico. Todos los factores son englobados en la «uniformidad del neumático», que indica la regularidad con la que se puede fabricar una serie.

En algunas de las etapas de control, como las dinámicas y estáticas, todos los neumáticos son sometidos a un control de descentramiento de altura y lateral, de posibles desequilibrios, de oscilaciones de fuerzas radiales, laterales, y tangenciales, así como defectos de ángulos y de formas.

Un procedimiento holográfico especial con láser permite penetrar en el interior de la estructura. En los bancos de prueba de alta velocidad, se controla la resistencia que ofrece la estructura, a pesar de que el neumático es destruido completamente durante las pruebas, permite obtener conclusiones para el resto de la producción.



Ilustración 13 Prueba de uniformidad

Solamente de esa forma, por medio de mediciones selectivas, se pueden detectar y subsanar malformaciones, oscilaciones de masa y repercusiones sobre la seguridad vial. En los neumáticos no se permite error alguno.

1.5. CARACTERÍSTICAS DE LAS LLANTAS

1.5.1. Funciones de los neumáticos.

Los neumáticos, como función principal es establecer el contacto directo de las ruedas del vehículo con la carretera, pero además debe cumplir las siguientes 6 funciones:

- **Guiar**

El neumático conduce el vehículo con precisión, independientemente del estado del suelo y las condiciones climáticas. La estabilidad de trayectoria del vehículo depende del comportamiento del neumático.

El neumático tiene que soportar esfuerzos transversales sin modificar la trayectoria. Cada vehículo tiene, en general, una presión particular de inflado por eje. El respeto de las diferencias de presión entre la parte delantera y la trasera garantiza una estabilidad de trayectoria ideal.

El neumático debe conseguir en todo momento la mejor adherencia, que depende además de aquél, del tipo de firme y del estado en que se halle. La mejor adherencia se consigue con el suelo seco y en buen estado; si el mismo está húmedo o mojado, la adherencia del neumático liso es prácticamente nula, pues el agua actúa como lubricante del caucho. El dibujo de la banda de rodadura es el que permite, romper la película de agua que se forma obteniéndose la debida adherencia, previniendo el hidroplaneo.

Dado que en última instancia la única parte del neumático que está en contacto con el suelo es una porción de la banda de rodadura, veamos de qué manera se verifica el mecanismo de fricción caucho-suelo.

La fuerza de rozamiento se descompone en dos: una llamada de histéresis y la otra de adhesión.

Cuando a un cuerpo se le somete a un esfuerzo (un cuerpo elástico naturalmente) sufre una deformación. Una vez desaparecida la causa (la fuerza) debe recuperar su forma primitiva, pero esto no sucede así cuando hay histéresis, persistiendo una pequeña deformación. Este fenómeno está muy presente en el caucho, de manera que absorbe parte de la energía provocada por el choque de la superficie de apoyo con uno de los promontorios del suelo, con lo que presenta suma importancia en los suelos rugosos.

La adhesión es un fenómeno de tensión entre dos superficies en contacto, donde las moléculas establecen relación entre sí tipo eléctrico, de atracción.

- **Soportar**

El neumático soporta el vehículo cuando está parado, pero también en movimiento, y tiene que resistir a las transferencias de cargas en la aceleración y el frenado. Un neumático de coche soporta más de 50 veces su peso.

- **Amortiguar**

El neumático se bebe el obstáculo y amortigua las irregularidades de la carretera, garantizando la comodidad del conductor y de los pasajeros así como la longevidad del vehículo.

La característica principal del neumático es su gran flexibilidad, sobre todo en dirección vertical. La gran elasticidad del aire contenido en el neumático le permite encajar correctamente las deformaciones provocadas por los obstáculos e irregularidades del suelo. Una presión correcta nos proporciona un buen nivel de confort y una buena capacidad de conducción.

Los neumáticos presentan tres ejes de flexibilidad: vertical, transversal y longitudinal. Mediante un perfil más bajo (disminución de altura con relación a la anchura del neumático) se consigue la flexibilidad vertical del mismo, también con inflados inferiores.

Mediante un perfil más bajo (disminución de altura con relación a la anchura del neumático) se consigue la flexibilidad vertical del mismo, también con inflados inferiores.

Una rueda apoyada en el suelo cargada, cuando se somete a un esfuerzo lateral aplicado en su centro y perpendicular al plano de la rueda, sufre un desplazamiento en el sentido de la fuerza, esto se llama flexibilidad transversal, cuyas consecuencias más importantes son:

Sometido a un esfuerzo brusco el dotado de mayor elasticidad será el que menor tendencia a perder adherencia mostrará; mejora la suspensión transversal, es decir, la facultad de absorber energía sin que la «pisada» del neumático cambie de lugar. Es el fenómeno denominado deriva que estudiaremos más adelante.

Cuando el eje se desplaza en el sentido de avance de la rueda, el neumático se deforma en dicho sentido lo que nos dará la flexibilidad longitudinal. Este fenómeno se presenta simplemente al acelerar o frenar, momento en el que aplicamos un par de fuerzas a la rueda, el neumático se deformará amortiguando en cierta manera el esfuerzo y evitando un desplazamiento prematuro.

Si el neumático es de perfil bajo, se limita el retemblo lateral, el peso queda mejor repartido y el comportamiento es mucho mejor. Se distinguen porque tras la medida del grosor de la cubierta, existe la relación entre aquél y el diámetro nominal. Ejemplo: 155/70 SR 13 indica que el ancho representa el 70 por 100 del diámetro nominal.

- **Rodar**

El neumático rueda de manera más regular, más segura, con menos resistencia al rodamiento para obtener un mayor placer en la conducción y un consumo controlado.

- **Transmitir (tracción)**

El neumático transmite los esfuerzos: la potencia útil del motor, los esfuerzos de frenada. La calidad de unos pocos centímetros cuadrados en contacto con el suelo condiciona el nivel de transmisión de esfuerzos.

- **Durar**

El neumático dura, es decir, conserva las prestaciones al mejor nivel durante millones de vueltas de rueda. El desgaste del neumático depende de sus condiciones de uso (carga, velocidad, estado de la superficie del suelo, estado del vehículo, estilo de conducción...) pero, sobre todo, de la calidad del contacto con el suelo.

1.5.2. El caucho, material base para a fabricación de los neumáticos.

Los neumáticos están compuestos de un material llamado caucho el cual es una sustancia que se extrae de árboles de zonas tropicales. Este material se extrae al sangrar el árbol, luego se recoge este líquido lechoso llamado látex que en parte está compuesto por partículas de goma pura.

Desecado este material es mezclado con proporciones variables de azufre (vulcanización) y otros productos obteniendo caucho vulcanizado en diversos grados de dureza, desde el blando usado para las cámaras hasta la ebonita que es el compuesto rígido utilizado para aisladores.

De esta forma el caucho obtenido es resistente al agua y a los ácidos, pero lo atacan el aceite mineral y la gasolina; y bajo la acción de la luz y en el transcurso del tiempo se oxida, haciéndose quebradizo.

Existe otro tipo de material para construir neumáticos el cual es el caucho artificial que se obtiene en su mayoría del petróleo bruto. Hasta ahora el más empleado es

el SBR o “Bruna S” a base de estireno y butadieno. El SBR es el que más se ha vendido empleándose para la banda de rodadura de los neumáticos, con un 30 % más de duración que el caucho natural. La mitad aproximadamente del consumo actual de caucho procede de variedades sintéticas.

1.6. COMPOSICIÓN Y TIPOS DE NEUMÁTICOS

1.6.1. Composición de un neumático.

El elemento más importante de la composición y de la estructura mecánica de la llanta es la carcasa, la cual se forma por un gran número de capas de fibras o cuerdas flexibles que poseen alto módulo de elasticidad, estas están embebidas en una matriz de hule o caucho de bajo módulo de elasticidad.

Es propio de los tipos de neumáticos el diseño y la estructura de cada uno de sus componentes, los que los hace diferenciar el uno del otro; sin embargo, estas estructuras se basan en la misma composición de elementos, de los cuáles tenemos los siguientes:

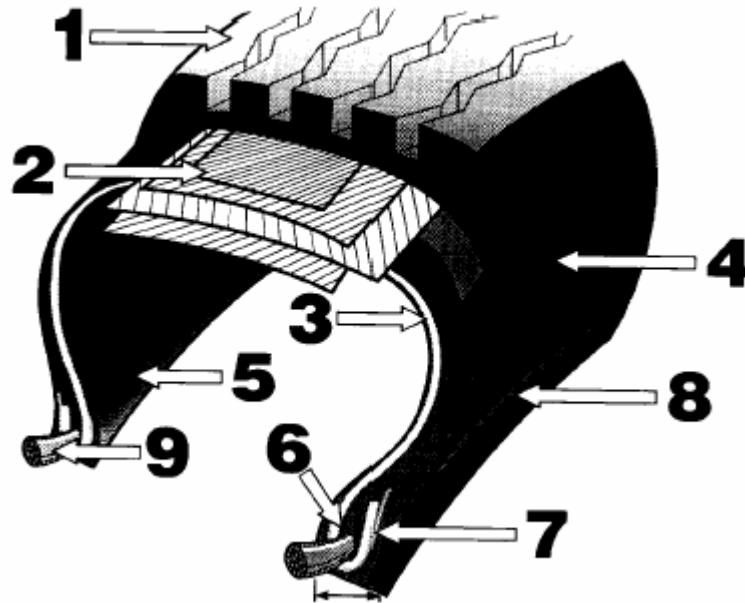


Ilustración 14 Componentes de un Neumático (Radial)

Parte No.	Nombre	Descripción
1	Banda de rodamiento	Esta parte, generalmente de hule, proporciona la interfase entre la estructura de la llanta y el camino. Su propósito principal es proporcionar tracción y frenado.
2	Cinturón (Estabilizador)	Las capas del cinturón (estabilizador), especialmente de acero, proporcionan resistencia a al neumático, estabiliza la banda de rodamiento y protege a ésta de picaduras.
3	Capa radial	La capa radial, junto con los cinturones, contienen la presión de aire. Dicha capa transmite todas las fuerzas originadas por la carga, el frenado, el cambio de dirección entre la rueda y la banda de rodamiento.
4	Flanco o Costado (Pared)	El hule del costado (pared) está especialmente compuesto para resistir la flexión y la intemperie proporcionando al mismo tiempo protección a la capa radial.
5	Sellante	Una o dos capas de hule especial (en neumáticos sin cámara) preparado para resistir la difusión del aire. El sellante en estos neumáticos reemplaza la función de las cámaras.
6	Relleno	Piezas también de hule con características seleccionadas, se usan para llenar el área de la ceja (talón) y la parte inferior del costado (pared) para proporcionar una transición suave del área rígida de la ceja, al área flexible del costado.
7	Refuerzo de la ceja	Es otra capa colocada sobre el exterior del amarre

	(talón)	de la capa radial, en el área de la ceja, que refuerza y estabiliza la zona de transición de la ceja al costado.
8	Ribete	Elemento usado como referencia para el asentamiento adecuado del área de la ceja sobre el Rin.
9	Talón	Es un cuerpo de alambres de acero de alta resistencia utilizado para formar una unidad de gran robustez. El talón es el ancla de cimentación de la carcasa, que mantiene el diámetro requerido de la llanta en el Rin.

Tabla 1 Descripción de los componentes de una llanta radial

1.7. TIPOS DE NEUMÁTICOS

Los tipos de neumático van de acuerdo al diseño de las capas internas que refuerzan el caucho del cuál están compuestas, dándole a cada tipo, sus ventajas y desventajas que van relacionadas con la duración, la capacidad de tracción, resistencias a golpes y otras variables que dependen de la utilidad, la operación y el mantenimiento que se les de a éstas. A continuación se describen los dos tipos de neumáticos: ***Convencionales y Radiales.***

1.7.1. 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 formando ángulos de corona de entre 35 a 40° respecto a la circunferencia, alternando las direcciones de recorrido de las fibras en cada capa para formar dicho ángulo entre fibra.

Debido a estas características constructivas, un mayor ángulo de corona proporciona una mayor flexibilidad en el costado de la llanta pero poca estabilidad direccional, lo que resulta opuesto para ángulos menores.



Ilustración 15 Composición de las lonas interiores de la llanta convencional

Este tipo de estructura brinda al neumático dureza y estabilidad que le permiten soportar la carga del vehículo.

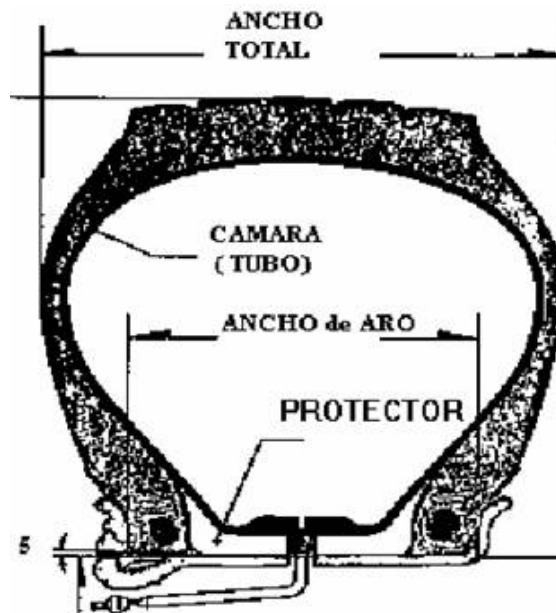


Ilustración 16 Corte transversal de una llanta convencional

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.

Las telas, dos o cuatros, consisten en cuerdas de rayón, poliéster o fibra de vidrio incluidas en una capa de caucho. Estas cuerdas son inextensibles, o sea que no alargan ni acortan su longitud cuando la zona del neumático entra en contacto con el pavimento, flexionado por la carga del vehículo.

Este tipo de neumático es propenso a las altas temperaturas y al rápido desgaste.

1.7.2. Neumáticos Radiales.

En la construcción radial, las cuerdas de las capas del cuerpo van de ceja a ceja formando semiovalos. 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. Sus cuerdas corren en sentido diagonal y son ellas las que soportan la carga y mantiene la estabilidad del neumático.

Las capas están formadas por cordones de acero o nylon, van de talón, en ángulo recto respecto de la banda de rodamiento. Sus ventajas son que necesitan menos material para soportar la misma carga, hay menos fricción interna, y las capas son más flexibles lateralmente, siendo la resultante menor resistencia a la rodadura, mayor duración de la banda de rodamiento y mejor adherencia.

Sus desventajas son mayor dureza de marcha y mayor esfuerzo de dirección.



Ilustración 17 Composición de las lonas interiores de la llanta Radial

Los cinturones ayudan a estabilizar la banda de rodamiento, ayudan a la rigidez lateral manteniendo la superficie de rodamiento sobre el camino a pesar de las deflexiones laterales que sufra la llanta. Sin estos cinturones, al inflarse las llantas desarrollarían una serie de corvaduras o hebillas, debido a los espacios existentes entre los cordones.

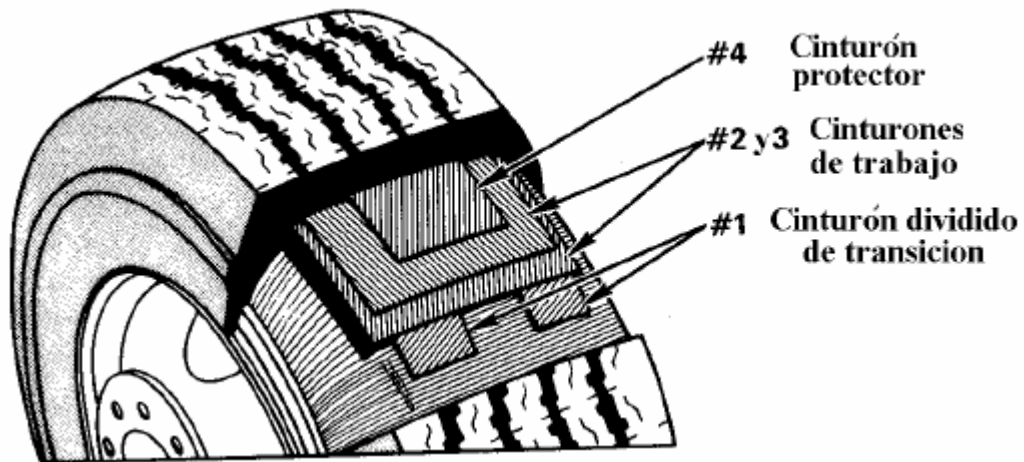


Ilustración 18 Cinturones de llantas radiales

Debido al tipo de construcción, las llantas diagonales son más rígidas que las radiales, impidiendo la deformación del neumático pero provocando que gran parte de la carga se aplique en las cejas exteriores, con una consecuente distorsión en el área de contacto. Las llantas radiales presentan mayor uniformidad en los esfuerzos debidos a la presión de inflado, lo que reduce la fatiga de la carcasa.

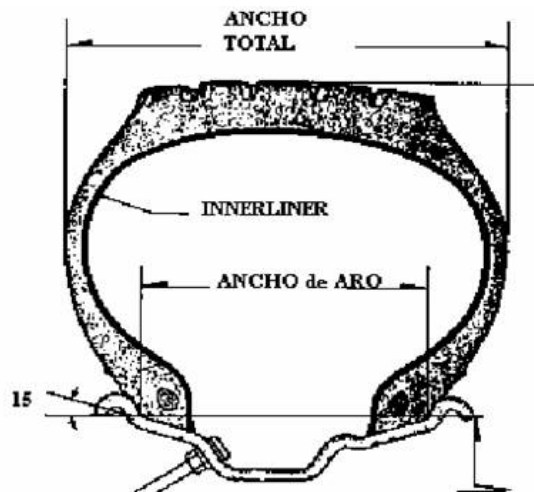


Ilustración 19 Corte transversal llanta Radial (sellomatic)

Además, estas llantas proporcionan mayor economía en el combustible por reducir la resistencia a la rodadura, la cual representa aproximadamente el 20% del consumo de combustible del vehículo.

1.8. BANDAS DE RODAMIENTOS

Existen tres tipos generales de bandas de rodamiento, diseñadas de acuerdo a las necesidades y particularidades de los vehículos, y éstas poseen sus variaciones que van de acuerdo a los distintos fabricantes.

1.8.1. Banda de rodamiento tipo tracción

Este tipo de banda de rodamiento está diseñada para brindar mayor tracción al vehículo. El diseño es de tal forma que posee canales tanto transversales como paralelos a la banda de rodamiento que hacen que la llanta se adhiera más al terreno que recorre. Al igual que en camino seco, posee un alto desempeño en camino mojado, ya que la forma de los canales permite que el agua sea evacuada con rapidez y la llanta corra literalmente, por piso seco.



Ilustración 20 Llanta con banda de rodamiento tipo tracción

1.8.2. Banda de rodamiento tipo dirección

Este tipo de banda posee los canales de forma direccional (paralelos a la banda de rodamiento) brindándole a la llanta mayor habilidad para el direccionamiento del vehículo. Este tipo de llanta se usa en los vehículos que poseen tracción trasera, permitiendo colocar llantas con este tipo de casco.



Ilustración 21 Llanta con banda de rodamiento tipo direccional

1.8.3. Banda de rodamiento tipo mixta

Este tipo de banda de rodamiento está diseñado para brindar las dos habilidades, tracción y dirección, sólo que ésta no las realiza con tal desempeño como lo hace una direccional o una de tracción solamente.

Este tipo de llanta es usada en carros convencionales, de pasajeros, donde la preocupación por adquirir más tracción o más dirección es indiferente.



Ilustración 22 Llanta con banda de rodamiento mixta

1.9. VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN LOS NEUMÁTICOS

Las ventajas y desventajas que se presentan en las llantas convencionales y radiales se derivan de la forma en como están construidas y constituidas.

Característica	Tipo de neumático	
	Convencional	Radial
Adherencia	Brindan una adherencia aceptable debido a la rigidez de su composición	Su adherencia es mayor ya que su estructura es un poco más flexible
Resistencia a impactos laterales	Resistente a impactos laterales, por su estructura de varias capas que proporciona resistencia a impactos.	Presenta debilidad a impactos laterales, ya que su estructura interna de forma radial es menos resistente.
Filtraciones (permeabilidad)	Resiste con mayor tiempo	Resiste poco tiempo ya que

del agua)	una filtración de agua debido a material de sus capas internas (lona)	el agua corroe con mayor rapidez las capas de alambre que las componen
Resistencia temperatura por fricción	La lona no soporta altas temperaturas	El alambre soporta altas temperaturas que en condiciones extremas reduce su resistencia debilitando de cierta forma la carcasa.
Tipo de cámara o sellamiento	Compuestas por un neumático de aire interno que suele ser cambiado para extender su vida útil. Aunque se está empleando el <i>Sell-O-Matic</i> para este tipo de neumáticos.	Tipo <i>Sell-O-Matic</i> haciendo que el espesor del neumático sea mayor, por tanto su vida útil es mayor que una convencional.
Capacidad de carga	Baja capacidad de carga, diseñadas específicamente para autos de peso moderado.	Alta capacidad de carga, útiles para vehículos de carga y de trabajo pesado.
Reparaciones	Los métodos de reparación son muy conocidos y convencionales resultando en muchas ocasiones muy efectivos.	Los métodos de reparación, algunos requieren técnicas avanzadas y de ingeniería, pero si se aplican de manera efectiva aumentan aún más la vida útil de la llanta.
Técnicas de aumento de la vida útil	Se aplican métodos eficientes como el <i>regrabado</i> del neumático, aumentando la profundidad de la huella después del desgaste normal de la banda de rodamiento. El <i>reencauche</i> que permite hacer el cambio de banda de rodamiento, permitiéndose realizar en algunos modelos de neumáticos hasta por 5 veces.	

Tabla 2 Ventajas y desventajas entre los neumáticos tipo convencional y radial

1.10. ESPECIFICACIONES DE LOS NEUMÁTICOS

1.10.1. Nomenclatura de los neumáticos.

Todos los neumáticos fabricados, poseen unas características específicas que van de acuerdo a las distintas aplicaciones. Esto hace necesario que se describan sobre ellas todos los parámetros posibles para identificar las funcionalidades que pueden brindar.

Estos códigos proporcionan información del tamaño y dimensión del neumático como es el ancho de sección, relación de aspecto, tipo de construcción, diámetro

del Rin, presión máxima de inflado, avisos importantes de seguridad e información adicional.

El siguiente ejemplo muestra el costado de una llanta (Michelin) para automóvil:

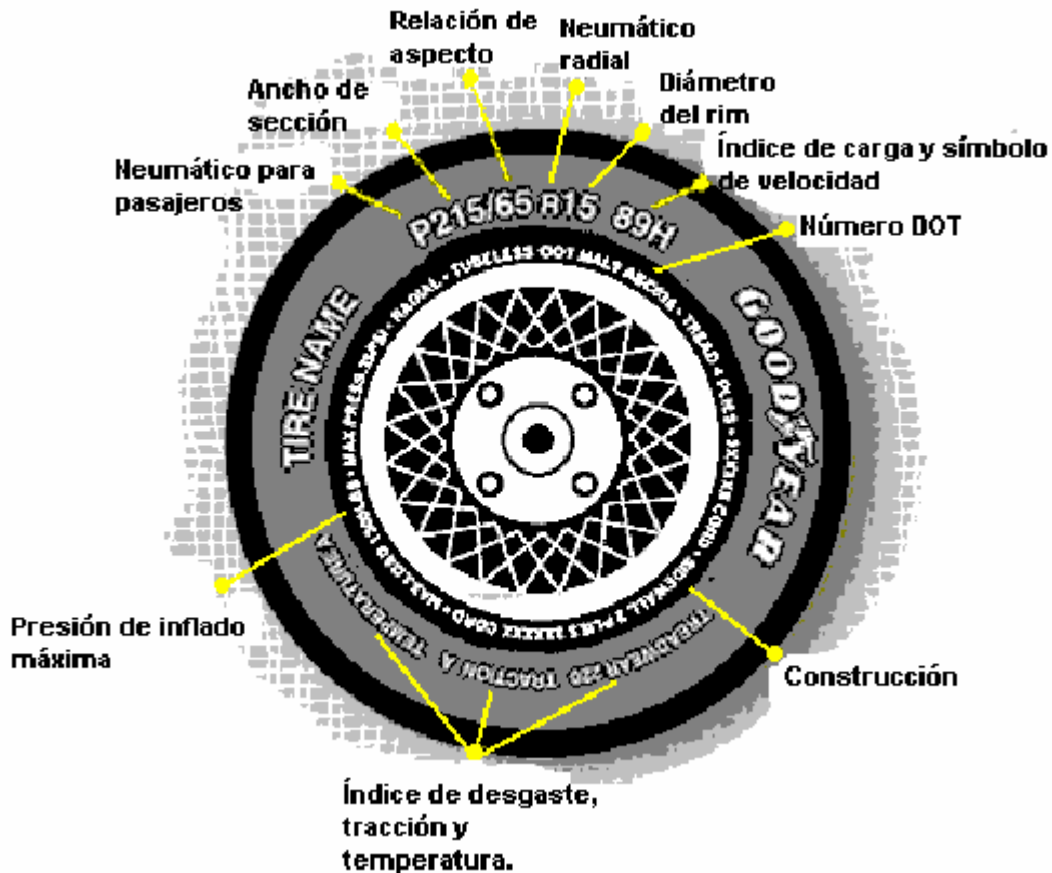


Ilustración 23 Marcaje de un neumático Goodyear P215/65R15

Símbolo (Nomenclatura)	Descripción
P	Indica el uso para automóviles de pasajeros.
215	Representa la anchura máxima entre costados de la llanta en milímetros.
65	Es la relación entre la altura y la anchura de la llanta y se le llama relación de aspecto.
R	Significa la construcción radial del neumático.
15	Es el diámetro del Rim en pulgadas.
89	Índice de carga
H	Símbolo de velocidad.

Tabla 3 Descripción de los símbolos del marcaje de un neumático

Algunos neumáticos especifican el servicio o bien muestran el índice de carga y la clasificación de velocidad.

El índice de carga asigna números desde 0 hasta 279 que corresponden a la capacidad de carga del neumático a su máxima presión de inflado.

Índices	Capacidad de carga (kg)	Índices	Capacidad de carga (kg)	Índices	Capacidad de carga (kg)	Índices	Capacidad de carga (kg)
100	800	123	1550	146	3000	169	5800
101	825	124	1600	147	3075	170	6000
102	850	125	1650	148	3150	171	6150
103	875	126	1700	149	3250	172	6300
104	900	127	1750	150	3350	173	6500
105	925	128	1800	151	3450	174	6700
106	950	129	1850	152	3550	175	6900
107	975	130	1900	153	3650	176	7100
108	1000	131	1950	154	3750	177	7300
109	1030	132	2000	155	3875	178	7500
110	1060	133	2060	156	4000	179	7750
111	1090	134	2120	157	4125	180	8000
112	1120	135	2180	158	4250	181	8250
113	1150	136	2240	159	4375	182	8500
114	1180	137	2300	160	4500	183	8750
115	1215	138	2360	161	4625	184	9000
116	1250	139	2430	162	4750	185	9250
117	1285	140	2500	163	4875	186	9500
118	1320	141	2575	164	5000	187	9750
119	1360	142	2650	165	5150	188	10000
120	1400	143	2725	166	5300	189	10300
121	1450	144	2800	167	5450	190	10600
122	1500	145	2900	168	5600	191	10900

Tabla 4 Índices de carga para las llantas de Michelin

En la nomenclatura de los neumáticos existe una “letra” que determina la aplicación efectiva del neumático, la cuál generalmente se clasifican en las siguientes categorías:

R	Neumático radial.
B	Neumático con cinturón textil.
D	Neumático convencional.
P	Neumático para autos de pasajeros.
T	Neumático para camiones (truck).
LT	Neumático para camiones ligeros (camionetas).

Tabla 5 Descripción del índice del tipo de aplicación del neumático

El **símbolo de velocidad** determina la máxima velocidad que el neumático puede alcanzar.

SIMBOLO DE VELOCIDAD		
El código de velocidad indica la velocidad que el neumático puede operar bajo las condiciones especificadas por el fabricante		
Simbolo	Velocidad	
Velocidad	MPH	Km./ h
F	50	80
G	55	90
J	62	100
K	68	110
L	75	120
M	80	130
N	87	140
P	93	150
Q	99	160
R	105	170
S	112	180
T	118	190
U	124	200
H	130	210
V	150	240
Z	150	240 ó más

Tabla 6 Símbolos de velocidad

Los neumáticos también muestran la máxima presión de inflado en psi (libras por pulgada cuadrada). El número DOT Departamento de Transporte de Estados Unidos (Department of Transport), contraparte americana de la NOM (Norma Oficial Mexicana), muestra los factores de desempeño del neumático en cuanto al índice de desgaste, tracción y resistencia a la temperatura.

Índice de desgaste

El índice de desgaste del neumático es una clasificación comparativa con base en el valor de desgaste del neumático probada bajo condiciones controladas sobre una vía especificada de prueba del gobierno en Estados Unidos. Así un neumático con grado 200 podrá durar dos veces más en el camino o vía de prueba del gobierno bajo las condiciones de la prueba especificada que una de grado 100.

La tracción

La clasificación de los grados de tracción va de la mayor a la menor y son A, B y C. Estas representan la capacidad de las llantas para frenar sobre pavimento mojado, medida bajo condiciones controladas sobre superficies de prueba de asfalto y concreto, especificadas por el gobierno.

La temperatura

La clasificación de los grados de temperatura va de la mayor a la menor y son A, B y C.

Estas representan la resistencia de los neumáticos a la generación de calor por fricción al ser probadas en el laboratorio bajo condiciones controladas.

1.11. DIMENSIONES DE LOS NEUMÁTICOS

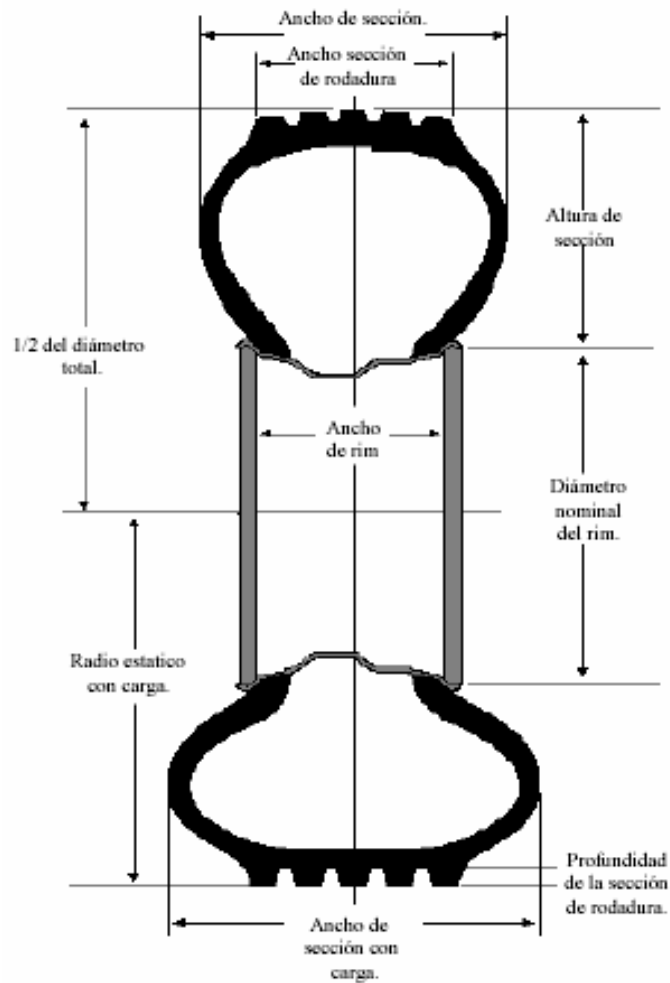


Ilustración 24 Dimensiones importantes de los neumáticos

Diámetro total

La distancia medida desde un extremo de la banda rodante hasta el opuesto estando el neumático sin carga.

Ancho total

Medida de la sección transversal del neumático estando éste sin carga. Esta medida incluye los costados de la llanta.

Ancho de sección

Medida de la sección transversal excluyendo rebordes del neumático.

Ancho de la sección de rodadura

Distancia que existe entre los extremos de la banda rodante estando el neumático sin carga.

Profundidad de la sección de rodadura

La mayor profundidad de la ranura existente entre la banda de rodamiento y su base.

Altura de sección

Distancia entre el asiento de ceja hasta la banda de rodamiento, estando el neumático sin carga.

Ancho de Rin

Distancia transversal entre los costados del asiento de la ceja del Rin.

Diámetro nominal de Rin

Diámetro del Rin medido desde el asiento de ceja hasta el extremo opuesto del mismo.

Radio estático con carga

Distancia entre el centro del eje del vehículo y la superficie de rodamiento estando el neumático soportando su máxima capacidad de carga.

Ancho de sección con carga

Es el ancho de sección máximo que el neumático obtiene al estar soportando su máxima capacidad de carga.

Espacio mínimo entre duales

La distancia mínima aceptada entre los centros de las ruedas en un arreglo dual “yoyos”.

Revoluciones por milla

El número de revoluciones que da el neumático en una milla (1 milla= 1609km) a una velocidad de 55mph (88km/hr) indicada en la pared lateral del neumático.

2. MODOS DE FALLA Y DESGASTES EN LLANTAS MÁS COMÚNES.

2.1. Problemas Mecánicos.

2.1.1. Convergencia

Significa que los bordes delanteros de las llantas delanteras o traseras están más cercanos entre sí que los bordes traseros. La convergencia contrarresta la tendencia de las llantas delanteras a divergir cuando un automóvil alcanza velocidades altas.

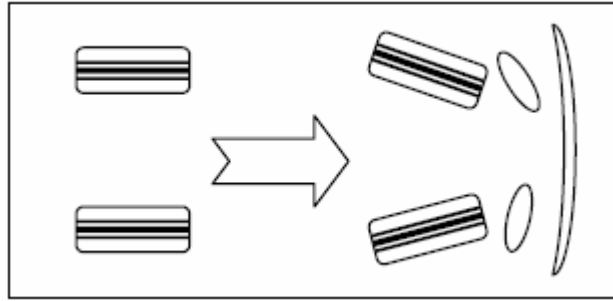


Ilustración 25 Convergencia

Todos los vehículos de transporte vienen con una convergencia positiva para que al estar en movimiento, las ruedas tiendan a quedar paralelas. Esto ocurre porque el eje delantero, al ser empujado, permite una abertura de las ruedas, dentro de los límites de operación de los componentes de la dirección. Por lo tanto si las terminales estuvieren flojas más de lo normal tenderán a abrirse más, generando convergencia negativa.

Si el desgaste del neumático aparece a partir del hombro externo, indicará convergencia positiva en exceso.

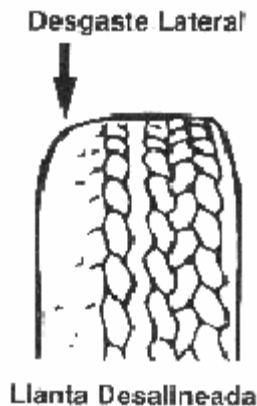


Ilustración 26 Desgaste producido por la convergencia (llanta derecha)

2.1.2. Divergencia.

Significa que los bordes traseros de las llantas, ya sean del eje trasero o delantero, estarán más cerca entre sí que los bordes delanteros. La divergencia se usa comúnmente en autos de tracción delantera para contrarrestar la tendencia a converger mientras se conduce a velocidades altas. Alguna divergencia es necesaria para que los automóviles viren.

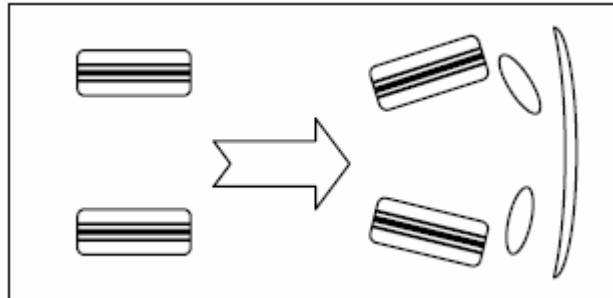


Ilustración 27 Divergencia

El ángulo de divergencia en curvas, resultante de la inclinación de los brazos auxiliares del sistema de dirección, permite que la rueda interna en la curva, vire más que la externa, si las dos entrasen a la curva en paralelo, la rueda interna sufriría un arrastre lateral, de afuera hacia adentro.

Esto es debido a que la externa comanda la curva, dada la transferencia de peso sobre la misma y la interna no tendría otra salida que arrastrarse para acompañarla en la curva.

Si se tienen averías en los brazos auxiliares, estarán afectadas la convergencia y la divergencia en curvas, ambas produciendo el mismo síntoma de desgaste en los neumáticos (desgaste escamado a partir de los hombros internos, en dirección al centro de la banda de rodamiento). Esto ocurrirá porque las ruedas se abrirán más de lo necesario.

2.1.3. Camber.

Camber es el ángulo que forma por una parte una línea imaginaria de la rueda con una línea vertical y perpendicular al piso. El camber puede ser hacia dentro (camber negativo) o hacia fuera (camber positivo).

Todos los vehículos de transporte vienen con camber positivo, pues cuando el vehículo recibe su carga y es puesto en movimiento, la tendencia de las ruedas es de abrirse en la parte inferior. El ángulo de camber dado en el vehículo es calculado para que las ruedas queden lo más próximo de la vertical posible cuando ellas están en movimiento (sin quedar negativas), y es dado en la fundición del mango del eje. Por eso no es regulable.

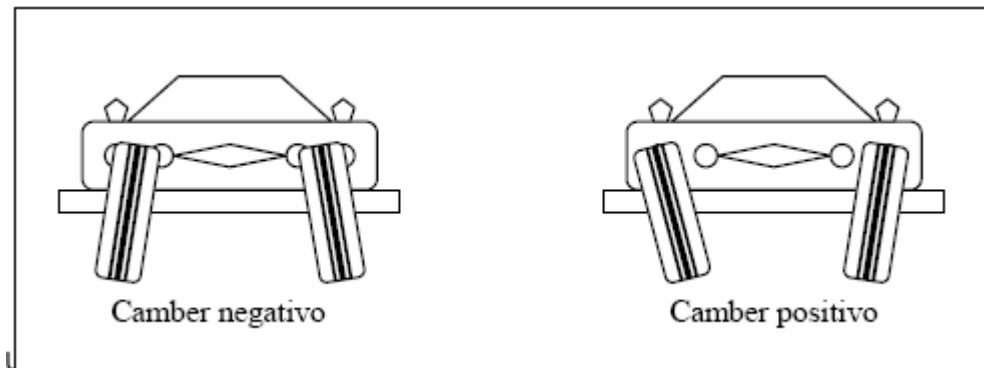


Ilustración 28 Problema del Camber

Cuando el eje se desvía por sobrecarga, el camber queda negativo y el desgaste de los neumáticos se producirá a partir de los hombros internos, esto es porque las ruedas habrán quedado muy abiertas en la parte inferior.

El desgaste por camber incorrecto se acentúa en los hombros del neumático, no solo por la alteración de la distribución de peso, si no principalmente por generar dos diámetros diferentes dirigidos por el radio inferior, girando en torno al mismo eje. El diámetro menor tendrá que arrastrarse un poco más en cada vuelta para mantenerse acompañado con el mayor. Este desgaste, aunque es a partir de los hombros como en el caso de la convergencia, se diferencia por ser de tipo liso (arrastre direccional y no lateral).

2.2. Problemas de presión.

2.2.1. Baja presión.

Una gran cantidad de automovilistas circulan con los neumáticos por debajo de la presión correcta, lo que ocasiona inestabilidad durante la marcha, desgaste acelerado en los extremos de la banda de rodadura, aumento en el consumo de combustible y baja respuesta en situaciones de frenado. La baja presión de aire en los neumáticos genera un exceso de calor interno lo que ocasiona un decremento en la durabilidad de los materiales mismos. Por otro lado, el neumático tendrá un desgaste más pronunciado en los hombros, dado el contacto irregular de la banda de rodadura con el pavimento.

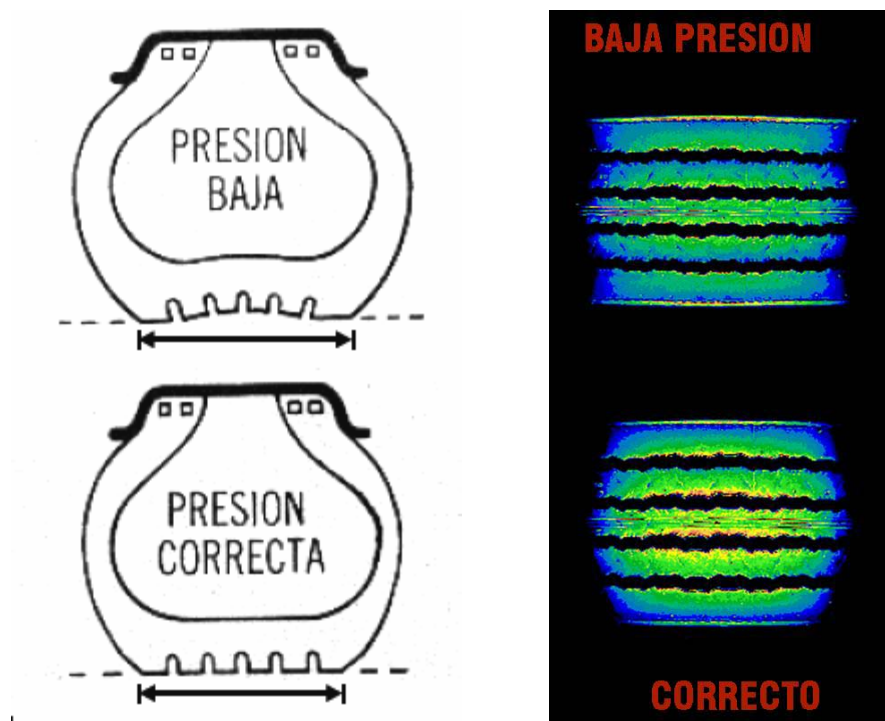


Ilustración 29 Efectos de presión del aire baja

Habrán también pérdidas de la renovabilidad pues la fatiga de la carcasa o casco será mayor, inclusive se puede llegar a la pérdida prematura de la carcasa. El

exceso de flexión en los costados debido a la baja presión lleva a la rotura circunferencial o agrietamiento en la carcasa.

Además la baja presión contribuye al incremento en el consumo de combustible ya que la banda rodante tiene mayor contacto con el pavimento lo que se traduce en una mayor resistencia al rodamiento, como se ilustra en las siguientes ilustraciones:

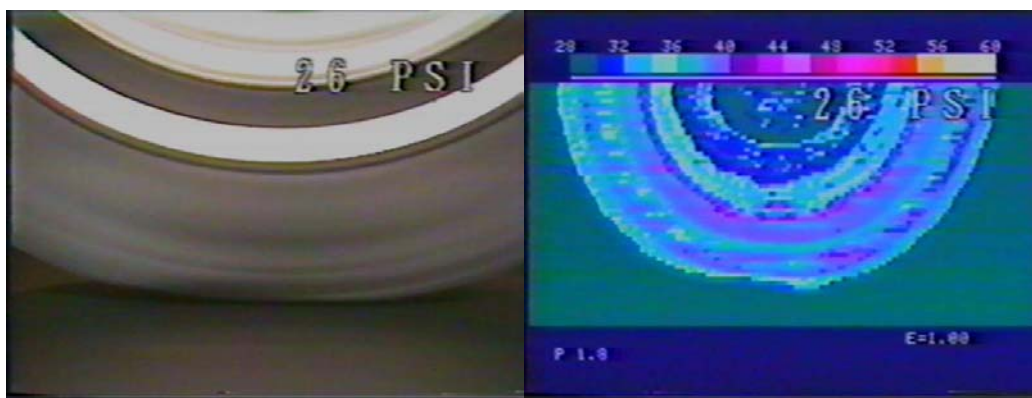


Ilustración 30 Llanta rodando a baja presión. Concentración de esfuerzos

En la anterior gráfica se observa una llanta con baja presión. Ésta debe correr con unos 30 psi de presión. La concentración de los esfuerzos se alcanza a ver en la región cerca del talón de la llanta y en los hombros cerca de la banda de rodamiento (zona con puntos blancos).

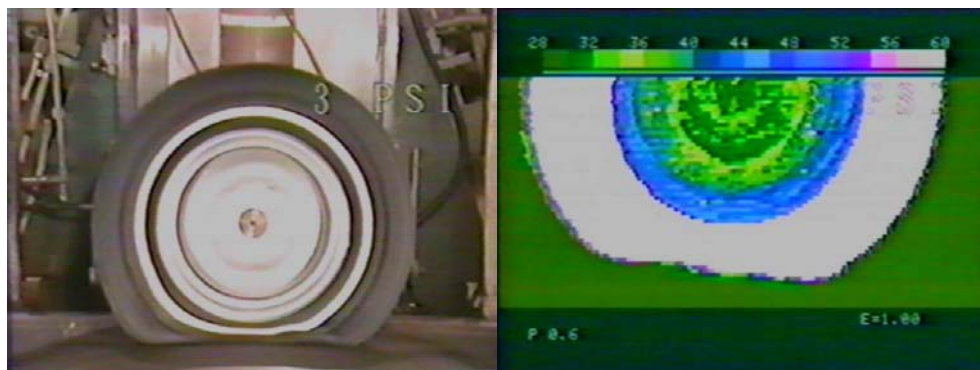


Ilustración 31 Llanta con menos presión de aire, casi pinchada en su totalidad

En la gráfica anterior, la llanta posee 23 psi menos de presión, estando así, casi pinchada en su totalidad. Se logra observar que en la gráfica que la concentración de esfuerzos aumentan en magnitud; todo el costado de la llanta sufre el sobre esfuerzo. Estos son quienes afectan la coraza de la llanta teniendo como consecuencias, el fallo de la llanta por fracturas múltiples de los costados o dado el caso, de la misma banda de rodamiento.

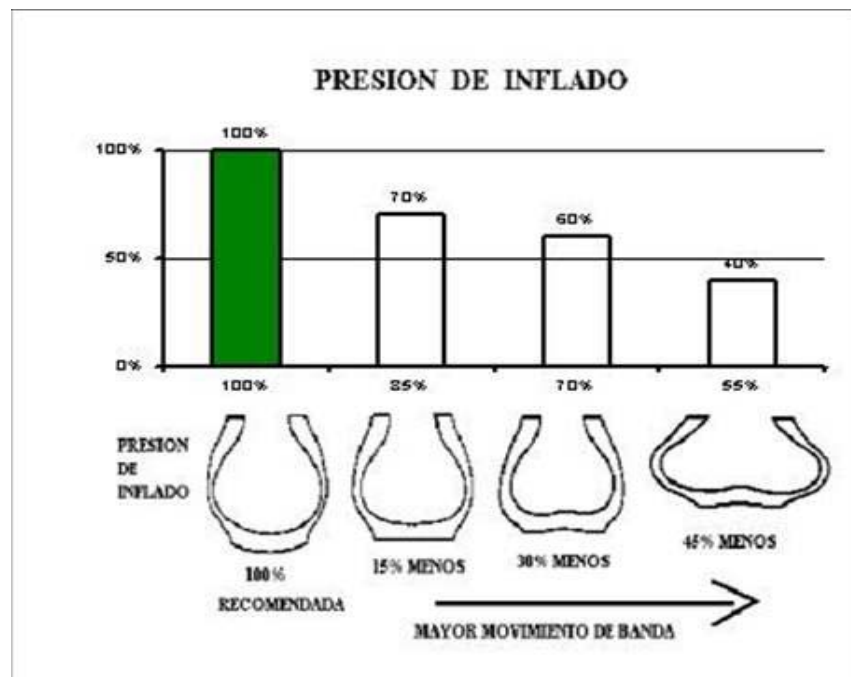


Ilustración 32 Estado de la llanta de acuerdo de la presión de inflado

2.2.2. Exceso de presión.

Por el contrario si se transita con sobre presión, la banda de rodamiento se desgasta en el centro, ya que es la única parte de su superficie que hace contacto con el suelo. Ello dificulta la maniobrabilidad y reduce la respuesta del sistema de dirección. Además repercute en la estabilidad general del automóvil.

Cuando la presión de aire del neumático es excedida, la durabilidad del mismo se reduce ya que propiciará que exista más aire caliente dentro del neumático. Se presenta un desgaste mayor en el centro del neumático, ya que el apoyo en este punto es mayor debido al arqueado que sufre la banda de rodadura.

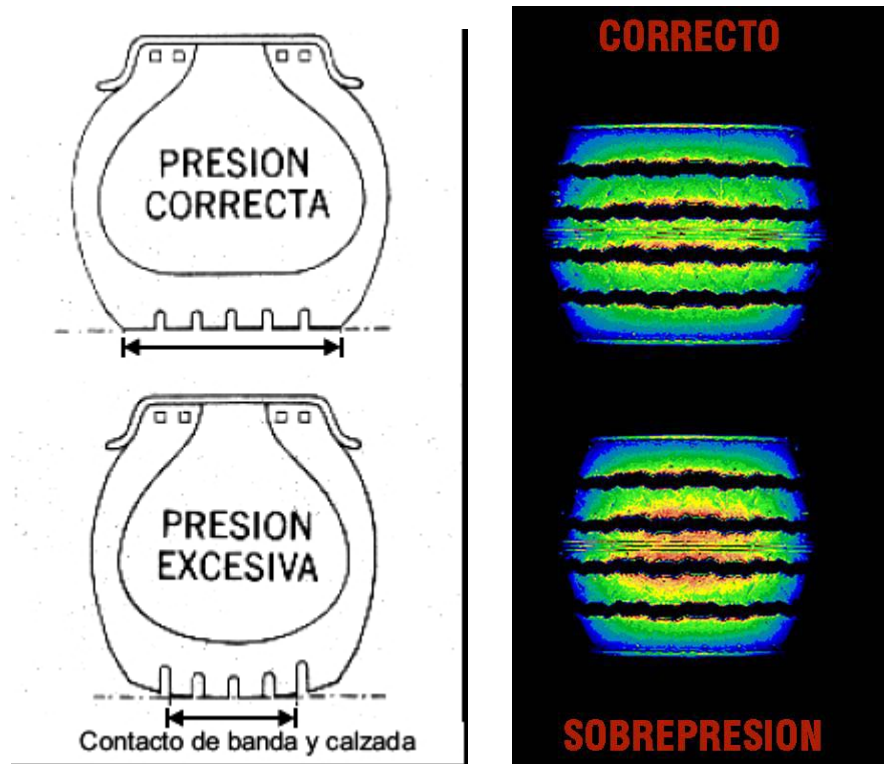


Ilustración 33 Efectos del exceso de presión de aire sobre un neumático

Por ello es importante siempre chequear el nivel de presión de los neumáticos. Hacerlo cuando estos estén fríos ya sea cuando el vehículo haya recorrido menos de 1 km., o bien 3 horas después de haber finalizado el recorrido. No olvide chequear también el neumático de repuesto (de refacción). Es recomendable que revise la presión al menos cada semana, cuando se vaya a realizar un viaje con carga y/o antes de hacer un viaje largo.

En general, las consecuencias o efectos que se tiene al correr con exceso a ausencia de presión de aire ideal se resumen en la siguiente tabla:

Exceso de presión	Presión baja
<ul style="list-style-type: none"> • Menor tracción en agua • Menor absorción de golpes • Conducción aspera • Vulnerable a cortes • Desgaste de componentes • Cambio en área de contacto • Menor capacidad de frenaje • Genera desgaste irregular 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta la temperatura • Desgaste rápido • Fatiga de cuerdas • Mayor consumo de combustible (10psi = 1% MPG) • Cambio en area de contacto • Menor tracción en virajes • Menor sensibilidad de ruta

Ilustración 34 Efectos de la Presión excesiva o baja en las llantas

2.3. Efectos de la sobrecarga.

Algunas veces se confunde la sobrecarga con la falta de presión. La sobrecarga se da cuando el peso incidente sobre el neumático excede lo especificado en su capacidad de carga, independientemente de la presión con la cual puede estar. Como no se debe calibrar al neumático con presión por arriba de la máxima indicada en la tabla para su capacidad de carga, normalmente los 2 problemas se suman. Por esto, la sobrecarga puede dar como resultado pérdidas aún más acentuadas que la baja presión aislada.

El primer efecto de la sobrecarga es la pérdida de kilometraje. En la gráfica se observa que una sobrecarga de apenas el 10%, provoca una perdida del 15% en la vida útil del neumático. Además, el consumo de combustible aumenta y se causan eventuales daños prematuros en la carcasa lo que provoca la perdida de renovabilidad.

Si usted excede el límite de carga del neumático, ocasionará un exceso de presión. Esto provocara un arqueo irregular del neumático, resultando también en

una pérdida de contacto, tracción y adherencia, con desgaste más pronunciado en el centro de la banda de rodadura. El neumático se vuelve, aún más susceptible a daños por impactos.

Por otro lado, una baja presión también ocasiona pérdida de vida útil del neumático. En la misma gráfica, se observa que una falta de 20% de presión (80% de la presión especificada) lleva a una pérdida del 25% (75% de servicio) en el rendimiento del neumático.

Con la baja presión el neumático se flexionará y no tendrá un acoplamiento correcto con el suelo, desgastándose más en los hombros y perdiendo el contacto necesario para la tracción y adherencia adecuadas.

La flexión pronunciada del neumático en movimiento aumenta su temperatura interna y el esfuerzo sobre la carcasa, causan además aumento de combustible y desgaste en la banda de rodadura.

2.4. FALLAS MÁS COMUNES EN LLANTAS NEUMÁTICAS.

Las fallas más comunes en las llantas las podemos categorizar de acuerdo en como y cuáles son los componentes que las presentan.

2.4.1. Fallas en la banda de rodadura.

La banda de rodadura en las llantas está propensa a fallar de diversas maneras, ya que es el componente de la llanta que se encuentra en contacto directo con la carretera y su cuidado va muy influenciado por el tipo de conducción del operador del vehículo.

2.4.1.1. Cortes múltiples

Es producido por el rodaje en suelos pedregosos, carreteras malas, caminos sin asfaltar, patios de fábrica, canteras. Otros factores que influyen son la humedad y el sobre-inflado.



Ilustración 35 Cortes múltiples

2.4.1.2. Separación en la cima

Estas separaciones localizadas o generalizadas se deben normalmente a un calentamiento excesivo del neumático.

El calentamiento es causa de:

- Rodaje a presión insuficiente (un bajo-inflado, incluso causal, puede manifestar deterioros que se manifestarán posteriormente por una separación).
- Diferencia de presiones en neumáticos gemelos.
- Poca o mala ventilación del neumático.
- Rodaje prolongado sobre un mal revestimiento.



Ilustración 36 Llantas afectadas por el calentamiento excesivo.

2.4.1.3. Deterioro de la goma

Se produce cuándo el neumático tiene contactos más o menos prolongados con sustancias tales como hidrocarburos, disolventes, ácidos en el momento ya sea del almacenaje o funcionamiento.



Ilustración 37 Neumático con la goma deteriorada

2.4.1.4. Deterioro de la goma en los hombros.

El desgarrado de la goma puede evolucionar y propagarse hasta las lonas de cima. Las causas principales son:

- Cortes

- Arrastres excesivos
- Paso sobre bordillos



Ilustración 38 Goma deteriorada en el hombro

2.4.2. Fallas en el flanco.

2.4.2.1. Deterioro por objeto entre neumáticos gemelados.

Una piedra o cualquier otro objeto alojado entre dos neumáticos gemelados, deteriora los flancos de los neumáticos si no se retira a tiempo. La carcasa puede sufrir degradaciones visibles.



Ilustración 39 Neumático deteriorado por objeto aprisionado.

2.4.2.2. Contacto entre neumáticos gemelados

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.



Ilustración 40 Desgaste circular por causa de un contacto importante.

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.

2.4.2.3. Bolsa de aire (reventada o no)

Las infiltraciones de aire de inflado entre la goma y la carcasa tienen como consecuencias protuberancias en la zona del flanco.



Ilustración 41 Neumático reventado por infiltración de aire de inflado

Ciertas perforaciones ocasionadas por el deterioro de la goma interior o mal montaje, permiten que el aire penetre hasta los cables de la carcasa, los cuáles lo canalizan hasta la extremidad de las vueltas de las lonas, como se muestra en la siguiente ilustración; el aire se acumula y da lugar a una separación que se traduce por bultos o roturas.



Ilustración 42 Canalización del aire interior filtrado

2.4.2.4. Rotura de carcasa



Ilustración 43 Rotura circular del flanco

Esta rotura, localizada o circular puede ser causada por:

- Un rodaje sin aire o presión insuficiente.
- Un sobrecarga.
- Agua aprisionada entre la cubierta y la cámara.
- Un pliegue provocado por una flexión exagerada del flanco.
- Un choque si señal netamente visible.

2.4.2.5. Roturas o grietas en la goma

La causa principal del agrietamiento en la goma de una llanta es por envejecimiento. En la vida de operación y almacenaje se exponen a la luz cargada de rayos UV, también al ambiente cargado de Ozono.

El almacenaje del neumático por largo tiempo, la exposición al ozono de la luz solar o de generadores eléctricos, degradan los compuestos del neumático hasta el punto de restarle capacidades fundamentales, necesarias para la seguridad durante su uso. También pueden deformarse en el costado por sobrecargas con baja presión de inflado.



Ilustración 44 Neumático con grietas

2.4.2.6. Corte en el flanco

Un corte en el flanco puede no tener consecuencias inmediatas, pero es posible que se agrave progresivamente hasta la rotura de la carcasa.



Ilustración 45 Neumático con corte en el flanco

2.4.2.7. Roces y desgaste circular

La causa de estos desgastes y deterioros son los frotamientos contra las aceras, bordillos, etc.



Ilustración 46 Neumático con flanco deteriorado, debido a los roces con aceras

2.4.2.8. Rotura sobre corte en la banda de rodamiento

Un corte en la banda de rodamiento, alcanzando localmente las lonas, altera su resistencia.

Materia extrañas (gravilla, agua, etc.) pueden penetrar en la herida y producir degradaciones progresivas en importantes en la cubierta.

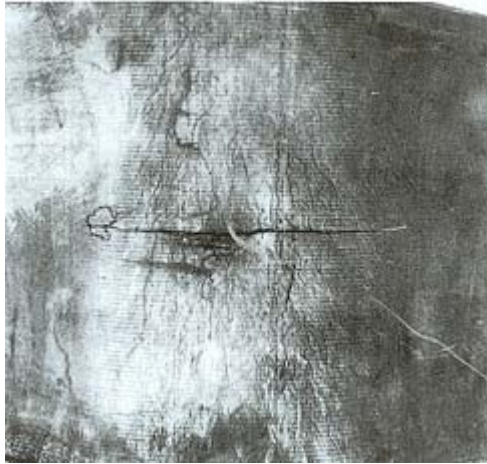


Ilustración 47 Corte en la banda de rodamiento visto desde el interior de la carcasa.

Esta rotura se puede originar después de haber transcurrido algún tiempo desde que se produjo el corte, pudiendo ocasionar la pérdida de aire total e instantánea del vehículo.

2.4.3. Fallas en el interior de la cubierta

2.4.3.1. Roturas por impacto

Las tensiones excesivas, consecutivas a la deformación del neumático cuando choca con un obstáculo, pueden ocasionar una rotura.



Ilustración 48 Tensiones provocadas por obstáculos en carretera



Ilustración 49 Corte en neumático como consecuencia de la debilitación de los cinturones

Las consecuencias de un choque puede que no se manifiesten de forma inmediata ni ser visibles exteriormente. Lo más frecuente, es que el impacto provoque una rotura localizada de solamente una parte de las lonas sin señales exteriores.



Ilustración 50 Corte pequeño visto desde el interior de la carcasa

Existe un caso particular donde el exceso de tensión provoca de igual manera roturas internas, o dado el caso de rotura completa hasta la superficie de la carcasa por la parte del flanco, dependiendo de la flexión del mismo. Esto ocurre cuando la llanta se monta parcialmente sobre obstáculos en carretera, sobre todo en andenes, como se muestra en la siguiente ilustración.



Ilustración 51 Neumático montado parcialmente sobre la acera

El aplastamiento puede ser tal que el flanco se pellizque entre el obstáculo y el borde de la llanta. La carcasa puede sufrir daños no visibles que pueden producir posteriormente una rotura de cables y una pérdida instantánea del aire.



Ilustración 52 Rotura por tensión excesiva del flanco

2.4.3.2. Dislocación de la carcasa

En todo rodaje a presión insuficiente se producen flexiones exageradas de la cubierta y como consecuencia un calentamiento anormal. Este calentamiento puede manifestarse, entre otros, por deterioros interiores que pueden ir desde degradaciones interiores del calandrare, hasta la dislocación total de la carcasa.



Ilustración 53 Llantas dislocadas completa y parcial

2.4.4. Fallas en el enganche

2.4.4.1. Por sobrecarga, bajo inflado o montaje incorrecto

Estos factores causan en la carcasa una tensión excesiva que puede originar una rotura y una separación en la zona del enganche. Este daño puede originar:

- Desenrollamiento de la carcasa alrededor del aro.
- Rotura de la carcasa en la zona baja.



Ilustración 54 Enganche dañado por sobre carga

Asimismo, se pueden producir daños similares como consecuencia de un calentamiento excesivo.



Ilustración 55 Enganche afectado por sobrecalentamiento

Las flexiones importantes de un neumático sobrecargado o bajo-inflado y que se encuentra mal montado, provocan desgastes en el enganche.



Ilustración 56 Efectos del mal montaje sobre el enganche

2.4.4.2. Por choque-pelliczo

Desgarro localizado de goma en la zona baja, a veces acompañado por un pliegue en el interior de la cubierta.



Ilustración 57 Desgarro en el enganche por impactos

2.4.4.3. Enganche deteriorado por aros u otros elementos de la llanta

Estos daños es como consecuencia de: desgaste, deformación o material mal adaptado.

La sobrecarga. El bajo-inflado, el exceso de temperatura aceleran la aparición de este deterioro.



Ilustración 58 Enganche entrecortado por deformación

2.4.4.4. Deterioro de los talones durante el montaje o el desmontaje

Las dificultades que surgen durante el montaje o desmontaje provienen principalmente de un método o utillaje inadecuados.

Desmontables y máquinas no apropiados mal utilizados pueden provocar:

- Deformaciones o rotura de aros.
- Deterioro de los talones originando infiltraciones o pérdidas de presión.

Una presión de inflado muy elevada puede provocar la rotura del aro.



Ilustración 59 Enganche destrozado por mal montaje

2.4.4.5. Deterioros debido al calor

La llanta transmite a la cubierta el calor de los frenos.

Un calor excesivo provoca degradaciones a nivel del enganche: goma quemada, pegajosa, baquelizada con grietas.

Estas degradaciones, pueden incluso provocar un desenrollamiento de la carcasa alrededor del aro, el reventón de la cubierta, la rotura del aro.



Ilustración 60 Enganche deteriorad por el exceso de calor

Para ver la razón por la cuál el calor afecta directamente los enganches, las siguientes ilustraciones muestran que el calor del tambor de los frenos, en sus tres formas de disipación, afecta a la llanta:

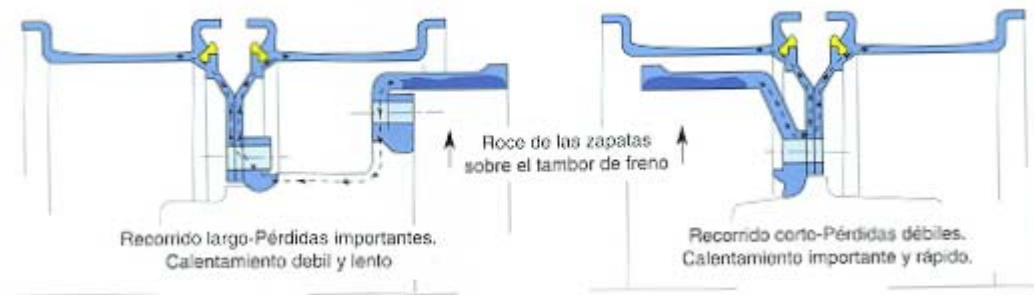


Ilustración 61 Conducción del calor

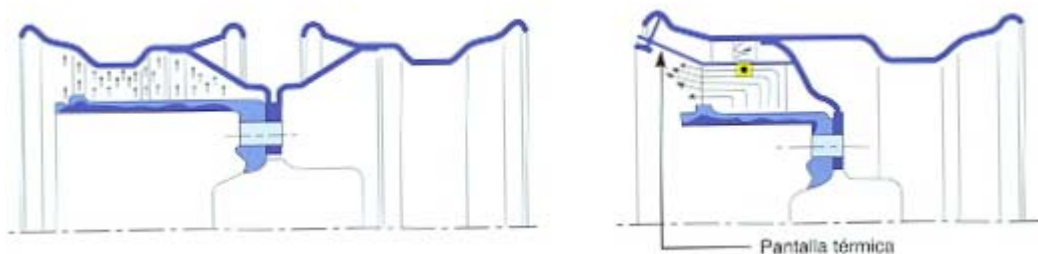


Ilustración 62 Radiación del calor

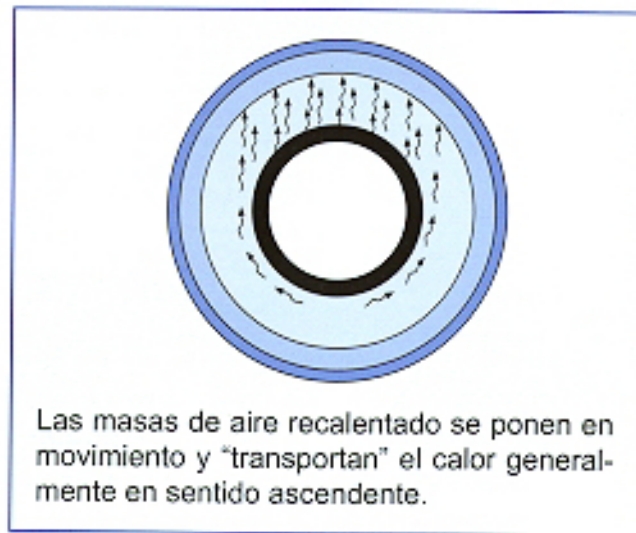


Ilustración 63 Convección del calor

2.4.4.6. Talones deteriorados por mala posición sobre una llanta

La posición de los talones es importante para su buena conservación, ya que si esta conserva una mala posición desde su montaje se irán a generar mal formaciones de éste generando a su vez sobre esfuerzos que van deteriorando la carcasa de los talones.



Talón normal, bien situado sobre la llanta.



Diferentes aspectos de deformaciones como consecuencia de una mala posición sobre la llanta.

Ilustración 64 Diferencia entre las posiciones correcta y malas del talón

2.4.4.7. Talones deteriorados por cuerpos extraños

Los cuerpos extraños aprisionados entre el talón y la llanta se incrustan en la goma.



Ilustración 65 Desgaste de los talones por cuerpos extraños

2.4.5. Fallas en la cámara

2.4.5.1. Cámara deteriorada por el protector

El deterioro de la cámara por causa del protector puede ser por lo siguiente:

- Protector en mal estado o doblado en el montaje.
- Protector no apropiado al conjunto cubierta y llanta.



Ilustración 66 Diferentes estados del protector en la llanta

2.4.5.2. Deterioro de la válvula

El deterioro de la válvula se puede dar por varios aspectos relacionados con el montaje. De acuerdo a la posición como quede ésta después de ser montada en una llanta, puede tropezar alguna pieza de la misma llanta o vehículo cuando entra en operación, ocasionado la rotura parcial o el desprendimiento completo de la misma.



Ilustración 67 Posiciones correcta e incorrecta de la válvula

Los desprendimientos también pueden ser ocasionados por un rodaje sin aire o con exceso de apriete de la llanta.

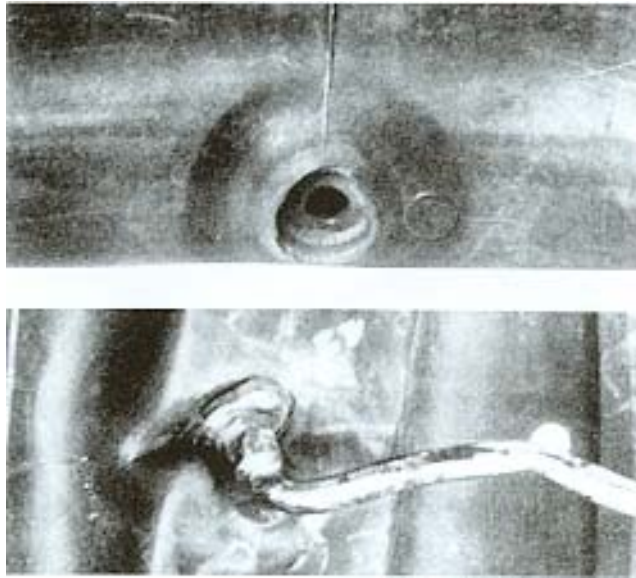


Ilustración 68 desprendimiento total (rodaje sin aire) y parcial (mal montaje) de la válvula

2.4.5.3. Deterioro de la cámara por el talón de la cubierta

Este deterioro se ve originado cuando se monta un neumático sin protector en una llanta plana.



Montaje sin protector en llanta plana

Ilustración 69 Muestra del deterioro de la cámara y el montaje sin protector

2.4.5.4. Deteriorada por roce en el interior de la cubierta

El aire que queda aprisionado entre la cámara y la cubierta durante el inflado, provoca desplazamientos de la cámara. Entonces ésta se desgasta por fricción en el interior de la cubierta.



Ilustración 70 Cámara deteriorada por fricción

2.4.5.5. Deteriorada por cueros extraños.

Se presentan algunas perforaciones por la presencia de gravilla, polvo suciedad en el interior de la cubierta durante el montaje.

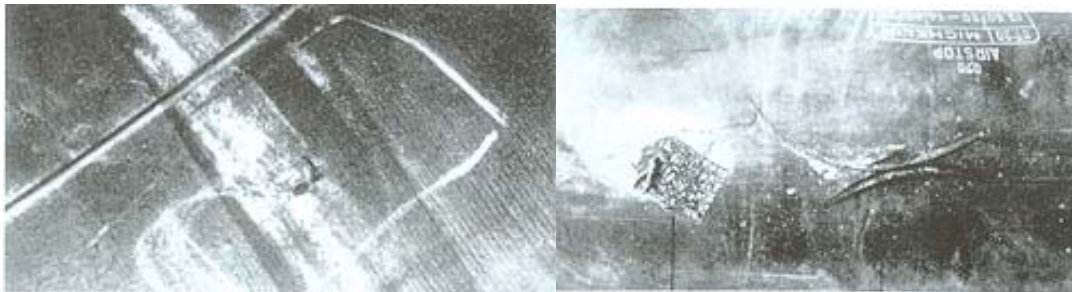


Ilustración 71 Perforaciones debidas a presencia de cuerpos extraños

2.4.5.6. Deterioro como consecuencia de una mala selección de la cámara.

Una cámara de mayor dimensión que la correspondiente a la cubierta considerada o una cámara dilatada por el uso, se pliega en el interior de la cubierta, al inflarla. Los pliegues pueden producir roturas que provocan un desinflado.



Ilustración 72 Roturas por pliegues de la cámara

2.5. DESGASTES IRREGULARES

2.5.1. Desgaste regular rápido

Este tipo de desgaste se da cuando el rendimiento kilométrico resulta demasiado bajo, depende esencialmente de las condiciones de utilización y no de las anomalías mecánicas del vehículo. Las causas de este desgaste pueden ser:



Ilustración 73 Desgaste regular de un neumático

- Estado perfil y tratado de la carretera (en carretera de montaña el desgaste puede ser 2 veces más rápido)
- Velocidad y estilo de conducción.

- Potencia del vehículo
- Adaptación del tipo de cubierta a la utilización.
- Temperatura ambiente y clima.

2.5.2. Desgaste anormal rápido.

Desgaste provocado por anomalías mecánicas o desajuste en los órganos de suspensión, de dirección o del sistema de frenado del vehículo. Identificamos este tipo de desgaste con estrías visibles en la totalidad de la banda de rodamiento, y por rebabas más o menos pronunciadas en uno de los lados de las aristas de la escultura, provocadas por el rodaje con un arrastre del neumático sobre el suelo.

Las causas mas frecuentes son:

- Paralelismo incorrecto entre neumáticos (traseros o delanteros).
- Paralelismo incorrecto entre ejes.

2.5.3. Paralelismo incorrecto entre neumáticos

Generalmente se manifiesta por un desgaste más rápido de los neumáticos, más acusado en uno de ellos.

En los países en los que se circula por la derecha, se ha podido comprobar que un exceso de cierre provoca un desgaste más rápido del neumático delantero derecho; por el contrario, con un exceso de abertura, es el neumático delantero izquierdo el que más acusa el desgaste.



Ilustración 74 Desgaste anormal por desalineación

Acción de control: Controlar y corregir el paralelismo, en esta corrección hay que tener en cuenta las características dadas por el constructor del vehículo.

2.5.4. Paralelismo incorrecto entre ejes

Se manifiesta por un desgaste rápido de los neumáticos de un mismo eje. En el caso de un ligero desplazamiento del eje trasero de camión, puede ocurrir que los neumáticos traseros no acusen un desgaste anormal, pero sin embargo la influencia de este desplazamiento sobre el comportamiento del vehículo puede provocar un desgaste en los neumáticos delanteros. Esto se manifiesta a menudo por un desgaste en cierre de un lado y abertura en el otro.



Ilustración 75 Desgaste en un solo lado de la banda

Acción de control: Verificar si la alineación es correcta, los defectos pueden ser provocados por:

- Abarcones de ballestas flojos que traen consigo el desplazamiento o rotura de los capuchinos.
- Rotura de la hoja maestra de la ballesta.
- Holguras o roturas en las articulaciones de los sistemas de alineación.

2.5.5. Desgaste creciente de un borde a otro

Puede ser debido a:

- Una caída positiva o negativa excesiva.
- Una flexión del eje provocada por la sobrecarga.



Ilustración 76 Desgaste creciente

Acción de control:

- Corregir anomalías en el camber.
- Evitar sobre cargas.
- Dar la vuelta a la cubierta sobre la llanta.

2.5.6. Desgaste en dientes de sierra

Se manifiesta sobre toda escultura con elementos separados. Cada taco de goma presenta una arista viva y una arista más desgastada.



Ilustración 77 Desgaste tipo dientes de sierra

Acción de control:

- Permutar los neumáticos o darles la vuelta sobre la llanta.
- Verificar el estado de la suspensión y de los amortiguadores.
- Calibrar el inflado.

2.5.7. Desgaste redondo (llamado “en cono”)

Se presenta por bajo inflado, el efecto es el siguiente:



Bajo-inflado
Desgaste redondo



Ilustración 78 Desgaste redondo por bajo inflado

2.5.7.1. Desgaste en hondo

Se presenta por sobre inflado, como se muestra:



Sobre-inflado
Desgaste en hondo



Ilustración 79 Desgaste por bajo inflado

2.5.8. Desgastes en olas y oblicuos

Estos desgastes, a menudo difíciles de definir, pueden tener su origen en:

- El flotamiento de la rueda como consecuencia de:
 - ✓ Desajustes y holguras en los órganos de suspensión y dirección.

- ✓ Desequilibrios en los conjuntos rodantes.
- ✓ Montajes incorrectos.
- ✓ Utilización de carreteras bombeadas (ver gráfica)

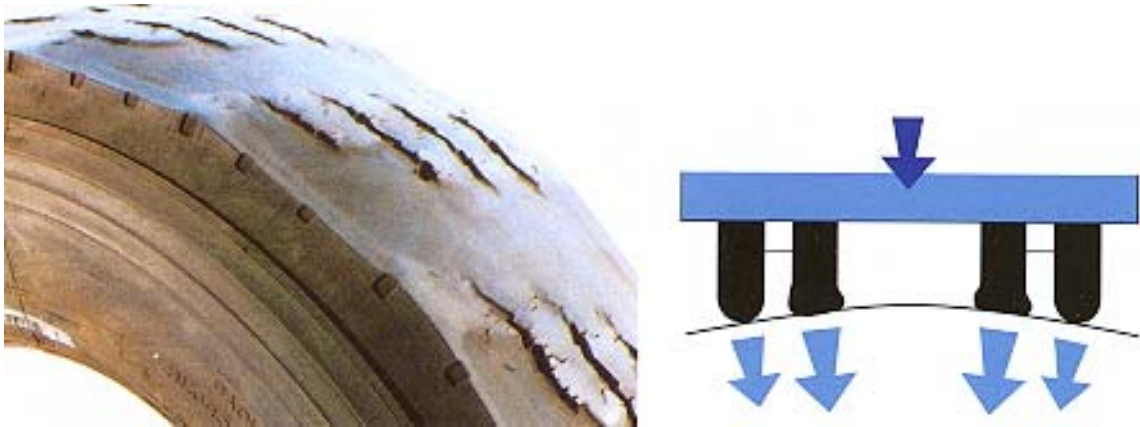


Ilustración 80 Desgaste ondas y facetas, deformación por carreteras bombeadas

- Gemelados incorrectos, ósea llantas pares de diferentes dimensiones.
- Anomalías en el sistema de frenado.
- Oscilaciones importantes (fuertes cargas y centro de gravedad elevado etc.).
- Bajas presiones o desigualdades en presiones de neumáticos gemelados.



Ilustración 81 Desgaste en ondas y facetas

Acción de control:

- Verificar eventualmente y reparar los sistemas de dirección, suspensión y frenos, verificar montajes y equilibrado.
- Permutar los neumáticos para evitar que se agraven los neumáticos.

2.5.9. Desgaste en rail (circular)

Zona de desgaste más o menos circular que no afecta a la totalidad de la banda de rodamiento. Si el desgaste es muy acentuado es recomendable permutar los neumáticos.



Ilustración 82 Desgaste circular

2.5.10. Desgaste maxi-mini

El grado de desgaste de la banda de rodamiento varía regularmente en su contorno entre un máximo y un mínimo. Se puede presentar por:

- Descentrado de la cubierta sobre la llanta, de la llanta o la rueda sobre el buje.
- Desequilibrio importante del conjunto rodante.



Ilustración 83 Desgaste de variación de mínimo a máximo y viceversa

2.5.11. Desgaste localizado

Este desgaste se puede localizar en una o varias zonas. Puede presentar un aspecto liso o con arrancamientos de goma, o un ligero plano con señales de arañazos en el sentido de rodaje. Lo pueden causar:

- Anomalías en los frenos: por punto duro en el tambor de frenos; o u frenado excesivo accidental.



Ilustración 84 Desgaste puntual por frenado

Acción de control: Verificar y reparar el mecanismo de frenado, y evitar bloqueo de neumáticos.

2.5.12. Desgaste más rápido de un neumático gemelado

En ciertas condiciones de rodaje, el reparto de la carga puede variar entre los cuatro neumáticos del gemelado.

Por ejemplo en una carretera ligeramente bombeada, los neumáticos interiores están más cargados y por tanto más aplastados que los exteriores. Los dos neumáticos del gemelado tienen radios con carga y circunferencias de rodamiento diferentes. Para un mismo número de vueltas del neumático teóricamente, las distancias recorridas deberían ser diferentes pero esto es imposible. Es necesario pues que uno de los neumáticos arrastre y se desgaste más.



Ilustración 85 Desgaste a diferentes velocidades de neumáticos pares

Se puede producir el mismo fenómeno al haber una diferencia apreciable entre las presiones del neumático exterior e interior de un gemelado.

Acción de control:

- El gemelado se debe realizar con cubiertas de la misma marca, de la misma dimensión, al mismo tipo y al mismo grado de desgaste.
- Inflado igual en gemelados.
- Cuando el neumático es ligeramente diferente montar el neumático mas usado en el interior del gemelado.

3. CUIDADO Y MANTENIMIENTO DE LOS NEUMÁTICOS

Luego del proceso de la selección del neumático adecuado, debe ser firmemente establecido el adecuado plan de mantenimiento para el ítem. La duración del neumático dependerá de las condiciones uso como las características del vehículo que soporta, algunos de los aspectos a los que nos vemos enfrentados en la cotidianidad son:

3.1. Alineación.

Es un servicio indispensable para mantener la estabilidad y durabilidad del neumático. Debe hacerse aproximadamente cada 10,000 km. Una mala alineación suele ser la mayor causa de desgastes irregulares, sobre todo si el neumático presenta ángulos de convergencia y divergencia, según el caso. Si la dirección tiende a irse de un lado a otro o el volante tiene demasiado “juego” y no regresa a su posición original después de un giro, con seguridad los neumáticos delanteros están desalineados.

3.2. Balanceo.

Las llantas fuera de balanceo pueden perder miles de kilómetros de vida útil. Para lograr el mejor desempeño de una llanta es necesario que el peso del conjunto

llanta-Rin esté distribuido uniformemente. Una parte pesada en la llanta y el ensamble (conjunto llanta-Rin) deberá ser balanceada con precisión.

Este es un procedimiento por medio del cual se ajustan los pesos de la llanta y del in para mantener un equilibrio correcto entre ambos. Existen dos tipos de balanceo. El primero es el estático, en el cual se colocan pequeños pesos en el Rin para contrarrestar este desequilibrio. El otro tipo es el dinámico que toma en cuenta la distribución del peso que debe añadirse a la rueda para lograr estabilidad. Si las ruedas no están balanceadas sufrirán desgaste prematuro, además de producir vibraciones e incomodidad al conducir.

3.3. 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.

La técnica básica de rotación es un simple patrón “X” para automóviles y camionetas. En vehículos de tracción delantera por ejemplo, la llanta trasera izquierda va al lugar de la delantera derecha y la llanta trasera derecha a la delantera izquierda; las llantas delanteras se mueven directamente a la parte trasera. Lo contrario se aplica para vehículos de tracción trasera.

En el caso de camiones y vehículos pesados, se recomienda aplicar la siguiente técnica Fig (2).

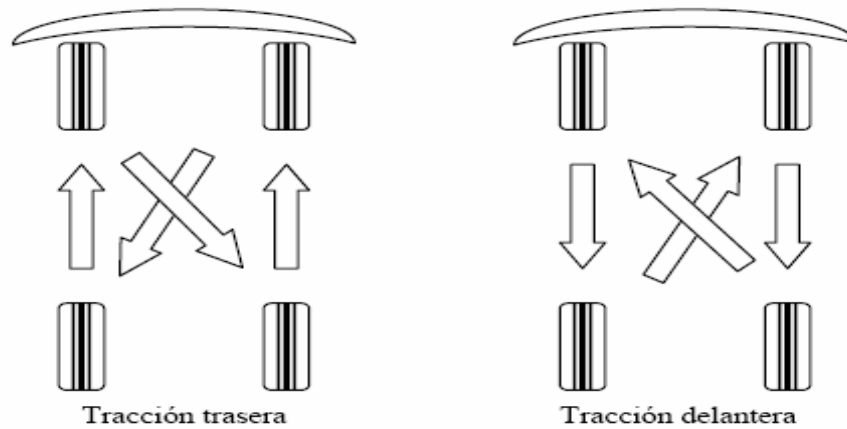


Ilustración 86 Patrón básico de rotación en X según tracción

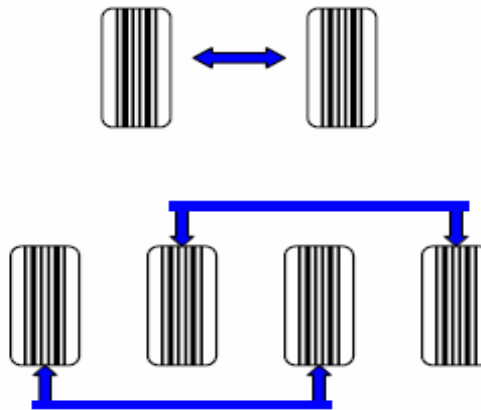


Ilustración 87 Rotación normal en vehículos pesados

3.4. RECOMENDACIONES DE INFLADO PARA EL NEUMÁTICO

Una presión de inflado apropiada es la práctica más importante de mantenimiento para asegurar una larga vida del neumático. Si se utiliza los neumáticos recomendados por el fabricante del vehículo entonces siempre mantenga la presión de aire indicada por el mismo.

Si decide cambiar los neumáticos por otros que no son recomendados por el fabricante del vehículo, entonces tendrá que ajustarse a las indicaciones del fabricante del neumático.

3.4.1. Presión correcta.

Cuando la presión es correcta, los neumáticos tienen mejor agarre, soportan mejor los baches y el peso de la carga, trabajan a temperaturas más bajas lo que evita un desgaste prematuro y lo más importante, contribuyen al ahorro de combustible.

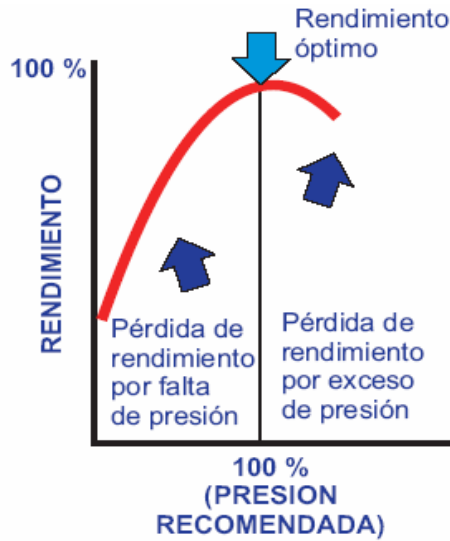


Ilustración 88 Gráfico de Rendimiento Vs. Presión de inflado de los neumáticos

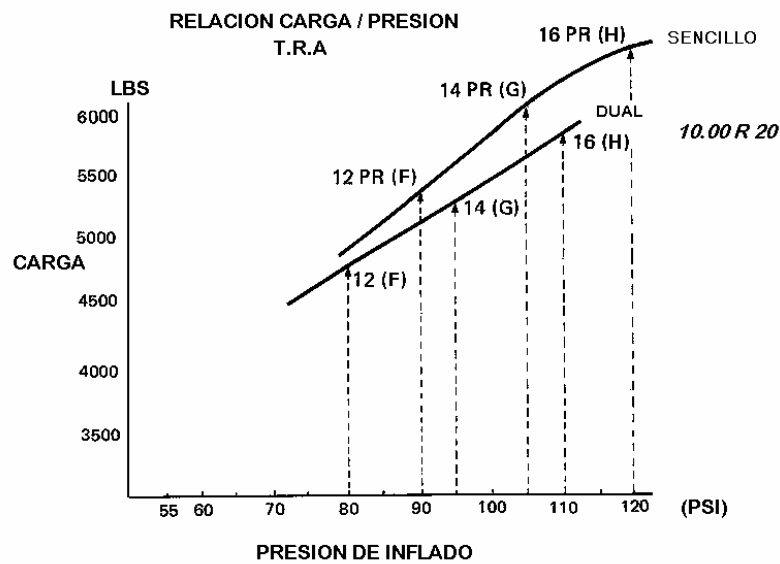


Ilustración 89 Relación carga / presión de arreglos sencillos y duales

3.5. ARREGLOS DUALES

Cada llanta de un conjunto “yoyo” 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.

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.

Las llantas no deben tener diferencias mayores de 7 milímetros de diámetro o 21 milímetros de perímetro con relación a su pareja. El mal pareo por arriba del límite en ruedas duales, causa exceso de carga en la llanta mayor y desgaste excesivo por arrastre en la menor.

Utilice siempre neumáticos de la misma medida y del mismo tipo en ejes duales. Tampoco monte llantas en rines con diferente medida al de la llanta. No mezcle neumáticos radiales con convencionales en el mismo eje, debido a que éstas tienen comportamientos diferentes.

Considere el espacio mínimo entre los neumáticos de los duales o yoyos que le recomienda el fabricante, ya que así evitaría calentamiento de las mismas traduciéndose en pérdida de vida útil de sus neumáticos.

4. ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

El análisis causa raíz (RCA) es un riguroso método de solución de problemas, para cualquier tipo de falla, que utiliza la lógica y un árbol de causas, que consiste

en una representación visual de un evento de falla, en el cual el razonamiento por deducción y la verificación de los hechos conducen a las causas originales.

Es una herramienta de confiabilidad utilizada para determinar hasta tres niveles de causa raíz para cualquier evento específico de falla. Es una técnica de análisis que permite aprender de las fallas y eliminar las causas, en lugar de corregir los síntomas.

4.1 ¿CUANDO SE EMPLEA?

- Cuando se presentan fallas crónicas (repetitivas), tales como fallas de equipos (generalmente problemas de mantenimiento).
- En fallas esporádicas (una vez), tales como paradas de emergencia, incendios, explosiones, muertes, lesiones importantes, o fallas graves poco frecuentes en los equipos.
- En aspectos de mantenimiento tales como los esfuerzos de reducción de costos en el mantenimiento rutinario o una reducción en la duración y los costos de producción en las instalaciones.
- En aspectos operativos tales como descongestionamiento, interrupción en las operaciones, reducción de uso de energía, reducción de gastos operativos, corridas más largas, mejoramiento en la calidad y definición de incidentes ambientales.

4.2 ¿PORQUÉ UTILIZAR RCA?

Cuando se implementan las recomendaciones de este método se pueden recuperar más de \$ 100 por cada \$1 invertido en entrenamiento y en horas

hombre comprometidas en una investigación. Ello supone que las fallas específicas que se investigan son las más relevantes.

Al identificar y corregir todas las causas raíz, no solo debe evitarse la recurrencia del problema inicial sino que puedan eliminarse numerosos problemas con causas raíz similares, además ayuda a proporcionar la capacidad de reconocer un patrón de fallas, reduce las frustraciones del mantenimiento y operaciones y mejora las condiciones de seguridad industrial y ambientales evitando tiempos improductivos e innecesarios.

4.3 PASOS PARA HACER RCA

4.3.1 Responder a un incidente y conservar la evidencia

Lo primero que se debe atender son los resultados del evento de falla. La mayor prioridad son la atención al personal lesionado y el poner las instalaciones en una condición segura.

Par conservar las evidencias al igual que en la escena del crimen deben recopilarse de inmediato antes de que estas desaparezcan con el tiempo. Las cinco clases de datos de evento a preservar denominados las 5 P's son:

- *Piezas*: Recoger el mayor número de partes sin que puedan ser ocultadas o modificadas tanto en fallas crónicas como esporádicas.
- *Posición*: Las posiciones de todas las pieza y otras evidencias deben ser fotografiada o filmadas, siempre que sea posible.
- *Personas*: Realizar entrevistas individualmente después que haya ocurrido el evento y antes de que los testigos conversen entre ellos, siempre que sea posible.

- *Papel:* Esto se aplica a aspectos tales como las tendencias de las condiciones del proceso en el computador (temperaturas, presiones, flujos, niveles...) y tendencia de vibración, todo esto pueden convertir al papel en una forma frágil de evidencia.
- *Paradigmas:* Ejemplos o ejemplares del evento o falla.

4.3.2 Ordenar el equipo de análisis

- Armar un equipo de análisis variado según el caso.
- Desarrollar los reglamentos y factores críticos del éxito para el análisis.
- Asignar responsabilidades por las 5 P's.
- Desarrollar estrategias para capturar las 5 P's.

4.3.3 Análisis de fallas y verificación de causas raíces

Armar árbol lógico para determinar causas raíces físicas, humanas y del sistema para cualquier tipo de falla.

Al armar el árbol lógico se determina obligatorio llegar a la causa raíz física, si la investigación sigue es conveniente ir mas allá de la cusa humana, y se recomienda en lo posible llegar a la causa sistema dado el caso que se pueda verificar. Par estas verificaciones se siguen 6 pasos donde en el primero se pregunta un qué y luego se procede a los siguientes 5 pasos preguntando *cómo, por qué?*

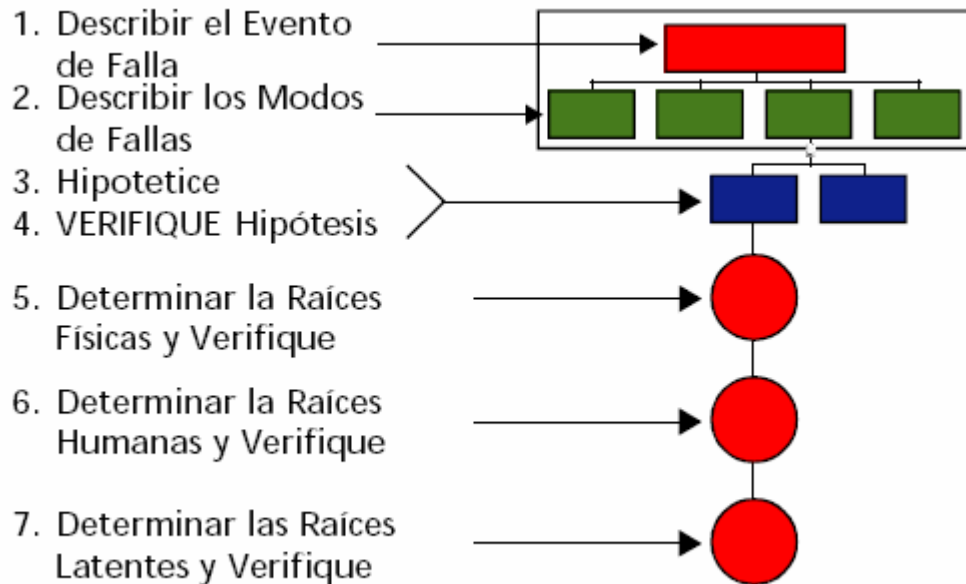


Ilustración 90 Árbol lógico de fallas y pasos a seguir

4.3.4 Comunicar hallazgos y recomendar

Un informe formal por lo general ayuda a obtener compromiso de la gerencia a resolver las fallas concentrándose en las causas raíces determinadas en la investigación. El costo de implementar los resultados debe sopesar frente al costo de la falla (multiplicado por la frecuencia de la misma).

Generalmente se derivará un ahorro sustancial de las fallas recurrentes o fallas esporádicas de importancia mediante la implementación de las recomendaciones.

4.3.5 Monitoreo de resultados

- Identificar las mediciones claves a monitorear.
- Identificar el impacto real de las recomendaciones implementada.
- Informar datos del retorno sobre inversión a la administración.

5. MODELO GENERAL DE ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

5.1. Propósito del modelo.

El propósito principal del modelo general de RCA, como lo planteado con anterioridad, es permitir encontrar con mayor facilidad, rapidez y efectividad la causa raíz de una falla de cualquiera de las llantas de la flota de transporte de la empresa, brindando a su vez, las posibles soluciones y métodos de monitoreo y prevención para controlar los riesgos de una próxima falla, llevando todo esto al gran beneficio del control de costos.

5.2. Diseño del Modelo (Elementos del análisis causa raíz en los que se fundamenta el modelo).

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 de transporte terrestre. 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, GoodYear y Michelin.

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 cuál 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.

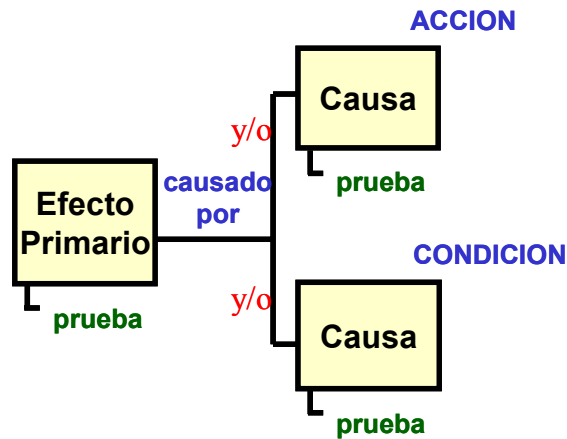


Ilustración 91 Tipo de diagrama implementado para el modelo general de RCA

Las causas pueden ser de tipo operacional, mecánico, de diseño o selección, de factor humano o simplemente accidental. Todas éstas 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 la *tabla 7*. Además, se hace la recomendación para prevenir y solucionar la falla presente, lo que hace relación con la ilustración 91 “Acción”.

Como todo RCA, es importante monitorear los resultados con el fin de prevenir que sigan ocurriendo, y lo más importante, controlar costos. Las técnicas de monitoreo y predicción básicas están consignadas de igual forma en la *tabla 7*. Es importante describir que estas pautas son guías, y lo indispensable es que el ingeniero use alternativas eficientes basadas en las recomendaciones descritas.

5.3. Componentes básicos del modelo general de RCA

El modelo general consta de tres partes principales, cada una con sus características y utilidades que permiten describir y/o determinar a causa de una falla o desgaste irregular; los componentes son:

- **Árbol de Fallas en llantas neumáticas**

El árbol de fallas en llantas neumáticas parte de los componentes de las llantas que comúnmente fallan. De cada uno de estos componentes se realiza un diagrama, partiendo de todas las fallas que comúnmente ocurren en ese componente específico. Luego a cada una de las fallas se les asignan las posibles causas raíces, dependiendo del modo de falla y su complejidad estarán el número de posibles causas.

- **Tabla de descripción de la falla y cada una de sus posibles causas.**

En ésta tabla se describen cada una de las fallas, presentando de forma concisa una descripción física del estado de la llanta cuando ocurrió un tipo de falla. Esta descripción se complementa con la imágenes del capítulo 2, necesarias para una mejor identificación. Para cada una de las fallas se describen los siguientes ítems:

- ✓ **Posible causa raíz:** En este ítem se describen las posibles causas raíces de la falla con la siguiente metodología: Causa 1 / Causa raíz 2, ejemplo: *Rodaje en suelos no pavimentados / Rutas de trabajo*. El rodaje el suelos no pavimentados es la causa1, siendo las rutas de trabajo programadas la causa raíz de la falla. Ver diagrama: fallas en la banda de rodamiento.
- ✓ **Método de estrategia y verificación:** El método de verificación, son los procedimientos o pasos a seguir para determinar si la causa a seguir es la que va a llevar a la causa raíz de la falla.
- ✓ **Solución o medida preventiva:** Esta es o son las posibles soluciones o métodos básicos para prevenir o solucionar una falla de acuerdo a la causa.

- ✓ **Medidas de prevención o monitoreo:** Son las guías básicas para monitorear la solución y verificar que los resultados son los deseados. Además ayuda a prevenir y en casos a predecir una falla próxima.

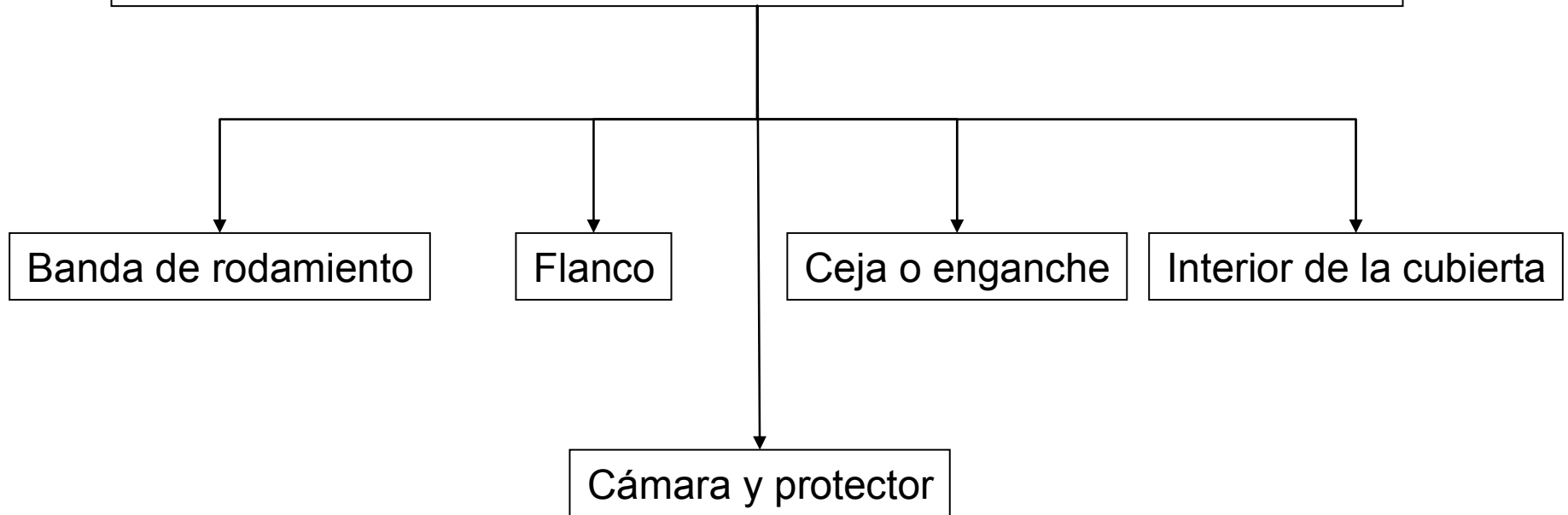
- **Diagrama de desgastes irregulares en llantas neumáticas.**

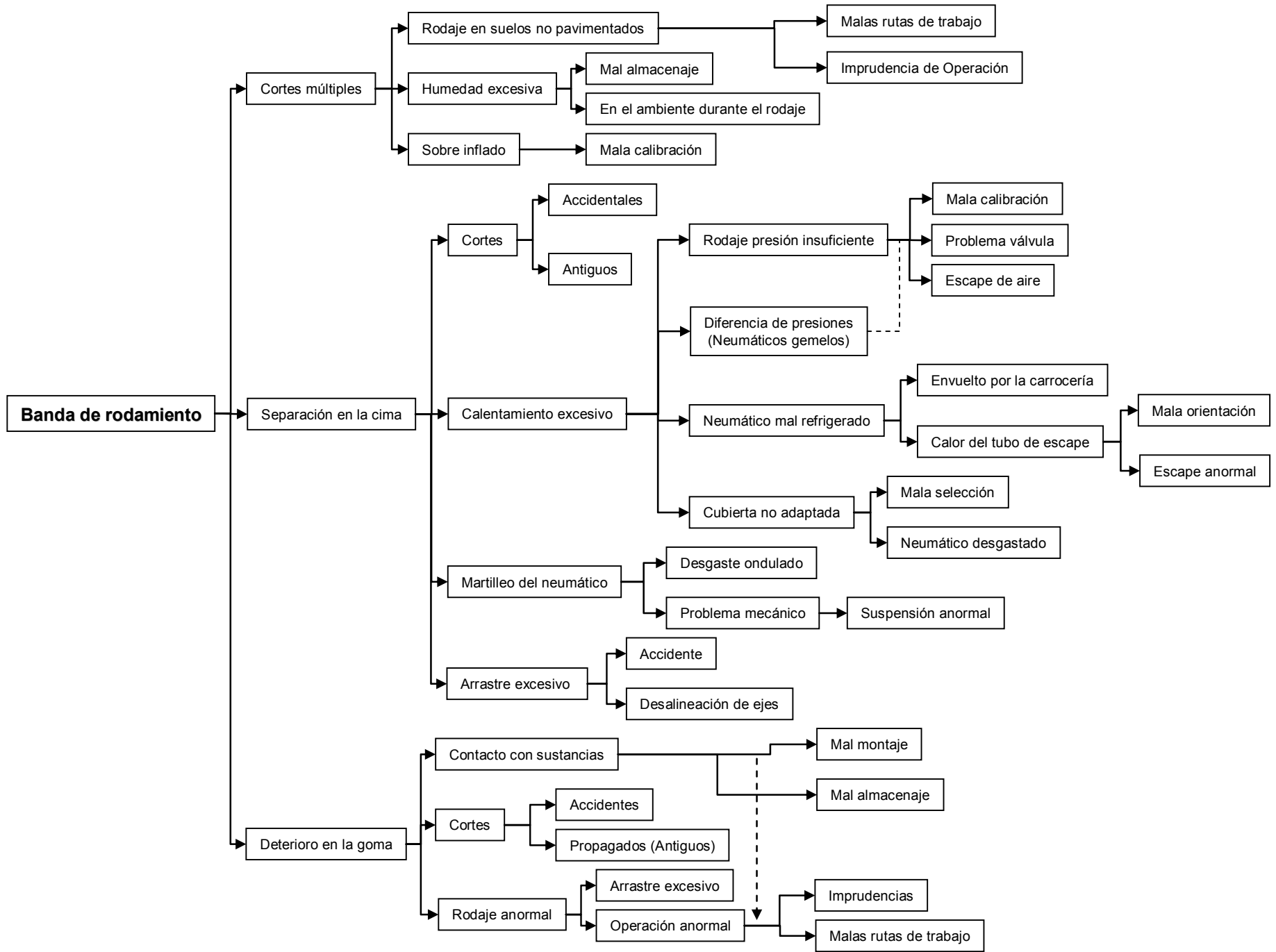
El diagrama especifica los desgastes que se pueden presentar en la banda de rodamiento de las llantas neumáticas en su periodo de operación. Se parte del tipo de desgaste, se le otorgan las diferentes causas raíces e inmediatamente se describe la solución a la causa.

5.4. Diagramas y tablas del modelo general de análisis causa raíz de las fallas y desgastes irregulares en llantas neumáticas.

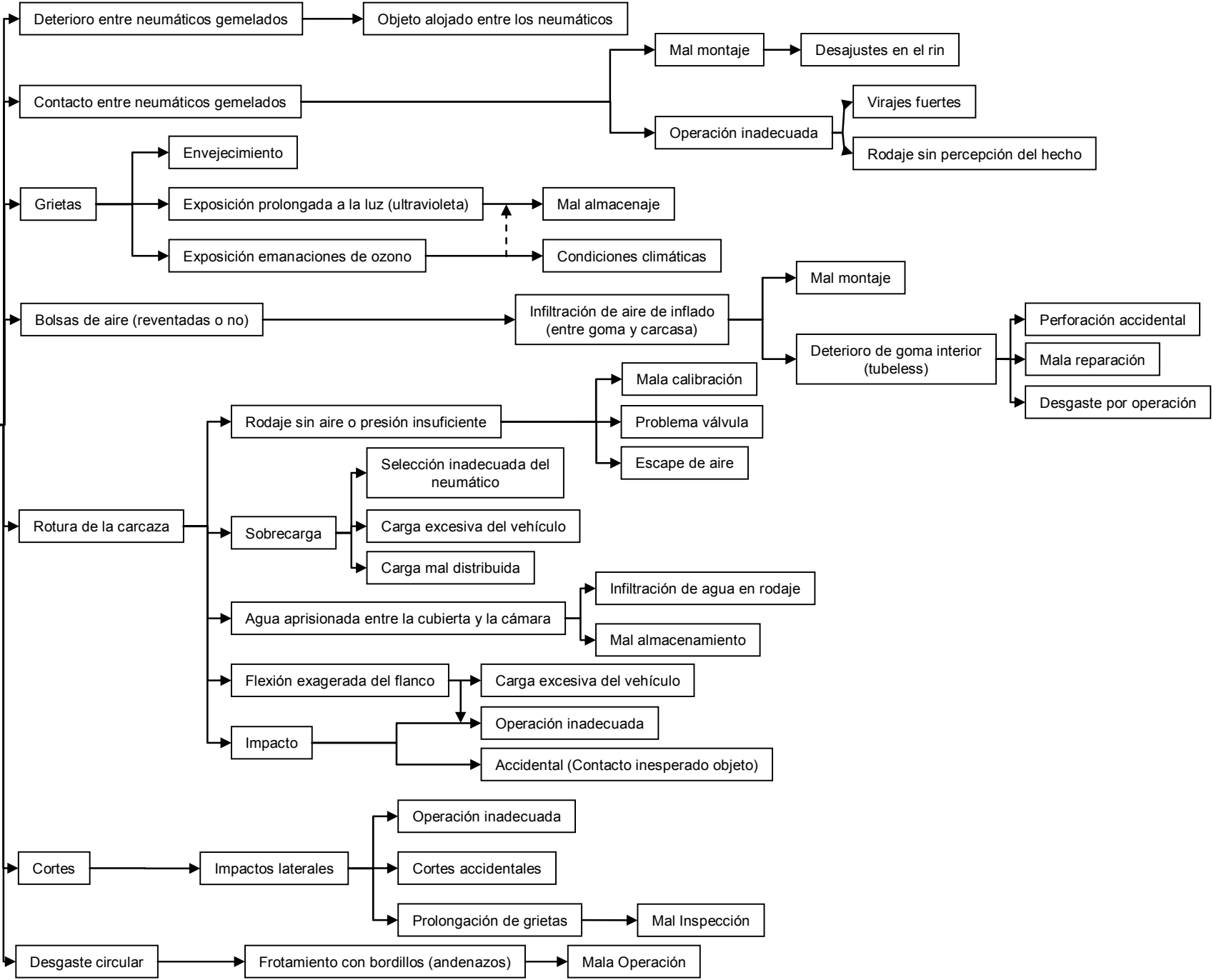
A continuación se presenta el diagrama del modelo general de RCA con todos los elementos descritos en el punto anterior y en su orden:

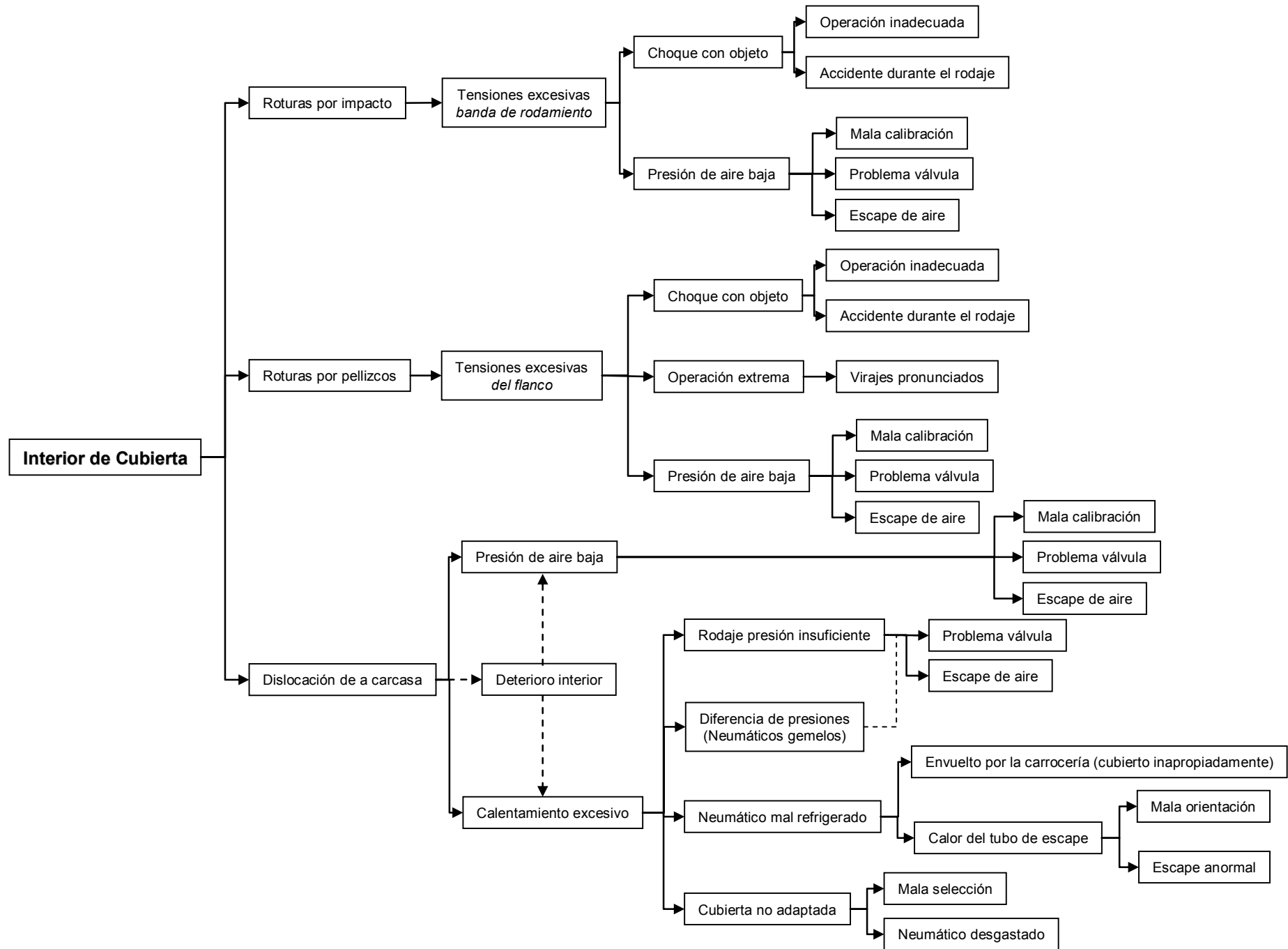
FALLAS EN LLANTAS NEUMÁTICAS

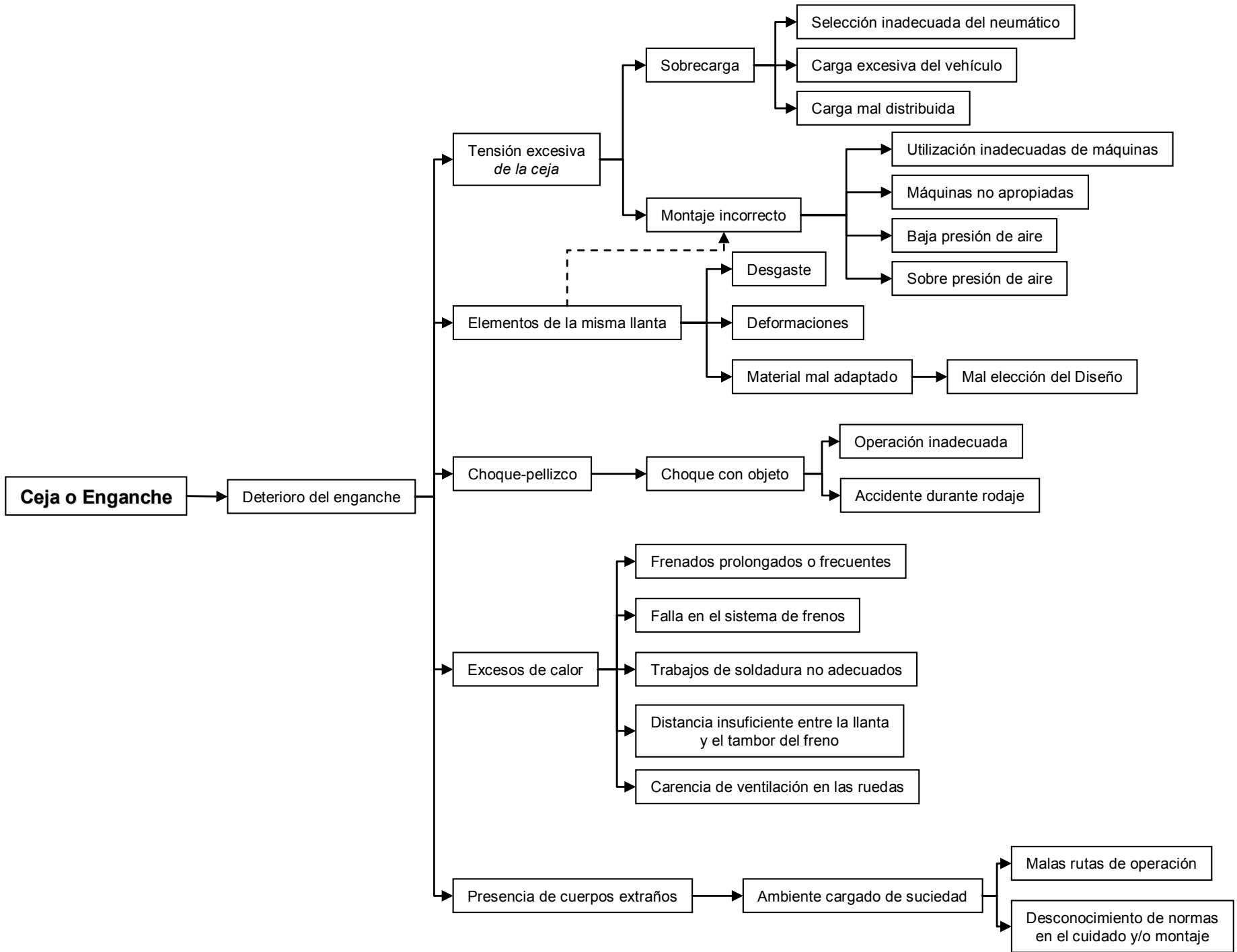


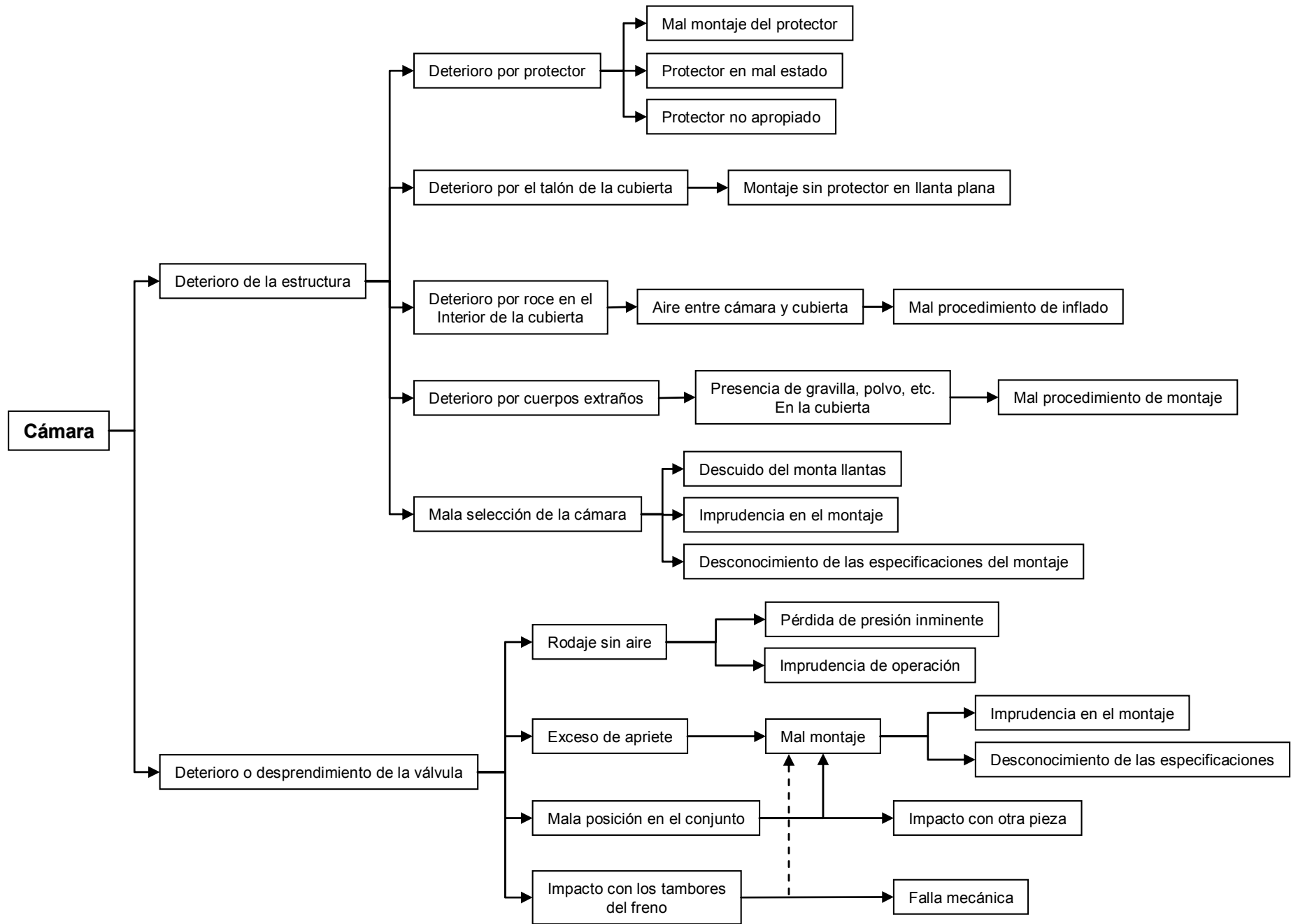


Flanco









FALLA	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	POSIBLE CAUSA RAÍZ	MÉTODO O ESTRATEGIA DE VERIFICACIÓN	SOLUCIÓN O MEDIDA PREVENTIVA	MEDIDAS DE PREDICCIÓN O MONITOREO
Cortes en la banda de rodamiento	Cortes en pequeñas proporciones repartidos a lo largo de la banda de rodamiento.	Rodaje en suelos no pavimentados / Rutas de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar la ruta de trabajo del vehículo afectado. • Revisar cortes y su profundidad en todas las ruedas, si existen. 	Reorganizar la ruta de trabajo del equipo, evitando correr por partes no pavimentadas o de alto contenido de obstáculos. Cambio de los tipos de neumáticos según terreno, utilizar la cubierta más adecuada según las condiciones de utilización.	Revisar los cambios de las rutas de trabajo. Realizar estudios de los estados físicos de las vías.
		Rodaje en suelos no pavimentados / Imprudencia de operación	<ul style="list-style-type: none"> • 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. 	Capacitar al operador sobre el cuidado de las llantas y hacerlos conscientes de los costos representativos.	Establecer una metodología con la cual se esté evaluando el nivel de conocimiento de los operadores.
		Humedad excesiva / Almacenaje o Ambiente (Rodaje)	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar las condiciones de almacenaje de los neumáticos, medir humedad relativa. • Mirar el estado del caucho respecto a la concentración de humedad en el mismo. 	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.	Medir constantemente la humedad en los sitios de almacenaje y chequear que se estén cumpliendo las medidas de selección de los neumáticos.
		Sobre presión / mala calibración	<ul style="list-style-type: none"> • Los cortes están ubicados más que todo en a parte central de la banda de rodamiento. • Verificar la calibración de la llanta y la metodología de la elaboración. 	Revisar la metodología y los equipos de calibración. Calibrar llantas según lo recomendado por el fabricante.	Revisar periódicamente la presión de los neumáticos, si es posible en operación. Control de monitoreo.
Separación en la cima de la banda de rodamiento	Desprendimiento parcial o total de la banda de rodamiento.	Cortes / Accidentales y/o antiguos	<ul style="list-style-type: none"> • Mirar las heridas de la banda si es posible. (existencia de cortes) • Evaluar la forma del incidente, revisar los descargos del operador. 	Mirar constantemente el estado de la banda de rodamiento después del rodaje (operador). Revisar la capacidad y habilidad de manejo del conductor.	Monitorear el estado de los neumáticos y la cantidad de cortes presentes.
		Calentamiento excesivo / diferencia de presión en pares.	<ul style="list-style-type: none"> • 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. 	Revisar la metodología y los equipos de calibración. Calibrar llantas según lo recomendado por el fabricante.	Revisar periódicamente la presión de los neumáticos, si es posible en operación. Control de monitoreo.
		Calentamiento excesivo / Neumático mal refrigerado	<ul style="list-style-type: none"> • Mirar las posibles fuentes de calor y el estado de cubrimiento del neumático 	Remover o controlar la fuente de calor que origina el sobrecalentamiento del neumático. Permitir la refrigeración del neumático por medio de sistemas de ventilación aprovechar la aerodinámica del vehículo para adoptar medidas de ventilación adecuadas.	Verificar escapes no adecuados de la tubería de escape. Vigilar las temperaturas de los neumáticos con instrumentos si es posible.
		Calentamiento excesivo / baja presión	<ul style="list-style-type: none"> • Detectar la calibración de la llanta antes de su rodaje. • Descubrir fugas en la cámara. 	Revisar la metodología y los equipos de calibración. Calibrar llantas según lo recomendado por el fabricante.	Revisar periódicamente la presión de los neumáticos, si es posible en operación. Control de monitoreo

		Calentamiento excesivo /cubierta no adaptada	<ul style="list-style-type: none"> Mirar el tipo de cubierta usada y a que velocidad y presión rodaba antes del incidente. Revisar cantidad de carga. 	Utilizar la dimensión y el tipo de cubierta adecuados. Chequear los parámetros de montaje y selección de los neumáticos.	Los tipos de cubiertas según donde operen establecen automáticamente su rendimiento.
		Martilleo del neumático	<ul style="list-style-type: none"> Mirar el tipo de desgaste producido. Revisar el estado de la suspensión y otros componentes. 	Verificar el estado mecánico de las piezas que hacen parte del sistema de suspensión además de su lubricación. Corregir los defectos mientras sea posible.	Inspeccionar de manera periódica el estado de los elementos de la suspensión realizando a su vez un mantenimiento adecuado.
		Arrastre excesivo	<ul style="list-style-type: none"> Mirar el tipo de desgaste producido. 	Solucionar según el tipo de desgaste presente en el neumático (Ver tipos de desgastes y métodos para evitarlos)	Realizar periódicamente revisiones del estado de los ejes de tracción y dirección.
Deterioro de la Goma de la banda de rodamiento	Reducción de la resistencia mecánica del material el cuál físicamente se torna envejecido.	Contacto con sustancias / Almacenaje o rodaje	<ul style="list-style-type: none"> Detectar presencia de sustancias en la goma del neumático. 	Evitar en lo posible el contacto con lubricantes, carburantes, etc. Así como el estacionamiento en suelos impregnados con cuerpos grasos. En el montaje, utilizar exclusivamente el lubricante admitido por el fabricante de las cubiertas.	Chequear el contenido de sustancias impregnadas a la goma y los lubricantes utilizados con cierta frecuencia.
		Rodaje anormal	<ul style="list-style-type: none"> Mirar el tipo de desgaste producido. Limitar los arrastres. 	Solucionar según el tipo de desgaste presente en el neumático (Ver tipos de desgastes y métodos para evitarlos)	Realizar periódicamente revisiones del estado de los ejes de tracción y dirección.
		Cortes	<ul style="list-style-type: none"> Mirar la forma y cantidad de cortes en la banda de rodamiento. Chequear el tipo de operación que se le está dando al vehículo. Reparar todo corte o herida profunda para evitar su progresión. 	Mirar constantemente el estado de la banda de rodamiento después del rodaje (operador). Revisar impregnaciones de elementos corrosivos a través de pequeñas incisiones que debiliten los cinturones internos.	Medir los cortes y su velocidad de propagación para determinar la futura cura si es posible, o e reemplazo de la misma.
Deterioro del flanco por objeto entre neumáticos gemelados	Marcas y hundimientos en el flanco que deterioran las lonas internas.	Objeto alojado entre el par	<ul style="list-style-type: none"> Retirar el elemento alojado entre las llantas. Ver la posibilidad de rodar con un equipo sin neumáticos gemelados. Mejorar el mantenimiento de los caminos si es posible. 	Rodar por rutas con carencia de objetos que puedan ocasionar ésta falla si es posible.	Revisar detalladamente las rutas a correr por el vehículo.
Deterioro del flanco por contacto entre un par de neumáticos	Rozamientos y desgastes por contactos indebidos	Mal montaje	<ul style="list-style-type: none"> Revisar la metodología del montaje (tiempo invertido en la operación, par aplicado, no de pernos, etc.) 	Evaluar el estado de capacitación de los mecánicos dedicados a la tarea del monta llantas.	Revisar después de cada montaje la aplicación completa de todas las pautas necesarias para llevarlo de manera efectiva.
		Operación inadecuada	<ul style="list-style-type: none"> Revisar los descargos de la operación del vehículo momentos antes del incidente. Chequear rastros de sobre esfuerzos en los ejes y sistema de transmisión y suspensión del vehículo. 	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	Evaluar con frecuencia la operación y el conocimiento de las ventanas operativas del operador.

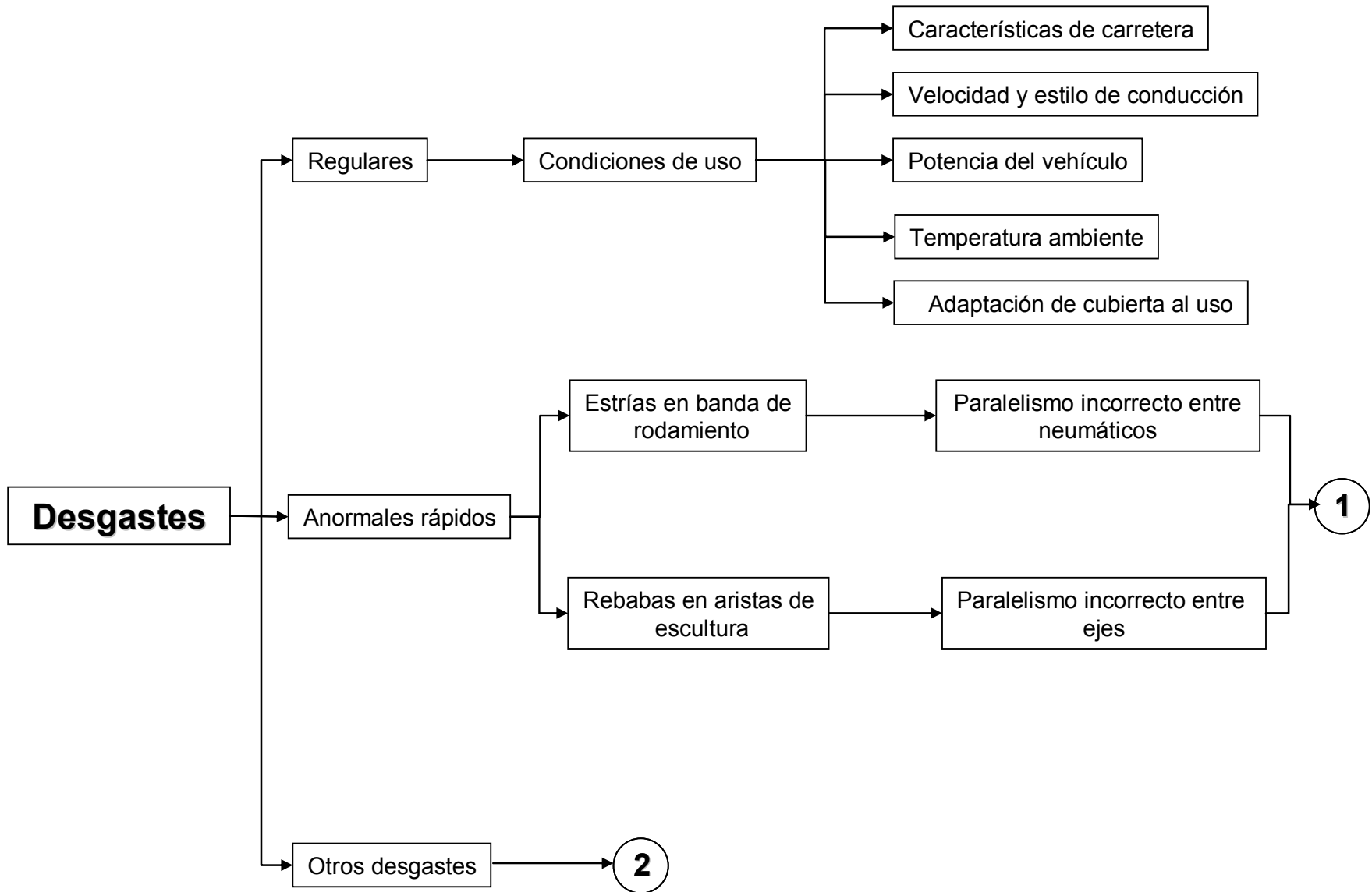
Grietas en el Flanco	Grietas que deteriora la goma del material produciendo desprendimiento del material, ocasionando exposición de las lonas	Envejecimiento – Exposición a luz UV – contacto con el ozono	<ul style="list-style-type: none"> • Observar detalladamente la estructura de la carcasa, si es necesario compararla con una llanta nueva. • Mirar si hay descascaramiento del material. • Detectar si en las rutas hay exposición continúa de ozono o rayos UV. 	Almacenar en un lugar fresco, a una temperatura constante, sin excesiva calefacción, sin ventilación ni humedad. Blanquear las paredes con cal, agente destructor del ozono. Pintar los cristales. Evitar el almacenamiento de cubiertas apiladas, el cuál provoca una deformación exagerada de las cubiertas y favorece el ataque del ozono.	Monitorear a cantidad de ozono, humedad, iluminación que ataca al lugar de almacenamiento.
Bolsas de aire reventadas o no en el Flanco	Protuberancias que tienden a debilitar el material de la carcasa y romperlo	Infiltración del aire de inflado / Mal montaje	<ul style="list-style-type: none"> • Chequear el tipo de montaje realizado, tubetype o tubeless adecuadamente. 	No realizar montajes sin cámara si la cubierta no lleva el marcaje "tubeless". Evaluar el estado de conocimiento de los mecánicos encargados del montaje.	Supervisar los montajes de los neumáticos si es necesario.
		Infiltración del aire de inflado / Deterioro de la goma interior (tubeless)	<ul style="list-style-type: none"> • Mirar el interior revisando el estado del deterioro. 	Evitar el deterioro de los talones durante el montaje. No producir heridas en el interior de las cubiertas.	Desmontar en ocasiones o aprovecharlo para revisar el estado del interior de la carcasa.
Rotura de la carcasa por el lado del flanco	Roturas localizadas o extendidas a lo largo del flanco	Rodaje con presión insuficiente	<ul style="list-style-type: none"> • Chequear el estado de la válvula. • Revisar el estado de la cámara localizar posibles escapes. • Determinar el estado de operación del vehículo momentos antes de la ocurrencia del incidente. 	Revisar la metodología y los equipos de calibración. Calibrar llantas según lo recomendado por el fabricante. Revisar el estado de las válvulas y otros posibles escapes en la estructura de la carcasa.	Revisar periódicamente la presión de los neumáticos, si es posible en operación. Control de monitoreo
		Sobrecarga	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar con que presión fue calibrada la llanta. • Verificar el posicionamiento de la carga dentro del furgón y su cantidad. • Observar las características de la llanta montada. Revisar si es la recomendada. • Revisar que los neumáticos gemelos son los correspondientes. 	Establecer un control de cargas de los vehículos, estrategias para la ubicación correcta del centro de gravedad de la carga. Elegir la cubierta correspondiente a la carga de trabajo. Realizar un montaje de neumáticos gemelos correctos.	Realizar pesajes para la autorización y control efectivo de la carga.
		Agua aprisionada entre la cubierta y la cámara	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar la presencia de humedad en el interior de la cámara. • Revisar el estado de las capas internas, el estado de corrosión muestra la presencia de agua. 	Cuidar el almacenamiento de las llantas de la humedad. Reparar en los posibles los cortes para evitar su propagación y posibles filtraciones de sustancias corrosivas.	Chequear en cada reparación, montaje o con cierta frecuencia la presencia de agua en el interior de la cubierta.
		Flexión exagerada del flanco o impactos	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar a través del operador y testigos la forma de la ocurrencia del incidente. • Si es un impacto, el objeto impactado debe estar cerca al lugar de incidencia. La llanta debe mostrar rastro del impacto, marca, abolladura, etc. 	Controlar la forma de operación del vehículo. Dar a conocer las ventanas operativas en cuánto a la capacidad de las llantas.	Revisar la cantidad de curvas y a dificultad de las mismas, con el fin de reconocer la tendencia a sufrir una flexión exagerada y determinar medidas de control.
Cortes en el flanco	Corte de forma radial en el flanco	Impactos laterales / Operación inadecuada y accidentes	<ul style="list-style-type: none"> • Si es un impacto, el objeto impactado debe estar cerca al lugar de incidencia. La llanta debe mostrar rastro del impacto, marca, abolladura, etc. 	Controlar la forma de operación del vehículo. Dar a conocer las ventanas operativas en cuánto a la capacidad de las llantas en cuanto a la resistencia de golpes laterales.	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

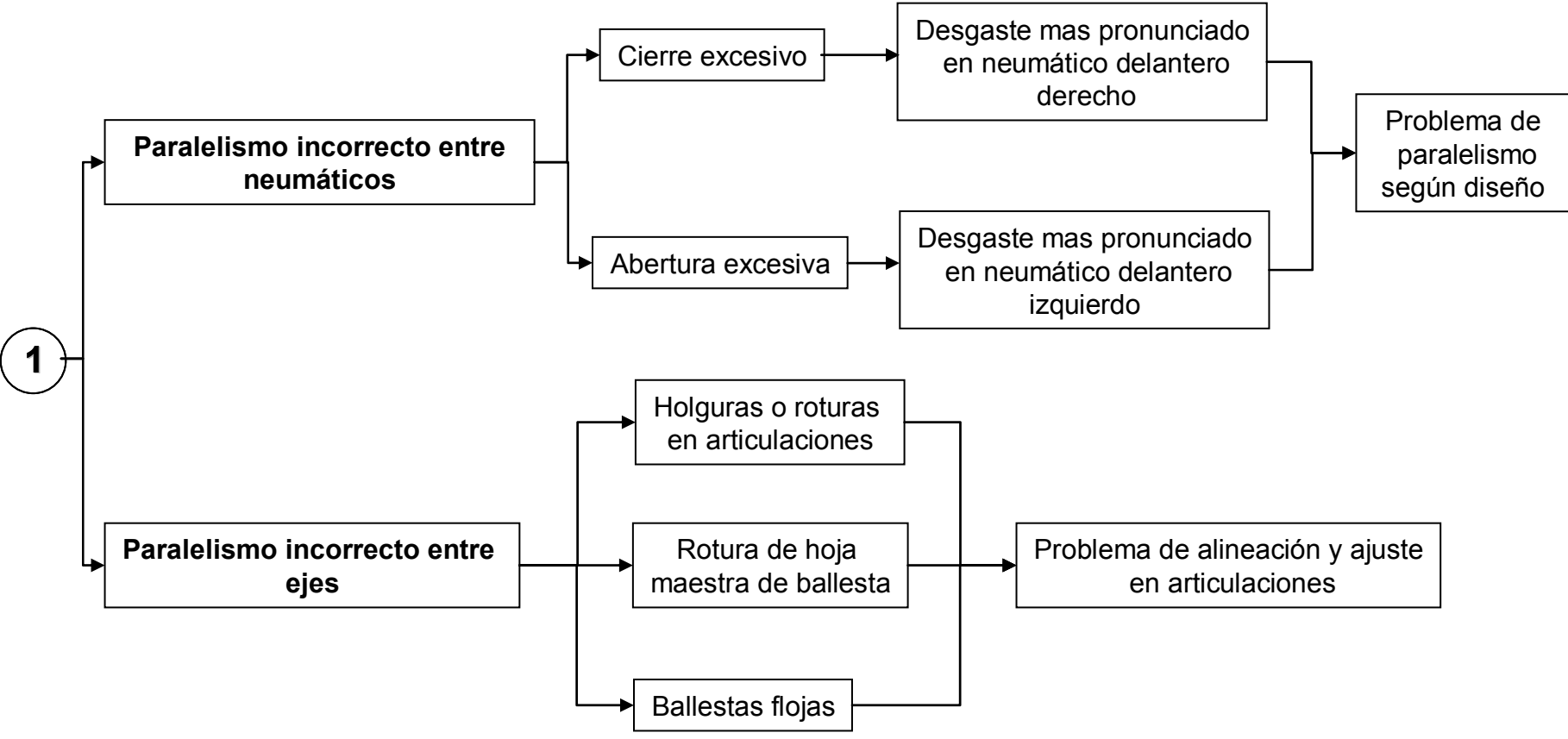
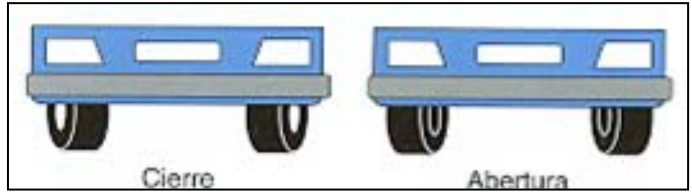
					control.
		Impactos laterales / prolongación de grietas	<ul style="list-style-type: none"> Revisar la cantidad de reparaciones de la llanta. Tal vez una de las reparaciones no quedó del todo bien, o afectó la resistencia en otro punto cercano de la llanta. Revisar la vida útil y el estado de envejecimiento de la carcasa. 	Repara too corte importante para evitar su progresión.	Revisar con frecuencia la cantidad de cortes, su profundidad y longitud. Establecer un patrón para ordenar reparación.
Desgastes circulares en el flanco	Desgastes y desprendimientos de goma en el flanco del neumático	Frotamiento con bordillos u objetos / mala operación	<ul style="list-style-type: none"> Observar las rutas de operación. Conocimiento del cuidado en operación de las llantas. Mirar la forma de la marca del roce. Son característicos de este tipo de impactos. 	Evitar los roces de los flancos, 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.	Revisar el estado de los flancos con cierta frecuencia. Sobre todo a los vehículos con rutas invadidas de andenes y calles estrechas.
Roturas por impactos en el interior de la cubierta	Roturas en el interior de la cubierta en la banda de rodamiento que no son perceptibles visibles con la llanta montada en el Rin	Tensión excesiva / choque con objeto	<ul style="list-style-type: none"> Mantener comunicación sobre impactos fuertes de las llantas producidos durante su operación. 	Después de un impacto considerado con grave, revisar la llanta, curar heridas si es posible.	Establecer medidas de revisión con cierta frecuencia.
		Tensión excesiva / presión de aire baja	<ul style="list-style-type: none"> Revisar la presión de aire. A cuánto fue calibrada. 	Evitar las flexiones continuas de la carcasa en la opresión del vehículo. Evadir obstáculos en lo posible.	Establecer medidas de revisión con cierta frecuencia.
Roturas por pellizcos en el interior de la cubierta	Roturas en el interior de la cubierta en el flanco que no son perceptibles y en algunas ocasiones la rotura de la carcasa es instantánea	Choque con objeto - Impacto	<ul style="list-style-type: none"> Revisar la ruta de operación. Presencia de andenes, obstáculos. La forma de la rotura muestra inmediatamente que fue una compresión excesiva del flanco. Revisar rastros de impactos en la banda de rodamiento cercanos a la posición de la falla en el flanco. 	Evitar las flexiones continuas de la carcasa en la opresión del vehículo. Evadir obstáculos en lo posible.	Establecer medidas de revisión con cierta frecuencia.
		Operación extrema / virajes muy pronunciados o a alta velocidad	<ul style="list-style-type: none"> Verificar la velocidad a la que ocurrió el incidente. Mirar tipo de curva, velocidad permitida y recomendada para tomarla. 	Informar al operador sobre las maniobras en las curvas y los esfuerzos mecánicos a los que se ven sometidos las llantas y las partes de la suspensión.	Implementar registrador de fuerzas G. observar el estado de las curvas y la cantidad en el trayecto.
		Presión de aire baja	<ul style="list-style-type: none"> Chequear el estado de la válvula. Revisar el estado de la cámara localizar posibles escapes. Determinar el estado de operación del vehículo momentos antes de la ocurrencia del incidente. 	Revisar la metodología y los equipos de calibración. Calibrar llantas según lo recomendado por el fabricante. Revisar el estado de las válvulas y otros posibles escapes en la estructura de la carcasa	Revisar periódicamente la presión de los neumáticos, si es posible en operación. Control de monitoreo
Dislocación de la carcasa	Rompimiento de la carcasa debido a sobre esfuerzos del material	Calentamiento excesivo	VER RECOMENDACIONES EN LA FALLA – DESPRENDIMIENTO EN LA CIMA DE LA BANDA DE RODAMIENTO / CAUSA- CALENTAMIENTO EXCESIVO.		
		Presión de aire baja	<ul style="list-style-type: none"> Chequear el estado de la válvula. Revisar el estado de la cámara localizar posibles escapes. Determinar el estado de operación del vehículo momentos antes de la ocurrencia del incidente. 	Revisar la metodología y los equipos de calibración. Calibrar llantas según lo recomendado por el fabricante. Revisar el estado de las válvulas y otros posibles escapes en la estructura de la carcasa.	Revisar periódicamente la presión de los neumáticos, si es posible en operación. Control de monitoreo
Deterioro del enganche	Pérdida parcial o completa de las propiedades mecánicas o del material que compone al enganche de las llantas neumáticas.	Tensión excesiva de la ceja	<ul style="list-style-type: none"> Revisar el estado de la carga, si hay o no sobrecarga. Revisar el montaje realizado. 	Montar de manera adecuada los neumáticos con el fin que no se presenten sobre esfuerzos en los enganches durante la operación.	Chequear el estado de los enganches.
		Elementos de la misma llanta que producen el deterioro	<ul style="list-style-type: none"> Chequear el desgaste, las deformaciones y el estado del 	Mirar el estado de los componentes que hacen parte de las llantas.	Inspeccionar con cierta frecuencia.

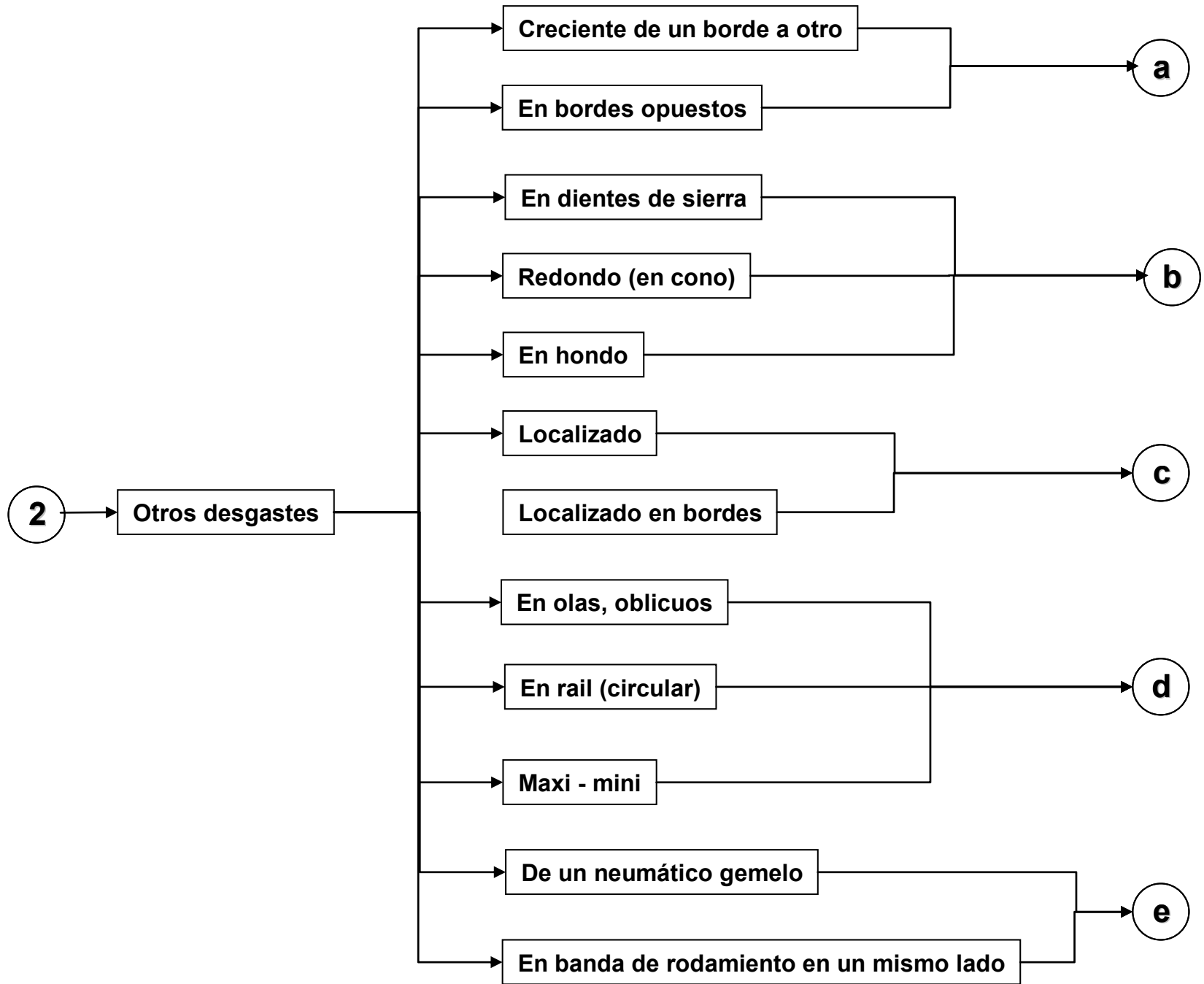
			material del enganche.		
		Choque – impacto – pellizco	<ul style="list-style-type: none"> Desgarros localizados en la goma en la zona baja. 	Controlar la operación inadecuada del vehículo.	Revisara la operación del vehículo.
		Exceso de calor	<ul style="list-style-type: none"> Mirar el estado de los frenos. Inspeccionar si hay trabajos de soldaduras realizados en el Rin u otras partes cercanas al neumático. Determinar la cantidad frecuentes de frenadas en el recorrido de operación. 	No repara por soldaduras llantas ni discos. No realizar trabajos de soldadura en llantas sin antes soltar el neumático del Rin. Desmontar llantas al hacer trabajos de soldaduras en el chasis o carrocería.	Monitorear la forma adecuada de la evacuación del calor generad por los frenos.
		Presencia de cuerpos extraños	<ul style="list-style-type: none"> Revisar si otros neumáticos existe la presencia de cuerpos extraños (polvo, tierra, etc.) Mirar la existencia de ralladuras ocasionadas por la fricción de los cuerpos extraños. 	Realizar limpiezas de las pestañas cada vez que sea necesario.	Realizar medida de solución con frecuencia.
Deterioro de la estructura de la cámara	Ralladuras, grietas y perforaciones que pueda sufrir la cámara de aire	Deterioro por el protector	<ul style="list-style-type: none"> Revisar la presencia del protector y el estado en que se encuentra. Detectar si es el protector adecuado al tipo de llanta que fue colocado. 	El protector debe corresponder a la dimensión de la cubierta en función del ancho de la llanta. Asegurarse que el protector está correctamente alojado antes del montaje. Con cubierta nueva montar protector nuevo.	Supervisar el montaje, chequear posibles cambios en la posición del protector después de cierto kilometraje recorrido.
		Deterioro por el talón de cubierta / mal montaje	<ul style="list-style-type: none"> Revisar la presencia del protector 	Respetar las normas de montaje e inflado.	Monitorear montajes y presiones de calibración.
		Deterioro por roce en el interior de la cubierta	<ul style="list-style-type: none"> Revisar presencia de ralladuras sobre la estructura. 	Durante el inflado: empujar a válvula hacia el interior para facilitar la evacuación del aire e inflar lentamente sin quitar el interior de la válvula.	Chequear en cada desmontaje la presencia de ralladuras en la superficie.
		Deterioro por cuerpos extraños	<ul style="list-style-type: none"> Revisar perforaciones en la cámara. Mirar el estado de suciedad del interior de la cubierta. 	Antes de colocar la cámara dentro de la cubierta asegurarse que estos dos elementos así como la llanta, están perfectamente limpios y secos.	Chequear en cada desmontaje la presencia de suciedad.
		Mala selección de la cámara	<ul style="list-style-type: none"> Mirar si la cámara es la dimensión correspondiente a la carcasa. Mirar si hay presencia de otros pliegues en la cámara. 	Montar una cámara nueva correspondiente a la mitad de la carcasa.	Revisar el trabajo de montaje.
Deterioro o desprendimiento de la válvula de inflado	Pérdida de la válvula o desprendimiento parcial de la misma.	Rodaje sin aire	<ul style="list-style-type: none"> Chequear el estado de la válvula. Revisar el estado de la cámara localizar posibles escapes. Determinar el estado de operación del vehículo momentos antes de la ocurrencia del incidente. 	Revisar la metodología y los equipos de calibración. Calibrar llantas según lo recomendado por el fabricante. Revisar el estado de las válvulas y otros posibles escapes en la estructura de la carcasa	Revisar periódicamente la presión de los neumáticos, si es posible en operación. Control de monitoreo
		Exceso de apriete / mal montaje	<ul style="list-style-type: none"> Determinar con que par fue apretada la llanta. Mirar el procedimiento de montaje. 	Montar de forma adecuada la llanta según par de apriete recomendado por fabricante del vehículo.	Supervisión y revisión frecuente de los procesos de montaje.
		Mala posición del conjunto	<ul style="list-style-type: none"> Mirar la posición de todo el conjunto. El balanceo de la llanta ayudará. Revisar el modo de montaje. 	Remontar la llanta de forma adecuada para acomodar la válvula.	Inspeccionar con frecuencia el estado del conjunto. Determinar las vibraciones que pueda estar presentando la llanta durante el rodaje.

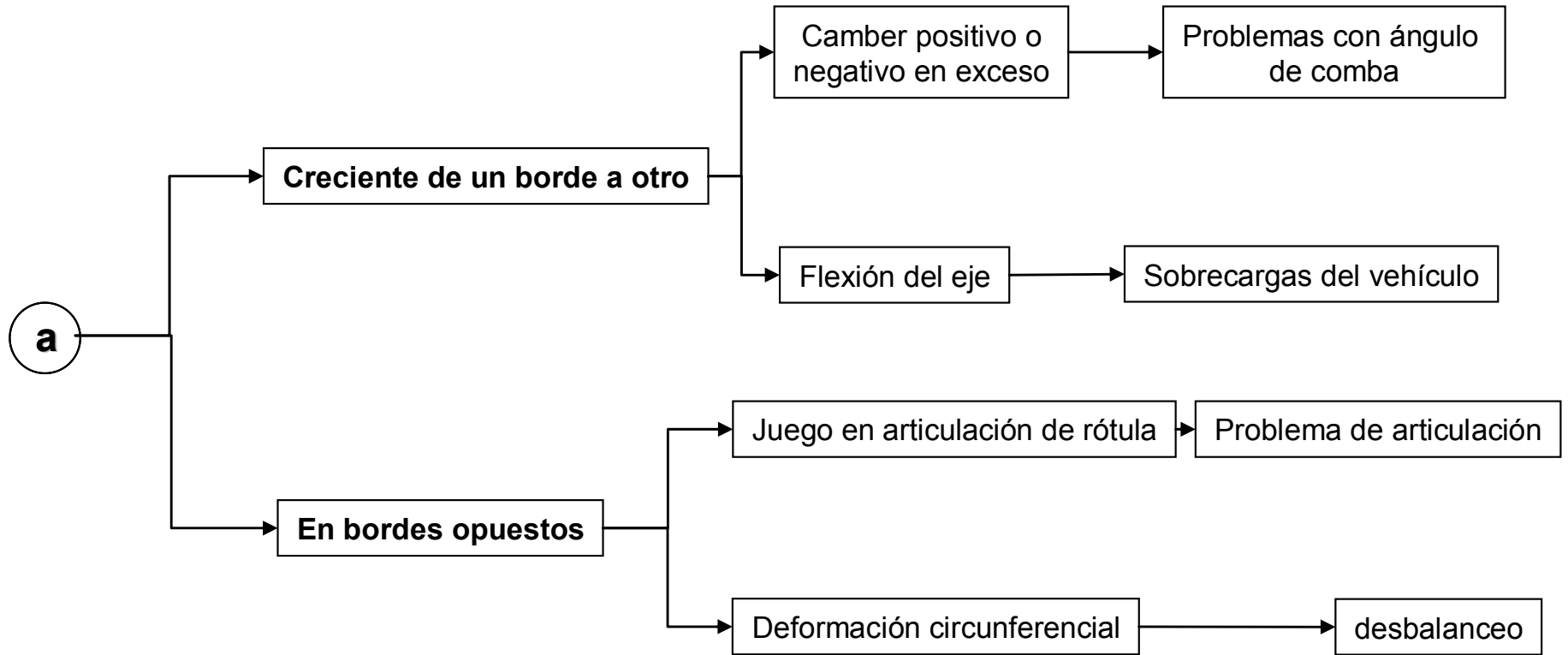
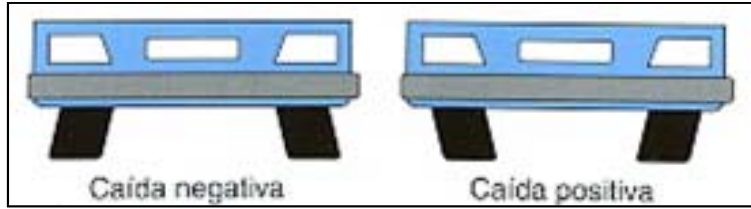
		Impacto con los tambores del freno	<ul style="list-style-type: none"> Mirar la magnitud del desprendimiento. Si es un impacto con un elemento del conjunto, la válvula mostrará rastro de impacto. 	Reemplazar la cámara. No es recomendable pegar la válvula nuevamente.	Verificar el posicionamiento y el estado de los componentes de la llanta.
--	--	------------------------------------	--	---	---

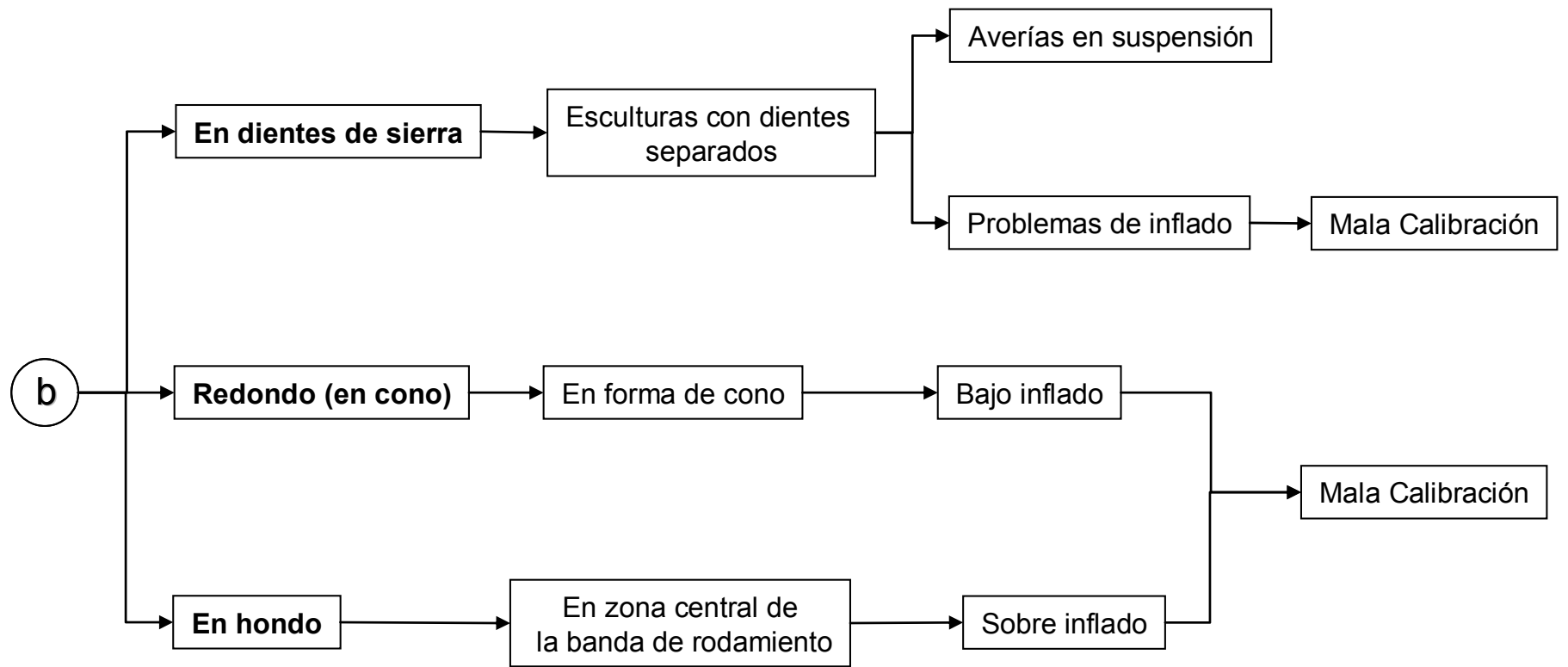
Tabla 7 Descripción de las fallas y cada una de sus posibles causas

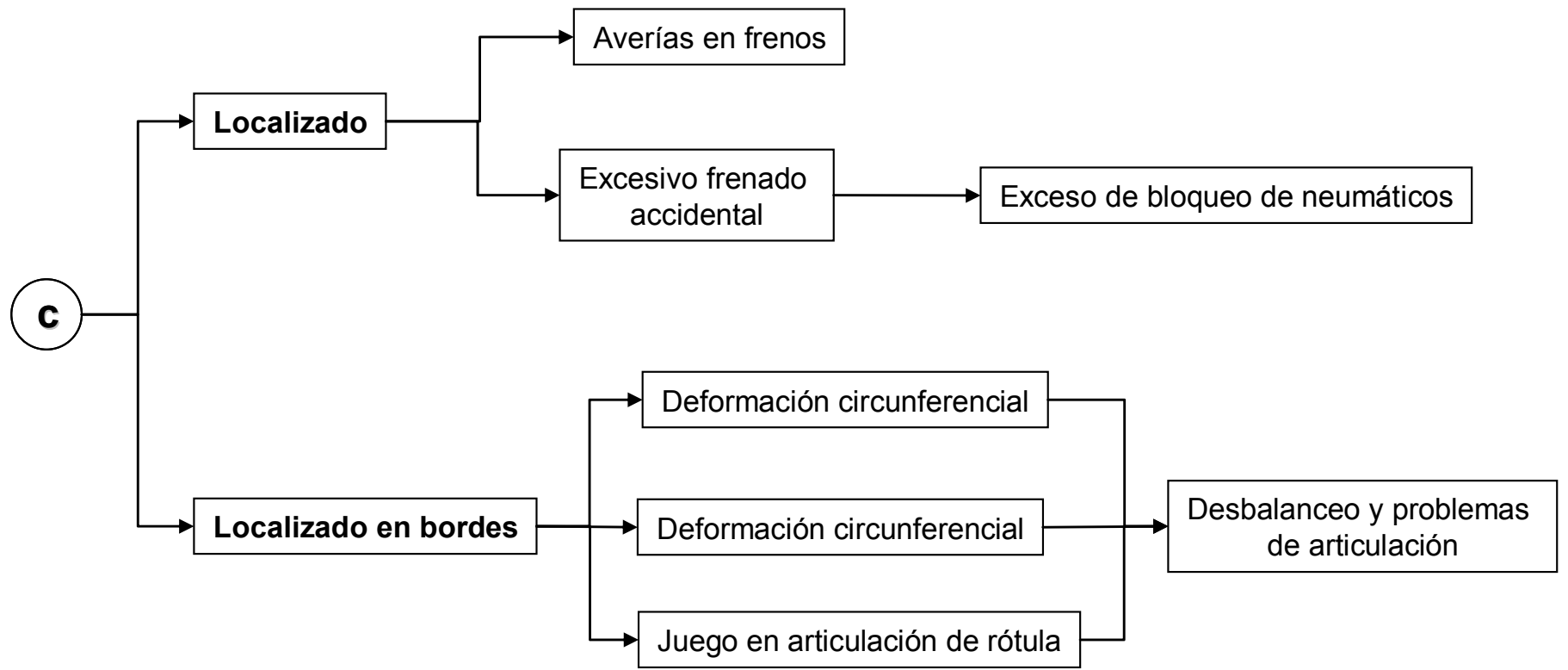


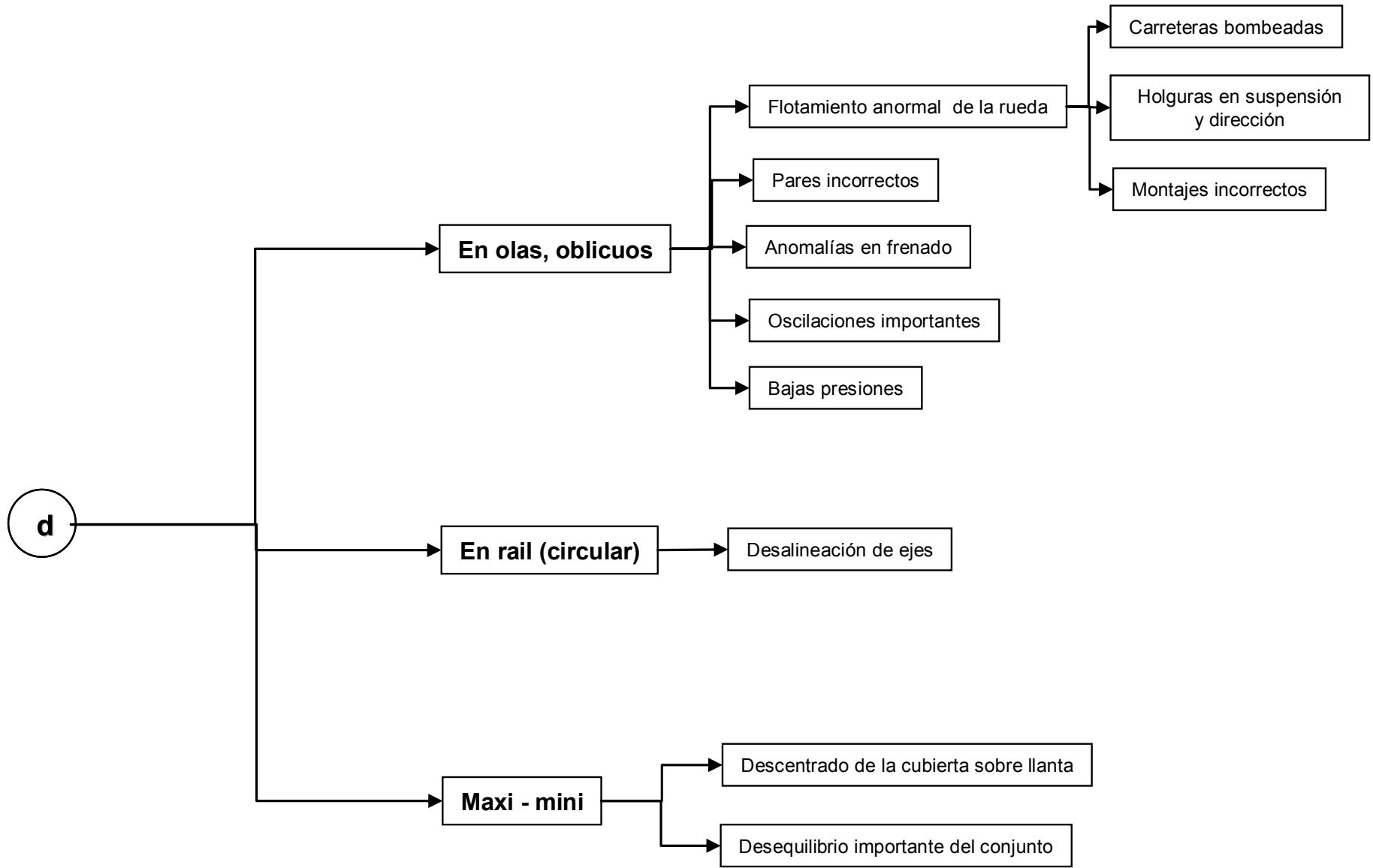


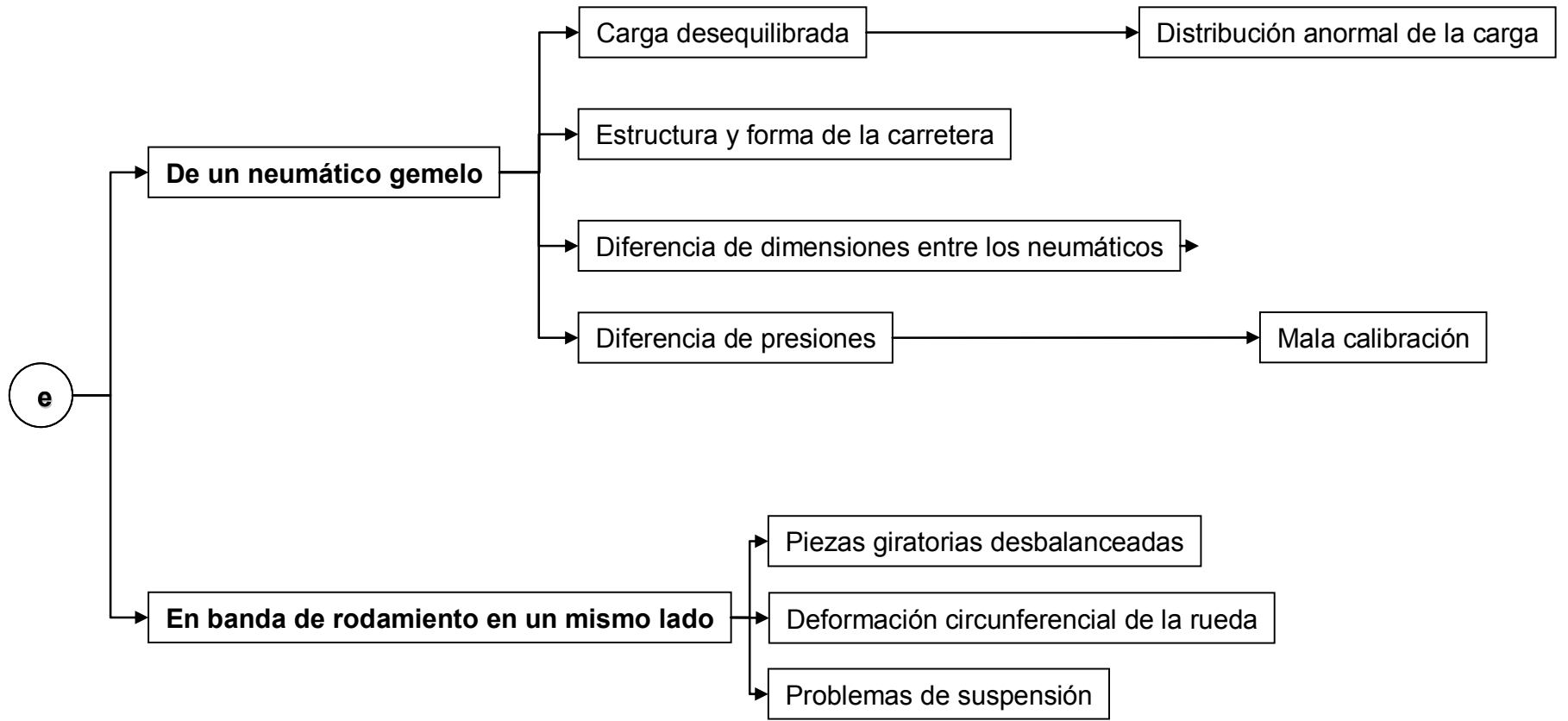












5.5. Aplicación del modelo general de RCA a un incidente en la empresa.

En este inciso se describirá la aplicación del modelo general de RCA a un caso presentado en la empresa Coordinadora Mercantil S.A. El propósito es representar con un caso la forma de aplicación del modelo y sus prestaciones.

Descripción del caso

El día viernes 28 de Octubre a la Terminal de Cartagena de Coordinadora Mercantil S.A. realiza su llegada un cabezote codificado con código interno No 119 perteneciente al grupo de afiliados a la compañía, remolcando el trailer marca INCA codificado con número interno 193. La ruta que llevó a cabo en su recorrido fue 289 (Medellín - Sincelejo – Cartagena). En el trailer llegó una llanta pinchada en la posición C.

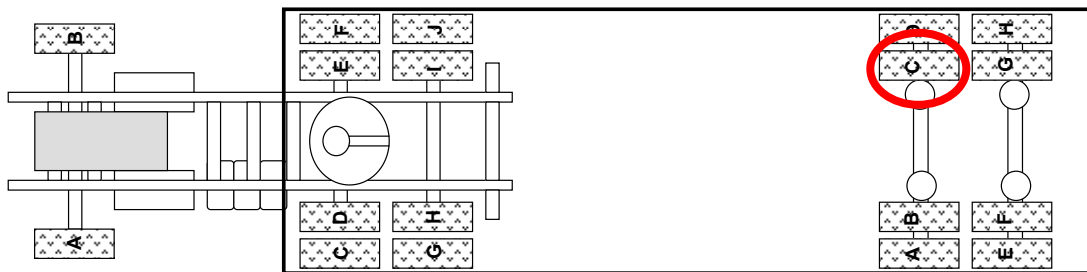


Ilustración 92 Posición de la llanta pinchada en el trailer

La llanta afectada es una Bridgestone M729 con código interno C730 y con características 295/80 R22 con dos reencauches, el último con banda de rodamiento de tipo direccional marca Goodyear, presentó esta falla:



Ilustración 93 Imagen de la rotura de la llanta del trailer

El desprendimiento mostrado en la gráfica se ubicó en la parte exterior del casco laso interno, haciendo referencia con la llanta montada en la posición descrita anteriormente en el trailer.

Recolección de datos

Como en todo RCA a realizar, la recolección de todos los datos es indispensable, ya que la cantidad de información obtenida tanto de datos técnicos como la secuencia de ocurrencia de los hechos ayudarán a determinar con mayor precisión la causa raíz de la falla.

Aplicación del modelo general de RCA

Partiendo del diagrama de fallas en llantas neumáticas, se identifica el componente de la llanta donde ocurrió la falla. Si se observa en la ilustración 93 se puede apreciar que la falla se presentó en el flanco de la llanta neumática. Además, se tiene también que las fallas que ocurren desde el interior de la cubierta hay una clasificación específica que indica un modo de falla desde el interior de la cubierta por el lado del flanco. Entones comenzando por el primer

diagrama, se toman las fallas en el flanco y los producidos desde el interior de la cubierta. Es importante ver todos los modos de fallas antes de seleccionar el diagrama con el cuál se va a trabajar.

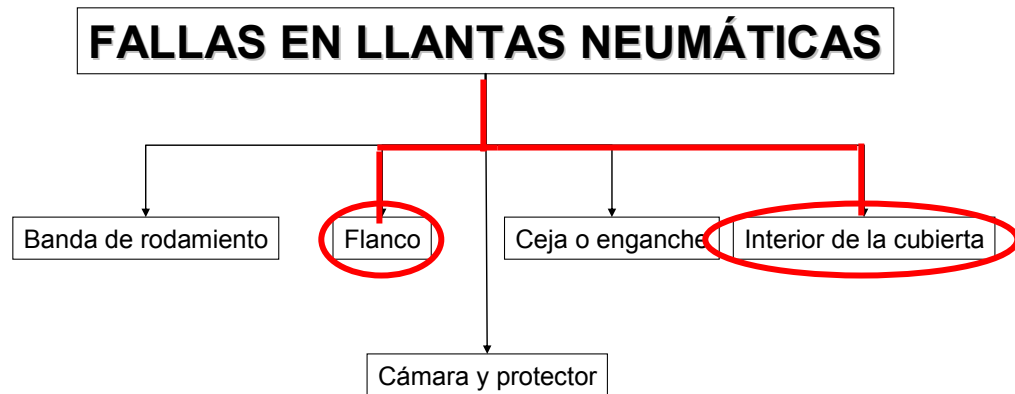


Ilustración 94 Diagrama principal, ubicación de las fallas de acuerdo a los componentes

Luego se obtienen los diferentes modos de falla que pueden ocurrir en el flanco de una llanta neumática. Para esto se remite a diagrama de las fallas en el flanco. Los diferentes modos de fallas en el flanco se tienen los siguientes (mirar diagrama):

- Deterioro por objeto entre neumáticos gemelazos.
- Contacto entre neumáticos gemelazos.
- Bolsa de aire (reventada o no).
- Rotura de carcasa.
- Roturas o grietas en la goma.
- Corte en el flanco.
- Roces y desgaste circular.
- Rotura sobre corte en la banda de rodamiento.

De igual forma se miran los modos de falla que ocurren desde del interior de la cubierta:

- Roturas por impacto

- Dislocación de la carcasa

Luego de identificar los posibles modos de fallas, hay que seleccionar los modos de fallas más similares al caso. Es de importancia comparar las imágenes de las fallas del modelo general con la real (las imágenes están en el inciso 2.4 del marco teórico).

<p>Imagen del incidente</p> 	
 <p>Falla en el flanco Tipo de falla: Bolsa de aire (reventada o no)</p>	 <p>Falla interior de cubierta Tipo de falla: Rotura por pellizcos</p>

Tabla 8 Comparación de las imágenes de los modos de fallas con el del caso real.

Según las ilustraciones de los modos de fallas, las más cercanas son las dos mostradas en la tabla anterior (tabla 8). De los dos modos de fallas realizando la

comparación el más similar es de la Falla desde el interior de la cubierta. Claramente se observa la forma del desprendimiento y la magnitud del mismo.

Luego de haber seleccionado el modo de falla se observa el diagrama de fallas para ver las posibles causas del incidente.

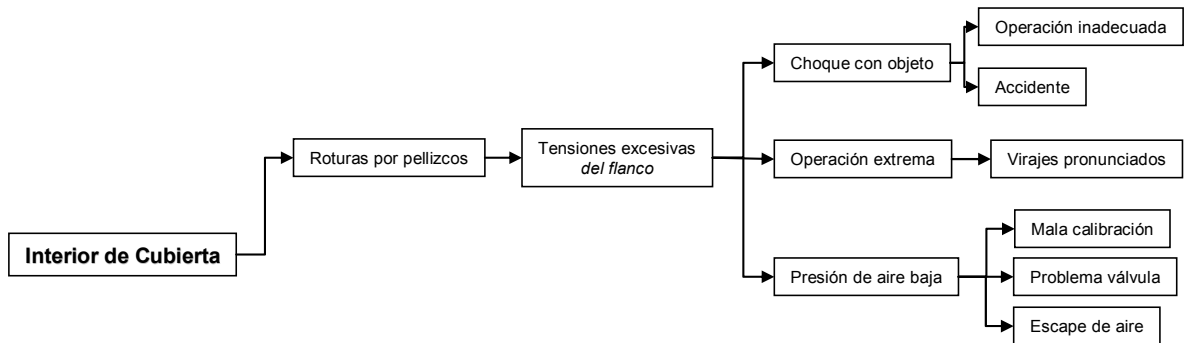


Ilustración 95 Diagrama de análisis de la falla

A través del diagrama se logra identificar que la causa fue un pellizco de la llanta, lo que ocasiona tensiones excesivas del flanco. De acuerdo al diagrama hay tres posibles causas que pueden generar una tensión excesiva del flanco a través de una compresión: Choque con objeto, operación extrema del vehículo o una presión de aire baja durante el rodaje.

A través de la tabla 7, descripciones de las fallas y causas buscamos de las tres la causa efectiva a través del método de verificación.

Choque con objeto - Impacto	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar la ruta de operación. Presencia de andenes, obstáculos. • La forma de la rotura muestra inmediatamente que fue una compresión excesiva del flanco. • Revisar rastros de impactos en la banda de rodamiento cercanos a la posición de la falla en el flanco.
Operación extrema / virajes muy pronunciados o a alta velocidad	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar la velocidad a la que ocurrió el incidente. Mirar tipo de curva, velocidad permitida y recomendada para tomarla.
Presión de aire baja	<ul style="list-style-type: none"> • Chequear el estado de la válvula. • Revisar el estado de la cámara localizar posibles escapes. • Determinar el estado de operación del vehículo momentos antes de la ocurrencia del incidente.

Tabla 9 Verificación de las causas del modo de falla (Obtenido de la tabla 7)

En la siguiente tabla están los resultados de la investigación de acuerdo a los pasos descritos en la metodología para verificar la causa.

<ul style="list-style-type: none"> Revisar la ruta de operación. Presencia de andenes, obstáculos. 	En la ruta de operación no hay presencia de andenes ya que es una ruta nacional. La presencia de otros obstáculos es posible ya que a veces existe suciedad en las carreteras sobre todo en épocas de lluvias.
<ul style="list-style-type: none"> La forma de la rotura muestra inmediatamente que fue una compresión excesiva del flanco. 	Es efectivo, la forma de la rotura muestra una sobre tensión de la estructura por el lado del flanco, ya que en el desprendimiento se ve la tensión sufrida por los cables colocados en forma radial.
<ul style="list-style-type: none"> Revisar rastros de impactos en la banda de rodamiento cercanos a la posición de la falla en el flanco. 	Se pudo observar un rastro de impacto en la banda de rodamiento, muy cercano a la parte del flanco donde se ocurrió la rotura. (ver ilustración 96) En la hoja de descargo se encuentra una explosión repentina.

Tabla 10 Análisis de la primera posible causa “Choque con objeto - impacto”



Ilustración 96 Rastro del impacto que sufrió la llanta

Según las descripciones anteriores se puede decidir que la causa de la rotura fue un impacto de la llanta con un objeto en carretera. Es importante analizar las otras posibles causas, se puede encontrar algo que pueda resultar mucho más relacionado al caso.

<ul style="list-style-type: none"> Verificar la velocidad a la que ocurrió el incidente. Mirar tipo de curva, velocidad permitida y recomendada para tomarla. 	El incidente ocurrió en una vía en línea recta a una velocidad de 85 km/h.
--	--

Tabla 11 Análisis de la segunda posible causa “Operación extrema, virajes a alta velocidad”

El análisis de la causa anterior se descarta por completo ya que el incidente ocurrió en una vía en línea recta. Información obtenida de la hoja de descargos del conductor y la información de monitoreo satelital.

<ul style="list-style-type: none"> • Chequear el estado de la válvula. 	La válvula se encontró en buen estado. Sin fugas ni desprendimientos.
<ul style="list-style-type: none"> • Revisar el estado de la cámara localizar posibles escapes. 	Carcasa tipo “tubeless” sin cámara interior.
<ul style="list-style-type: none"> • Determinar el estado de operación del vehículo momentos antes de la ocurrencia del incidente. 	El funcionamiento del vehículo era normal momentos antes del incidente. La móvil llegó a la Terminal con la llanta pinchada sin ningún inconveniente.

Tabla 12 Análisis de la tercera posible causa “presión de aire baja”

También se descarta la tercera posible causa de acuerdo al análisis realizado. Indiscutiblemente la causa es la primera, pero faltaría determinar la causa raíz del incidente.

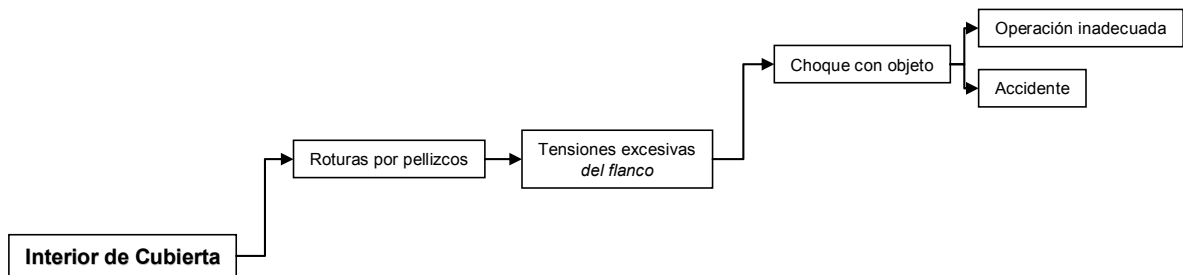


Ilustración 97 Sección del diagrama que conlleva a la causa raíz según análisis

Como se puede observar en la ilustración anterior las posibles causas raíces son una operación inadecuada o simplemente un accidente.

- **Operación inadecuada:** Según los descargos realizados y el estado físico del conductor no hay razón para identificar como una mala operación por parte del operador. El conductor no tenía rastros de sustancias extrañas en su cuerpo (drogas, alcohol, etc.) y es una persona altamente capacitada para el manejo de estos vehículos (los años de experiencia son importantes).

- **Accidente:** se identifica como un accidente ya que el conductor indica que los hechos ocurrieron a las 6:15 a.m., indicando que estaba en el final del viaje. Tal vez los reflejos disminuyen un poco después de 11 horas continuas de viaje, y la probabilidad de impactar con un objeto en carretera aumenta, sobre todo si son objetos 100 veces más pequeños que la mula completa los que están en la vía.

Resultado del análisis

Se determinó a través del modelo general de RCA y los datos recolectados que la falla de la llanta fue producto de un sobre esfuerzo del flanco del neumático, ocasionado por la compresión del mismo, debido a un impacto de la llanta con un objeto en la carretera considerado simplemente como un accidente común sin cargos al operador ya que se le encontró en buen estado físico para la conducción.

Recomendaciones a partir del modelo general

Las recomendaciones concernientes a la causa raíz de la falla de acuerdo lo planteado en el modelo general son las siguientes:

- Evitar las flexiones continuas de la carcasa en la opresión del vehículo.
- Evadir obstáculos en lo posible.

A esto se le puede añadir: reducir la velocidad a la presencia de suciedad en carretera, con el propósito de reducir los impactos fuertes en llantas.

La metodología para el monitoreo y control de este tipo de fallas se tiene que:

- Inspeccionar bien las llantas después de cada viaje.
- Si se sospecha sobre la presencia de fisuras internas, desmontar la llanta para revisar.
- Importante que el operador comunique los incidentes ocurridos en carretera, así que no hayan tenido consecuencia alguna inmediata.

CONCLUSIONES

Gratificante y llena de descubrimientos ha llegado la idea de trabajar con el *Análisis Causa Raíz* lo cuál acaba de brindar no solo alternativas eficientes, eficaces y efectivas en las acciones de ingeniería de mantenimiento, técnicas mecánicas y operativas en el manejo de las fallas sino también en la eliminación de acciones lucro cesantes que le quitan argumento a las labores de ingeniería.

Se ha identificado que el ingeniero de mantenimiento además de complementarse del conocimiento técnico, debe estar en la capacidad de liderar buenos procesos basados en la confiabilidad que se espera en los tiempos modernos para obtener la disponibilidad que siempre se ha querido retener en sus más grandes proporciones. Es por eso que esta investigación nos ha arrojado resultados deseables para cualquier empresa que maneje incluso más allá de los requerimientos de *Coordinadora Mercantil S.A*, ya que identificando y plasmando proporcionalmente el consumo de llantas y la influencia de sus fallas y desgastes en el consumo de combustible; se ha tomado este modelo luego de la capacitación al personal como una idea prioritaria dentro del ente administrativo que quiere ser reflejada en el campo de producción, y de esta forma se esperara obtener el 10% menos del combustible gastado por efectos secundarios en la deficiencia operativa de las llantas, y expectantes a atender solo fallas accidentales reduciendo el porcentaje del gasto actual en mas del 50% lo que arrojaría una influencia del 6% representado en el presupuesto del mantenimiento anual.

Se ha llegado a descubrir lo apasionante que llega a ser el desenvolvimiento del RCA como metodología de mantenimiento, haciendo conciencia de nuestro verdadero valor como ingenieros vigilantes del riesgo.

De igual forma quedará impregnada la cultura de hacer lo que verdaderamente hay que hacer, resolver lo primero urgente importante y luego lo que es solo

importante; además que quede este aporte investigativo como el punto de partida de lo que se puede extraer del buen RCA aplicado a las necesidades de varios ítems y varias condiciones de trabajo, enfocando las ideas a las recomendaciones y decisiones adecuadas que conlleven al punto de interés de nuestra ingeniería: *“el aporte lucrativo desde nuestro campo de acción, **el mantenimiento**”*

RECOMENDACIONES

Después de invocar conceptos de confiabilidad, es interesante tener una asimilación del ciclo de vida y las estrategias de mantenimiento a tener en cuenta para cada una de sus etapas como recomendamos en el siguiente organigrama:

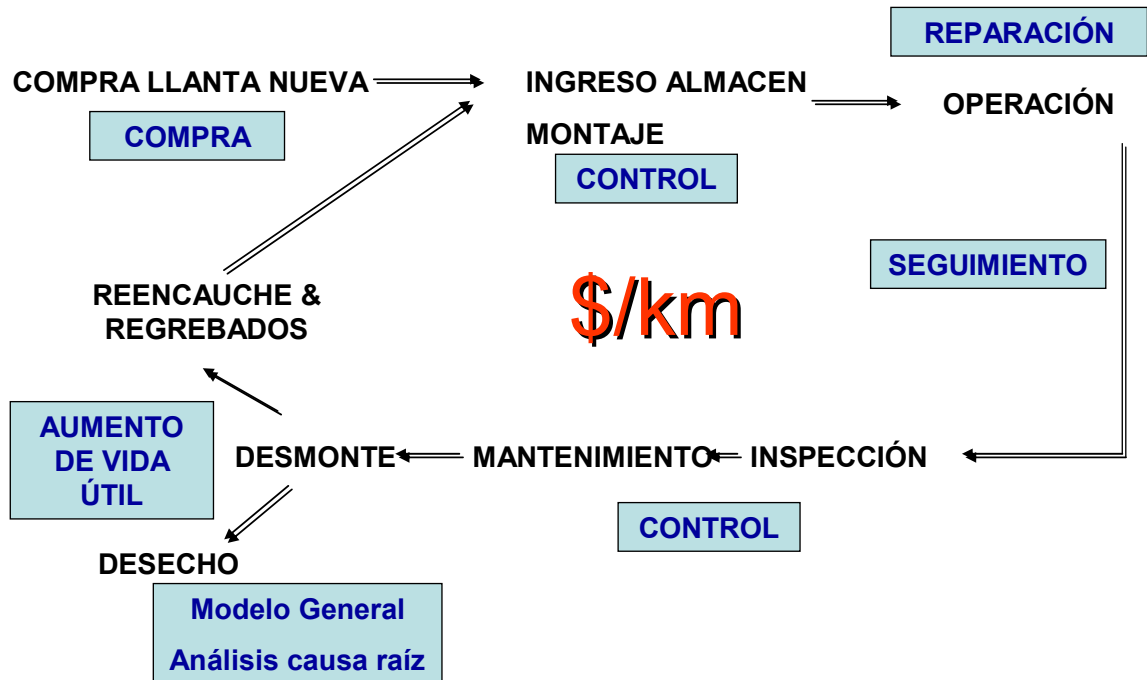


Ilustración 98 Organigrama estratégico de mantenimiento

BIBLIOGRAFÍA

- MICHELIN, Catálogos de fabricantes a nivel nacional e Internacional.
- GOODYEAR, Catálogos de fabricantes a nivel nacional e Internacional.
- NUÑEZ, Alfonso. Memoria óptica, Confiabilidad e Integridad de activos, Minor Mantenimiento Industrial. UTB 2005.
- Esquema General de Análisis Causa Raíz de ECOPETROL S.A.
- Manual de información técnica para llantas de camión. Firestone. Traducción: Hulera El Centenario. México D.F. Septiembre de 1989
- Escuela de llantas. Compañía Hulera Goodyear Oxo S.A. de C.V.
- Guía de análisis de condiciones para llanta (neumático radial). The Maintenance Council. U.S.A. 1995.
- Apuntes de neumáticos. Nacional llantera S.A.

Paginas Web

- www.goodyear.com
- www.michelintransport.com