

Caracterización y prevención de la pérdida del sistema de frenado neumático causado por efecto fading en vehículos tipo camión y tractocamión utilizados para el transporte de carga en Colombia.

Cristian Camilo Sierra Novoa

Trabajo de grado para optar al título de: Especialista en ingeniería automotriz

Director:

Ph. D. Jorge Luis Chacón Velazco

Ingeniero Mecánico

Doctor en procesos Termofluidodinámicos en motores de combustión interna alternativos

Universidad Industrial de Santander

Facultad de ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de ingeniería mecánica

Especialización en ingeniería Automotriz

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

A mi esposa, por ser el motor que día a día impulsa mis proyectos y metas incondicionalmente, sin resaltar los obstáculos que se pudieren presentar; dando un buen consejo en el momento preciso.

Dra. Diana J. García C.

A mis hijos que cada día me recuerdan las cosas realmente importantes en la vida, por sorprenderme con sus ocurrencias y transportarme en el tiempo a los recuerdos de mi infancia.

Estefany L. S y Juanes.

A mis padres por apoyarme desde la distancia y mostrar siempre alegría ante mis logros.

Mateo S. y Eva N.

Agradecimientos

A Dios nuestro señor por la salud, la vida y la oportunidad de alcanzar esta meta.

A la Universidad Industrial de Santander UIS, por permitirme pertenecer a esta prestigiosa institución.

Al ingeniero Isnardo Gonzales Jaimes, evaluador de este proyecto, por cada una de sus correcciones y aportes.

Al ingeniero Jorge Luis Chacón Velazco, director de este proyecto, por su acompañamiento y aportes.

Al equipo de la escuela de posgrados en ingeniería mecánica, por su eficiencia y disposición en cada una de las inquietudes.

Tabla de contenido

Introducción	17
1. Objetivos	19
1.1 Objetivo general.....	19
1.2 Objetivos específicos:	19
2. Marco referencial	19
2.2 Transporte de carga en Colombia	24
2.2.1 Parque automotor de carga en Colombia	25
2.2.2 Clasificación de vehículos de carga en Colombia	26
3. Sistema de frenado neumático en vehículos comerciales tipo camión y tractocamión	29
3.1 Sistemas de frenado en camiones y tractocamiones	29
3.2 Funcionamiento del sistema de frenado neumático	31
3.3 Componentes del sistema de frenado neumático en vehículos de carga	36
3.3.1 Compresor de aire	36
3.3.2 Gobernador del compresor de aire.....	37
3.3.3 Depósitos o tanques de almacenamiento de aire.....	39
3.3.4 Secador o drenaje del tanque de aire.....	40
3.3.5 Válvula de seguridad.....	43
3.3.6 Pedal o bomba de freno.....	44
3.3.7 Válvula relay	45
3.3.8 Manómetros de aire disponible	46
3.3.9 Medidor de la presión aplicada en el pedal de freno	47

CONOCE Y PREVIENE EL EFECTO FADING EN CAMIONES	5
3.3.10 Señales de advertencia de baja presión de aire en el vehículo.....	48
3.3.11 Freno de estacionamiento o freno de emergencia.....	48
3.3.12 Rache dispositivo de ajuste de holgura o graduación	51
3.4 Tipo de mecanismo de frenado.....	53
3.4.1 Mecanismo de frenado por tambor y zapata	53
3.4.2 Mecanismo de frenado por disco y pastillas	56
3.4.3 Válvulas moduladoras de control (pivote).....	57
3.5 Sistemas antibloqueo de frenos (ABS)	58
3.6 Eficacia del sistema de frenado en vehículos tipo pesado para el transporte de carga.....	61
4. Caracterización y prevención del efecto fading en vehículos comerciales tipo camión y tractocamión.....	63
4.1 Sobrecalentamiento de los componentes	65
4.1.1 Tipos de fading o desvanecimiento de frenos.....	65
4.1.2 Desvanecimiento mecánico	66
4.1.3 Desvanecimiento del recubrimiento.....	66
4.1.4 Desvanecimiento por contaminación con fluidos	68
4.1.5 Desvanecimiento Dominó generado por desequilibrio.....	71
4.2 Exceso de carga con respecto a la cual fue diseñado el vehículo	72
4.2.1 Exceso de carga del vehículo y desvanecimiento del frenado.....	75
4.3 Falencias en el mantenimiento del sistema de frenado.....	76
4.3.1 Mantenimiento del mecanismo de frenado del sistema neumático	76
4.3.2 Inspección del sistema de frenado neumático.....	78
4.3.3 Sustitución de consumibles y componentes desgastados.....	80

CONOCE Y PREVIENE EL EFECTO FADING EN CAMIONES	6
4.3.4 Rutinas de mantenimiento básico	87
4.3.5 Ajustador de holgura de frenos en mecanismo tambor y zapata	89
4.3.6 Graduación o ajuste de frenos	91
4.3.7 Desequilibrio en las fuerzas de frenado	97
4.4 Uso eficiente del sistema de frenos por parte del operador	98
4.4.1 Freno retardador	100
4.4.2 Freno de motor Jacobs o Jake brake	102
4.4.3 Freno retardador eléctrico de inducción o Telma	103
4.4.4 Freno de ahogo o estrangulamiento de escape	104
4.5 Adaptaciones en el sistema de frenado del vehículo	105
4.5.1 Eliminación de los sistemas de frenado antibloqueo (ABS)	105
4.5.2 Modificaciones a la bomba de frenado	107
4.5.3 Cambio de sistema de frenado hidráulico a sistema de frenado neumático	108
4.5.4 Cambio del tipo de cámaras de frenado	108
5. Resultados	109
6. Conclusiones	115
7. Recomendaciones	116
Referencias Bibliográficas	118
Apéndices	122

Lista de figuras

Figura 1. Accidente ocurrido en el túnel de "Los venados" sector La Línea..... 20

Figura 2. Accidente entre Tractocamión y camioneta familiar en Arcabuco Boyacá 21

Figura 3. Accidente en la vía al llano Túnel Quebrada blanca 23

Figura 4. Accidente tractocamión incendiado en túnel de Quebrada blanca 24

Figura 5. Distribución por tipo de vehículo usado para el transporte de carga en Colombia. 25

Figura 6. Edad del parque automotor utilizado para el transporte de carga en Colombia. 26

Figura 7. Fotografía de camión averiado por exceso de carga (sobrepeso)..... 27

Figura 8. Funcionamiento de un sistema de frenos neumático 32

Figura 9. Esquema de un sistema de frenado neumático 35

Figura 10. Compresor de aire para Navistar Maxxforce fabricado por bendix 37

Figura 11. Funcionamiento y partes de la válvula gobernador 38

Figura 12. Depósitos o tanques de aire de un camión con sistema de frenado neumático. 39

Figura 13. Esquema de Válvula de drenaje manual..... 41

Figura 14. Fotografía de Válvula de drenaje manual..... 42

Figura 15. Funcionamiento de válvula Automática o secador de aire 43

Figura 16. Bomba o pedal de freno neumático 44

Figura 17. Ubicación de válvula relay en un circuito de frenado primario 46

Figura 18. Reloj indicador de presión de aire disponible y presión ejercida sobre pedal de freno.
..... 47

Figura 19. Descripción y partes de una válvula de freno de estacionamiento 49

CONOCE Y PREVIENE EL EFECTO FADING EN CAMIONES	8
Figura 20. Esquema de funcionamiento de una cámara de freno de resorte.....	50
Figura 21. Mecanismo de conversión de aire comprimido a fuerza torsional	51
Figura 22. Esquema y partes de un sistema de frenado por tambor y zapatas.....	53
Figura 23. Mecanismo de frenado de tambor y zapata con accionamiento por leva en S.	54
Figura 24. Sistema neumático con mecanismo de frenado por cuña.	55
Figura 25. Sistema de freno de aire con mecanismo por disco y pastillas.....	56
Figura 26. Fotografía de accionamiento válvula moduladora de control o pivote	57
Figura 27. Descripción grafica de frenado para un camión con/sin ABS.....	58
Figura 28. Testigos luminosos indicadores de falla en el sistema de frenado ABS.	60
Figura 29. Esquema de distribución y funcionamiento de un sistema de freno ABS para camiones.	61
Figura 30. Área de contacto y zona de desgaste en mecanismo de frenado tambor y zapata.....	64
Figura 31. Comportamiento del material de fricción de revestimientos con respecto al aumento de temperatura y su calidad de fabricación.....	68
Figura 32. Descripción de un mecanismo de frenado con desvanecimiento por contaminación con lubricante.....	70
Figura 33. Distribución del peso y fuerza de frenado en un vehículo tipo liviano	73
Figura 34. Distribución del peso y fuerza de frenado en un vehículo tipo pesado.	74
Figura 35. Zapata de frenado, revestimiento y accionamiento	81
Figura 36. Verificación de desgaste y concentricidad de un tambor de frenado.	83
Figura 37. Procedimiento de comprobación de descentramiento y espesor de discos de freno ...	85
Figura 38. Inspección de desgaste de pastillas de frenado.....	86

CONOCE Y PREVIENE EL EFECTO FADING EN CAMIONES	9
Figura 39. Esquema de instalación de un rache ajustador de holgura.	90
Figura 40. Procedimiento de verificación de ajuste con raches de graduación automáticos	92
Figura 41. Ejemplo de indicadores visuales de graduación con raches de ajuste automático	93
Figura 42. Graduación de freno con ajustador mecánico	94
Figura 43. Accionamiento de un sistema de frenado retardador de 5 puntos en camión Scania.	101
Figura 44. Accionamiento del mecanismo de freno de motor de tres puntos	102
Figura 45. Mecanismo de accionamiento de freno retardador eléctrico Telma.....	103
Figura 46. Accionamiento de freno de ahogo de un punto y luz indicadora	104
Figura 47. Cara A folleto Conociendo y previniendo el efecto Fading en camiones y tractocamiones.....	110
Figura 48. Cara B folleto Conociendo y previniendo el efecto Fading en camiones y tractocamiones.....	111

Lista de apéndices

Apéndice A: Formato Inspección preliminar al mantenimiento..... 122

Apéndice B: Folleto Conociendo y previniendo el efecto Fading en camiones y tractocamiones.....121

Lista de tablas

Tabla 1. Inspección preliminar para mantenimiento del sistema de frenado neumático.79

Tabla 2. Clasificación comercial de los revestimientos de frenado de acuerdo al coeficiente de fricción.82

Glosario

ABS: sistema de frenos anti bloqueo

ANSV: agencia nacional de seguridad vial de Colombia.

Asbesto: amianto; Material de fricción antiguamente usado en revestimientos de frenos por sus propiedades de resistencia al sobrecalentamiento y alto índice de fricción. Actualmente prohibido por sus componentes cancerígenos

CDA: centro de diagnóstico automotor

Circularidad: calidad de ser circular

Cuña: objeto con forma triangular utilizado para separar las zapatas de frenado

Descentramiento: desplazamiento del centro de una pieza o componente desde su posición central.

Desvanecimiento: pérdida temporal de eficacia en el sistema de frenado de un vehículo

Émbolo: componente cilíndrico que se desplaza dentro de un cilindro

Experto técnico: profesional altamente capacitado y con un profundo conocimiento en un área técnica o científica específica

Fading: desvanecimiento y pérdida de efectividad del sistema de frenos por sobrecalentamiento de los componentes.

FMVSS: estándares federales de seguridad en vehículos motorizados EE. UU

FUR: formato único de resultados en revisión técnico mecánica y de emisiones contaminantes

Galga: medida de distancia o espacio entre dos superficies paralelas.

Horquilla: parte de la estructura que sostiene y asegura los componentes de los frenos

Inercia: resistencia de un objeto a cambiar su estado de movimiento.

Leva: elemento mecánico utilizado en sistemas de frenos por su forma de contorno curvado

Mecanismo: conjunto de componentes interrelacionados que colaboran para realizar una función específica

Mini mula: vehículo articulado tipo pesado de 4 ejes utilizado para transportar cargas voluminosas de hasta 72 metros cúbicos y 20 toneladas de peso.

Neumático: sistema de frenado que utilizan la presión del aire para activar los frenos

OEM: fabricante de equipos originales

Pastilla: componente de fricción que forma parte del sistema de frenado de disco

PBV: peso bruto vehicular

Pivote: palanca auxiliar para el accionamiento del freno del remolque

Rache ajustador: dispositivo utilizado para reducir holgura en el mecanismo de frenado

Remolque: vehículo no motorizado diseñado para ser remolcado por otro

Retardador: dispositivo para reducir la inercia del vehículo. Freno auxiliar.

Revestimiento: material compuesto usado para generar fricción de frenado.

Revisión técnico mecánica: procedimiento de evaluación periódica que se realiza en vehículos automotores para garantizar que cumplan con ciertos estándares de seguridad, emisiones y condiciones mecánicas. Esta revisión es obligatoria en muchos países y se lleva a cabo en centros autorizados.

Secador: dispositivo que elimina la humedad presente en el aire comprimido.

Tándem: se utiliza para describir un conjunto de dos ejes

Tractocamión: camión articulado de capacidad superior

Tractor: se refiere a la unidad motriz de un camión de carga pesada que está diseñada para remolcar o transportar grandes cargas

Zapatas: componentes del sistema de frenos que presionan contra el tambor para generar fricción y detener el vehículo.

Resumen

Título: Caracterización y prevención de la pérdida del sistema de frenado neumático causado por efecto fading en vehículos tipo camión y tractocamión utilizados para el transporte de carga en Colombia.¹

Autor: Cristian Camilo Sierra Novoa

Palabras clave: Sistema Neumático, vehículo de carga, Fading, desvanecimiento, mecanismo de frenos, sobrecalentamiento, fatiga, mecánica

Descripción:

En esta monografía, se describen las características y configuración de los vehículos utilizados para el transporte de carga pesada por carretera en Colombia; se estudian los diferentes tipos de sistemas y mecanismos de frenado en vehículos tipo camión y tractocamión, el funcionamiento y componentes de un sistema de frenado neumático bajo los mismos principios considerados por la normativa FMVSS 121 para estos tipos de vehículos comerciales, sin definir marca o referencia específica de camión o tractocamión. Se describe como modo de falla el desvanecimiento de los frenos neumáticos ocasionado por sobrecalentamiento conocido como efecto Fading; así como, los diversos tipos y causas que originan la pérdida del sistema de frenado por este efecto, al mismo tiempo que se hacen las recomendaciones de operación y mantenimiento para prevenirlo. Como parte de los resultados se propone una lista de chequeo dirigida al personal mecánico para la inspección de los sistemas de frenado neumático antes de hacer el mantenimiento preventivo y correctivo; también se elabora un folleto educativo y práctico que contiene un conjunto de recomendaciones e información dirigida a los propietarios y conductores, de una forma didáctica, breve, ilustrativa y fácil de comprender; buscando generar conciencia en buenas prácticas de conducción de este tipo de vehículos y mantenimiento de los sistemas de frenado neumático. Esta monografía es un texto de referencia para aquellos conductores, propietarios y técnicos mecánicos que deseen profundizar más sobre el efecto fading como causa de la pérdida de sistema de frenado neumático en camiones y tractocamiones; además, abre la puerta a un campo de investigación para la ingeniería automotriz en un área que a la fecha ha sido poco estudiada, pero que tiene una gran repercusión en la economía y la percepción de seguridad vial para gran parte de los colombianos.

¹ Trabajo de grado para optar el título de especialista en ingeniería automotriz

Facultad de ingenierías fisicomecánicas, escuela de ingeniería mecánica. Director Phd Jorge Luis Chacón Velazco

Abstract

Title: Characterization and prevention of the loss of the pneumatic braking system caused by the fading effect in truck and tractor truck type vehicles used for cargo transportation in colombia.²

Author: Cristian Camilo Sierra Novoa

Keywords: Pneumatic System, cargo vehicle, fading, brake mechanism, overheating, fatigue, mechanics.

Description:

In this monograph, the characteristics and configuration of the vehicles used for the transportation of heavy cargo by road in Colombia are described; The different types of braking systems and mechanisms in truck and tractor-type vehicles, the operation and components of a pneumatic braking system are studied under the same principles considered by the FMVSS 121 regulations for these types of commercial vehicles, without defining brand or reference. truck or tractor specific. Fading of the pneumatic brakes caused by overheating known as the Fading effect is described as a failure mode; as well as the various types and causes that cause the loss of the braking system due to this effect, at the same time that operation and maintenance recommendations are made to prevent it. As part of the results, a checklist is proposed for mechanical personnel to inspect pneumatic braking systems before performing preventive and corrective maintenance; An educational and practical brochure is also prepared that contains a set of recommendations and information aimed at owners and drivers, in a didactic, brief, illustrative and easy to understand way; seeking to raise awareness of good driving practices for this type of vehicle and maintenance of pneumatic braking systems. This monograph is a reference text for those drivers, owners and mechanical technicians who wish to delve deeper into the fading effect as a cause of the loss of the pneumatic braking system in trucks and tractors; Furthermore, it opens the door to a field of research for automotive engineering in an area that to date has been little studied, but that has a great impact on the economy and the perception of road safety for a large part of Colombians.

² Degree work to obtain the title of specialist in automotive engineering

Faculty of physicomechanical engineering, school of mechanical engineering. Director PhD. Jorge Luis Chacón Velazco

Introducción

Uno de los pilares fundamentales de la economía colombiana es el transporte de carga por carretera, durante mucho tiempo el gremio transportador se ha encargado de abastecer de insumos, materia prima y alimentos para las regiones del territorio nacional, movilizand o gran parte de las importaciones y exportaciones que se generan. Colombia cuenta con una gran riqueza natural en buena parte gracias a su diversidad geográfica; sin embargo, esto representa un reto para el transporte de carga pesada por carretera y su sistema de frenado ya que los vehículos se ven expuestos a descensos pronunciados y recurrentes; lo que eventualmente, genera desvanecimiento del sistema de frenado por sobrecalentamiento conocido como Efecto Fading.

El desvanecimiento de los frenos en camiones y tractocamiones usados para el transporte de carga por carretera ha causado accidentes de tránsito con víctimas fatales y lesiones graves en los actores viales involucrados, lo que eleva considerablemente las estadísticas a nivel nacional y genera sobre costos por reparaciones imprevistas. estos accidentes en su mayoría se explican como fallas mecánicas en los frenos, sin embargo, la pregunta es ¿Cómo se comporta el sistema de frenado neumático ante el desvanecimiento por sobrecalentamiento “efecto Fading” y como prevenir este efecto en vehículos tipo camión y tractocamiones utilizados para el transporte de carga en Colombia actualmente?

La identificación de las diversas causas que pueden originar fallas en los sistemas de frenado es esencial para mantener la integridad y confiabilidad de estos sistemas, garantizando así la seguridad tanto de los conductores como de las carreteras. Las estadísticas proporcionadas nos indican que, durante los últimos 5 años, las fallas mecánicas presentadas en vehículos

automotores han sido responsables de 3.273 incidentes viales en todo el país. En el 78,6% de estos casos, la falla mecánica ha resultado en colisiones frontales. Según el informe del Observatorio Nacional de Seguridad Vial, en el mismo período se han registrado en Colombia 3.273 siniestros viales atribuidos a problemas en los sistemas de frenado. Estos eventos han provocado la lamentable pérdida de al menos 121 vidas, mientras que otras 2.486 personas han sufrido lesiones graves (Agencia Nacional de Seguridad Vial ANSV, 2023).

Esta monografía pretende caracterizar y prevenir el efecto fading y sus modos de falla, su estudio se centra en analizar las causas que originan este efecto en sistemas de frenado neumático de camiones y tractocamiones, proporcionando una visión integral de los factores que pueden afectar su rendimiento y proponiendo medidas para abordar estos problemas en el contexto del transporte de carga por carretera en Colombia.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general:

Analizar y proponer medidas de prevención del efecto fading como condición que disminuye la efectividad del sistema de frenado neumático en vehículos comerciales tipo camión y tractocamión utilizados para el transporte de carga por carretera en Colombia.

1.2 Objetivos específicos:

- Describir el funcionamiento y componentes del sistema de frenado neumático en vehículos comerciales tipo camión y tractocamión utilizados para el transporte de carga por carretera en Colombia.
- Caracterizar el origen del efecto fading como una condición crítica que afecta la efectividad del frenado en vehículos comerciales tipo camión y tractocamión utilizados para el transporte de carga por carretera en Colombia
- Proponer prácticas de mantenimiento y capacitación que favorezcan condiciones de manejo seguro y operación eficiente para prevenir el efecto fading en los sistemas de frenado de camiones y tractocamiones comerciales utilizados para el transporte de carga en Colombia.

2. Marco referencial

2.1 Problemática actual

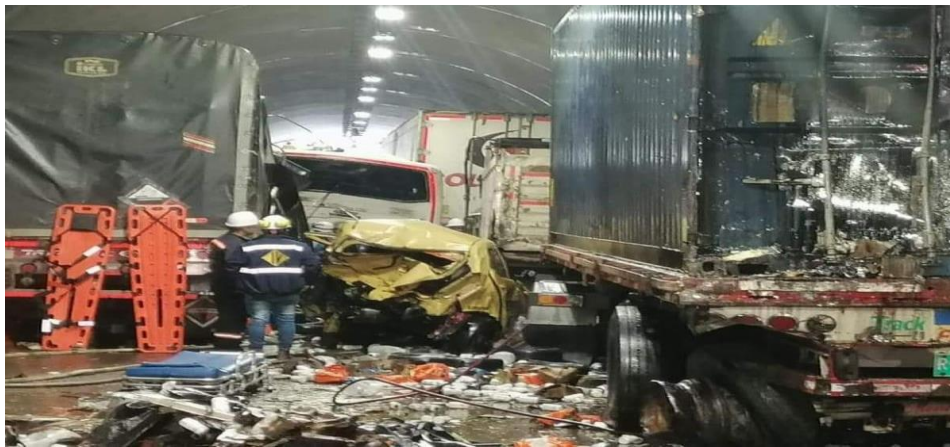
En los últimos 5 años, la república de Colombia ha afrontado varios accidentes de tránsito ocasionados por fallas mecánicas en el sistema de frenos, especialmente en vehículos de

tipo pesado como camiones y tractocamiones usados para el transporte de carga; entre estos accidentes, se destaca el ocurrido en el Túnel vehicular llamado Los Venados sector conocido como La Línea en la vía que comunica las ciudades de Calarcá (Quindío) e Ibagué (Tolima); el cual tuvo como saldo total 8 víctimas mortales y 33 personas heridas con al menos 17 vehículos embestidos por un tractocamión que se dirigía desde la ciudad de Yumbo (Valle del Cauca) con destino a la ciudad de Barranquilla (Atlántico).

El accidente ocurrido en el túnel de Los Venados en la vía “La Línea” ha sido objeto de análisis por parte de un equipo de peritos especializados en la reconstrucción de accidentes de tránsito: Tras realizar evaluaciones técnico-mecánicas del vehículo tipo tractomula involucrado en el hecho, se identificó una falla en su sistema de frenos; Se logró establecer que algunos de sus ejes se encontraban mal calibrados con respecto a otros, reduciendo en un 40% la eficiencia del sistema de frenos en el vehículo tractocamión (El Espectador, 5 de enero de 2022).

Figura 1

Accidente ocurrido en el túnel de Los venados sector La Línea



Nota: Adaptado de *accidente en túnel de los venados* [Fotografía], Noticiero 90 minutos, 2022, <https://90minutos.co/>.

A esta lista se suma el accidente ocurrido la noche del jueves 05 de octubre de 2023, cuando un tractocamión que viajaba desde la ciudad de Tunja (Boyacá) hacia la ciudad de Bucaramanga (Santander), a su paso por el municipio de Arcabuco (Boyacá) impacta un vehículo familiar, dejando como saldo una víctima mortal y 4 personas heridas, generando pérdida total en los vehículos involucrados en este accidente.

La camioneta es impactada por la tractomula, por la parte posterior, saliéndose de la calzada y terminando los dos vehículos en volcamiento lateral, señala el reporte de la Policía; la principal hipótesis es que el vehículo de carga se habría quedado sin frenos (Boyacá 7 días, 05 de octubre de 2023).

Figura 2

Accidente entre Tractocamión y camioneta familiar en Arcabuco Boyacá



Nota: Adaptado de *Tractomula sin frenos en Arcabuco* [Fotografía], Diario El Tiempo, 2023, <https://www.eltiempo.com/>.

El hecho más reciente y con mayor representación de costos es el accidente de tránsito ocurrido el día 26 de diciembre de 2023, en la vía que comunica la ciudad de Bogotá (D.C) con

Villavicencio (Meta) a la altura del túnel vehicular de quebrada blanca, en el cual se reporta volcamiento lateral y posterior incendio de un vehículo tipo tractocamión que transportaba Nafta dejando como saldo una víctima mortal e innumerables costos materiales ocasionados por el cierre del corredor vial, daños a la infraestructura del túnel y la pérdida total del vehículo tipo tractocamión cisterna y su carga: Fernando Castillo, director de operaciones de la Concesionaria Vial Andina (Coviandina), se refirió a las hipótesis que se manejan sobre las posibles causas de la explosión, indicó de manera preliminar que se maneja la versión de que el camión presentó una falla en el sistema de frenos antes de ingresar al túnel (RCN Noticias, 19 de enero de 2022).

El diario el Espectador (2023) afirma que:

El incendio provocado por el accidente de este tractocamión de carga pesada que transportaba nafta ha causado graves daños en los túneles de Quebrada Blanca, específicamente en el túnel falso 1 y el túnel 1. Se estima que aproximadamente 80 metros del túnel falso y 320 metros del Túnel 1 han sido afectados, incluyendo elementos eléctricos, de iluminación, sistemas inteligentes de transporte y daños estructurales. El cierre de estos túneles ha generado significativas pérdidas y retrasos en el transporte de carga de Bogotá a Villavicencio, con camiones tardando hasta 16 horas en completar el trayecto. Se estima que los transportadores están asumiendo hasta un 30 % en sobrecostos, afectando tanto a consumidores como a productores. Además, el cierre del túnel ha llevado a la cancelación de eventos importantes, como la feria Expomaloka, que representa ingresos significativos para el departamento del Meta (El Espectador, 18 de octubre de 2023).

Figura 3*Accidente en la vía al llano Túnel Quebrada blanca*

Nota: Adaptado de *accidente causa cierre de la vía al llano* [fotografía], Infobae, 2023.

<https://www.infobae.com/colombia/2023/12/27>

Estas circunstancias refuerzan la importancia de estudiar el funcionamiento y los componentes que conforman los sistemas de frenado neumático; conocer, detectar y prevenir el desvanecimiento de los frenos ocasionado por efecto fading. Situaciones que se pueden prevenir procurando una adecuada gestión y control del mantenimiento de los vehículos y con una eficiente capacitación de los conductores en operación y control de los sistemas de frenado que garanticen su efectividad en los vehículos utilizados para el transporte de carga por carretera frente a las variables y retadoras condiciones geográficas de Colombia. De estas situaciones surge la necesidad de crear un documento de fácil comprensión y acceso para conductores, propietarios y personal mecánico; escrito que describe el funcionamiento y componentes del sistema de frenado neumático, el origen y tipos de efecto fading y las recomendaciones de operación y mantenimiento de los vehículos para prevenirlo.

Figura 4***Accidente tractocamión incendiado en túnel de Quebrada blanca***

Nota: Adaptado de *Cierre en la vía al llano*, [Fotografía], Diario El País, 2023, <https://www.elpais.com.co/>

2.2 Transporte de carga en Colombia

En Colombia, el transporte de carga desempeña un papel fundamental como componente esencial para la productividad y el progreso de las regiones, y está estrechamente vinculado con las cadenas de suministro; dado que los bienes deben ser trasladados de un lugar a otro, proceso que facilita la expansión de los mercados, contribuyendo así al crecimiento económico del país.

El eficiente movimiento de mercancías no solo fortalece la conectividad entre diversas áreas geográficas; sino que, también impulsa la actividad económica al posibilitar el intercambio comercial y la disponibilidad de productos en diferentes regiones, promoviendo el desarrollo económico a nivel nacional.

Según datos de la Federación colombiana de transportadores de carga por carretera, Colfecar (2024), afirma que:

En la actualidad, el 90% de la carga que se transporta en Colombia se realiza por vía terrestre, lo que constituye aproximadamente con el 5% del total del Producto Interno Bruto (PIB). Esta alta dependencia del transporte terrestre destaca la importancia crucial de la infraestructura vial y la eficiencia logística para el funcionamiento y desarrollo económico del país (pr.5).

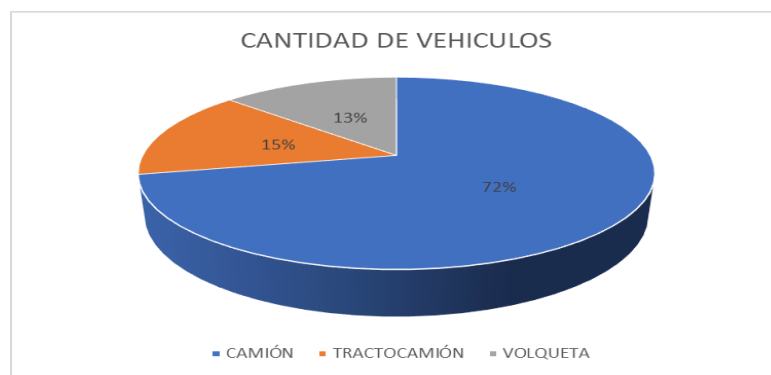
2.2.1 Parque automotor de carga en Colombia

El registro único nacional de tránsito RUNT proporciona la información para identificar el grupo poblacional de vehículos activos en las categorías camiones y tractocamiones usados para el transporte de carga en Colombia. Según los datos registrados por el RUNT (2022):

Se contabilizaron un total de 18'082.451 vehículos registrados entre los cuales el 61% corresponde a motocicletas, el 38 % corresponde a automóviles, camionetas, camión, bus, buseta y volqueta; y solamente el 1% corresponde a maquinaria, remolques y semirremolques. De este 38% se estima que 397.776 unidades son vehículos tipo Volqueta, camión y tractocamión. Los camiones lideran este segmento con 285.769 unidades, seguidos por los tractocamiones con 59.278 unidades y las volquetas con 52.729 unidades (RUNT, 2022).

Figura 5

Distribución por tipo de vehículo usado para el transporte de carga en Colombia.

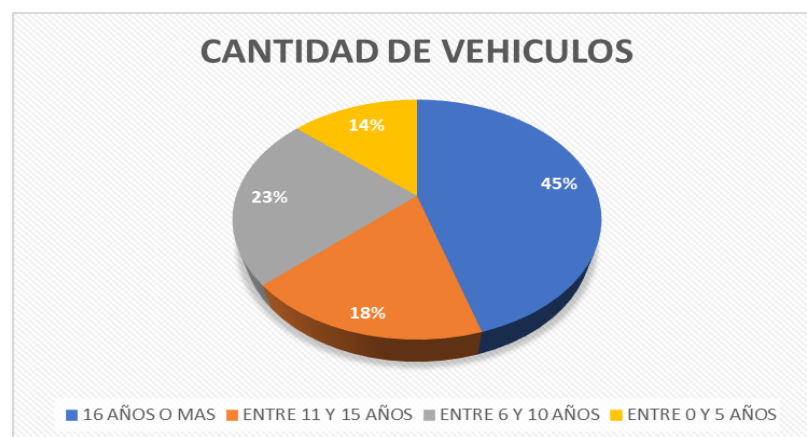


Nota: Las cifras de este grafico proporcionan una visión clara de la clasificación y distribución de los vehículos de carga registrados en el país.

En cuanto al registro por edad, la mayoría de los vehículos de estas tres clases tienen más de 16 años. Según datos del RUNT (2022) “en el rango de edad de 16 años o más, se registran un total de 180,163 unidades, de las cuales los camiones contribuyen con 138,097, las volquetas con 25,849 y los tractocamiones con 16,217”(pr15). Al continuar con el análisis sobre la edad de los vehiculos activos usados para el transporte de carga, se destaca que 71,406 vehículos de este tipo tienen entre 11 y 15 años, 92,396 tienen entre 6 y 10 años, y 53,811 tienen de 0 a 5 años.

Figura 6

Edad del parque automotor utilizado para el transporte de carga en Colombia.



Nota: El grafico representa la distribución del parque automotor colombiano de acuerdo a su edad, observamos que cerca de la mitad del parque automotor de carga tienen una edad de 16 años o más.

2.2.2 Clasificación de vehículos de carga en Colombia

El transporte de carga en Colombia tiene sus inicios a finales de la segunda década del siglo XX en medio del afán de los gremios comerciantes por tomar el control de las rutas de

comercio, momento en que se percibe la idea del transporte de carga como negocio. Tiempo después a finales de la década de los 80's, el gremio del transporte de carga concibe la idea de “realizar modificaciones a los camiones y tractocamiones con el firme propósito de mejorar las condiciones originales de operación y capacidad de transporte de carga con respecto a los diseños originales” (Ministerio de Transporte Mintransporte, Resolución 2502, 2002 p7). Esta es una práctica que ha ocasionado daños en la infraestructura vial y accidentes por fallas mecánicas ocasionadas por falencias en las modificaciones realizadas o por exceso de carga, como se observa a continuación.

Figura 7

Fotografía de camión averiado por exceso de carga (sobrepeso)



Nota: Vehículo tipo camión de dos ejes presenta fractura de bastidor ocasionado por exceso de carga. Adaptado de *Nueva resolución para el control de peso a vehículos de transporte de carga* [fotografía], revista Autocrash, 2021, <https://www.revistaautocrash.com/>.

A raíz de esta situación, a partir del año 2004 el ministerio de transporte de la república de Colombia, toma la decisión de reglamentar los límites de capacidad de carga y dimensiones en los vehículos de transporte terrestre automotor de carga por carretera para su operación normal en la red vial nacional, mediante la expedición de la resolución 4100 del 28 de diciembre del mismo año.

Mintransporte (2004) mediante la resolución 4100 registra “las características técnicas que deben contener todos los vehículos de transporte terrestre de carga en Colombia” (p.1). Características como la tipología, especificaciones técnicas y dimensiones de volquetas, camiones, tractocamiones, carrocerías, remolques y semirremolques; así como, las designaciones de capacidad de carga de acuerdo a la configuración y tipo de camión. Para la ejecución y adecuada aplicación la resolución 4100 Mintransporte (2004) “toma como base las definiciones consignadas en el numeral dos de la norma técnica Colombiana NTC 4788” (p.4). Documento elaborado por el comité experto técnico del ministerio de transporte en conjunto con el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación Icontec.

Mediante la resolución 4100 del 28 de diciembre de 2004 y bajo la Norma Técnica Colombiana NTC 4788, los vehículos de carga en Colombia se categorizan como vehículos convencionales y vehículos para el transporte de carga extra dimensionada y/o extrapesada (Transporte especial de carga por carretera). De acuerdo con su sistema de propulsión se clasifican en: Vehículo rígido (la carrocería y el chasis están unidos) y tractocamión o articulados (están integrados por un cabezote más un tráiler o remolque). Si se trata de vehículos articulados se clasifican en tractor o cabezote más un remolque o semirremolque.

Para el caso de estudio de esta monografía se considera que la norma técnica Colombiana NTC 4788 (2004) define que “un remolque es aquel que es arrastrado por un tractor (Cabezote) y no soporta su peso en el mismo; mientras que, en el caso del semirremolque, el cabezote además de ser la unidad tractora también debe soportar parte del peso del semirremolque” (p.9). En cuanto a la clasificación por configuración del vehículo de carga la norma técnica NTC 4788 (2004) “adopta las letras iniciales para identificar el elemento en específico; el servicio de pasajeros utiliza la letra B, el servicio de transporte de carga se describe con la letra C, para identificar un semirremolque la S y para un remolque la letra R” (p.12). Esta letra característica del tipo vehículo se combina con el número de ejes que posee.

Con la ejecución de la resolución 4100 Mintransporte (2004) “regula las dimensiones de los vehículos destinados al transporte de carga por carretera y define los límites de capacidad de carga destinados para cada tipo de vehículo de acuerdo a su configuración” (p.15). La regulación se realiza mediante operativos de pesaje en basculas fijas o móviles estratégicamente ubicadas y distribuidas a lo largo y ancho de la red vial nacional.

3. Sistema de frenado neumático en vehículos comerciales tipo camión y tractocamión

3.1 Sistemas de frenado en camiones y tractocamiones

Actualmente existen diversos sistemas de frenado para camiones. Para el caso de camiones comerciales, en la república de Colombia se utilizan los sistemas de frenado por accionamiento neumático o freno de aire debido a su efectividad y confiabilidad; características necesarias para las condiciones montañosas extremas de los andes colombianos.

Los vehículos pesados exigen un sistema de frenos que sea eficiente, rápido y seguro; actualmente en camiones y tractocamiones comerciales para la región suramericana, los fabricantes han optado por la implementación de sistemas de frenado por accionamiento neumático o freno de aire, tomando como parámetros la seguridad ante factores como la cantidad de peso transportado y la energía cinética involucrada; además de, su bajo costo de mantenimiento, pocas refacciones para la reparación y alta confiabilidad en su operación.

El sistema de frenado desempeña un papel crucial en los vehículos de carga siendo uno de los elementos de seguridad activa más significativos. Bennet (2020) afirma que:

En el caso específico de un tractocamión con un motor de 450 hp (336 kW) que transporta alrededor de 35 toneladas (36,000 kg), se estima que necesita aproximadamente 90 segundos para alcanzar una velocidad de 80 km/h. Sin embargo; al llegar a esta velocidad, se requiere que el mismo camión se detenga de manera segura en un lapso inferior a 5 segundos (p.893).

Esta necesidad de detención eficiente sugiere que, si se estableciera una categorización de potencia de frenado, los camiones deberían estar equipados con sistemas de frenado que oscilen entre 10 y 20 veces la potencia nominal del motor.

El sistema de freno neumático fue inventado por George Westinghouse con un enfoque inicial para la implementación en la industria ferroviaria en trenes y locomotoras; sin embargo, al observar el bajo costo, alta disponibilidad y eficiencia del sistema de frenado neumático y con la evolución de la industria automotriz se empezó a implementar este sistema de frenado en vehículos tipo pesado de gran envergadura. Actualmente este sistema de frenado es usado en vehículos pesados como tractocamiones, camiones y autobuses; también lo encontramos en

algunas aplicaciones para vehículos tipo semi pesado como mini camiones, busetas o microbuses. Manual de la técnica del automóvil (2005) afirma que “El éxito de este sistema de frenado se le atribuye a su alta eficiencia con un elevado potencial de reducción de energía cinética y con el mínimo esfuerzo para su accionamiento” (p.78). Es importante destacar que este sistema como la mayoría en la industria automotriz, y por su acción de frenado por fricción de las partes, presenta deficiencias al generar sobrecalentamiento en los componentes del mecanismo de frenado. Con el objetivo de disminuir la posibilidad de presentar fallas por esta deficiencia, los fabricantes de vehículos tipo pesado y semipesado han optado por la creación e implementación de sistemas de frenado auxiliares como son: el freno de motor (Jacobs o Jake Break), freno retardador (retarder eléctrico o hidráulico), freno de estrangulamiento (Freno de ahogo) entre otros propios de cada marca y referencia de vehículo.

3.2 Funcionamiento del sistema de frenado neumático

Este sistema de frenado consta de dos circuitos neumáticos con actuadores de simple y de doble efecto, junto con un compresor de aire accionado mediante una articulación acoplada al movimiento propio del motor. Cuando el conductor ingresa a la cabina del camión o tractocamión, los manómetros le indican la presión de aire disponible en los depósitos; en caso de ser insuficiente o inexistente, cuando se gira la llave de encendido el tablero de instrumentos emitirá un testigo o luz de advertencia y una alerta sonora que hacen saber al conductor que la presión de aire es insuficiente para operar el vehículo.

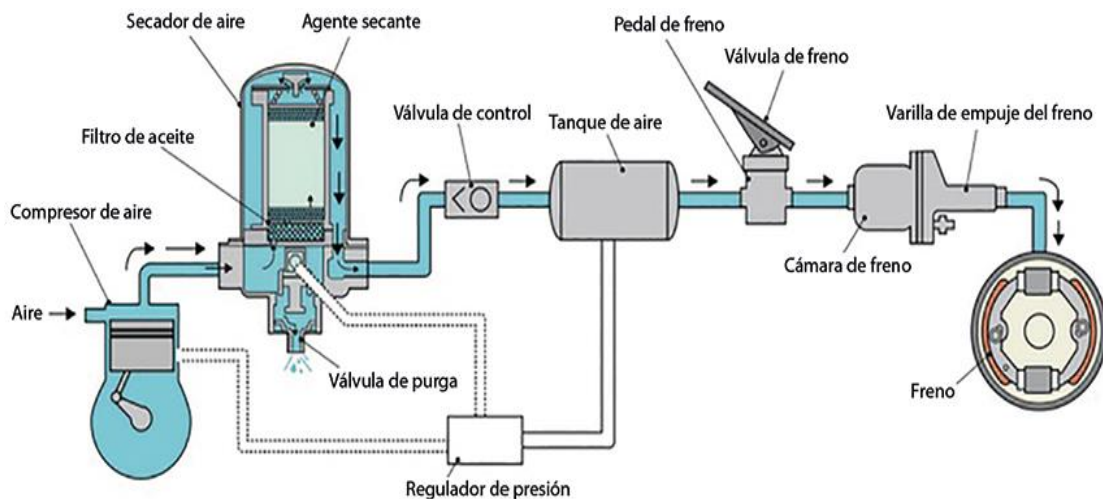
Al encender el motor, inmediatamente el compresor empieza a generar presión de aire disponible en el sistema; el aire se almacena en los depósitos o tanques de los circuitos primario y secundario. Cuando el conductor del camión oprime el pedal de freno, el aire comprimido se

desplaza de una sección del sistema a otra por mangueras y tuberías de alta presión; el aire comprimido pasa a través de una válvula reguladora o válvula de relay la cual como su nombre lo indica, tiene la función de regular la fuerza de frenado mediante el aumento o disminución de la presión de aire que llega hasta las cámaras de frenado articuladas con el mecanismo ubicado en cada una de las ruedas del camión o tractocamión.

En el caso de los vehículos de tractor y remolque, según el diseño y la capacidad de carga del remolque o semirremolque, Berizzo (2021) afirma que “el aire comprimido debe llegar con la misma presión de frenado a cada una de las ruedas del remolque; garantizando así una acción de frenado uniforme y con el menor desequilibrio posible entre ejes y cada una de las ruedas del vehículo” (p4).

Figura 8

Funcionamiento de un sistema de frenos neumático



Nota: En la figura se observa de forma simplificada el funcionamiento y partes básicas de un sistema de frenado neumático. Tomado de *Manual de frenos de aire*, Bendix, 2022, <https://www.bendixvrc.com/>.

El sistema de frenado neumático toma aire de la atmósfera mediante el mismo filtro de admisión de aire del motor; este aire filtrado es aspirado por el compresor el cual aumenta la presión para luego enviarlo a los depósitos a través de la válvula de control. El aire se suministra a las cámaras de freno a través de tuberías que conectan con la válvula o pedal de freno, la presión y fuerza de frenado es controlada por el conductor dependiendo de las condiciones de manejo requeridas.

Cuando se presiona el pedal del freno se libera aire y baja la presión en el depósito, el aire liberado es conducido mediante líneas de tubería de alta presión llegando hasta las cámaras de frenado; estas tienen como principal función generar la fuerza necesaria para presionar la pastilla o zapata contra el disco o tambor de freno generando así la acción de frenado mediante el principio de fricción de dos materiales: un componente metálico y un componente abrasivo. Cuando el conductor libera el pedal del freno, la válvula de control se cierra evitando el paso de aire hacia las cámaras de frenado; de esta forma, el mecanismo de frenado por fricción se libera permitiendo el total y libre rodamiento de las ruedas del vehículo, al mismo tiempo que se disipa el calor generado en la disminución de la energía cinética en el proceso de frenado.

Los vehículos modernos cuentan con el filtro secador de aire, este tiene como función retener la humedad condensada en el aire ambiente aspirado por el compresor, evitando que la condensación de agua se incorpore a los depósitos de aire a alta presión o a la tubería y demás componentes metálicos, lo que generaría deterioro por corrosión y oxidación de los elementos.

Cuando el vehículo no cuenta con filtro secador, el agua condensada se almacena en los depósitos de aire; en este caso específico se hace necesario drenar estos condensados ya que además de generar deterioro como mencionamos anteriormente, el almacenamiento de líquido

reduce la capacidad de almacenamiento de aire necesario para el funcionamiento del sistema de frenado neumático.

En la Figura 9 se observa el esquema de los circuitos de frenado para un vehículo tipo tractocamión con cinco ejes y configuración 3S2. El circuito azul, identifica el compresor suministrando aire húmedo en el depósito de almacenamiento y el dispositivo secador.

El circuito verde claro o circuito primario muestra el suministro de aire seco a los componentes de frenado de los ejes posteriores (tándem) o ejes con cámara de frenado para freno de servicio y freno de seguridad.

El circuito rojo o circuito secundario suministra aire seco a las cámaras de frenado del eje direccional o eje delantero. En el caso del circuito de rojo y verde claro se suministra aire seco desde los circuitos primario y secundario a las válvulas de accionamiento del freno de seguridad del cabezote y remolque; esto con el objetivo de garantizar el suministro de aire para el accionamiento del freno de seguridad en caso de presentar deficiencia en alguno de los dos circuitos.

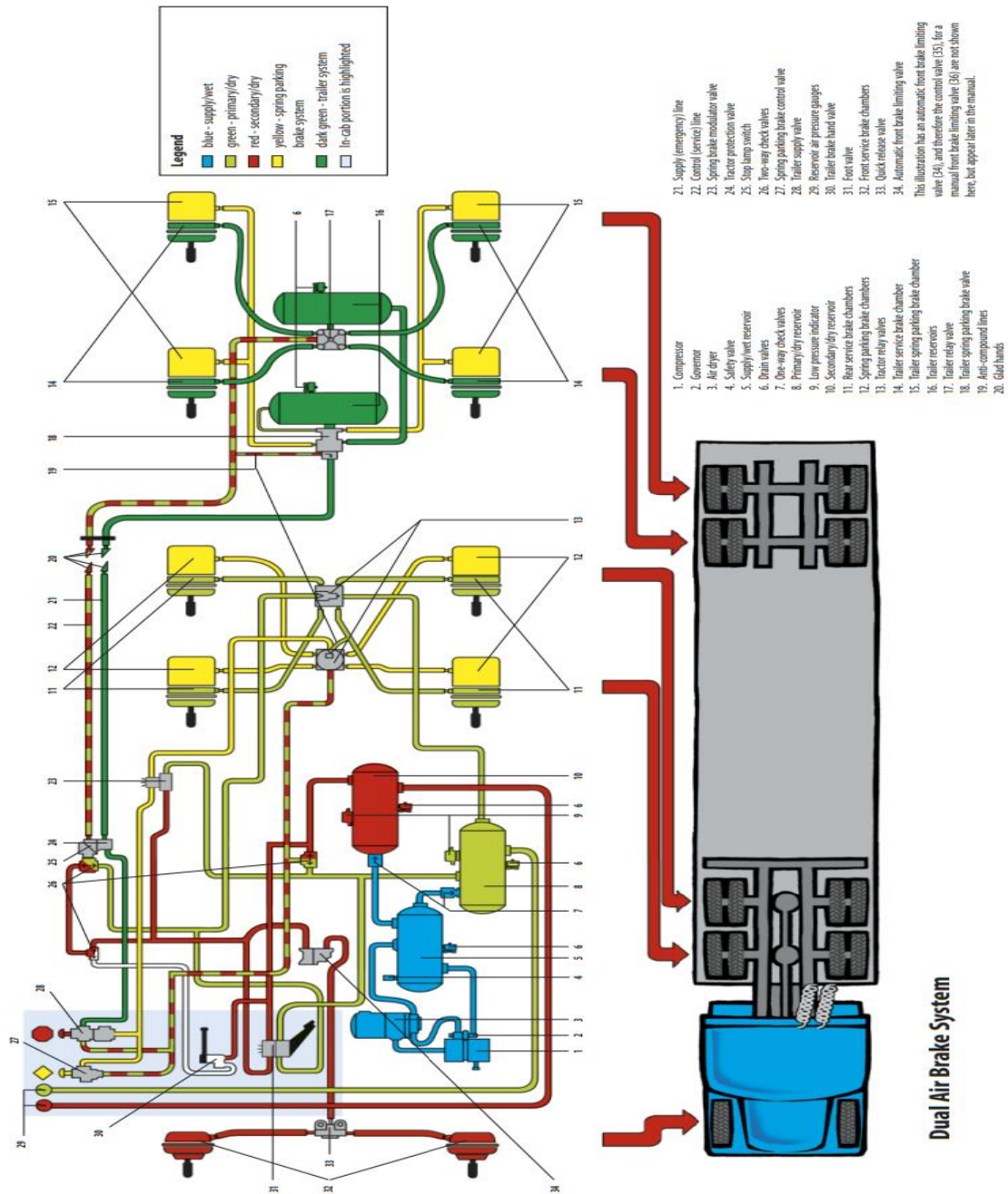
El circuito amarillo proporciona aire seco para el accionamiento o liberación del freno de seguridad de tipo resorte tanto del tándem como del remolque.

El circuito verde oscuro proporciona el aire necesario para accionar el freno de servicio en el remolque; este circuito es independiente del circuito de frenado del tándem en caso de que se requiera retirar el remolque y movilizar solamente el cabezote.

En esta figura, se observa la distribución y conexión de los circuitos de aire implicados en el funcionamiento de un vehículo tipo tractocamión tipo comercial usado para el transporte de carga por carretera en Colombia.

Figura 9

Esquema de un sistema de frenado neumático de un tractocamión 3S2.



Nota: Esquema neumático de frenado. Tomado de *Air brake manual*, Department of motor

Vehicles. State of new nouveau brunswick. 2015, <https://www.gnv.ca./publicsafety/>

3.3 Componentes del sistema de frenado neumático en vehículos de carga

A continuación, mencionamos los componentes básicos y su función dentro de un sistema de frenado por accionamiento neumático:

3.3.1 Compresor de aire

El compresor es el elemento esencial para el funcionamiento del sistema de frenos neumático. Este se encarga de abastecer de aire comprimido a todo el sistema teniendo como punto de partida la presión de aire disponible caracterizada por el gobernador de aire y desde los depósitos o tanques de almacenamiento. Cuando los depósitos de aire comprimido no cuentan con el aire o la presión es insuficiente, el compresor empieza a generar la presión de aire necesaria hasta alcanzar la presión de corte; momento en el cual, la válvula reguladora de presión o gobernador envía la señal para que el compresor deje de generar presión de aire o para generar alivio de presión en exceso, mediante la válvula de alivio.

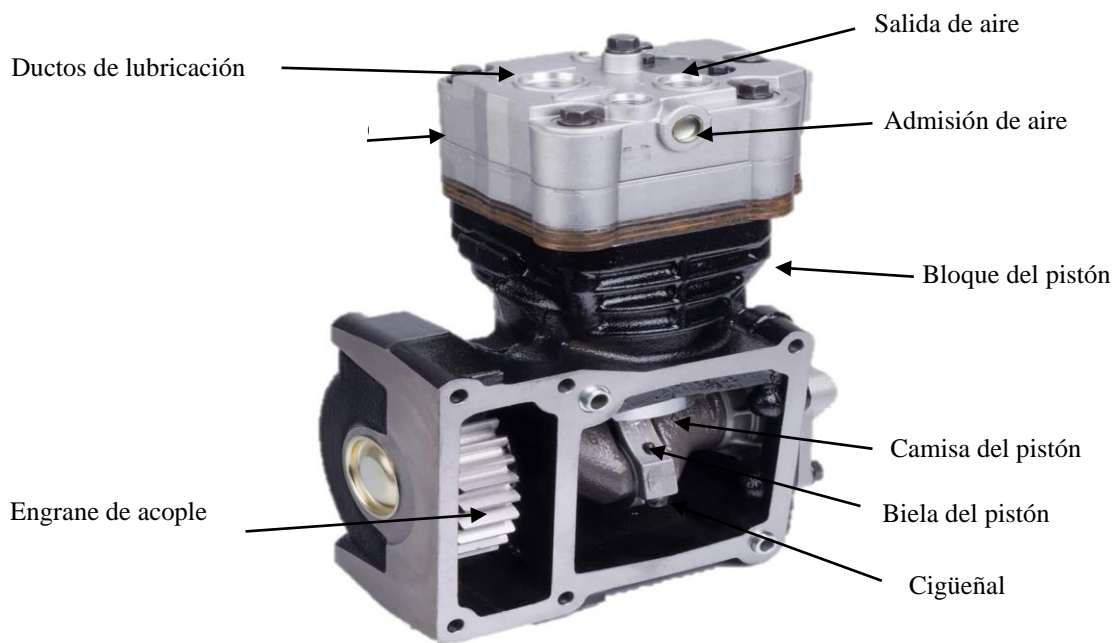
El compresor está sometido a elevadas temperaturas ocasionadas por la alta presión de aire comprimido, por transferencia de calor proveniente del motor o por la fricción generada entre el pistón y la camisa del mismo; razón por la cual, el compresor requiere refrigeración ya sea por flujo de aire o por circulación de refrigerante del mismo sistema de enfriamiento del motor. El compresor al ser un mecanismo en movimiento sometido a constante fricción, y para evitar su deterioro, requiere de un sistema de lubricación el cual puede ser independiente y tener su propia provisión de aceite o también puede estar lubricado con el mismo aceite usado para la lubricación del motor.

El compresor presenta deficiencias cuando no suministra la presión de aire requerida o cuando tarda demasiado en llegar a la presión de corte. Para diagnosticar fallas en el compresor

es preciso verificar la existencia de ruidos anormales, sobrecalentamiento del mismo o pérdida de refrigerante y lubricante evidenciada como fluido condensado en los depósitos de aire, o en el caso específico, en el filtro secador del vehículo.

Figura 10

Compresor de aire para Navistar Maxxforce fabricado por bendix



Nota: Componentes de un compresor de aire tradicional. Tomado de *Manual de servicio y mantenimiento International Navistar Maxxforce*, Bendix, 2023, <https://www.bendixvrc.com/>

3.3.2 Gobernador del compresor de aire

El gobernador es una válvula de accionamiento neumático; tiene como función regular la presión de aire presente en el sistema y monitorear los ciclos de carga para el funcionamiento del compresor. En el Manual de la técnica del automóvil (2005) se afirma que “Cuando la presión de aire en el tanque alcanza el nivel de corte (cerca de 125 libras por pulgada cuadrada o psi), el

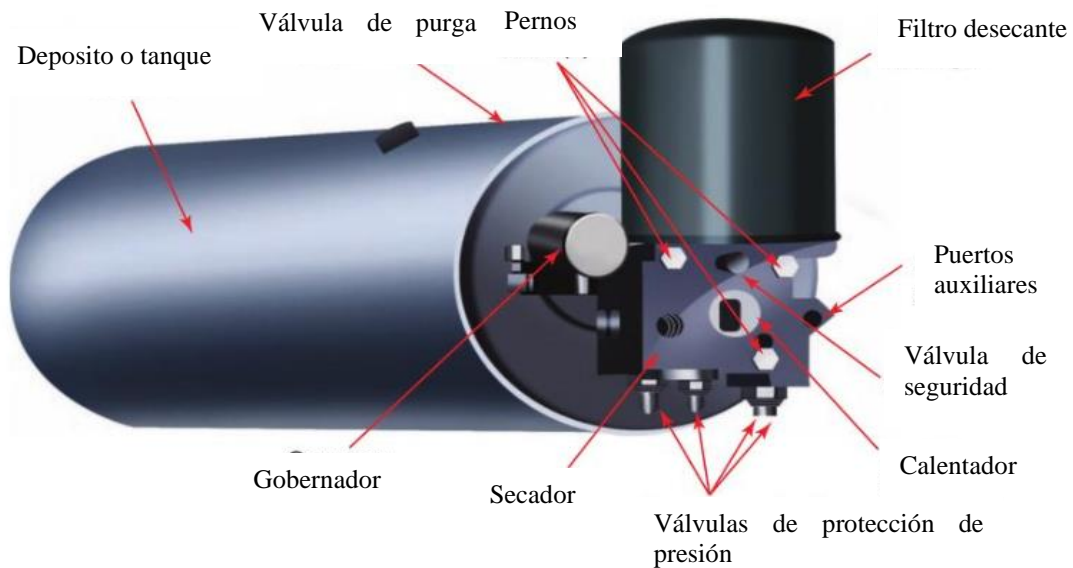
La presión de aire del sistema es un rango de entre la activación y la desactivación del gobernador; un ejemplo sería, un camión al cual se le ha ajustado la presión de corte a 125 psi; en este caso la presión del sistema corresponde a valores comprendidos entre las 100 y 125 psi.

3.3.3 Depósitos o tanques de almacenamiento de aire

Los depósitos se encargan de almacenar y contener la presión de aire comprimido disponible en el momento que se requiera. Las especificaciones de diseño y la cantidad de tanques para cada vehículo varían según el requerimiento que se tenga; en el caso de los camiones y tractocamiones es común encontrar dos o tres depósitos de aire, uno utilizado para el suministro de aire al freno del tren delantero, otro encargado del suministro de aire al freno del tren trasero y el tercero encargado del suministro de aire para el freno del remolque.

Figura 12

Depósitos o tanques de aire de un camión con sistema de frenado neumático



Nota: Conjunto deposito de aire y filtro secador con sus partes. Tomado de *Heavy duty truck systems* (p.923), por S. Bennet, 2020, Cengage Larning inc.

En la figura se observa un depósito o tanque de almacenamiento de aire en conjunto con el sistema de secado de aire, válvula gobernadora, válvula de seguridad y calentador anti congelamiento de condensados.

En el caso del freno de seguridad o de estacionamiento, aunque se accione siempre en el tren trasero o ejes posteriores, este funciona con suministro de aire tanto del depósito delantero como del depósito trasero; esto con el fin de garantizar la disponibilidad de aire en el circuito de freno de seguridad, aunque falle el suministro en alguno de los dos depósitos de aire. Es importante que los depósitos o tanques de aire garanticen su máxima capacidad y estanqueidad para contener el aire suficiente y permitir que los frenos se utilicen varias veces, aun si el compresor deja de funcionar.

3.3.4 Secador o drenaje del tanque de aire

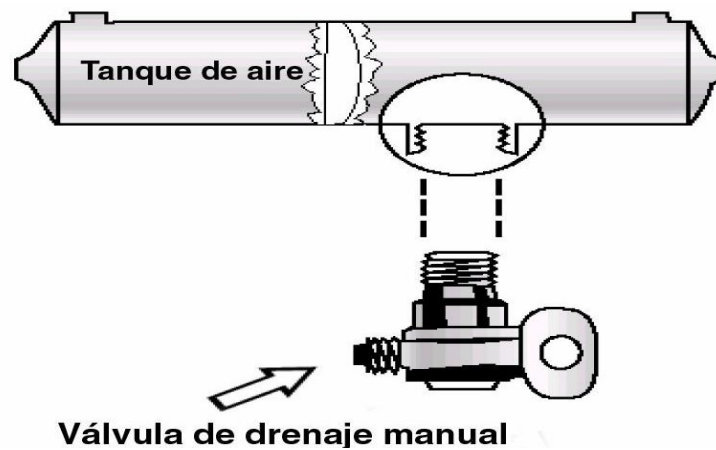
Es natural que el aire comprimido contenga humedad procedente del agua condensada en el aire ambiente, como también es normal que contenga muy pequeñas cantidades de aceite lubricante del compresor; en el último caso, se aclara que la presencia de aceite en los depósitos de aire es normal siempre y cuando se muestre en mínimas cantidades, ya que el aumento de la presencia de aceite en el aire comprimido o en los depósitos es un claro indicador de fallas en los componentes del compresor.

Generalmente cuando se drenan los depósitos de aire, el líquido liberado resulta ser un fluido poco viscoso producto de la mezcla de agua, barro y pocas partes de aceite; fluidos no deseados en un sistema neumático ya que son perjudiciales para los componentes del sistema de frenos de aire; debido a que, el agua genera corrosión en los elementos metálicos, el barro genera obstrucción en las válvulas de aire y el aceite genera daños en las juntas de goma de los

componentes, lo que genera desgaste prematuro y ocasiona falla por deficiencia en el funcionamiento de los elementos del sistema de frenos. El agua, el barro y el aceite conforman una mezcla que tiende a acumularse en el fondo de los tanques de aire reduciendo la capacidad de almacenamiento, razón por la cual es importante drenar completamente usando la válvula de drenaje que se encuentra en la parte inferior de cada tanque; en el caso de que el vehículo cuente con sistema de drenaje manual, si el vehículo cuenta con drenaje automático, el mismo liberará el exceso de condensados contenidos en el sistema neumático del vehículo.

Figura 13

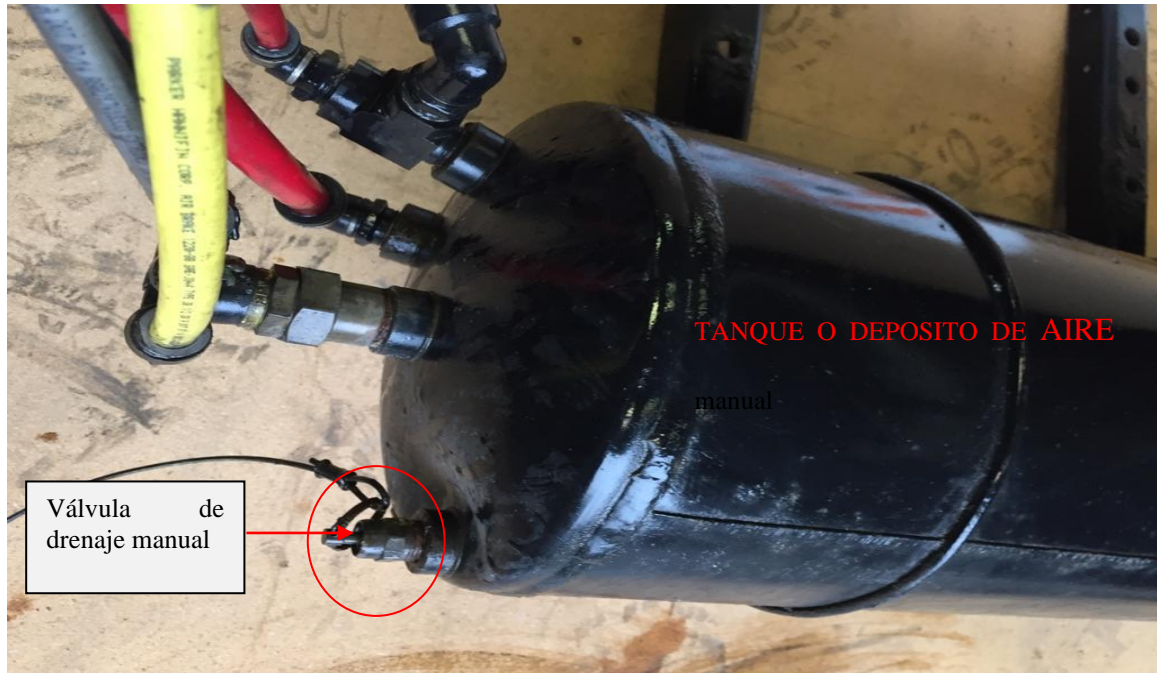
Esquema de Válvula de drenaje manual



Nota: Esquema de una valvula de drenaje de condensados en el deposito o tanque de aire.

Tomado de *Commercial driver handbook*, State of California, 2015, <https://www.dmv.ca.gov/>.

Es importante drenar los depósitos de aire de forma recurrente y se recomienda drenar manualmente los tanques al iniciar cada día de trabajo del vehículo. Para drenar los fluidos condensados en los depósitos o tanques de aire, se debe localizar la válvula de drenaje la cual se encuentra en la parte inferior de los tanques, posteriormente se gira un cuarto de vuelta o se tira el cable de forma constante hasta dejar de percibir la salida de líquidos condensados.

Figura 14***Fotografía de Válvula de drenaje manual***

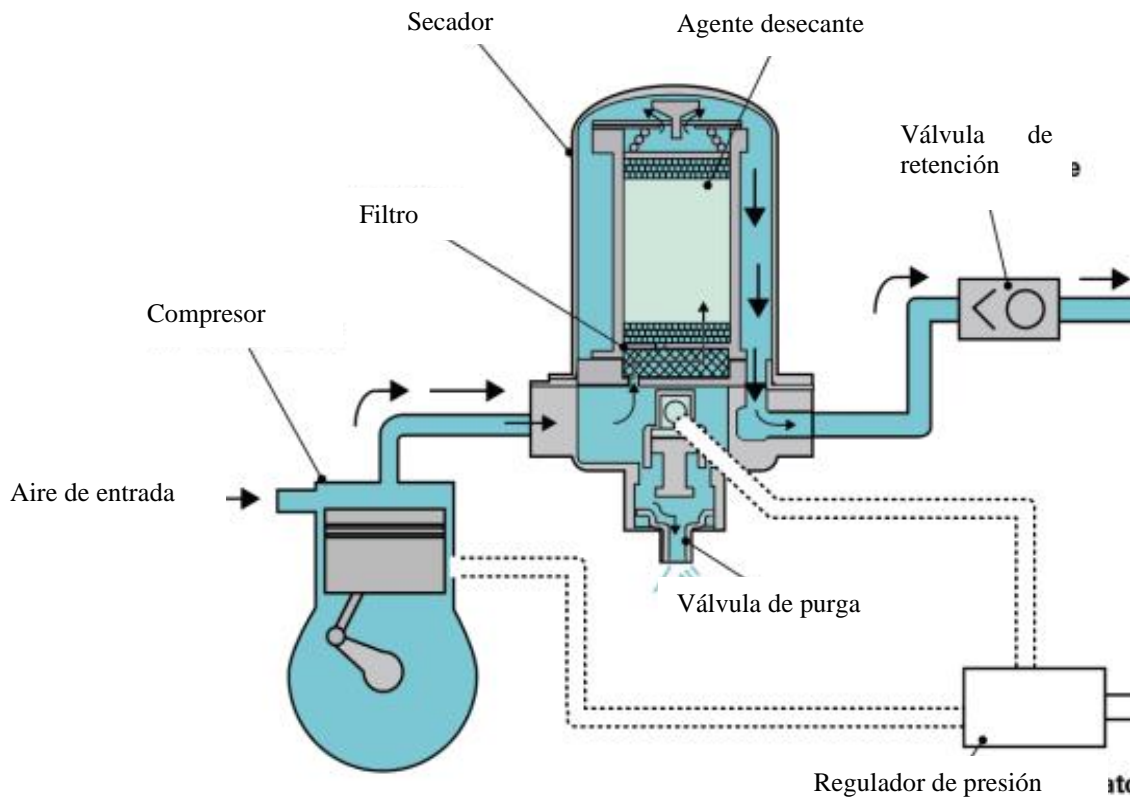
Nota: En la imagen se observa la ubicación y el cable para el drenado de los depósitos.

Para los vehículos que cuentan con sistema de drenaje automático, el fluido condensado en los depósitos de aire es expulsado automáticamente mediante un mecanismo llamado secador de aire.

En caso de presentar fallas o deficiencias en el secador, estos tanques también cuentan con una válvula para drenaje manual. En los camiones y tractocamiones modernos, los tanques de aire con secador automático están equipados con dispositivos de calentamiento eléctrico, esto con el fin de prevenir la congelación líquido condensado en la parte baja del tanque o dentro del secador, evitando averías ocasionadas por obstrucciones en la válvula o ductos de aire del drenaje automático, esto en condiciones de operación en clima frío o frío extremo.

Figura 15

Funcionamiento de válvula Automática o secador de aire



Nota: En la figura se observa las partes y funcionamiento de un sistema neumático con secador. Tomado de *filtration solutions*, Donaldson, 2022, <https://shop.donaldson.com/store>.

3.3.5 Válvula de seguridad

La válvula de seguridad es el fusible del sistema neumático, se encarga de evitar que el tanque y demás componentes del sistema acumulen demasiada presión ante el posible daño o avería de la válvula gobernador; en condiciones normales, la válvula se abre a las 150 psi descargando la presión de exceso en el sistema neumático. En algunas marcas y referencias de camiones y tractocamiones, al accionarse esta válvula hay que reemplazarla ya que no permite su

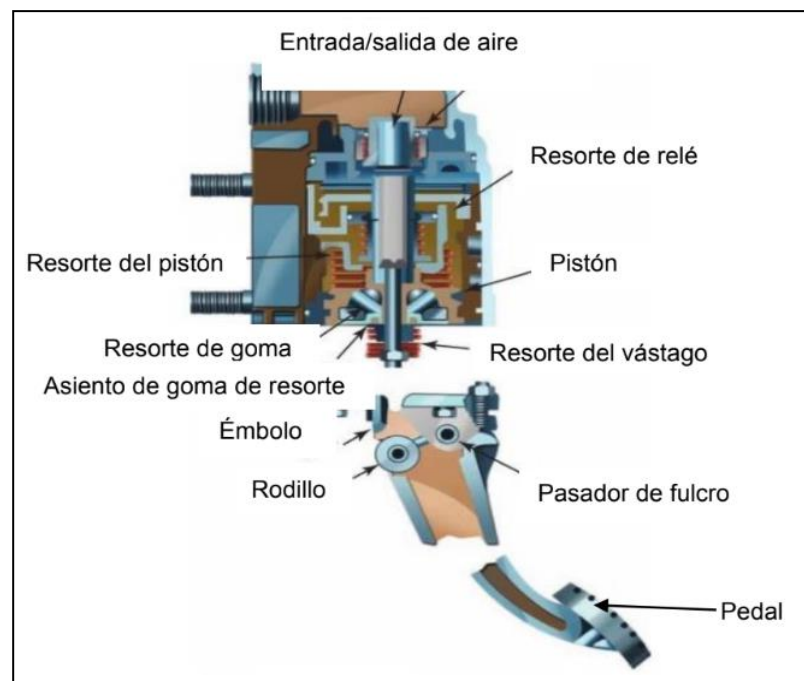
reutilización; en otro modelos y referencias al accionarse la válvula y liberar la presión, la válvula de seguridad vuelve a sus condiciones normales de operación.

3.3.6 *Pedal o bomba de freno*

El mecanismo de accionamiento del sistema de frenos también conocido como pedal o bomba de freno, se activa al presionar el pedal correspondiente; la presión ejercida en este pedal tiene una relación directa con la presión de operación del sistema de frenos neumático. Al aplicar mayor fuerza al pedal se incrementa la presión de aire; y al liberar el pedal, la presión disminuye permitiendo la liberación de aire comprimido y reduciendo la presión contenida en los tanques. Es crucial que el compresor de aire compense rápidamente esta pérdida.

Figura 16

Bomba o pedal de freno neumático



Nota: Partes y mecanismo de funcionamiento de la bomba o pedal de freno. Tomado de *Heavy duty truck systems* (p.923), por S. Bennet, 2020, Cengage Larning inc.

Realizar acciones innecesarias, como presionar y soltar el pedal repetidamente, puede provocar la liberación rápida de aire, superando la capacidad de reposición del compresor; esto podría disminuir la presión de manera significativa, activando el freno de seguridad o parqueo bloqueando los frenos y forzando una detención inmediata del vehículo (Commercial driver handbook, 2022, p.62). Cuando el operador presiona el pedal de freno, se generan dos fuerzas contrarias en el pie: una procedente de un resorte y otra de la presión de aire que llega al mecanismo de frenos, permitiéndole al conductor percibir la cantidad de presión de aire aplicada a los frenos.

3.3.7 Válvula relay

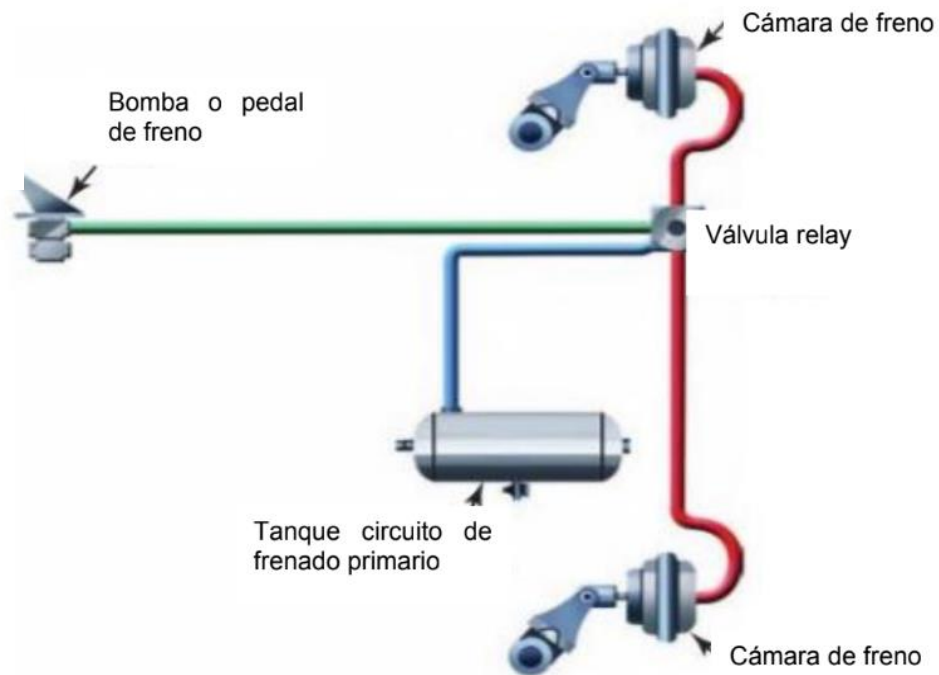
Se describe como una válvula piloto dosificadora que está diseñada para tener cerca un suministro constante de aire a la presión del sistema. Las válvulas relay están diseñadas para enviar la misma presión de aire desde la bomba hasta las cámaras de freno.

La mayoría de los sistemas de freno de aire en camiones actualmente utilizan válvulas relay, esto debido a los amplios márgenes de distancia entre la bomba pedal de freno y el mecanismo de frenado del vehículo; esta distancia es variable, más aún en el caso de los tractocamiones, que van desde los frenos de servicio de la unidad tractora hasta los mecanismos de frenado más lejanos ubicados en el remolque. Si el aire enviado a las cámaras de freno procediera directamente de la bomba de frenado, el tiempo de respuesta se retrasaría considerablemente; por esta razón, la presión de aire enviada desde la bomba de freno se utiliza como señal para liberar presión contenida en el depósito de aire más cercano al mecanismo de frenado de las ruedas.

El volumen de aire de la señal es pequeño en comparación con el volumen de aire necesario para accionar una cámara de freno de servicio, la cual se acciona por la disponibilidad de presión de aire en el depósito cercano.

Figura 17

Ubicación de válvula relay en un circuito de frenado primario



Nota: En la Figura se identifica una válvula relay en un circuito de frenado primario.

Tomado de *Fundamentals of Medium/Heavy Duty Commercial Vehicle Systems* (p.946), W. Gus y C.D Owen, 2020, Jones & Bartlett Learning.

3.3.8 Manómetros de aire disponible

Los vehículos equipados con sistema de frenado neumático cuentan con un medidor de presión conectado a los tanques o depósitos, el cual tiene como función indicar cuánta presión de aire hay disponible para el funcionamiento del sistema de freno y otros sistemas y accesorios

neumáticos. Cuando se llega a presentar un descenso en la presión de suministro de aire, el tablero de instrumentos emite una señal visual y auditiva que le permite al operario (conductor) buscar un lugar para un aparcamiento seguro, antes de que la presión de aire baje al límite y que el vehículo se detenga por completo quedando inmovilizado por el mecanismo de frenado de resorte o freno de seguridad.

Figura 18

Reloj indicador de presión de aire disponible y presión ejercida sobre pedal de freno



Luz Indicador de presión de aire baja o insuficiente

Indicador de presión de frenado en el pedal

Nota: En la fotografía se observa en el costado izquierdo los manómetros de presión de aire de circuitos primario y secundario junto con la luz indicadora de presión de aire baja, en el costado inferior derecho se observa el manómetro de presión ejercida en el pedal de frenado.

3.3.9 Medidor de la presión aplicada en el pedal de freno

El indicador de presión en el pedal de freno proporciona información sobre la cantidad de presión de aire aplicada a los frenos; cuando se requiere aplicar una mayor presión para mantener

la misma velocidad, es un signo de alerta que indica que la eficacia de los frenos está disminuyendo. Este aumento en la presión puede deberse a varios factores, como ajustes inadecuados de los frenos, fugas de aire o problemas mecánicos en el sistema. En caso de presentarse esta situación, Commercial driver handbook (2015) aconseja reducir la velocidad, utilizar una marcha más baja y accionar todos los mecanismos auxiliares de frenado para mantener el control adecuado sobre el avance del vehículo (p.64).

3.3.10 Señales de advertencia de baja presión de aire en el vehículo

La señal visual de baja presión de aire es un requisito esencial en los vehículos equipados con sistema de freno neumático, esta señal se activa visualmente antes de que la presión de aire en los tanques descienda por debajo de los 60 psi o, en vehículos más antiguos, llegue a la mitad de la presión de corte establecida por el gobernador del compresor. En la actualidad, esta señal se representa mediante una luz de color rojo con el símbolo de frenos, acompañada simultáneamente por una señal auditiva emitida a través de un timbre zumbador. En el caso de autobuses de mayor tamaño, por razones de seguridad y protección para la tripulación y pasajeros, es común que los dispositivos de advertencia de baja presión activen la señal cuando la presión desciende a los 80 u 85 psi.

3.3.11 Freno de estacionamiento o freno de emergencia

Para los vehículos con sistema de frenado neumático, es requisito que todos estén equipados con frenos de emergencia y frenos de estacionamiento que se activen y mantengan accionados mediante fuerza mecánica. Esta precaución se debe a la posibilidad de que la presión de aire disminuya o desaparezca debido a una fuga imprevista presentada en el sistema, es por esta razón que se deben utilizar frenos de resorte. Durante la conducción normal, la presión de

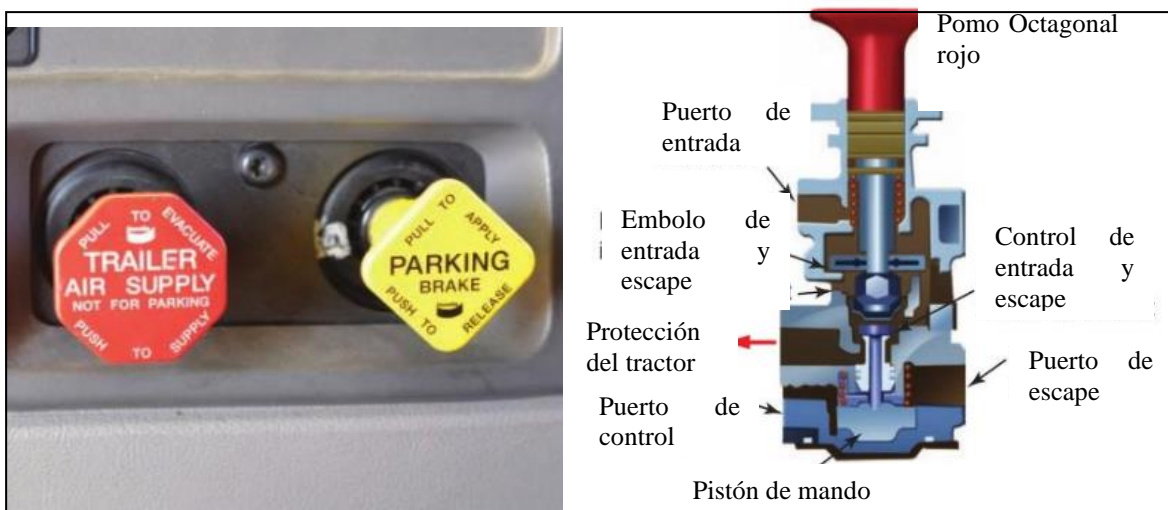
aire mantiene comprimidos los potentes resortes; en situaciones en las que esta presión se reduce o desaparece, estos resortes activan los frenos de estacionamiento o emergencia.

Como afirma Bennet (2020), en todos los vehículos con sistema de frenado neumático debe encontrarse una válvula o control específico para el freno de estacionamiento dentro de la cabina en el panel de instrumentos, como se observa en la Figura 19.

Gus & Owen (2020) afirman que este dispositivo permite al conductor liberar el aire de los frenos de resorte, desencadenando la aplicación de los frenos por parte de los resortes contenidos en las cámaras de frenado del circuito primario (p.723).

Figura 19

Descripción y partes de una válvula de freno de estacionamiento



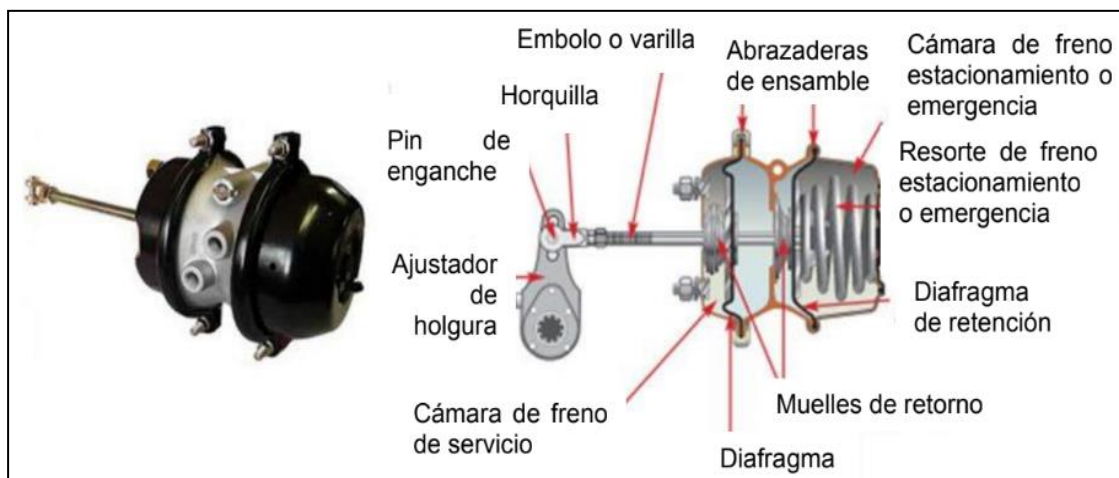
Nota: Identificación, partes y funcionamiento de las valvulas de freno de estacionamiento. Tomado de *Heavy duty truck systems* (p.944), por S. Bennet, 2020, Cengage Larning inc.

En caso de una fuga en el sistema de frenos que resulte en la pérdida total de aire, los frenos se activarán automáticamente mediante los resortes. En vehículos como camiones y

tractocamiones, los frenos de resorte se aplican completamente cuando la presión de aire desciende a un valor que varía entre 20 y 45 psi. Commercial driver handbook (2015) asegura que la eficacia de estos frenos de resorte depende en gran medida de su ajuste correcto; si no están debidamente graduados, tanto los frenos normales como los de emergencia o estacionamiento podrían dejar funcionar de manera óptima (p.53).

Figura 20

Esquema de funcionamiento de una cámara de freno con accionamiento neumático y resorte



Nota: En la Figura se observa que la cámara está en modo frenado de servicio, como se puede ver el muelle de retorno de servicio está comprimido y la sección de la cámara está desplazada al margen izquierdo. Tomado de *Heavy duty truck systems* (p.939), por S. Bennet, 2020, Cengage Learning inc.

Cuando no hay presión de aire sobre el diafragma de retención, la fuerza mecánica del resorte actúa sobre la varilla de empuje, accionando el mecanismo dando lugar a lo que se conoce como freno de estacionamiento accionado. Cuando se libera el freno de estacionamiento, se proporciona la presión de aire suficiente para comprimir el resorte y liberar el mecanismo de

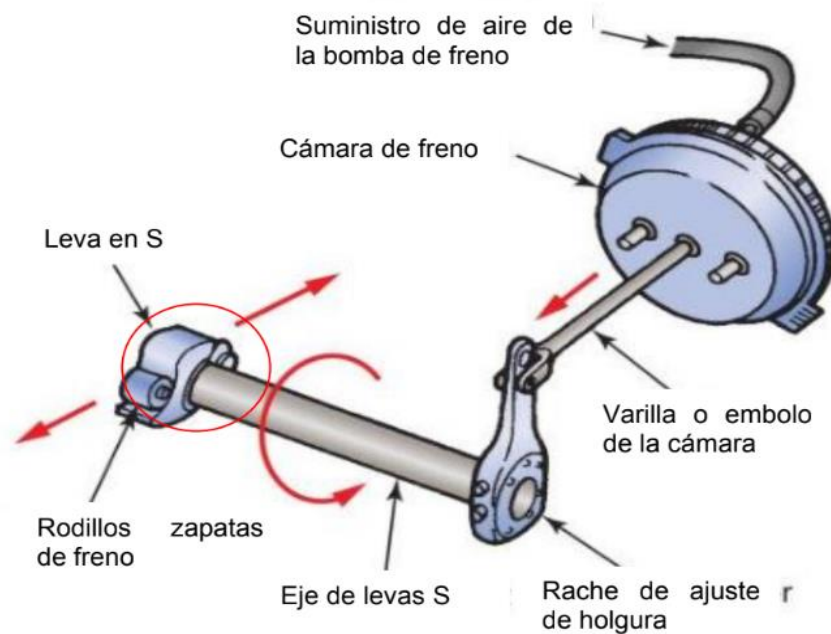
frenado. En el caso del freno de servicio, el resorte contenido dentro de la cámara tiene como función hacer el retorno del embolo cuando se está realizando la acción de frenado.

3.3.12 Rache dispositivo de ajuste de holgura o graduación

La cámara de freno produce una fuerza y desplazamiento lineal mediante su accionamiento sobre el embolo, esta fuerza se debe convertir en par de frenado; es aquí donde realiza su función el ajustador de holgura, el cual mediante la rotación de la leva en S presiona las zapatas contra el tambor para efectuar el frenado. Los raches ajustadores de holgura se utilizan para conectar la cámara de freno con el eje de leva S.

Figura 21

Mecanismo de conversión de aire comprimido a fuerza torsional



Nota: En la Figura se observa la función del ajustador de holgura y su mecanismo de accionamiento sobre la leva en S, en el accionamiento de los frenos mediante la energía potencial contenida en el aire comprimido convertido en fuerza mecánica de torsión; así mismo se describe

el funcionamiento de mecanismo de frenado por tambor y zapata con rache ajustador de holgura de tipo mecánico y su acoplamiento al eje de levas de freno. Tomado de *Heavy duty truck systems* (p.973), por S. Bennet, 2020, Cengage Learning inc.

El rache de ajuste de holgura está unido a la varilla de empuje de la cámara de freno mediante una horquilla y un pasador con pin de seguridad, y al árbol de levas S mediante estrías internas en el ajustador y estrías externas en el árbol de levas S; el eje y su acople estriado garantizan la transferencia de un gran par de frenado con una holgura mínima en sus juntas.

El rache ajustador además de corregir la holgura, también actúa como una palanca, la cual amplifica la fuerza que se aplica desde la cámara de frenado sobre el eje de levas; Bennet (2020) afirma que dependiendo de la distancia que se presente entre el centro del eje de levas y el acople de la horquilla, proporcionalmente así es la fuerza ejercida, a mayor distancia mayor es la fuerza (p.1114). A este fenómeno se le conoce como la capacidad de apalancamiento.

La mayoría de los raches ajustadores de holgura de tipo mecánico, cuentan con tres puntos de graduación, los cuales permiten ajustar la fuerza ejercida sobre el eje de levas de frenado; dependiendo del punto de instalación, aumenta o disminuye la capacidad de apalancamiento del rache ajustador de holgura.

Los raches ajustadores de holgura tienden a presentar deficiencia por falta de mantenimiento o por el deterioro y desgaste en su operación; cuando estos presentan avería, pierden la capacidad de retener la fuerza de ajuste sobre el eje de levas, y su principal indicador de daño es la pérdida de frenado en esa rueda. A pesar de que la cámara de frenado ejerza la fuerza, esta se pierde al no generar el correcto par de frenado por deficiencias en el mecanismo de funcionamiento y accionamiento del rache ajustador de holgura.

3.4 Tipo de mecanismo de frenado

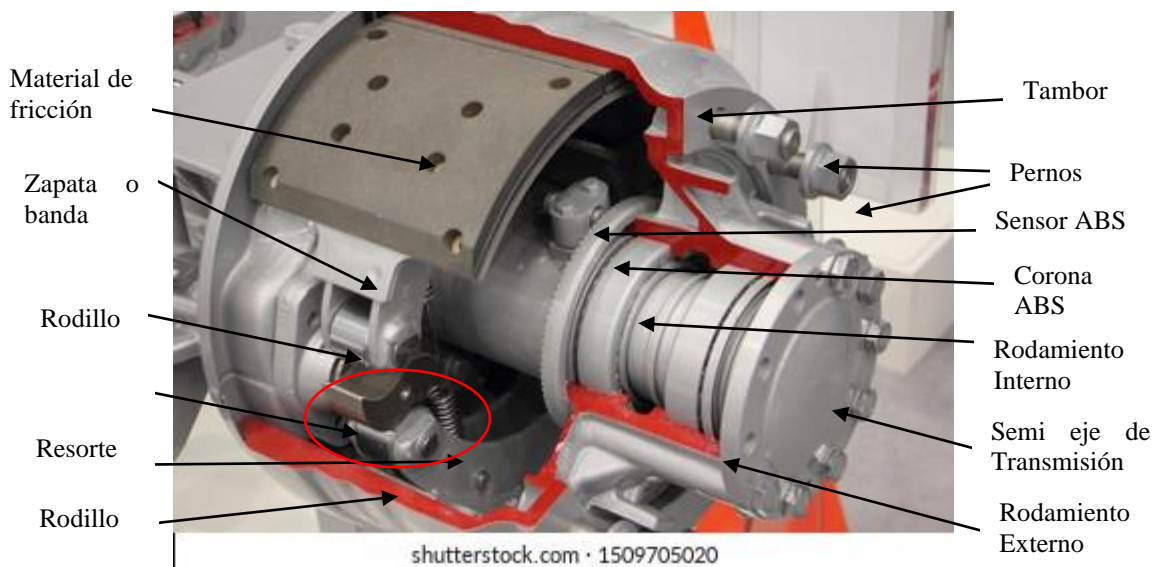
En la actualidad, se utilizan dos tipos de mecanismos de frenado comúnmente utilizados en camiones y tractocamiones comerciales equipados con freno neumático: los frenos de mecanismo tambor/bandas y los frenos de mecanismo disco/pastillas.

3.4.1 Mecanismo de frenado por tambor y zapata

Actualmente en vehículos de carga pesada, el mecanismo de frenado más prevalente es el freno de tambor con bandas o zapatas de fricción; los tambores o campanas se encuentran en cada extremo de los ejes del vehículo junto con las ruedas, fijados mediante pernos como se observa en la Figura 22. Este mecanismo de frenado se acciona mediante una cámara de aire articulada con rache o tensor ajustador y una excéntrica en forma de S, la cual al girar proporciona una acción de apertura tipo leva lo que genera fuerza y presión entre la zapata y el tambor o campana de frenado.

Figura 22

Esquema y partes de un sistema de frenado por tambor y zapatas

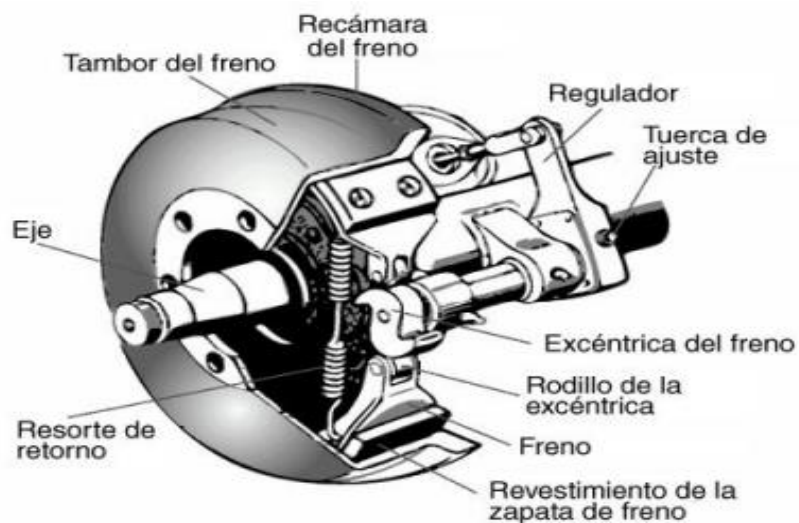


Nota: En la imagen se observa en detalle el mecanismo de frenado neumático y sus componentes. Tomado de: *Brake parts*, Shutterstock, 2023, [https://: www.shutterstock.com](https://www.shutterstock.com).

El mecanismo de frenado se encuentra contenido en el tambor, cuando se aplica el freno al vehículo, las zapatas mediante los revestimientos del freno se presionan contra el interior del tambor el cual se encuentra en movimiento solidario con la rueda, generando fuerza angular y fricción que reduce la velocidad del vehículo al mismo tiempo produce calor. El exceso de calor provoca la dilatación de los tambores de freno y la cristalización de los revestimientos de las bandas de frenado, lo que ocasiona deficiencia en el funcionamiento; este aumento de temperatura puede causar daños al tambor, dependiendo de la intensidad y frecuencia del frenado (Commercial driver handbook, 2015, p.73). En ciertas circunstancias esto puede llevar a la formación de fisuras en el tambor o incluso a su fractura total o la pérdida de fricción en las zapatas producto de la cristalización de las mismas, resultando en la pérdida parcial o total de la capacidad de frenado del vehículo.

Figura 23

Mecanismo de frenado de tambor y zapata con accionamiento por leva en S

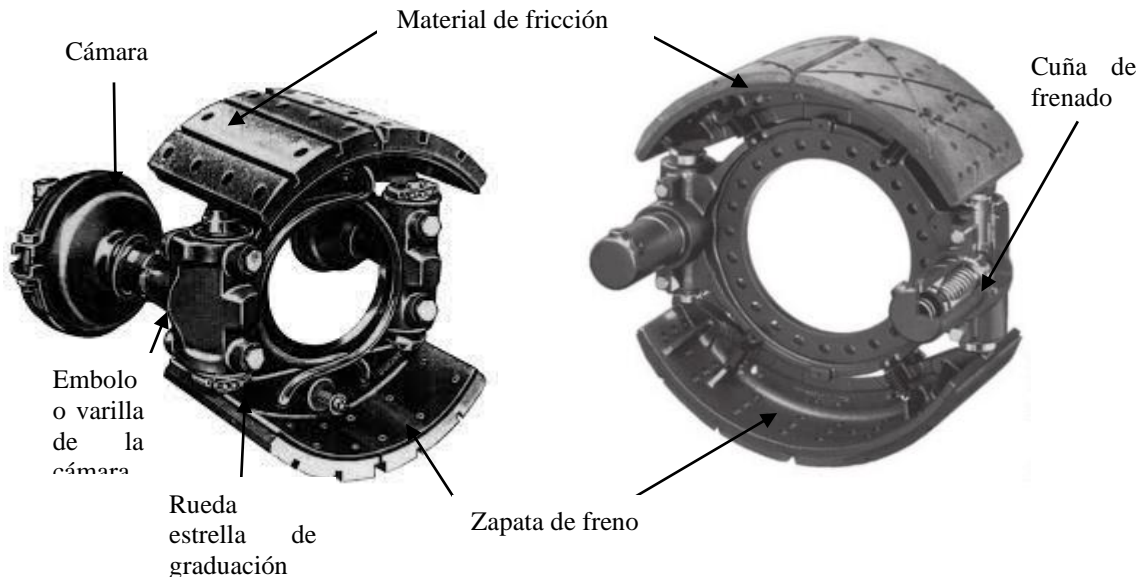


Nota: Descripción, partes y funcionamiento de un mecanismo de frenado neumático por tambor y zapata con leva en S. Tomado de *Commercial driver handbook*, State of California, 2020, <https://www.dmv.ca.gov/>.

Un mecanismo menos conocido es el accionamiento de frenos por cuña, en el cual el vástago de empuje de la recámara del freno impulsa una cuña situada entre los extremos de las zapatas de freno. Esta acción separa las zapatas presionándolas contra la cara interior del tambor del freno; los frenos de cuña pueden tener una o dos recámaras de freno en su mecanismo de accionamiento. Bennet (2020) afirma que es crucial señalar que este tipo de mecanismo de frenos puede ser de ajuste automático o puede requerir ajuste manual (p.1064).

Figura 24

Sistema neumático con mecanismo de frenado por cuña



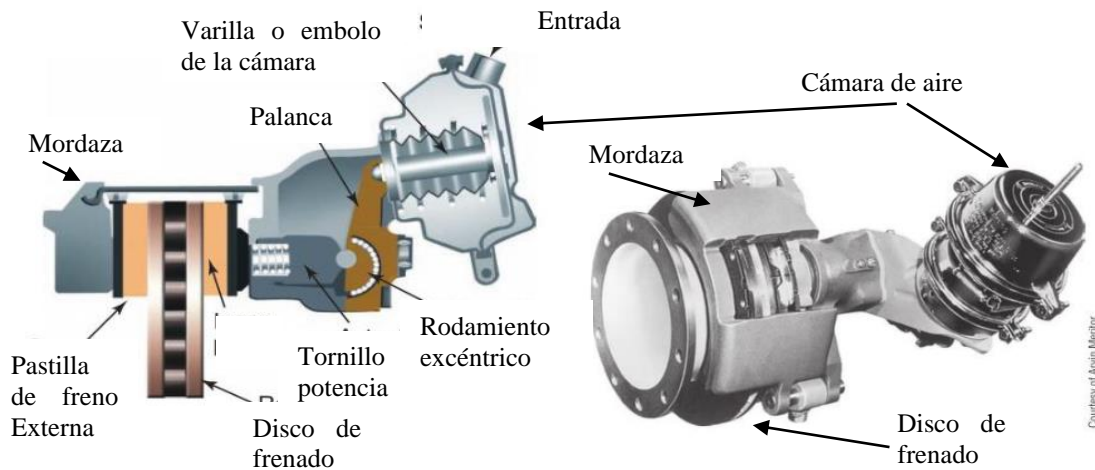
Nota: Descripción, partes y funcionamiento de un mecanismo de frenado neumático accionado por cuña. Tomado de *Fundamentals of Medium/Heavy Duty Commercial Vehicle Systems* (p.973), W. Gus y C.D Owen, 2020, Jones & Bartlett Learning.

3.4.2 Mecanismo de frenado por disco y pastillas

Es un mecanismo altamente eficiente utilizado comúnmente en vehículos ligeros y motocicletas; sin embargo, en la actualidad con la llegada de nuevas tecnologías en el transporte tipo pesado encontramos vehículos que cuentan con este mecanismo de frenos. En los frenos de disco accionados por aire, la presión tiene un efecto sobre la recámara del freno y el regulador de manera similar a los frenos de excéntrica leva en S; sin embargo, en este caso, en lugar de emplear una excéntrica leva en S se utiliza un tornillo de potencia (Bennet, 2020, p982). La presión generada en la recámara del freno actúa sobre el regulador provocando la rotación del tornillo de potencia, este tornillo a su vez presiona el disco o rotor entre las pastillas de los revestimientos de los frenos, como se observa en la Figura 25. Este proceso es análogo al funcionamiento del mecanismo de frenado disco/pastilla utilizada en automóviles, pero en este caso, con dimensiones y demandas energéticas mayores.

Figura 25

Sistema de freno de aire con mecanismo por disco y pastillas



Nota: Descripción, partes y funcionamiento de un sistema de frenado neumatico con mecanismo de disco y pastillas. Tomado de *Manual de servicio*, Arvin Meritor, 2023.

3.4.3 Válvulas moduladoras de control (pivote)

En tractocamiones y algunos vehículos rígidos articulados, los frenos de resorte pueden activarse gradualmente a través de una manija de control situada en el panel de instrumentos. Se debe recordar que, el concepto de freno de resorte hace referencia a los mecanismos con cámara de frenado de resorte para freno de estacionamiento o seguridad y freno de servicio. Este dispositivo se conoce como válvula moduladora o pivote y opera con la asistencia de un resorte que permite al conductor percibir la acción de frenado. Este tipo de válvula de control se encuentra en vehículos tipo tractocamión de uso comercial; su funcionamiento se basa en que al mover la palanca de control, se incrementa la fuerza con la que se aplican los frenos del remolque del tractocamión. Este diseño facilita al conductor tener control sobre la activación de los frenos en caso de que se presente una falla en el pedal de los frenos de servicio.

Figura 26

Fotografía de ubicación y accionamiento válvula moduladora de control o pivote



Nota: La válvula moderadora de control recibe suministro de aire desde el circuito secundario cuando se acciona esta válvula, la presión de aire se dosifica y actúa como señal para

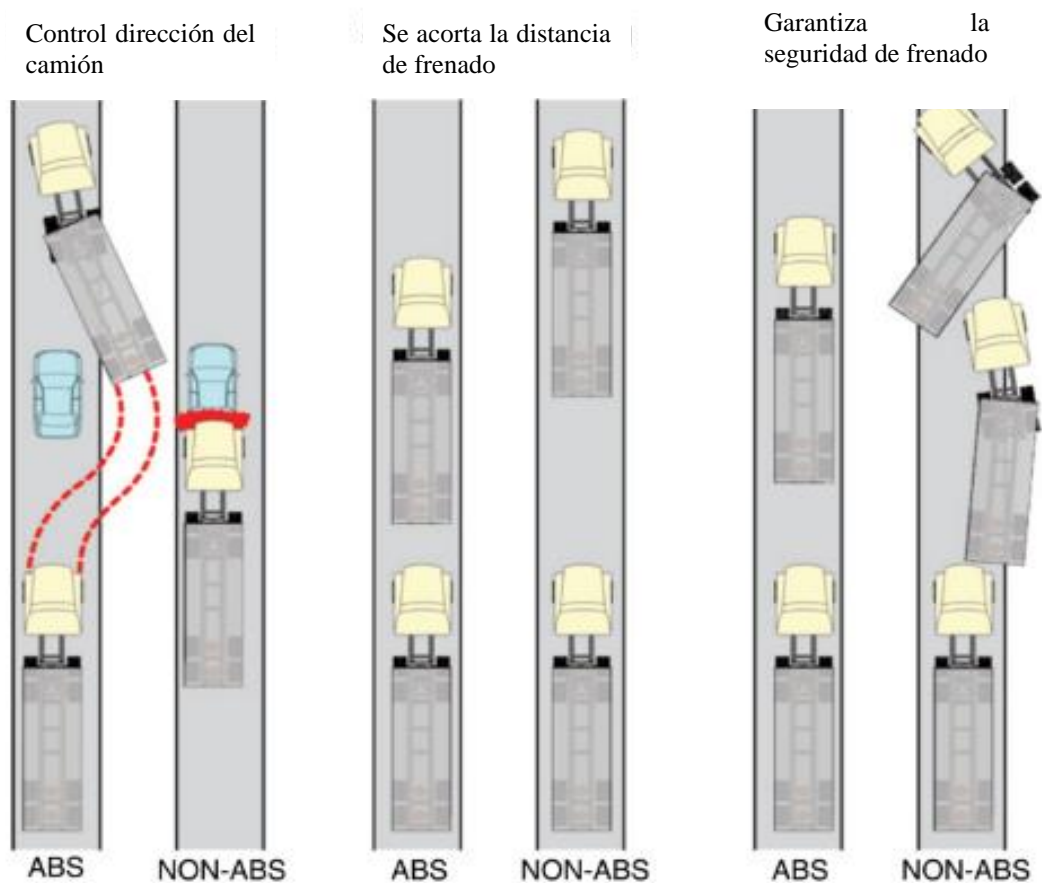
accionar el freno de servicio del remolque. Esta señal es la misma que se entrega desde la bomba o pedal de freno, con la diferencia que en este caso la presión de aire proviene del circuito de frenado primario.

3.5 Sistemas antibloqueo de frenos (ABS)

Los vehículos equipados con sistema de frenos antibloqueo ABS, procuran la seguridad de los ocupantes y demás actores viales al garantizar una mayor superficie de contacto entre el suelo y la banda de rodadura de las llantas del vehículo.

Figura 27

Descripción grafica de frenado para un camión con/sin ABS



Nota: Tomado de *Fundamentals of Medium/Heavy Duty Commercial Vehicle Systems* (p.1132) W. Gus y C.D Owen, 2020, Jones & Bartlett Learning.

En Colombia, el sistema de frenos ABS es obligatorio para los automóviles, autobuses, camiones, tractocamiones y remolques, fabricados a partir del 10 de enero de 2017 (Mintransporte Resolución 3752, 06 de octubre de 2015).

El Sistema Antibloqueo de Frenos (ABS) es un sistema computarizado diseñado para prevenir el bloqueo de las ruedas al aplicar frenos de manera repentina, reduciendo así el riesgo de accidentes por derrape del vehículo; en la Figura 23, se observa un esquema diferencial de frenado entre un camión equipado con ABS y un camión sin ABS. Gus & Owen (2020) afirman que los sistemas ABS no solo acortan las distancias de frenado, sino que también mejoran el control direccional del camión durante las maniobras de frenado de emergencia (p.1237). Los vehículos equipados con ABS incorporan un indicador amarillo en el tablero de instrumentos el cual indica fallas en el funcionamiento.

En caso de evidenciar los testigos indicadores de falla, se debe solicitar servicio técnico para el camión o tractocamión; es importante destacar que el ABS no altera la capacidad de frenado normal del vehículo; su función principal es activarse cuando las ruedas están cerca de alcanzar la presión de frenado que provocaría el bloqueo. Aunque el sistema ABS en tramos muy cortos no necesariamente acorta la distancia de frenado, si desempeña un papel crucial en el control del vehículo durante frenadas bruscas o en condiciones de carreteras resbaladizas, garantizando el control y maniobrabilidad del vehículo; aunque la percepción de frenado parezca menor.

Figura 28

Testigos luminosos indicadores de falla en el sistema de frenado ABS

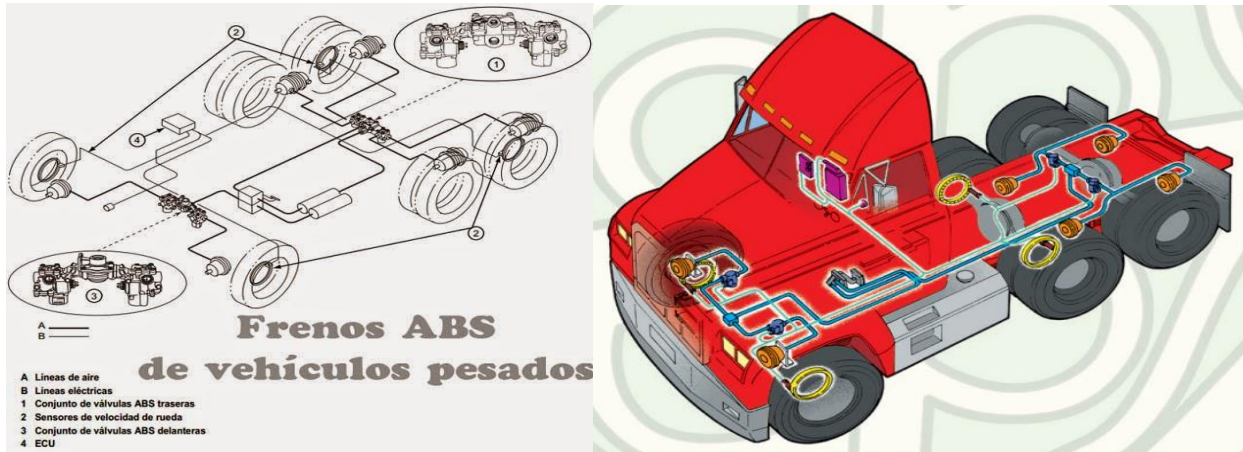


Los sistemas antibloqueo de frenos (ABS) son relativamente simples en comparación con los complejos sistemas electrónicos necesarios para gestionar la transmisión o el motor de un vehículo. El ABS utiliza un circuito de entrada para supervisar las velocidades individuales de las ruedas durante el frenado; los sensores de rueda emplean un principio generador de impulsos que consiste en un anillo dentado ubicado en los extremos del eje o dentro del eje, girando solidario a la rueda y un captador de señal, el cual genera una salida de voltaje de corriente alterna analógica que se transmite a una Unidad de Control Electrónico (ECU). La ECU, a su vez, utiliza la frecuencia de la corriente alterna generada en lugar del valor de voltaje para determinar la velocidad de la rueda.

En un sistema de frenos de aire, este control se realiza mediante un modulador, el cual es una válvula controlada por solenoides con la capacidad de regular el flujo de aire hacia la cámara de freno; la liberación momentánea de aire en la cámara de freno se sigue inmediatamente de una recarga. Bennet (2020) afirma que este ciclo de encendido y apagado del flujo de aire hacia la cámara del freno puede ocurrir a alta velocidad, contribuyendo así a prevenir el bloqueo de las ruedas y mejorar la seguridad durante el frenado (p.973).

Figura 29

Esquema de distribución y funcionamiento de un sistema de freno ABS para camiones



Nota: Esquema de distribución y componentes de un sistema de frenado neumático Anti bloqueo ABS para un tractocamión de tres ejes. Tomado de *manual de mantenimiento*, Wabco, 2022, https://www.wabco-customercentre.com/catalog/es_ES

En un sistema de frenos de aire, este control se realiza mediante un modulador, el cual es una válvula controlada por solenoides con la capacidad de regular el flujo de aire hacia la cámara de freno; la liberación momentánea de aire en la cámara de freno se sigue inmediatamente de una recarga. Bennet (2020) afirma que este ciclo de encendido y apagado del flujo de aire hacia la cámara del freno puede ocurrir a alta velocidad, contribuyendo así a prevenir el bloqueo de las ruedas y mejorar la seguridad durante el frenado (p.973).

3.6 Eficacia del sistema de frenado en vehículos tipo pesado para el transporte de carga

La eficacia del sistema de frenado para gestionar el movimiento de un vehículo depende de varios factores. La mecánica del proceso de frenado sugiere que hay al menos cinco aspectos distintos del rendimiento de frenado que deben considerarse tanto en vehículos familiares como en vehículos de trabajo pesado. Waza T & Zang L. (2020) sugieren estas facetas o medidas del

rendimiento de frenado y pueden ser denominadas efectividad, eficiencia, tiempo de respuesta, controlabilidad y efectividad térmica (p.3).

Según la definición de la norma técnica Colombiana NTC 5375 (2012), en los procedimientos de revisión técnico mecánica y de emisiones contaminantes, la eficacia en el sistema de frenado se refiere a la capacidad que tiene el vehículo para detener su marcha en función a la cantidad de peso neto movilizado; se determina como la relación entre fuerza total de frenado y peso neto del vehículo. (p.27). Como se describe mediante la siguiente ecuación para el cálculo de la eficacia de frenado para un vehículo bajo la NTC 5375.

$$E = 100 \left(\frac{F}{P} \right)$$

En donde:

E = Valor de la eficacia en porcentaje

F = La suma de todas las fuerzas de frenado, en Newton (N)

P = Masa total vacío * gravedad (9,81 m/s²)

La eficacia de frenado se determina en una escala porcentual y se calcula con el vehículo sin carga (peso neto del vehículo); “cuando la eficacia de frenado del vehículo es inferior al 50% determinada bajo el procedimiento normativo, se categoriza como defecto tipo A y es causal de NO conformidad o rechazo en la prueba de evaluación de frenos en el desarrollo del procedimiento de revisión técnico mecánica y de emisiones contaminantes” (NTC5375, 2012, p.28). En este caso específico, el vehículo no cuenta con el certificado de acreditación de revisión técnico mecánica y de emisiones contaminantes y el propietario del vehículo debe

realizar el respectivo mantenimiento y reparación con el fin de mejorar la eficacia de frenado y acceder a una segunda revisión en un plazo máximo de 15 días calendario contados a partir de la fecha y hora de realización de la primera revisión. La NTC 5375 (2012) especifica que si en la segunda revisión o re inspección solamente se inspeccionará el sistema de frenado y se verificará que las demás condiciones mecánicas del vehículo aún se mantengan; en caso de que la eficacia de frenado indique valores inferiores al 50% por segunda vez, el vehículo se caracterizará como NO conforme (p.28).

La eficiencia de frenado se define como la capacidad que tiene el vehículo para detenerse en el menor tiempo, menor distancia y con el menor gasto energético posible. De esta forma, podemos decir que el sistema de frenado de un camión o tractocamión es efectivo cuando detiene el vehículo cargado a su capacidad completa de carga en el menor tiempo posible y con el menor gasto de los elementos y componentes del sistema.

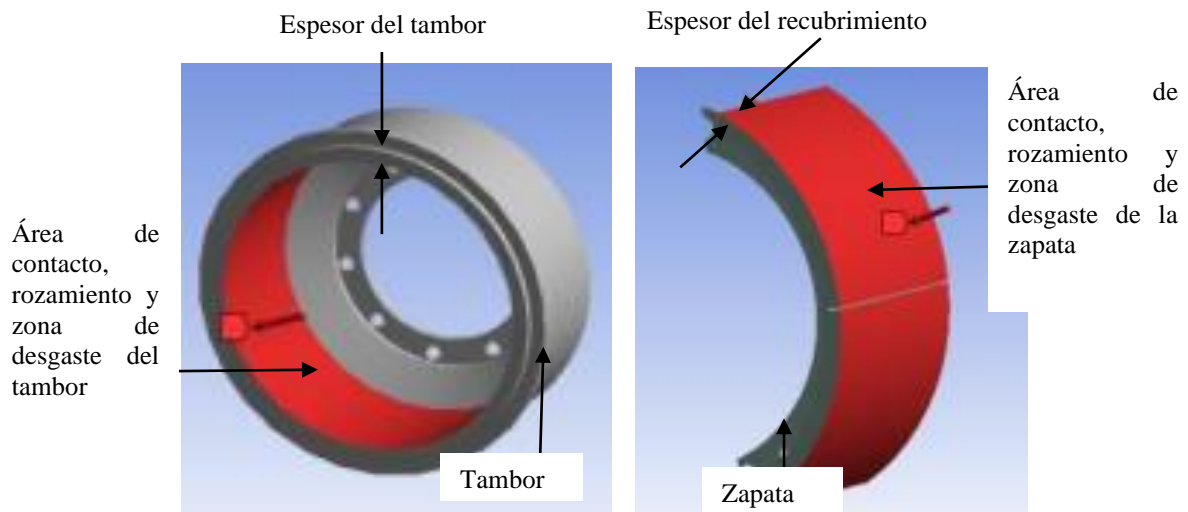
4. Caracterización y prevención del efecto fading en vehículos comerciales tipo camión y tractocamión

El termino Fading es un concepto de origen inglés y traduce en desvanecimiento; en la industria automotriz se considera que el fading es un efecto que genera fatiga ocasionada por el sobrecalentamiento en los componentes del sistema de frenado de los vehículos, presentando como consecuencia la pérdida de efectividad en el frenado del mismo. Waza & Zang (2020) afirman que este fenómeno ocurre con mayor frecuencia en los sistemas de frenado neumático con mecanismo de tambor y zapatas, debido a la reducida capacidad de disipación del calor en este mecanismo; en el cual el desvanecimiento del freno ocurre cuando los tambores se calientan y se expanden a un punto en el cual las zapatas ya no pueden generar suficiente presión o

fricción para frenar la rueda de manera efectiva. En este proceso, cuanto más desgaste presente el tambor, más rápido experimentará aumento de temperatura y por consiguiente dilatación.

Figura 30

Área de contacto y zona de desgaste en mecanismo de frenado tambor y zapata



Nota: En la Figura se observa la estructura y la zona de generación de calor en el mecanismo de frenado por tambor y zapata. Tomado de *Design and Analysis of Heavy Duty Truck Brake Drum and Shoe*, T. Waza muluken, y L. Zang, 2020, <https://www.semanticscholar.org/>.

La acción de frenado y la generación de calor en el sistema, son variables directamente proporcionales, en cuanto mayor sea la fuerza para conseguir reducir la velocidad o detener el vehículo, así mismo aumenta la temperatura producto de la fricción en el sistema de frenado, en términos generales si el vehículo presenta una elevada cantidad de energía cinética, esta energía se transformará en calor en los elementos que generan la fricción, principio básico de frenado del automotor.

4.1 Sobrecalentamiento de los componentes

El sobrecalentamiento de los componentes ocurre por varias razones, a continuación, mencionamos estas condiciones; Gus W y Owen C. (2020) afirman que:

Cuando se excede la capacidad de carga para la cual fue diseñado el vehículo, cuando las rutinas mantenimiento del sistema de frenos son insuficientes o ineficientes, cuando se presiona el pedal de freno en forma repetitiva o cuando el vehículo presenta falencias o modificaciones inadecuadas en el sistema neumático o en el accionamiento del mecanismo de frenado de alguna o varias de las ruedas del mismo (p.376).

Estas condiciones ocasionan un sobre esfuerzo de trabajo en las ruedas que están ejerciendo la acción de frenado; en todos los casos generando calor producto de la fricción y al ser un comportamiento frecuente, no permite generar espacios de tiempo para la disipación del calor presente en los componentes, alcanzando excesivas temperaturas para las cuales no están diseñados, generando fatiga en estos y presentando como consecuencia el efecto FADING o desvanecimiento de la capacidad de frenado del camión.

4.1.1 Tipos de fading o desvanecimiento de frenos

Se reconocen cinco tipos de fading en vehículos de transporte de carga; de estos, tres tipos son causados por el sobrecalentamiento del mecanismo; el cuarto es ocasionado por contaminación con fluidos en el mecanismo de frenado y el quinto es ocasionado por el desequilibrio de frenado o una combinación parcial de los demás tipos de desvanecimiento o fading.

4.1.2 Desvanecimiento mecánico

El desvanecimiento mecánico se describe como la expansión del tambor de freno y la pérdida de fricción ocasionados por el exceso de temperatura. Como resultado de este efecto, el mecanismo de accionamiento aumenta su holgura y tolerancia de operación, ocasionando que las zapatas de freno presenten mayor recorrido para hacer contacto de fricción con el tambor. Waza & Zang (2020) afirman que es importante tener claro que en la medida que se desgasta el tambor, el desvanecimiento mecánico se anticipa y aumenta su dilatación, esto debido a que con el desgaste se disminuye el espesor de sección del tambor, reduciendo sus propiedades mecánicas (p.3). Cuando se requiere servicio de mantenimiento de frenos, es importante verificar las condiciones de concentricidad y espesor del tambor, en caso de evidenciar que las medidas registradas están por fuera de los límites indicados por el fabricante, reemplace el tambor por uno nuevo con las especificaciones recomendadas por el fabricante del vehículo.

El principal indicador de desvanecimiento mecánico para el conductor, es el apareamiento repentino de un mayor desplazamiento de la carrera desde el pedal de frenado del vehículo, con una mayor presión de frenado indicada en el manómetro dispuesto en el tablero de instrumentos, presentando la sensación de pastosidad y poco efecto de frenado.

4.1.3 Desvanecimiento del recubrimiento

Los materiales de fricción están formulados con el propósito de proporcionar características específicas en términos de fricción, ruido y desgaste. La mayoría de los materiales de fricción diseñados para el uso diario, con un alto coeficiente de fricción y estables hasta aproximadamente los 320° C; Más allá de estas temperaturas, pueden surgir problemas significativos como desvanecimiento y desgaste excesivo. El desvanecimiento en los

recubrimientos de material de fricción de los frenos puede manifestarse en diversas formas, cada una con sus propias características y causas. Aquí se describen algunos tipos de desvanecimiento:

El desvanecimiento retardado es un fenómeno que afecta a algunos materiales de fricción de frenos de tambor, se manifiesta por una baja repentina de la eficacia de los frenos, provocando un aumento temporal pero pronunciado en la fuerza de frenado ejercida en el pedal del freno. El desvanecimiento retardado es insidioso, ya que ocurre mucho después de un período de uso del freno, sin señales de advertencia.

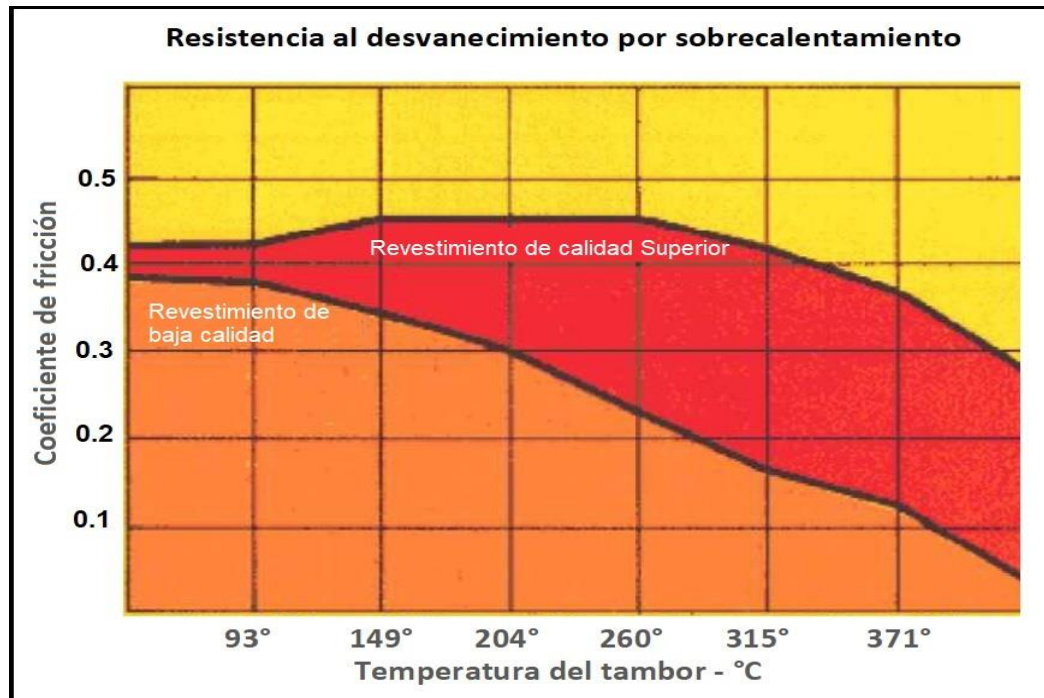
Otro tipo es el desvanecimiento de ampollas, el cual se presenta en zapatas y pastillas de freno nuevas; ya que estas pueden contener material volátil de fabricación, liberándolo durante una aplicación intensa de frenos. La formación de ampollas cerca de la superficie puede provocar una pérdida temporal de eficacia en los frenos, y este fenómeno ocurre durante aplicaciones fuertes de frenado.

Pradnya & Chittaranjan (2011) afirman que el desvanecimiento verde, ocurre con niveles muy altos de potencia de frenado, generalmente a velocidades elevadas (p.4). La rápida descomposición de componentes orgánicos crea una superficie de frenado lubricada por presión de gas, este fenómeno se manifiesta con una pérdida momentánea de fricción. Kerry (2016) asevera que estos tipos de desvanecimiento destacan la importancia de comprender las características y limitaciones de los materiales de fricción, así como de realizar un mantenimiento adecuado de los sistemas de frenos (p.2). En la gráfica de resistencia al desvanecimiento, se observa el comportamiento típico de un revestimiento de zapatas de frenado

ante el aumento de temperatura en el tambor, se identifica la progresiva pérdida de fricción en el material, la cual se hace más notable en el material de fricción de menor calidad.

Figura 31

Comportamiento del material de fricción de revestimientos con respecto al aumento de temperatura y su calidad de fabricación



Nota: Adaptado de *Standard of care Expert*, Formerly D&A Consultants, 2016, Evidence Solutions, Inc.

4.1.4 Desvanecimiento por contaminación con fluidos

El desvanecimiento de frenado por contaminación con fluidos es un fenómeno que ocurre cuando sustancias como agua, aceite u otros fluidos entran en contacto con las superficies de fricción del mecanismo de frenado, ya sea en las zapatas, pastillas de freno, discos o tambores. Este es un problema mayor para los mecanismos de frenos de tambor, pues estos tienden a

atrapar los fluidos; a diferencia de los frenos de disco, que dispersan fácilmente el agua o demás fluidos contaminantes. Esta contaminación puede afectar negativamente el rendimiento del sistema de frenado y provocar una pérdida temporal de eficacia. Una vez que esto suceda, el conductor del vehículo debe generar suficiente fricción para calentar el mecanismo de los frenos y evaporar el fluido contaminante.

Cuando los fluidos contaminantes entran en el sistema de frenos, pueden crear una película delgada y resbaladiza en las superficies de fricción; esto a su vez reduce la capacidad de generar fricción efectiva de las pastillas o las zapatas de contra los discos o tambores. La película de fluido elastohidrodinámico actúa como un lubricante, disminuyendo la capacidad de frenado y aumentando la distancia necesaria para detener el vehículo. Este tipo de desvanecimiento por contaminación es especialmente problemático porque puede ocurrir de manera impredecible y afectar significativamente la capacidad de frenado del vehículo.

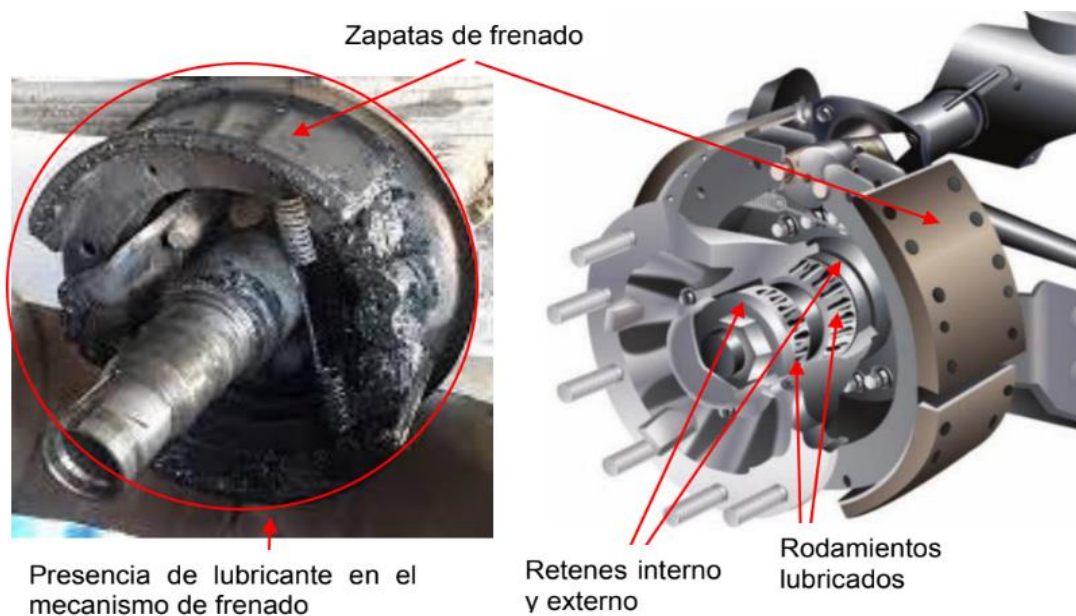
En el caso de los camiones y tractocamiones, es común encontrar desvanecimiento por contaminación con grasas y aceites usados para la lubricación de rodamientos, cojinetes o engranes de los sistemas de transmisión. Este fenómeno se presenta cuando los componentes como sellos y retenes presentan deterioro y dejan de cumplir su función, permitiendo la salida de lubricantes que, en el caso de los mecanismos de frenado por tambor y zapata, terminan impidiendo la fricción y por tanto la acción de frenado de la rueda; generando desequilibrio en el frenado del vehículo.

En este caso, es probable que el conductor del vehículo no presencie diferencias considerables en la acción de frenado, sin embargo, al revisar las ruedas va a encontrar restos de aceite o grasa, clara señal de presencia de fugas de lubricante; y más aún cuando termina de

descender una pendiente pronunciada, el vehículo puede presentar olor a aceite lubricante quemado producto de los vapores generados por el calentamiento del mecanismo de frenado por tambor y zapata.

Figura 32

Descripción de un mecanismo de frenado con desvanecimiento por contaminación con lubricante



Nota: En la figura se observa un mecanismo de frenado contaminado con lubricante y se hace la comparación con su esquema; se reconocen las partes que deben estar lubricadas y el mecanismo de frenado.

Para evitar el desvanecimiento de frenado por contaminación, es crucial mantener el sistema de frenos en condiciones óptimas y evitar la exposición excesiva a líquidos contaminantes. Además, es esencial utilizar materiales de fricción y componentes de freno diseñados para resistir la contaminación y garantizar un rendimiento seguro y confiable del sistema de frenado.

4.1.5 Desvanecimiento Dominó generado por desequilibrio

Ocurre cuando algún o algunos frenos del sistema tienen más fuerza de frenado con respecto a otros. Este desequilibrio puede ser el resultado de un mantenimiento deficiente, una mala distribución de la carga o una aplicación ligera de los frenos. Los mecanismos que producen un eficiente frenado generan más fuerza, ocasionando sobrecalentamiento en acción de respaldo a los mecanismos que no están generando una correcta acción de frenado, este sobrecalentamiento ocasiona efecto fading o desvanecimiento. Cuando los mecanismos que generan mayor fuerza de frenado fallan, los mecanismos de frenado deficientes reciben la carga de frenado del vehículo en una cantidad desproporcionada; ahora es más probable que estos mecanismos de frenado deficientes y sobrecargados también fallen, de ahí se conoce como el efecto fading dominó. El desvanecimiento dominó es una característica común en los camiones pesados que a menudo presentan desequilibrios en las fuerzas de frenado tanto en las ruedas del mismo eje como diferencias entre ejes o desequilibrio entre los tiempos o fuerzas de frenado del tractor y del remolque.

Este fenómeno es considerado de alta peligrosidad debido a su grado de dificultad para evidenciar estos desequilibrios, es por esta razón que se recomienda a los operadores de vehículos, después de bajar una pendiente pronunciada realizar una breve inspección de las ruedas, en busca de aumentos de temperatura de las mismas; en aquellas ruedas que se evidencie alta o baja generación de calor se deben identificar para solicitar revisión durante el desarrollo de las rutinas de mantenimiento del vehículo; esta es una práctica rápida para identificar mecanismos de frenado deficientes. Una opción más certera para determinar el desequilibrio en las fuerzas de frenado, es realizar una prueba sistematizada con un frenometro verificado y

calibrado que cuente con el alcance para realizar una evaluación de frenado en el vehículo. Los resultados obtenidos en la prueba de frenometro nos indican la distribución de las fuerzas de frenado en cada una de las ruedas, de aquí tomamos la información para determinar que ruedas presentan desequilibrio y cuál es su ubicación. El frenometro proporciona la eficacia de frenado del vehículo, indicador esencial para verificar las condiciones de funcionamiento del sistema neumático de frenado del camión.

Cuando se realiza servicio de mantenimiento en el sistema de frenado, es importante verificar las condiciones de desgaste de revestimientos, tambores y discos; la evidencia de desgaste prematuro o desgaste excesivo en algunas ruedas, es un claro indicador de desequilibrio en el frenado ocasionado por problemas en el mecanismo o en el sistema neumático de frenado.

4.2 Exceso de carga con respecto a la cual fue diseñado el vehículo

Las características de frenado siempre están sujetas a la capacidad de carga para la cual fue diseñado el vehículo; y en el transporte de carga, es frecuente observar vehículos con sobre peso superando la capacidad de carga para la cual fueron diseñados. En Colombia, a pesar de las normativas y regulaciones viales para el control del transporte de carga, mediante la instalación de basculas tanto fijas como móviles; es común observar camiones y tractocamiones circulando tanto en vías nacionales como en vías terciarias, vehículos notablemente sobre cargados en algunos casos superando hasta en el 80% la capacidad de carga característica para el vehículo. La problemática del precio de los combustibles, peajes y demás insumos usados para el transporte de carga, además de los bajos precios de los fletes y la modalidad de pago por cantidad de peso transportado, han ocasionado la cultura de la sobrecarga en los vehículos por parte de propietarios y conductores de los mismos, bajo la creencia de que el vehículo cuenta con la

potencia necesaria para cargar el sobrepeso, vehículos con el torque necesario para dar fuerza y velocidad aun con la sobrecarga; sin embargo son muy pocos los propietarios y conductores que se detienen a pensar en que si se requiere mayor torque y potencia para arrancar y mantener la velocidad, así mismo se requiere mayor fuerza y eficiencia del sistema de frenado para detener el vehículo de carga con sobre peso, considerando este el principio básico de la ley de inercia. En ese momento ocurren las fallas en los sistemas de frenos, debido a que estos no fueron diseñados para esa condición de carga, lo que genera fatiga y sobrecalentamiento en los componentes.

Figura 33

Distribución del peso y fuerza de frenado en un vehículo tipo liviano



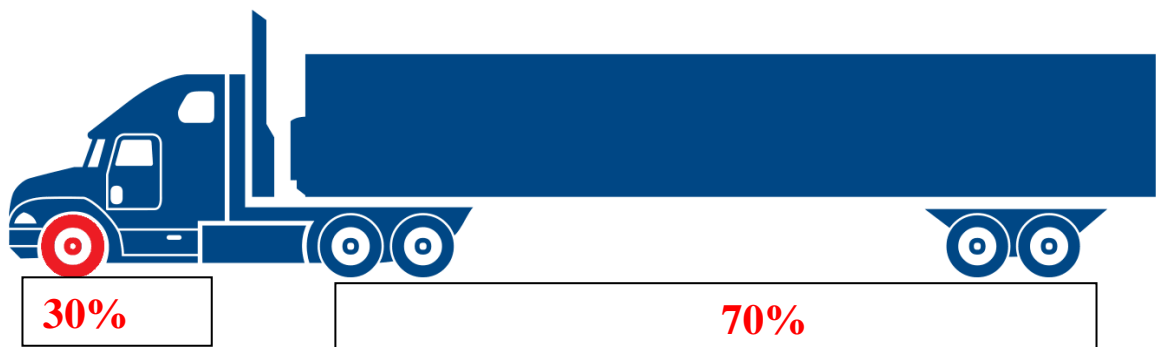
Nota: Distribución de las fuerzas de frenado en un vehículo tipo liviano, se observa que la mayor cantidad de peso se acentúa sobre el eje delantero.

“Todos los vehículos ya sean de prestación para el transporte de pasajeros o carga de tipo liviano o pesado, deben garantizar la compensación de las fuerzas de frenado de acuerdo a la distribución del peso y la capacidad de carga del mismo (manual de la técnica del automóvil, 2005, p.78). En el caso de los vehículos de tipo liviano, es común encontrar que la fuerza en el freno de servicio es mayor en el eje delantero, eso debido a que la mayor cantidad de

concentración de peso está en el conjunto motor y transmisión ubicados sobre el eje delantero, cuyo peso puede llegar a superar el peso de la carga y los ocupantes del vehículo. En el caso de los vehículos de tipo pesado, como camiones y tractocamiones; la fuerza de frenado es mayor en los ejes posteriores, debido a que la carga se transporta en la parte posterior del vehículo; mejorando así la acción de frenado y maniobrabilidad del vehículo.

Figura 34

Distribución del peso y fuerza de frenado en un vehículo tipo pesado



Nota: Esquema de distribución de las fuerzas de frenado en un vehículo de carga pesada, las fuerzas de frenado se acentúan en los ejes posteriores debido a que estos ejes son los que soportan la mayoría del peso de la carga transportada.

En los descensos prolongados es común encontrar el efecto fading, ocasionado por el uso en exceso del pedal del freno; para este caso, es importante que el conductor opere el vehículo de manera eficiente, utilizando la caja de velocidades como freno de apoyo mediante la compresión del motor, o en el mejor de los casos, usar los mecanismos auxiliares de frenado como lo son el freno de ahogo, freno retardador o freno de motor.

4.2.1 Exceso de carga del vehículo y desvanecimiento del frenado

Cuando un vehículo está sobrecargado, se incrementa el peso total que los frenos deben detener, lo que genera más calor durante el proceso de frenado. Este aumento en la generación de calor puede provocar un calentamiento excesivo de los componentes del sistema de frenos, afectando negativamente su rendimiento.

El desvanecimiento del frenado debido al exceso de carga puede manifestarse de varias maneras. Uno de los problemas comunes es el sobrecalentamiento de los tambores y zapatas. Este sobrecalentamiento resulta en una pérdida temporal de la capacidad de frenado, ya que los materiales de fricción se vuelven menos efectivos cuando se exponen a temperaturas extremas.

Para prevenir el desvanecimiento del frenado debido al exceso de carga, es importante respetar la capacidad de carga especificada por el fabricante del vehículo y distribuir la carga de manera equitativa. Se recomienda realizar un mantenimiento regular del sistema de frenos para garantizar su correcto funcionamiento y reemplazar cualquier componente desgastado o averiado.

En aquellos casos que por motivos de fuerza mayor debe sobrecargar el vehículo, tenga presente las implicaciones que esto conlleva y durante la conducción en descensos procure asegurar el camión o tracto camión mediante la transmisión ejecutando con cambios bajos y utilizando de manera acertada todos los mecanismos auxiliares de frenado con los que cuente el vehículo; mantenga una distancia segura de frenado y circule a baja velocidad; recuerde que a mayor peso aumenta la inercia, pero al aumentar la velocidad la inercia aumenta en el doble de proporción.

4.3 Falencias en el mantenimiento del sistema de frenado

En un vehículo tipo tractocamión de veintidós ruedas, es importante considerar los doce sistemas mecánicos independientes que intervienen en la acción de frenado de cada conjunto de rueda, es aquí donde tienen lugar los ajustes de holgura y graduación de frenos. Un freno desajustado en uno de estos sistemas significa un desequilibrio y la pérdida cercana al 9% de la capacidad de frenado o detención de todo el equipo, con dos desajustes, la pérdida aumenta al 18%; situación que en otras legislaciones conlleva a la inmovilización del vehículo al declararlo fuera de servicio por condición insegura de mantenimiento mecánico.

Kerry (2016) afirma que una parada brusca puede elevar la temperatura del tambor hasta 320°C, si el ajuste es diferente en la rueda opuesta, el camión opera con un sistema desequilibrado; mientras detenerse adecuadamente en semáforos tendría poco efecto, una parada de emergencia afectaría significativamente el sistema (p.1). En el caso específico, para descender una pendiente pronunciada y continua, el camión experimentará fading o desvanecimiento por ausencia de frenado en algunas ruedas y exceso de frenado con sobrecalentamiento en otras.

4.3.1 Mantenimiento del mecanismo de frenado del sistema neumático

No hay dos vehículos que operen en condiciones idénticas por esta razón, aunque los vehículos sean de la misma referencia, presenten la misma edad y presten el mismo servicio, los intervalos de mantenimiento y servicio pueden variar. Los elementos de fricción en los sistemas de frenos, como son las pastillas de freno, los discos, los revestimientos de zapatas y los tambores están diseñados para experimentar desgaste, por lo tanto, necesitan mantenimiento regular y más frecuente en comparación con otros componentes del sistema neumático de frenos. La duración de los frenos está influenciada por diversos factores, como las características de los

revestimientos de las zapatas o pastillas, el tipo y calidad de los tambores y discos, el estilo de conducción del vehículo (tráfico, carretera, funciones especializadas, primera y última milla) entre otros. Conducir de manera agresiva con frenadas bruscas acelera el desgaste de los frenos, al igual que transportar cargas pesadas, lo cual aumenta la carga de trabajo del mecanismo de frenado. En situaciones en las que se requieren frenadas frecuentes o el transporte de cargas más pesadas, los intervalos para reemplazar los revestimientos de zapatas y pastillas de freno son más cortos. Es importante considerar el efecto del desequilibrio en el frenado, esta situación genera desgaste parcial a la hora de sustituir revestimientos de pastillas y zapatas de freno; cuando no hay equilibrio entre las fuerzas de frenado de las dos ruedas en el mismo eje o se presentan ejes que frenan más que otros, es natural que estos componentes de fricción presenten mayor desgaste por su condición, en estos casos son los componentes que están más expuestos a presentar fenómenos de sobrecalentamiento y fatiga de los materiales por el efecto Fading.

Cuando los elementos de fricción cumplen con su vida útil, se deben reemplazar conservando las especificaciones técnicas requeridas por el fabricante del vehículo, es esencial que las refacciones sean nuevas y de la calidad requerida, ya que, en repuestos usados, aunque aparentemente se encuentren funcionales y en buen estado, hay que tener claro que se desconoce el primer uso que se le dio a estos. Recuerde que Waza & Zang (2020) afirman que el efecto Fading ocasiona daño microestructural en los componentes de fricción del sistema de frenado neumático y con frecuencia no son apreciables a simple vista (p.3). En términos de desgaste, revestimientos de zapatas y pastillas, tambores y discos son los componentes del mecanismo de frenado que llevan a cabo la mayor parte del trabajo.

4.3.2 Inspección del sistema de frenado neumático

Determinar los requisitos de servicio para los sistemas de frenado neumático y su mecanismo de accionamiento implica realizar una serie de inspecciones visuales preliminares; durante las inspecciones de servicio regulares, se debe utilizar una hoja de inspección que contenga una lista de verificación de los elementos a verificar.

Una inspección implica examinar el estado del sistema de frenos en busca de daños o defectos causados por las condiciones y operación del vehículo, con el propósito de detectar falla de componentes, desgaste o deterioro. Para identificar los componentes que presentan desgaste, daños, faltantes o mal funcionamiento, el técnico mecánico debe estar capacitado y familiarizado con la apariencia y el funcionamiento normales de los componentes básicos del freno y las indicaciones de fallas inminentes; de igual manera debe tener disponible el manual de servicio recomendado por el fabricante del vehículo; recuerden que los procedimientos de mantenimiento deben seguirse de acuerdo al protocolo establecido y las refacciones indicadas por el fabricante.

Antes de realizar la inspección, estacione el vehículo en un terreno plano y nivelado para evitar que ruede; aplique los frenos de seguridad (resorte) y coloque tacos o bloques en las ruedas para asegurar el vehículo. Nunca permita o abandone el asiento del conductor ni se coloque debajo del vehículo a menos que los frenos de seguridad del vehículo estén aplicados o las ruedas estén firmemente bloqueadas.

Al drenar los depósitos o líneas de aire, procure utilizar protección visual y auditiva, asegúrese de apuntar la descarga de aire hacia un lugar despejado y lejos de las demás personas; para desconectar mangueras del acoplador sujételas firmemente ya que si se liberan con la presión del aire pueden serpentear y ocasionar lesiones.

Tabla 1

Inspección preliminar para mantenimiento del sistema de frenado neumático

FORMATO DE INSPECCION PRELIMINAR AL MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE FRENADO NEUMÁTICO					
NOMBRE DEL TALLER:			FECHA DE INSPECCIÓN:		
INSPECCIÓN SENSORIAL					
Componente del sistema	Bueno	Requiere intervención	Malo	Indique el hallazgo y la Intervención requerida	
ASBESTOS Y/O PASTILLAS					
CAMPANAS Y/O DISCOS					
FRENO DE EMERGENCIA					
RODILLOS O RODAJAS					
RACHES AJUSTADORES					
SELLOS Y RETENEDORES					
MANGUERAS					
TUBERIAS					
COMPRESOR					
MANOMETROS					
VÁLVULAS RELAY					
BOMBA DE FRENADO					
SECADOR O DRENAJES					
GOBERNADOR					
CÁMARAS DE FRENO					
DEPOSITOS DE AIRE					
INSPECCIÓN MECANIZADA					
Nota: Diligencie estos ítems si se cuenta con el equipo frenometro ajustado y calibrado o en su efecto transcribir desde el Formato Único de Resultados FUR proporcionado por el centro de diagnóstico automotor CDA.					
EJES	FUERZA LADO DERECHO	FUERZA LADO IZQUIERDO	UNIDAD DE MEDIDA	DESEQUILIBRIO	UNIDAD
EJE 1.			Newton (N)		%
EJE 2.			Newton (N)		%
EJE 3.			Newton (N)		%
EJE 4.			Newton (N)		%
EJE 5.			Newton (N)		%
EJE 6.			Newton (N)		%
EFICACIA DE FRENO DE SERVICIO (%)				EFICACIA FRENO PARQUEO (%)	
Observaciones				Firma del técnico encargado de inspección	
Elaborado por Ing. Mecánico Automotriz Cristian Camilo Sierra Novoa – Universidad Industrial de Santander UIS.					

Nota: En la tabla se propone un formato para realizar la inspección del sistema neumático y su mecanismo de frenado; en la inspección mecanizada se describen ítems de registro de datos en caso de contar con un equipo frenometro verificado y calibrado, o en caso de haber realizado la revisión técnico mecánica en la última semana y tener disponible el formato FUR.

4.3.3 Sustitución de consumibles y componentes desgastados

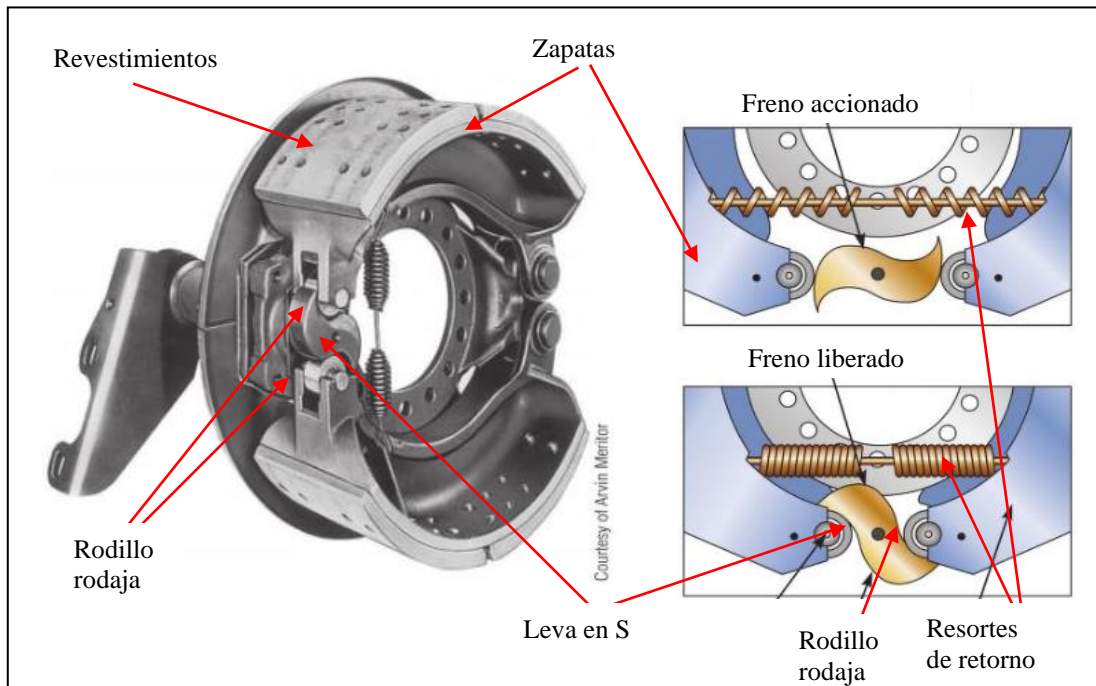
En términos de desgaste, se consideran como consumibles los revestimientos de zapatas y pastillas, junto con los tambores y discos; con la prohibición del asbesto como material de fricción en revestimientos de frenado, los nuevos materiales utilizados tienen como principal característica su dureza y alto coeficiente de fricción, situación que ha ocasionado un mayor desgaste en tambores y discos, considerando que estos son los componentes que llevan a cabo la mayor parte del trabajo de frenado.

4.3.3.1 Zapatas de freno. Tienen forma de arco para ajustarse al diámetro interior del tambor que las envuelve; están montadas en el conjunto de soporte fijo del eje y la araña, y cada zapata gira sobre su propio pasador de anclaje, retenido en un orificio en la araña del freno. En la actualidad, la mayoría de las zapatas tienen un diseño de anclaje abierto, lo que significa que el extremo de anclaje no encierra el pasador de anclaje que actúa como pivote. Por lo general, las zapatas de anclaje abierto se retienen en el extremo del anclaje mediante resortes que las sujetan entre sí, forzándolas contra sus anclajes individuales. En el extremo de actuación de las zapatas de freno, un rodillo está retenido mediante un resorte o pasador. Un solo resorte de retracción carga los rodillos de las zapatas de freno sobre el perfil de la leva S. La función del resorte de retracción es mantener las zapatas alejadas de la superficie interior del tambor de freno cuando

los frenos no están aplicados. Al aplicar los frenos, la leva S gira, actuando sobre los rodillos de las zapatas de freno y forzándolas a entrar en el tambor.

Figura 35

Mecanismo de una zapata de frenado, revestimiento y funcionamiento



Nota: Mecanismo de accionamiento de freno por tambor y zapatas; se especifica en la posición de la leva de giro de la zapata y la identificación del revestimiento de frenado.

Adaptado de *Heavy duty truck systems* (p.973), S. Bennet, 2020, Cengage Larning inc.

Las piezas de revestimiento de fricción están unidas a las zapatas mediante remaches o tornillos, condición que permite reemplazar el revestimiento sin tener que cambiar la zapata; sin embargo, actualmente, la práctica común es reemplazar toda la zapata con un nuevo revestimiento de fricción, lo que reduce el tiempo total requerido para el mantenimiento. Los revestimientos se clasifican según su coeficiente de fricción, el cual describe la agresividad de la

superficie determinada por un código. Sin embargo, los códigos de letras utilizados en los revestimientos de fricción de las zapatas de los camiones son demasiado generales para usarlos como una guía confiable para el reemplazo, debido a que no es un parámetro estandarizado.

Tabla 2

Clasificación comercial de los revestimientos de frenado de acuerdo al coeficiente de fricción.

CLASIFICACIÓN	COEFICIENTE DE FRICCIÓN EN FRIO (HASTA 121°C)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN EN CALIENTE (HASTA 315°C)
EE	0.25 a 0.35	0.25 a 0.35
FE	0.35 a 0.45	0.25 a 0.35
FF	0.35 a 0.45	0.35 a 0.45
GF	0.45 a 0.55	0.35 a 0.45
GG	0.45 a 0.55	0.45 a 0.55
HH	0.55 a 0.65	0.55 a 0.65

Nota: Clasificación del coeficiente de fricción para revestimientos de frenos automotriz.

Adaptado de Seguridad al frenar, Brake Pak, 2021, <https://brakepak.com/>

En cuanto al ancho de la zapata, hasta el año 2009 se usaban revestimientos de 7 pulgadas (17,78 cm), a partir del año 2010 con los requisitos de frenado FMVSS 121, se empiezan a usar las zapatas de freno de 8 pulgadas (20,3 cm), especialmente en aplicaciones de servicio severo y todoterreno. Es importante utilizar los revestimientos de fricción recomendados por el fabricante, también hay que tener en cuenta que el coeficiente de fricción cambia con la temperatura y generalmente disminuye a medida que aumenta la temperatura.

4.3.3.2 Tambor de frenado. Los tambores de freno se fabrican con aceros aleados fundidos y en diversas medidas, siendo el más común en aplicaciones para camiones el tambor de 16,5 pulgadas (42 cm). Las superficies de fricción utilizadas en los recubrimientos de freno actualmente, no contienen asbesto (amianto), y tienden a ser más duras; esto implica que las superficies de fricción de las zapatas prolonguen su duración, pero disminuyendo la vida útil de los tambores; Es por esta razón que, en algunas referencias de vehículos, se ha vuelto rutinario cambiar los tambores de freno en cada trabajo de frenado junto con las zapatas.

Los tambores de freno tienden a endurecerse durante su vida útil, en servicio; después de mostrar marcas de calor, como pequeñas grietas y decoloración por calor en áreas azules, se deben reemplazar y no es recomendable mecanizar para sobredimensionar, ya que se reduce la resistencia mecánica del tambor al disminuir sus dimensiones.

Figura 36

Verificación de desgaste y concentricidad de un tambor de frenado



Nota: Procedimiento de verificación de concentricidad y desgaste de los tambores de frenado. Tomado de *Heavy duty truck systems* (p.1124), S. Bennet, 2020, Cengage Learning inc.

Cuando revise el diámetro del tambor para determinar el desgaste, Bennet (2020) sugiere que se debe observar que el diámetro no exceda 0,120 pulgadas (3mm) en comparación con el diámetro original después de rectificar los tambores (p.1246). Si el diámetro de la superficie de frenado del tambor se encuentra dentro de los límites recomendados, se puede rectificar el tambor para restaurar la concentricidad. Sin embargo, si el diámetro del tambor excede los límites recomendados, es necesario reemplazar el tambor. La rectificación es una medida para corregir desgastes menores y mantener la superficie de frenado en buenas condiciones.

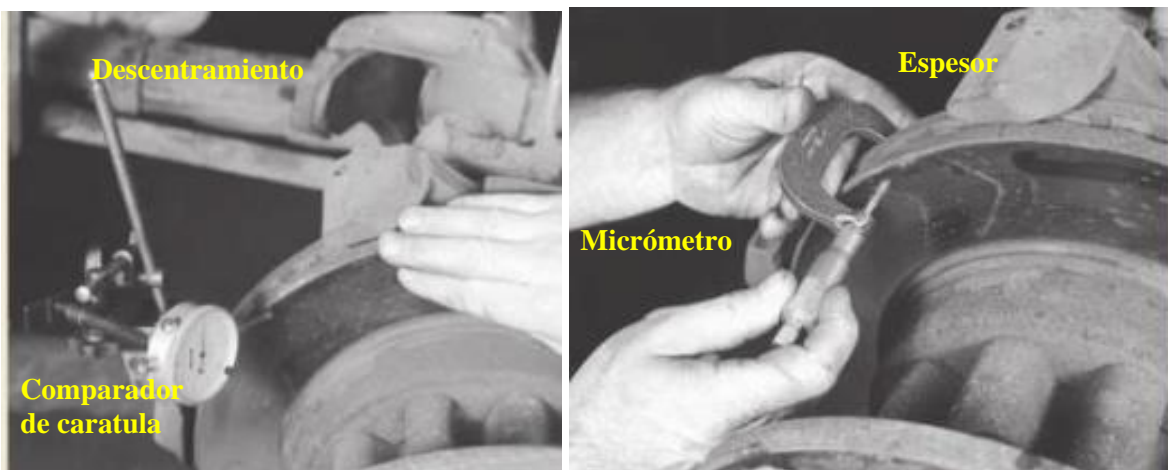
4.3.3 Discos de frenado. Los vehículos de carga tienen enormes necesidades de frenado, debido al principio de frenado por fricción, en el cual el mecanismo de frenado transforma energía cinética en energía térmica, el factor importante para determinar cuánto tiempo dura los frenos entre intervalos de servicio es qué tan efectivos son y cuál es su diseño para disipar el calor. Esto ha influido en el desarrollo y diseño de los frenos de disco neumáticos a medida que han evolucionado en los últimos años y ha dado como resultado la generación actual de frenos de disco mejorados, reforzados en comparación con los de hace unos años atrás; es de destacar que las pastillas de fricción ya no duran más que los discos, lo que era un problema real con la primera generación de frenos de disco neumáticos.

Las rutinas de mantenimiento de discos de frenado neumático, igual que cualquier otro componente del vehículo, están sujetas a las consideraciones descritas por el fabricante del vehículo; sin embargo, a continuación, se hacen unas recomendaciones para realizar mantenimiento a los discos de frenado de camiones. Las pinzas de freno de disco se deben lubricar en los intervalos requeridos, para lubricar las pinzas utilice grasa tipo chasis y al aplicar asegúrese de que la pinza no esté con exceso de grasa. Los discos de frenado se deben

inspeccionar en busca de fisuras o fracturas, zonas azules generadas por sobrecalentamiento u holguras en los anclajes y soportes; Bennet (2020) sugiere que es importante medir el descentramiento lateral y espesor del disco cada vez que se da servicio a los frenos; los discos de frenado que presentan descentramiento o comúnmente conocido como pandeo, generan deficiencias, desgaste y fatiga en los componentes del mecanismo (p.1254).

Figura 37

Procedimiento de comprobación de descentramiento y espesor de discos de freno



Nota: En la Figura se observa el procedimiento de medición de descentramiento y espesor de un disco de frenado neumático usado en un tractocamión.

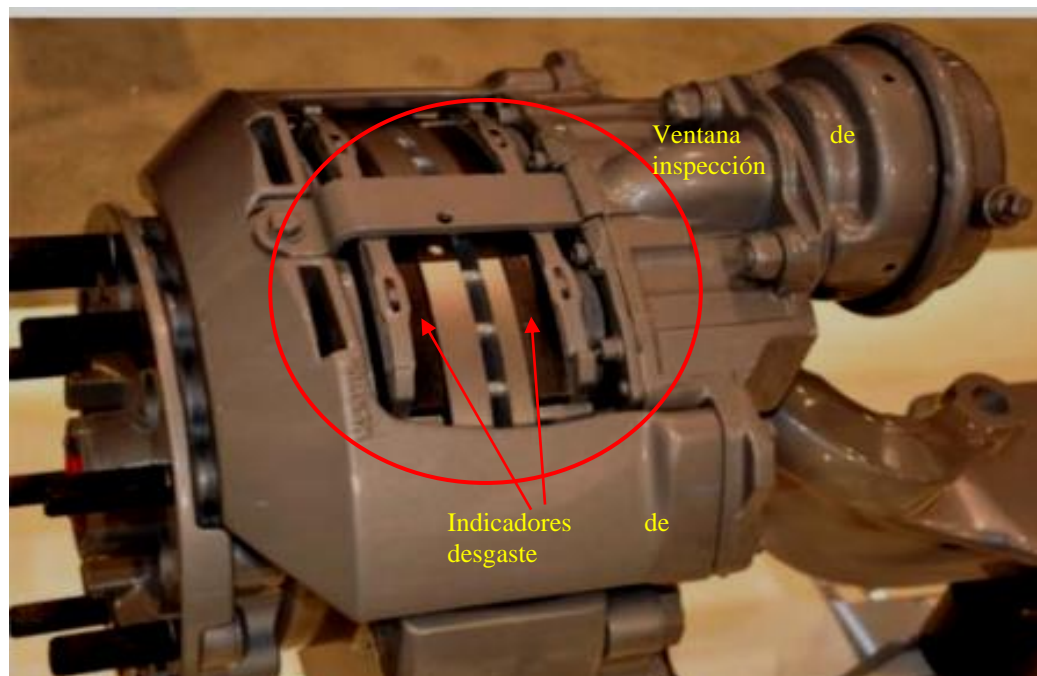
Gus & Owen (2020) afirman que: si los parámetros de descentramiento y espesor del disco están por fuera de los límites indicados por el fabricante, se debe reemplazar el disco de frenado por uno nuevo (p.472).

4.3.3.4 Pastillas y revestimiento de frenado. Las pastillas y el revestimiento de frenado son una sola pieza, el revestimiento de frenado se encuentra firmemente pegado a la platina metálica de la pastilla, las pastillas de frenado soportan altas temperaturas y presiones, por lo tanto, siempre se cambia la pastilla completa y no solamente el revestimiento. Antes de realizar

cambio de pastillas, se debe inspeccionar con el fin de verificar el estado final de las mismas y en caso de no requerir el cambio, evitar generar sobre costos innecesarios en el mantenimiento del vehículo. El desgaste del revestimiento se debe inspeccionar teniendo en cuenta el indicador y las dimensiones de desgaste.

Figura 38

Inspección de desgaste de pastillas de frenado



Nota: En la Figura se describe los puntos de inspección de desgaste de las pastillas de frenado, recuerde siempre sustituir por componentes recomendados por el fabricante del vehículo. Tomado de *Fundamentals of Medium/Heavy Duty Commercial Vehicle Systems* (p.973) W. Gus y C.D Owen, 2020, Jones & Bartlett Learning.

4.3.4 Rutinas de mantenimiento básico

Este enfoque contribuye a mantener la integridad y eficiencia del sistema de frenos de aire, asegurando un rendimiento fiable y seguro. Recuerde siempre seguir las recomendaciones de mantenimiento indicadas en el manual de servicio del fabricante del vehículo.

4.3.4.1 Drenaje de los depósitos de aire. El procedimiento de mantenimiento es simple pero crucial, para drenar solamente hay que tirar del cable sujetado a la válvula hasta dejar de percibir la salida de fluidos líquidos condensados. Los fabricantes de vehículos recomiendan realizar esta acción a diario.

4.3.4.2 Mantenimiento del secador de aire. Bennet (2020) afirma que el intervalo de mantenimiento para un secador recomendado por los fabricantes de vehículos y comúnmente sugerido por OEM es de alrededor de 40,000 km o cada 3 meses (p.914). El servicio para un secador de aire implica las siguientes verificaciones: Examine la presencia de humedad en el sistema de frenos de aire al abrir depósitos, llaves de drenaje o válvulas y verificar la presencia de agua; si se detecta humedad, puede ser necesario reemplazar el filtro desecante, con ello se recomienda cambiar los sellos y empaques del secador; Sin embargo, otras condiciones también podrían causar acumulación de agua y deben ser consideradas antes de realizar el reemplazo del filtro desecante.

4.3.4.3 Válvula relé (Relay). El procedimiento de mantenimiento preventivo recomendado por los fabricantes de vehículos en un periodo de cada 45,000 km o 3 meses y sugiere las siguientes actividades: Para asegurar un rendimiento óptimo de cada válvula relé y garantizar que la presión de señal y la presión de aplicación de salida sean correctas, se recomienda realizar pruebas periódicas. Los fabricantes de equipos original (OEM) sugieren

desmontar la válvula y llevar a cabo la limpieza de los componentes con alcoholes minerales; aunque esta práctica puede ser intensiva en tiempo y mano de obra, no se realiza comúnmente, pero cuando se lleva a cabo se aconseja reemplazar todos los componentes de goma como empaquetaduras y sellos junto a cualquier otro componente que presente desgaste visible o daño. Recuerde que es esencial verificar el funcionamiento adecuado de la válvula antes de poner el vehículo en servicio, verifique mediante una prueba de ruta preferiblemente en un entorno controlado.

4.3.4.4 Bomba o pedal de freno: El intervalo de mantenimiento recomendado por los fabricantes de vehículos y sugerido por OEM es de 40,000 km o cada 3 meses. Realice una inspección visual en busca de posibles daños físicos en la válvula de freno, como líneas de aire rotas y componentes faltantes o rotos; limpie cualquier suciedad, grava o material extraño acumulado en el talón del pedal, la funda del émbolo y la placa de montaje. Con aceite ligero, lubrique el rodillo del pedal, el pasador del rodillo y el pasador de la bisagra. Revise la funda de goma del émbolo en busca de grietas, agujeros o signos de deterioro y reemplácela si es necesario. Además, verifique la integridad de la placa de montaje y del pedal, aplique de dos a cuatro gotas de aceite entre el émbolo y la placa de montaje, recuerde que es importante no excederse con la lubricación.

Adicional, “se sugiere realizar un mantenimiento más detallado cada 12 meses o 160,000 km, en el cual se requiere desarmar el conjunto del pedal, limpiar los componentes externos con alcoholes minerales, reemplazar todos los componentes de goma o cualquier pieza desgastada o dañada.” (Bennet, 2020, p.965). Recuerde siempre verificar el funcionamiento de la válvula de pie antes de poner el vehículo en servicio, realice una prueba de ruta en un entorno controlado.

4.3.5 Ajustador de holgura de frenos en mecanismo tambor y zapata

Como se mencionó anteriormente, existen dos tipos de ajustadores de holgura, los de tipo graduación mecánica y los de ajuste automático. Un ajustador de holgura automático ajusta su carrera de manera continua a medida que los frenos se desgastan, asegurando así que la eficiencia de frenado no se vea comprometida.

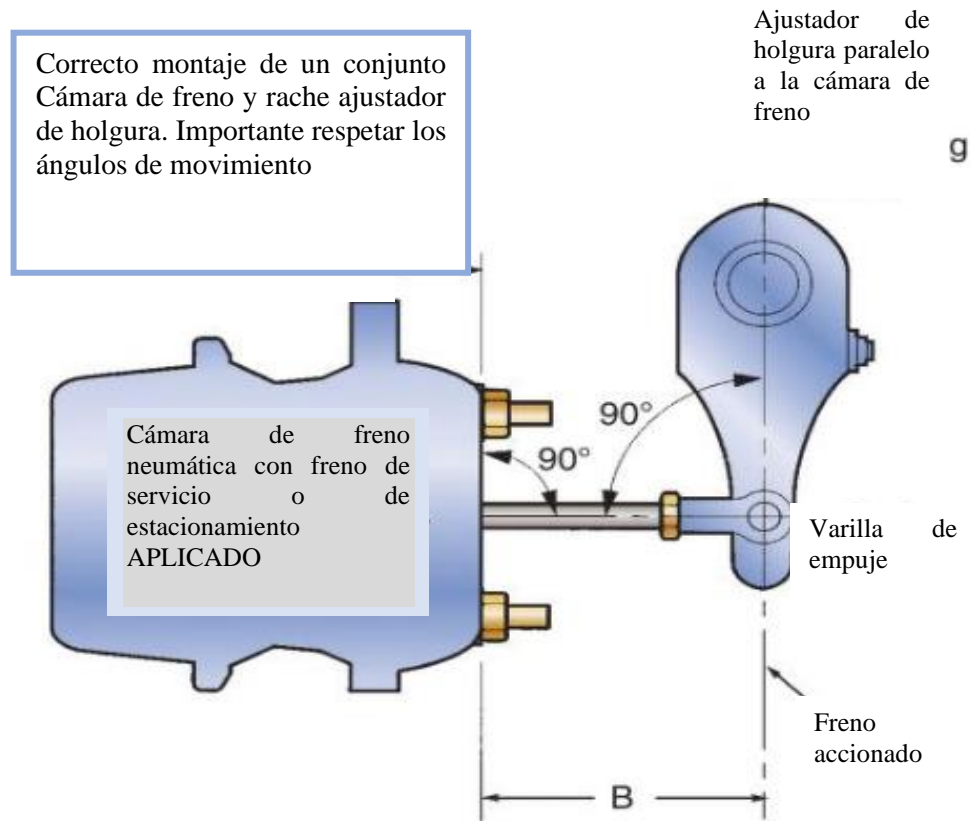
Los ajustadores de holgura son esencialmente palancas, por lo tanto, es importante garantizar que se respete la dimensión especificada entre el pasador de horquilla y el árbol de levas. Incluso una pequeña diferencia en la longitud efectiva del ajustador de holgura puede tener un impacto significativo en el par de frenado resultante. Para el caso específico de los ajustadores de holgura automáticos, cada referencia tiene un procedimiento de instalación ligeramente diferente, por lo que siempre es imperativo seguir las instrucciones proporcionadas por el fabricante original (OEM); esto contribuye a mantener el sistema de frenos en óptimas condiciones y garantiza un rendimiento seguro y eficiente.

Para la instalación de los raches ajustadores de holgura, es importante considerar el estado de los componentes paralelos al mismo. Revise el árbol de levas del freno o el eje de potencia, así como los casquillos y los sellos con el fin de detectar desgaste y corrosión. En caso de evidenciar desgaste o deterioro repare el árbol de levas, el eje de potencia, los casquillos o los sellos; posteriormente asegúrese de que el freno funcione sin problemas girando el árbol de levas o el eje de potencia, si evidencia resistencia reemplace el árbol de levas, el eje de potencia, los casquillos o los sellos según sea necesario. Verifique el resorte de retorno de la cámara de aire para asegurarse de que tenga la tensión adecuada; aplique el freno de servicio y el freno de estacionamiento (resorte) varias veces para asegurarse de que el resorte de retorno retraiga rápido

y por completo la varilla de empuje. Si se considera necesario, reemplace el resorte de retorno o la cámara de aire.

Figura 39

Esquema de instalación de un rache ajustador de holgura



Nota: En la Figura se observa un esquema para el correcto montaje del conjunto cámara de freno, rache ajustador de holgura y eje de levas; tenga presente los ángulos de movimiento.

Tomado de Tomado de *Fundamentals of Medium/Heavy Duty Commercial Vehicle Systems* (p.965) W. Gus y C.D Owen, 2020, Jones & Bartlett Learning.

Al instalar el nuevo rache ajustador de holgura, asegúrese de que tenga la misma longitud que el rache ajustador anterior; consulte la literatura de servicio proporcionada por el fabricante original para determinar la longitud correcta del rache ajustador de holgura. Lubrique las estrías

del engranaje del ajustador de tensión y las estrías del árbol de levas o del eje de potencia con un compuesto anti agarrotamiento; instale el ajustador de holgura en el árbol de levas o en el eje de potencia; retire o suelte el conjunto del trinquete del rache ajustador de tensión, utilice una llave para girar la tuerca de ajuste manual y alinee el orificio en el brazo del ajustador de tensión con el orificio grande en la horquilla. Gire el ajustador de tensión con la mano la misma distancia que la carrera máxima de la cámara; asegúrese de que no haya obstrucciones que impidan que el ajustador de holgura gire cuando se apliquen los frenos. Instale ambos pasadores de horquilla a través de la plantilla, el ajustador de tensión y la horquilla; verifique nuevamente para asegurarse de que la horquilla esté instalada en la posición correcta y por último, ajuste la holgura del freno.

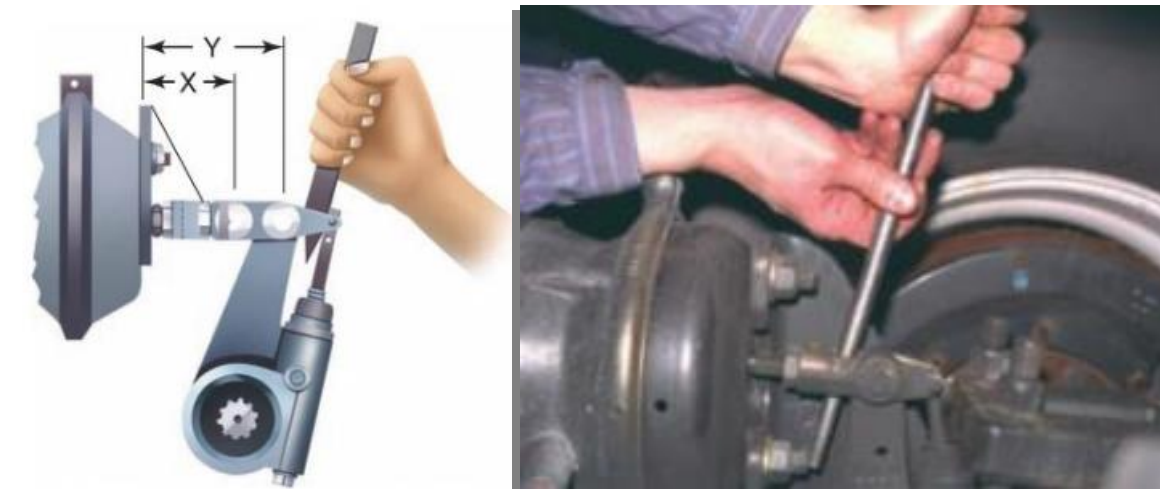
4.3.6 Graduación o ajuste de frenos

Con la introducción de ajustadores de holgura automáticos, se ha reducido la necesidad de graduar frecuentemente los frenos de los camiones; sin embargo, es esencial que se realice una revisión frecuente del ajuste de los frenos en camiones y remolques, tanto desde el punto de vista del desempeño como de la inspección del taller. El ajuste de los frenos determina qué tan bien funcionará el sistema de frenos del vehículo, ya sea en freno de servicio, estacionamiento o frenado de emergencia. Antes de iniciar se debe desactivar el freno de estacionamiento, el cual requiere que el diafragma de retención en cada cámara de freno de resorte del equipo se cargue con presión de aire, en este punto se libera por completo el mecanismo de frenado del equipo; por seguridad asegúrese de que por lo menos dos ruedas estén bloqueadas con tacos o bloques que impidan que el vehículo se ruede y siempre procure dejar la transmisión en un cambio bajo. En esta condición, cuando los frenos de servicio se aplican mediante la válvula del pedal del tractor, todos los diafragmas de servicio tienen presión de aire que actúa sobre ellos.

4.3.6.1 Graduación de frenos con rache ajustador automático: En el caso de los Mecanismos de frenado con raches de ajuste automático, la longitud del recorrido libre en cada freno es esencial para determinar si los frenos están bien graduados. Este recorrido libre se refiere a la cantidad de movimiento que tiene el brazo flojo desde su posición no aplicada hasta el punto en el que las zapatas entran en contacto con el tambor. “La verificación manual de este recorrido libre se realiza con una palanca y debe estar entre 10 y 16mm. Cuando el recorrido libre es inferior al 10 mm, se puede generar resistencia al frenado y si supera los 16 mm, indica que los frenos están desajustados” (Bennet, 2020, p.983).

Figura 40

Procedimiento de verificación de ajuste con raches de graduación automáticos



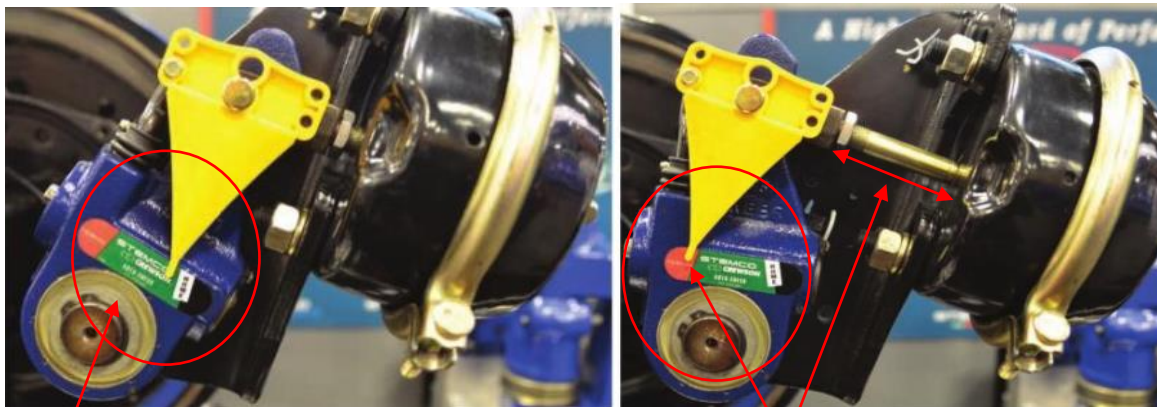
Nota: En la Figura se observa el procedimiento para realizar la verificación de un correcto ajuste de un rache con graduación automática; mantener este rango óptimo es fundamental para garantizar un frenado eficiente y seguro. *Heavy duty truck systems* (p.1124), por S. Bennet, 2020, Cengage Learning inc.

Este procedimiento ayuda a determinar si la graduación de los frenos está dentro de los límites recomendados para su correcto funcionamiento y es un proceso que forma parte de la inspección regular que los técnicos deben llevar a cabo para garantizar la efectividad del sistema de frenado.

Otros métodos alternativos, pero igualmente confiables para la verificación de graduación de frenos con ajuste automático consisten en la instalación de indicadores visuales de carrera, herramientas bien diseñadas que facilitan el trabajo al técnico y brindan confiabilidad al conductor del camión.

Figura 41

Ejemplo de indicadores visuales de graduación con raches de ajuste automático



Mecanismo de frenado correctamente graduado

Mecanismo de frenado con exceso de carrera, No hay graduación en el rache de ajuste automático.

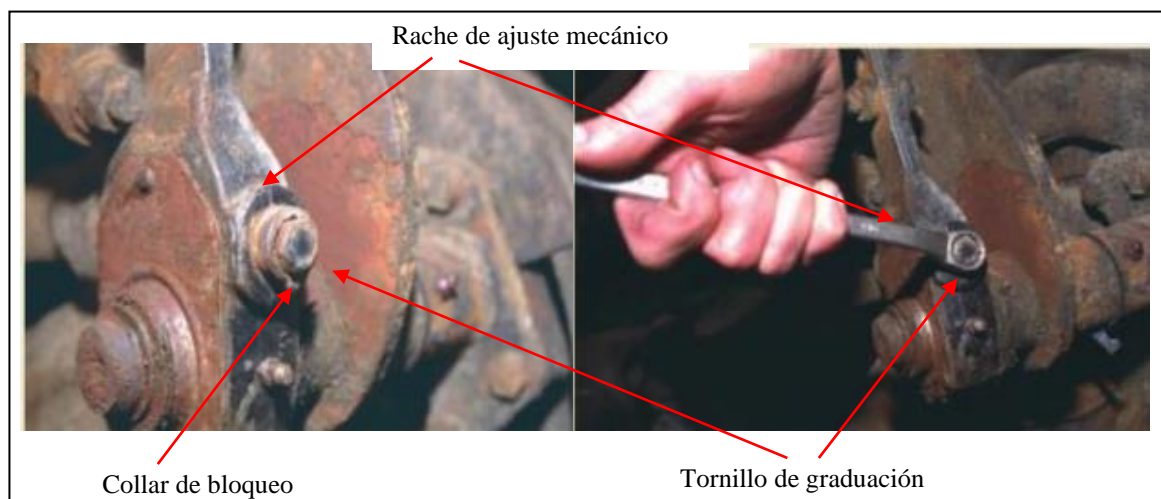
Nota: En la Figura se muestra un ejemplo de indicadores visuales de ajuste y graduación automático de frenos, en el primer caso se observa un indicador de ajuste de frenado eficientemente graduado, en el segundo caso se observa un indicador de graduación de freno

desajustado, claro indicio de mal funcionamiento del rache ajustador automático. Tomado de *Heavy duty truck systems* (p.1124), S. Bennet, 2020, Cengage Learning inc.

4.3.6.2 Graduación de frenos con rache ajustador mecánico: Antes de iniciar el proceso De verificación y graduación de frenos, asegúrese de bloquear por lo menos dos ruedas del vehículo, con el camión inmobilizado proceda a desactivar el freno de estacionamiento, así queda libre el mecanismo de frenado y le permite hacer la verificación de carrera libre descrito anteriormente; con esta verificación se determina si el mecanismo de frenado de la rueda requiere graduación.

Figura 42

Graduación de freno con ajustador mecánico



Nota: Fotografía para identificar el tornillo y la forma de dar ajuste y graduación en un rache tipo mecánico.

Al verificar que, si se requiere ajuste de holgura, se procede a seleccionar la llave fija cerrada del tamaño indicado, generalmente 14mm; usando el extremo cerrado de la llave, presione el collar de bloqueo y enganche la tuerca de graduación como se indica en la Figura. A

continuación, gire la tuerca de ajuste en la dirección necesaria para que el árbol de levas S gire y se aplique el freno, gire la tuerca hasta que el freno esté completamente aplicado, lo cual se evidencia cuando la tuerca llegue a su tope y no gire más. Luego, afloje la tuerca de ajuste en un cuarto de vuelta de giro y verifique el juego libre nuevamente mediante una palanca, Bennet (2020) asegura que el rango de holgura debe estar entre 10 y 16 mm, preferiblemente más cercano a 12,5mm (p.987).

Este proceso de ajuste y verificación garantiza que el freno tenga el recorrido libre adecuado para un funcionamiento óptimo y seguro; posterior a esto, retire la llave y asegúrese que el collar de bloqueo retenga y encaje sobre el tornillo de graduación. Realice este procedimiento en las demás ruedas del vehículo, garantizando el mismo ajuste para cada una; recuerde que, si alguna rueda queda más graduada que otra, se va a generar desequilibrio en el frenado del vehículo.

Siempre asegúrese de que el freno esté completamente liberado durante los procedimientos de instalación y ajuste para garantizar un rendimiento óptimo del sistema de frenos. Estos pasos contribuyen a mantener la integridad y eficiencia del sistema de frenos, asegurando así la seguridad durante la operación del vehículo.

4.3.6.3 Graduación de frenos en sistemas neumáticos con mecanismo de disco y pastillas. Los sistemas neumáticos con mecanismo de frenado por disco y pastillas están diseñados para ajustarse automáticamente; Si nota un recorrido excesivo en el freno, generalmente al aplicar el pedal del freno de servicio, deberá disminuir el recorrido de la varilla de empuje hasta alcanzar la carrera especificada; en caso de que esto no ocurra, es posible que algún objeto extraño esté atascado en el conjunto de accionamiento; en este caso se recomienda

solicitar inspección para servicio técnico y consultar el manual de servicio proporcionado por el fabricante.

4.3.6.4 Graduación de frenos en mecanismos tambor y zapata accionados por cuña.

El sistema de frenado por tambor y zapata con accionamiento por cuña en todos los casos cuenta con un mecanismo de graduación automática, y solo requiere realizar ajuste de holgura y graduación cuando la carrera del actuador es excesiva. En la mayoría de los casos, la rueda estrella de ajuste puede quedar atascada, lo que implica que será necesario desmontar el conjunto de la carcasa del émbolo para desatornillar y lubricar los componentes. El procedimiento de graduación es necesario, ya sea durante el montaje final del freno de base o en situaciones donde el mecanismo de ajuste de holgura se encuentre atascado.

Para establecer la holgura adecuada entre el tambor y las zapatas de freno, siga las especificaciones del fabricante, girando la rueda de estrella de ajuste. Este procedimiento debe llevarse a cabo utilizando galgas de espesores del mismo tamaño a cada lado de la zapata de freno para lograr un ajuste equilibrado. A continuación, se detalla el procedimiento de graduación: Retire la tapa protectora del tambor y asegúrese de que el vehículo esté inmovilizado adecuadamente con tacos o bloques en por lo menos dos ruedas, para así evitar movimientos no deseados; proceda a desactivar el freno de estacionamiento, así permite que el mecanismo de frenado quede libre. Localice la rueda de estrella de ajuste en el conjunto de freno, gire la rueda de estrella de ajuste en la dirección que indica el fabricante para ajustar la zapata de freno. Mientras realiza el ajuste, utilice galgas de espesores del mismo tamaño a ambos lados de la zapata de freno. Cuando gire la rueda de estrella de ajuste procure hacerlo lentamente y con incrementos pequeños, verifique el arrastre en ambos lados hasta lograr un ajuste uniforme.

Repita el proceso en la otra zapata de freno del conjunto y después de ajustar ambas zapatas, asegúrese de que la rueda gire libremente sin arrastres excesivos. Vuelva a colocar la tapa protectora del tambor.

En la Figura 24 se observa el esquema de este mecanismo de frenado por cuña; se describen sus componentes básicos y se observa la estrella de graduación y ajuste de holgura de frenos. Este proceso asegurará un ajuste adecuado de los frenos de cuña con ajuste automático en ambos lados, proporcionando un rendimiento óptimo del sistema de frenos.

4.3.7 Desequilibrio en las fuerzas de frenado

Cualquier cambio en el sistema o mecanismo de freno puede ocasionar desequilibrio de frenado; el adecuado mantenimiento del sistema proporciona eficiencia garantizando equilibrio en las fuerzas de frenado. En cuanto a la distribución de la fuerza de frenado en cada rueda por eje; es importante verificar que las dos ruedas del mismo eje ejerzan la misma fuerza garantizando así un frenado uniforme; en el caso contrario cuando las ruedas de un mismo eje presentan diferencia en la fuerza de frenado, se produce un desequilibrio en el eje y se presenta una desviación lateral hacia el costado en el cual se ubica la rueda que está ejerciendo la mayor fuerza de frenado.

Por especificación de la NTC 5375 (2012) se entiende por desequilibrio (D) la diferencia de esfuerzos de frenado entre las ruedas de un mismo eje; para el caso de la ejecución de la prueba de frenado en el procedimiento de revisión técnico mecánica, la medida del desequilibrio se efectúa por cada eje y se halla como un porcentaje de diferencia entre la rueda que frena menos con respecto a la rueda que frena más (p.27), valores indicados por el frenómetro. A

continuación, se describe la ecuación sugerida para calcular el desequilibrio de frenado en vehículos según la NTC 5375 (2012).

$$D = 100 \left(\frac{F_{\text{máx}} - F_{\text{mín}}}{F_{\text{máx}}} \right)$$

En donde:

$F_{\text{máx}}$ = Valor máximo registrado en una de las dos ruedas del mismo eje

$F_{\text{mín}}$ = Valor mínimo registrado en una de las dos ruedas del mismo eje

La norma técnica Colombiana NTC5375 (2012) indica que el desequilibrio en las fuerzas de frenado es aceptable cuando es inferior al 30 %; sin embargo cuando el desequilibrio es mayor al 30 % se categoriza como un defecto tipo A; defecto grave que implica un peligro inminente para la seguridad del vehículo, la seguridad de otros vehículos y la seguridad de los ocupantes del vehículo y demás actores viales (p.27).

4.4 Uso eficiente del sistema de frenos por parte del operador

Los conductores de vehículos usados para el transporte de carga pesada por carretera en Colombia, deben contar con capacitación técnica para operar adecuadamente el freno de servicio y los demás tipos de frenos auxiliares con los que cuente el vehículo. La falta de aplicación de la técnica de frenado correcta por parte de los conductores conlleva a generar sobrecalentamiento del sistema de frenado, generando pérdida por efecto fading. En el caso de camiones y tractocamiones, los impactos son aún más significativos, por lo que muchos de estos vehículos están dotados de tecnologías adicionales, como retardadores, freno de motor y freno de ahogo o escape. Estos sistemas complementarios ayudan a disminuir la velocidad de manera adicional,

reduciendo la dependencia exclusiva de los sistemas de frenado de servicio los cuales tienen por principio la fricción.

Una estrategia fundamental para reducir el desgaste de los frenos implica modificar los hábitos de conducción; adoptar prácticas como conducir a velocidades moderadas y realizar maniobras con mayor consideración mecánica, disminuye la presión ejercida sobre el sistema de frenos, contribuyendo a prolongar su efectividad. A continuación, se mencionan algunas recomendaciones para mitigar el riesgo de desvanecimiento de los frenos y al mismo tiempo minimizar el desgaste de los componentes del mecanismo de frenado:

- Evitar el uso excesivo y repetido de los frenos de servicio, sin permitir espacios de tiempo para enfriarse, ya que esto conduce fácilmente a desvanecimiento de los frenos por sobrecalentamiento del mecanismo.
- Desacelerar progresivamente, una conducción a velocidades moderadas reduce la carga de trabajo de los frenos manteniendo su efectividad especialmente en condiciones de frenado de emergencia.
- Recuerde siempre anticipar la necesidad de reducir la velocidad mediante la previsión, la evaluación y el conocimiento de las condiciones de la carretera. Siempre hay que tener presente que si el trayecto de viaje ha sido largo y con pendientes en descenso es probable que el mecanismo de frenado ya presente cierto grado de sobrecalentamiento, el cual puede aumentar fácilmente si no se prevé un descenso pronunciado.
- Siempre que sea posible evite el exceso de carga en el vehículo; un mayor peso aumenta la energía cinética, la inercia y la exigencia sobre el sistema de frenado. El conductor del vehículo no puede pretender mantener las mismas condiciones de manejo con el vehículo

en su rango de capacidad de carga que con el vehículo sobrecargado. Cuando se sobrecarga el vehículo, además de incurrir en sanciones por parte de los organismos de control de tránsito, también se genera una condición de riesgo por sobrecalentamiento del sistema de frenado, generando efecto fading y ocasionando el desvanecimiento de los frenos.

- En tramos de descenso, cambiar a una marcha más baja; el motor es un eficiente mecanismo de frenado siempre y cuando se controlen las velocidades de la transmisión y las revoluciones del motor; utilizar los sistemas de frenado auxiliares como freno retardador, freno de motor o freno de ahogo en la medida de que disponga el vehículo. Estos mecanismos auxiliares proporcionan espacios de tiempo entre frenadas ayudando a disipar el calor generado en el sistema de frenos.

4.4.1 Freno retardador

El Retardador es un sistema de frenado adicional que contribuye a controlar y reducir la velocidad del vehículo sin depender exclusivamente de los frenos de servicio. Este sistema opera hidráulicamente y está integrado mecánicamente en el árbol de transmisión, manteniendo una interacción electrónica con otros sistemas del vehículo. El Retardador proporciona una potencia de frenado superior, lo que permite mantener el control del vehículo en pendientes pronunciadas y con cargas significativas. El manejo del retardador es simple e intuitivo, actualmente la mayoría de los camiones y tractocamiones de origen europeo o asiático cuentan con este sistema y su principio de operación es el mismo. El retardador cuenta con cinco velocidades secuenciales, y para su correcto manejo se sugiere accionar progresivamente, evitando

accionamientos bruscos los cuales no aumentan su efectividad de frenado y por el contrario si ocasionan daños en los componentes hidráulicos y mecánicos del mismo.

El mantenimiento del retardador es simple, dado que no cuenta con piezas que entren en contacto y se desgasten entre sí, demanda un mantenimiento preventivo esencial, limitándose al monitoreo del fluido hidráulico según los intervalos programados por el fabricante. En caso de presentar deficiencias, el sistema alerta al conductor mediante un indicador de falla ubicado en el tablero de instrumentos.

Figura 43

Accionamiento de un sistema de frenado retardador de 5 puntos en camión Scania



Nota: Imagen ilustrativa para el reconocimiento del mecanismo de accionamiento e indicador en el tablero de instrumentos para freno auxiliar retardador Scania.

4.4.2 Freno de motor Jacobs o Jake brake

Es un dispositivo de frenado de motor diseñado por Clessie Cummins. Este mecanismo aprovecha la energía cinética del motor para disminuir la velocidad del vehículo, lo que contribuye a disminuir la fricción en el mecanismo de frenado minimizando el desgaste y sobrecalentamiento del sistema de frenos de servicio del vehículo. Esta característica no solo minimiza los costos de reparación asociados, sino que también mejora la eficiencia del frenado, especialmente al descender en terrenos pronunciados. El freno de motor actúa mediante el cierre programado de las válvulas, generando compresión dentro de los cilindros, esta compresión y la adecuada gestión de las velocidades de la transmisión, reduce la velocidad del tractocamión.

Figura 44

Accionamiento del mecanismo de freno de motor de tres puntos

Accionamiento del freno de motor:

- Desactivado
- Bajo
- Medio
- Alto



Nota: Imagen ilustrativa para el reconocimiento del mecanismo de accionamiento para freno de motor de tres puntos Mercedes Benz Freightliner Cascadia.

Su modo de operación cuenta con dos o tres modos dependiendo del tipo y referencia del vehículo; el modo más conocido es por secuencia de tres puntos; en el primer punto el mecanismo bloquea las válvulas de dos cilindros, generando una acción de frenado suave, en el

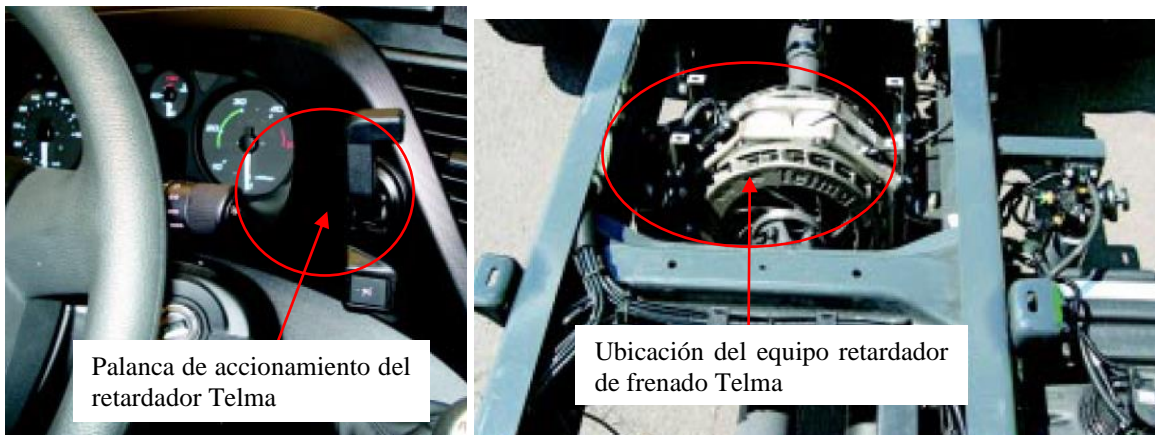
segundo punto se cierran cuatro cilindros y el efecto de frenado se acentúa, presentando una acción de frenado en término medio, en el tercer punto, se cierran las válvulas de los seis cilindros, generando una acción de frenado fuerte y constante; el tercer punto se utiliza solamente en condiciones de descensos pronunciados donde se requiere una mayor efectividad y control del frenado.

4.4.3 Freno retardador eléctrico de inducción o Telma

Los frenos de inducción Telma también se conocen como frenos de corrientes parasitas; tienen como función disipar la energía cinética del vehículo mediante el frenado por generación de corrientes de Foucault. Los vehículos que cuentan con este sistema, lo encuentran ubicado en la línea del eje cardán para vehículos de tracción trasera y se conoce como modelo axial, en otros casos se encuentra ubicado junto a la caja de velocidades o junto al diferencial.

Figura 45

Mecanismo de accionamiento de freno retardador eléctrico Telma



Nota: Imagen ilustrativa para el reconocimiento del mecanismo de accionamiento y ubicación de freno auxiliar retardador eléctrico Telma Iveco.

Este sistema complementa la acción de frenado, especialmente en condiciones de manejo difíciles, en descensos pronunciados donde los frenos de servicio pueden experimentar el efecto fading por sobrecalentamiento. Es un mecanismo de frenado auxiliar comúnmente encontrado en vehículos semipesados con capacidad de carga de hasta diez toneladas; y aunque ha demostrado eficiencia comparada con otros mecanismos, su uso es muy poco frecuente al presentar baja disponibilidad de personal técnico y suministros generando alto costo de mantenimiento.

4.4.4 Freno de ahogo o estrangulamiento de escape

Es un dispositivo que genera un efecto de frenado en el motor al cerrar o bloquear parcialmente la salida de los gases de escape; este cierre provoca la compresión de los gases en el múltiple de escape y en los cilindros, generando contrapresión.

Figura 46

Accionamiento de freno de ahogo de un punto y luz indicadora



Nota: Imagen ilustrativa para el reconocimiento del mecanismo de accionamiento e indicador en el tablero de instrumentos para freno de ahogo Chevrolet Isuzu.

Durante este proceso, no se inyecta combustible en los cilindros, lo que contribuye a reducir la rotación del motor. La activación de este freno se realiza mediante un interruptor controlado por el operador, que comanda una mariposa de mando eléctrico o neumático.

Este tipo de freno se utiliza comúnmente en motores diésel con potencias medias a bajas, ofreciendo un nivel de frenado intermedio. Este tipo de frenado auxiliar, se utiliza actualmente en motores de camiones livianos y pesados con capacidad de carga de hasta diez toneladas.

4.5 Adaptaciones en el sistema de frenado del vehículo

En Colombia, es común encontrar adaptaciones a los sistemas de frenado de los vehículos, en busca de mejorar sus condiciones originales de fabricación; basados en suposiciones de aplicaciones a vehículos de características similares. Cuando se produce un accidente de tránsito que involucra un vehículo de carga, generalmente es atribuido a problemas en el sistema de frenos; sin embargo, detrás de esta conclusión, que ha perdurado durante años en Colombia, se encuentra una práctica peligrosa, y es la modificación de los sistemas de frenos originales, una costumbre arraigada entre los conductores y propietarios de vehículos de carga, en la cual se refleja una resistencia a la apertura hacia las nuevas tecnologías.

Las adaptaciones al sistema de frenos de camiones pueden variar según las necesidades específicas y las características del vehículo. A continuación, se mencionan las adaptaciones más comunes:

4.5.1 Eliminación de los sistemas de frenado antibloqueo (ABS)

Los sistemas ABS ayudan a prevenir el bloqueo de las ruedas durante una frenada brusca, mejorando la estabilidad y el control del vehículo. Con frecuencia se encuentran vehículos tipo

camión y tractocamión de modelos recientes, a los cuales les han eliminado o suspendido el mecanismo de frenado ABS. A pesar de que estos vehículos posean el sistema ABS, los conductores y propietarios optan por acudir al mecánico para eliminar este sistema, según la opinión de ellos para mejorar las condiciones de frenado; con la ideología de que cuanto más rápido y fuerte sea el bloqueo de las ruedas del vehículo, mejor es la capacidad de frenado.

Es importante brindar el apoyo técnico para explicar cómo funciona el sistema de frenado ABS, la seguridad que brinda para el conductor, el vehículo y los demás actores viales. (ver sección 4.6 Sistemas anti bloqueo de frenos ABS). El sistema de frenos ABS proporciona control en la conducción tanto en la trayectoria y dirección como en el frenado en caso de emergencia. La modificación o suspensión de los elementos de seguridad activa del vehículo conllevan a sanciones, sin embargo; en Colombia aún no existe la reglamentación para la vigilancia y control de los mecanismos de frenado ABS; esto ocasiona que cada vez sea más factible realizar estas modificaciones al vehículo; de aquí la importancia de generar conciencia en las agremiaciones de transportadores, para que conozcan los beneficios de una conducción segura con el sistema de frenos ABS.

En la Figura 27, se observa el patrón de frenado de un vehículo articulado tipo tractocamión equipado con ABS, al lado se observa el patrón de frenado de un vehículo de las mismas características, pero sin ABS. Esta Figura es una clara descripción de la necesidad de poseer el sistema de frenos ABS para garantizar una conducción segura, con una trayectoria definida y una acción de frenado eficiente ante situaciones de emergencia. En el caso de conductores y propietarios de vehículos para el transporte de carga pesada, si la percepción de conducción es que con el sistema de frenado ABS el vehículo tarda más en frenar, recuerde

siempre mantener una distancia de frenado segura, respetando el espacio entre su vehículo y los demás actores viales que están en frente suyo.

4.5.2 Modificaciones a la bomba de frenado

El pedal o bomba de freno, en su mecanismo de accionamiento cuenta con una holgura, cuyo propósito es generar un rango de tolerancia para la variación volumétrica por condiciones ambientales tanto del aire comprimido contenido en el sistema neumático, como de los materiales de los componentes, esta holgura tiene un juego libre no superior a un milímetro en profundidad y distancia en relación al resorte. Es común que los vehículos de carga sean intervenidos con el propósito de reducir considerablemente esta holgura, por consideración de los conductores y propietarios; y para esto utilizan una calza, como ellos mismos suelen llamar; una arandela o pequeña moneda que utilizan para reducir el espacio considerado como tolerancia del pedal de frenado, conducta a la cual los conductores y mecánicos manifiestan que, al presionar el pedal, el freno se acciona inmediatamente; sin embargo se debe considerar que cuando aumenta la temperatura del aire comprimido en el sistema neumático, se ajusta la tolerancia del pedal de frenado, pero cuando esta tolerancia es modificada, puede presentar deficiencias en el mecanismo de operación de la válvula, ocasionada por exceso de presión de ajuste entre los componentes del vehículo, causando pérdida de la capacidad de frenado por la imposibilidad de accionar el pedal de frenado.

Esta es una conducta riesgosa, que expone la integridad del conductor, el vehículo y los demás actores viales, recuerde que las modificaciones a las condiciones originales del vehículo, no son garantía de un funcionamiento mejorado; y aunque esta conducta no esté vigilada o

reglamentada, en caso de accidente ocasionado por esta condición, la responsabilidad de ello es exclusiva del propietario del vehículo.

4.5.3 Cambio de sistema de frenado hidráulico a sistema de frenado neumático

En Colombia, es una práctica común reemplazar el sistema de frenado hidráulico por sistema de frenado neumático. Este es un procedimiento que se ha realizado desde aproximadamente mediados de la década de los 90's, en la mayoría de los casos con las técnicas, repuestos e insumos adecuados; las adaptaciones son realizadas por personal técnico con experiencia en la materia, y para este procedimiento se guían por las características propias del vehículo con respecto las de un vehículo que, si posee el sistema de frenado neumático original de fábrica, y en lo posible con capacidad de carga superior.

Esta adaptación en la mayoría de los casos resulta funcional, sin embargo, es importante tener en cuenta que la distribución de los componentes y la composición de los materiales fueron diseñados para otra configuración de vehículo, lo que genera fuerzas de frenado brusco y desequilibrado; que en la mayoría de los casos resulta en pérdida del control del vehículo.

Al presentar estas dos condiciones, en trayectos medianamente largos el vehículo puede llegar a presentar el efecto fading Dominó (ver sección 5.1.5 Desvanecimiento Dominó generado por desequilibrio).

4.5.4 Cambio del tipo de cámaras de frenado

El sistema de frenado neumático, está diseñado desde el compresor (inicio del circuito) hasta las cámaras de frenado (fin del circuito) para cumplir con un propósito específico; los requerimientos de presión de aire, tiempos de carga y descarga, componentes y mecanismos de accionamiento están diseñados para este sistema de frenado en específico. Cuando se cambian

las especificaciones de las cámaras, cambian las condiciones de frenado del vehículo dependiendo del nuevo tamaño de las cámaras; si el tamaño de las cámaras es inferior al tamaño original, el efecto de frenado del vehículo va a disminuir, generando deficiencias por falta de capacidad y fuerza de frenado; en el caso contrario, cuando se instalan cámaras de mayor tamaño con respecto al original, el efecto de frenado se retrasa en décimas de segundo, debido a que hay que llenar un espacio de aire mayor con respecto al espacio de la cámara original; como efecto va a generar mayor fuerza y una sensación de frenado agresiva, que bloquea las ruedas con un mínimo esfuerzo del conductor. Adicionalmente, al aumentar la fuerza de frenado sobre los componentes, se generan esfuerzos adicionales ocasionando desgaste prematuro en revestimientos de zapatas o pastillas y en tambores de frenos. Cuando se realiza esta modificación al sistema neumático, es común encontrar fallas en el mecanismo de frenado por fractura en los tambores o discos y desprendimiento de los revestimientos de campanas o zapatas de frenos. Es importante destacar que cualquier modificación al sistema de frenos debe cumplir con las normativas y estándares de seguridad; y deben ser realizadas por profesionales capacitados: Recuerde que las condiciones originales del sistema de frenado del vehículo son inmejorables.

5. Resultados

Esta monografía recopila información precisa y útil como referencia para aquellos conductores, propietarios y técnicos mecánicos que deseen conocer y estudiar el efecto fading como causa de la pérdida de sistema de frenado neumático en camiones y tractocamiones. En base al contenido de esta monografía se proponen las siguientes prácticas de mantenimiento:

Realizar las rutinas de mantenimiento preventivo y correctivo con repuestos y personal técnico mecánico de acuerdo a las especificaciones del fabricante del vehículo.

Dentro de las rutinas de inspección se recomienda:

- Inspeccionar en busca de pérdidas o fugas de aire en el sistema de frenado neumático o demás sistemas que funcionen con el suministro de aire; de igual manera inspeccionar el buen estado de mangueras y sellos de los componentes.
- Verificar el correcto funcionamiento de los manómetros de presión de aire disponible en los circuitos primario y secundario; al tiempo revisar el funcionamiento de las señales auditivas y luminosas que indican baja presión en el sistema como se indica en el numeral 3.3.8 manómetros de aire y 3.3.10 señales de advertencia de baja presión de aire en el vehículo.
- Revisar el estado de desgaste y características físicas del material de fricción (bandas o pastillas); inspeccionar en detalle las condiciones de deterioro y desgaste de tambores y discos, en busca de fisuras o fracturas y de igual manera realizar medidas de espesor verificando la circularidad de tambores y el descentramiento de los discos; como se indica en el numeral 4.3.3 sustitución de consumibles y componentes desgastados.
- Identificar fuga de lubricantes u otros fluidos que puedan llegar a contaminar el mecanismo de frenado, impidiendo su funcionamiento; ya sea mecanismo de tambor y campana o disco y pastillas; a fin de prevenir el efecto fading por contaminación, como se observa en el numeral 4.1.4 desvanecimiento por contaminación con fluidos.

- Inspeccionar en busca de holguras o recorridos excesivos en las articulaciones y mecanismos de frenado, como se observa en la figura 21. Mecanismo de conversión de aire comprimido a fuerza torsional; en el caso de raches de frenado, ajustar o graduar.
- Realizar graduación y ajuste de frenos en los raches mecánicos, en el caso de los raches de graduación automáticos, verificar su posición y desplazamiento como se indica en el numeral 4.3.6 Graduación o ajuste de frenos; si detecta mal funcionamiento o anomalías, reporte al personal encargado o solicite servicio técnico mecánico.
- Drenar con frecuencia los depósitos de aire aun si el vehículo cuenta con filtro secador, como se indica en la sección 3.3.4 Secador o drenaje del tanque de aire. Verifique si en los fluidos condensados se encuentra presencia de aceite o exceso de lodos, para descartar posibles fallas en el compresor o alguno de sus componentes.

Como parte de los resultados se propone una lista de chequeo que se muestra en la Tabla 1. Inspección preliminar para mantenimiento del sistema de frenado neumático, dirigida al personal mecánico, con el fin de que se utilice para la inspección de los sistemas de frenado neumático antes de hacer el mantenimiento preventivo y correctivo, promoviendo una inspección ordenada que reduzca el sesgo que pudiere ocasionar el entorno de trabajo del técnico mecánico inspector.

Como estrategia de capacitación para conductores se sugieren prácticas para el uso eficiente del sistema de frenado neumático de servicio y dispositivos de frenado auxiliares con


los que cuente el vehículo, las cuales se explican en el numeral 4.4 Uso eficiente del sistema de frenos por parte del operador. Los programas de capacitación en conducción de camiones y tractocamiones, y mantenimiento mecánico de sistemas de frenos neumáticos son propios de cada marca y referencia de vehículo; por lo tanto, deben solicitarse por medio del servicio nacional de aprendizaje SENA o a la marca del fabricante o proveedor de los vehículos; a continuación, se dan algunos ejemplos que indican como realizar esta solicitud:

- Scania: entrenamientos al conductor y driver coaching. Disponible en: https://www.scania.com/mx/es/home/services/SCANIA_DRIVER_COACHING_SERVICIOS_AL_CONDUCTOR.html
- Chevrolet: Capacitación para conductores de camiones y autobuses en Centrodiesel. Disponible en: <https://www.centrodiesel.com.co/taller/cursos/>
- Kenworth Casa Inglesa: Capacitación Master Driver Paccar. Disponible en: <https://www.facebook.com/casainglesacol/>
- Volvo camiones y buses: Capacitación de los conductores. Disponible en: <https://www.volvobuses.com/co/services/driver-performance/driver-training.html>
- Motores Cummins: Capacitación para conductores. Disponible en: <https://www.cummins.com/es/heavy-duty-truck/driver-training>

Se elabora un folleto educativo y práctico de fácil dispersión que contiene un conjunto de recomendaciones e información dirigida a los propietarios y conductores, de una forma didáctica, breve, ilustrativa y fácil de comprender; buscando generar conciencia en buenas prácticas de conducción de este tipo de vehículos; proponiendo buenas prácticas de inspección y mantenimiento de los sistemas de frenado neumático.

Figura 47

Cara A folleto Conociendo y previniendo el efecto Fading en camiones y tractocamiones




¿QUE ES EL FADING...?
 En la industria automotriz el fading es un efecto que genera falla de frenos ocasionada por el sobrecalentamiento en los componentes del sistema de frenado de los vehículos, presentando como consecuencia la pérdida de efectividad en el frenado (Se queda sin frenos).

¿Porqué ocurre el Fading?
 Es un efecto que se presenta por diversas razones, las cuales le mostraremos a continuación:

EVITE LA PERDIDA DE FRENOS POR EFECTO FADING



Si desea estudiar mas fondo el efecto fading y el frenado de camiones y tractocamiones; ingrese a: repositorios UIS/ trabajos de grado/ Facultad de ingenierías fisicomecánicas/ escuela de ingeniería mecánica/ Especialización en ingeniería automotriz/ CARACTERIZACIÓN Y PREVENCIÓN DE LA PÉRDIDA DEL SISTEMA DE FRENADO NEUMÁTICO CAUSADO POR EFECTO FADING EN VEHÍCULOS TIPO CAMIÓN Y TRACTOCAMIÓN UTILIZADOS PARA EL TRANSPORTE DE CARGA EN COLOMBIA.



CONOCIENDO Y PREVIENIENDO EL FADING EN CAMIONES Y TRACTOCAMIONES



El efecto Fading es la pérdida de los frenos por sobrecalentamiento.

Universidad industrial de Santander
 Ing. Camilo Sierra Novoa
 Esp. Ingeniería Automotriz

Nota: Se presenta cara A del folleto educativo, Conociendo y previniendo el efecto fading en camiones y tractocamiones; una presentación que contiene portada, presentación y dirección de consulta al documento completo consultado desde repositorios UIS.

Figura 48

Cara B folleto Conociendo y previniendo el efecto Fading en camiones y tractocamiones

EVITE EL EFECTO FADING

◇ **MANTENIMIENTO**

Un adecuado mantenimiento previene el efecto fading, ya que nos permite identificar componentes deteriorados o averiados que pueden presentar falla. Recuerde sustituir los repuestos averiados por piezas originales o en su defecto repuestos certificados OEM. Un repuesto defectuoso genera desvanecimiento o pérdida de frenos.



◇ **ADAPTACIONES O MODIFICACIONES**

Recuerde que las condiciones y especificaciones de diseño del vehículo son inmejorables. Evite realizar modificaciones al sistema de frenos, recuerde que los componentes están diseñados para prestar la mejor eficiencia y seguridad en su vehículo; y cuando se realizan modificaciones en la mayoría de los casos mejora la eficiencia pero disminuye la seguridad. El sistema de frenado está diseñado en conjunto y si se realiza modificaciones aunque mejore un componente, es probable que ese mismo genere deficiencia, desgaste o daño a los demás.

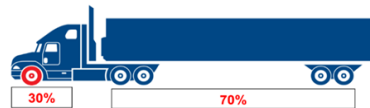
◇ **CONDICIONES DE MANEJO SEGURO**

En descensos pronunciados, recuerde asegurar su vehículo en cambios bajos que le permitan generar compresión y frenado por el motor, descienda a baja velocidad controlada y si cuenta con freno de ahogo, motor o retardador utilícelos eficientemente como lo indica el manual de operación del vehículo. Cuando detecte condiciones anormales como frenado irregular o disparejo, sobrecalentamiento de alguna o varias de las ruedas, identifíquelas y solicite servicio mecánico, esta condición se conoce como desequilibrio, el cual además de generar bajo control en el frenado del vehículo, en descensos pronunciados ocasiona desvanecimiento por sobrecalentamiento escalado o fading domino.

Si detecta pérdidas de aire o baja presión de aire evite movilizar el vehículo; solicite servicio mecánico, recuerde que el Sistema de frenado de seguridad se va accionando con la baja de presión de aire y le puede ocasionar una parada repentina o en su efecto puede generar Fading por sobrecalentamiento generado por el freno de parqueo o emergencia.

◇ **LA CARGA Y SU EFECTO**

La distribución adecuada de la carga le proporciona una acción de frenado constante; Siempre que sea posible evite sobrecargar el vehículo, recuerde que el sistema de frenado está diseñado para las características específicas y capacidades de carga



del vehículo. En caso de requerir sobrecargar el vehículo, recuerde tomar las debidas precauciones. Recuerde que al aumentar la carga también aumenta la energía cinética del vehículo.

◇ **AJUSTE O GRADUE LOS FRENOS CON FRECUENCIA**

Recuerde si su vehículo cuenta con raches de graduación automático revise su estado y ajuste, estos también tienden a presentar falla y dejan de cumplir con su propósito, generando fading por desequilibrio.



Para el caso de los vehículos con raches de graduación mecánica, realice el ajuste de acuerdo a las indicaciones del fabricante; si no está seguro de cómo realizar este procedimiento, solicite ayuda o servicio mecánico.



Recuerde con frecuencia denar el Agua contenida en los tanques de aire.

Nota: Se presenta la cara B del folleto, contiene recomendaciones para mantenimiento y manejo seguro de los vehículos.

6. Conclusiones

Con el desarrollo de esta monografía, se aporta una herramienta para la prevención de accidentes de tránsito generados por la pérdida del sistema de frenado “efecto fading” en vehículos tipo camión y tractocamiones utilizados para el transporte de carga en Colombia. Se proporciona un documento útil y de fácil acceso en el cual se identifican los componentes y funcionamiento del sistema de frenado neumático utilizado en este tipo de vehículos; se describe el efecto fading como una condición crítica que genera pérdida del sistema de frenado ocasionado por diversas razones que van desde falencias en el mantenimiento del vehículo hasta deficiencias en la capacitación de los operadores o conductores del mismo.

Mediante la identificación y comprensión de las diferentes causas que originan el efecto fading, se proponen prácticas de inspección y mantenimiento para los sistemas de frenado neumático, bajo las recomendaciones y especificaciones requeridas por el fabricante del vehículo. Con el fin de reducir la aparición de efecto fading ocasionado por deficiencias en la operación del vehículo, se sugiere aplicar los programas de capacitación en buenas prácticas de operación dirigidos a conductores de cada tipo de vehículo y suministrados por los proveedores o fabricantes de los mismos.

Como medida para el reconocimiento de este documento, se elabora un folleto educativo en el cual se explica brevemente el efecto fading y se sugieren recomendaciones para prevenirlo, al mismo tiempo que se hace la invitación a conocer y consultar la información contenida en esta monografía; un documento fácil de comprender y amigable con el personal técnico mecánico y conductores operadores de vehículos tipo camión y tractocamiones utilizados para el transporte de carga en Colombia.

Por último, se recomienda continuar avanzando y profundizar en el estudio de la temática de esta monografía como campo de investigación para la ingeniería automotriz en un área que a la fecha ha sido poco estudiada, pero que tiene una gran repercusión en la economía y la percepción de seguridad vial para gran parte de los colombianos.

7. Recomendaciones

Realizar las actividades de mantenimiento del vehículo, con personal técnico calificado, en los periodos de tiempo, con los suministros y repuestos requeridos por el fabricante del vehículo o en su defecto por los fabricantes de equipo original (OEM).

Ejecutar las actividades de servicio y mantenimiento de acuerdo a las especificaciones técnicas contenidas en el manual de servicio del vehículo; y antes de iniciar, realizar la inspección preliminar a mantenimiento de todo el sistema de frenado (Ver Tabla 1; Inspección preliminar para mantenimiento del sistema de frenado neumático); con el fin de detectar mal funcionamiento, desgaste prematuro o averías en los componentes que no estén especificados para servicio en esa rutina de mantenimiento.

Como conductor, siempre que identifique fallas o deficiencias en el sistema de frenado neumático de su vehículo, solicite servicio técnico, recuerde que una pequeña falencia en el sistema, puede ocasionar efecto dominó ocasionando desvanecimiento del sistema de frenado – efecto Fading dominó.

Como empresas prestadoras del servicio de transporte de carga por carretera, siempre procure realizar programas de capacitación en buenas prácticas de conducción y utilización eficiente de los recursos de control y frenado auxiliar o complementario del vehículo, dirigido a

conductores y propietarios de camiones y tractocamiones para el transporte de carga por carretera en Colombia.

Como propietario y conductor, nunca realice adaptaciones o modificaciones en el sistema de frenado del vehículo; recuerde que las condiciones y especificaciones de diseño del vehículo son inmejorables.

Siempre que sea posible evite sobrecargar el vehículo, recuerde que el sistema de frenado está diseñado para las características específicas y capacidades de carga del vehículo. En caso de requerir sobrecargar el vehículo, recuerde tomar las debidas precauciones.

Referencias Bibliográficas

- Accidente en túnel de la Línea: tractomula presentó falla en el sistema de frenos. (5 de enero de 2022). *El Tiempo*. <https://www.elespectador.com/colombia/mas-regiones/accidente-en-tunel-de-la-linea-tractomula-presento-falla-en-el-sistema-de-frenos/>
- Agencia Nacional de Seguridad Vial. (2023). Bogotá D.C.: ANSV. Agencia Nacional de seguridad vial de Colombia.
- Bennet, S. (2020). *Heavy duty truck systems*. Cengage Learning inc [Sistemas para camiones pesados Cengage Learning Inc]. <https://archive.org/details/heavy-duty-truck-systems-seventh-edition/page/966/mode/1up?view=theater>
- Berizzo, R. (2021). *Sistema de aire comprimido en buses y camiones eléctricos*. <https://groups.google.com/g/vehiculos-electricos/c/3FQSXNRsUv4?pli=1>
- Brakepak seguridad al frenar. (2018). *Clasificación del coeficiente de fricción para revestimientos de frenos automotriz*. <https://brakepak.com/>
- Camión que explotó en la vía al Llano iba sin frenos. (19 de enero de 2022). *RCN Noticias*. <https://www.noticiasrcn.com/colombia/camion-que-exploto-en-la-via-al-llano-iba-sin-frenos-461725>
- Colado, N. (2016). *Circuitos de frenos ud.8 Elementos y piezas de un circuito de frenos*. <https://es.slideshare.net/sergitarabusi/circuitos-de-frenos>
- Federación colombiana de transportadores de carga por carretera. (2022). Bogotá D.C.: *Balance Sectorial Trimestral de Transporte de Carga. III Trimestre de 2022.*: Bogotá D.C.: Dirección de asuntos económicos. <https://www.colfecar.org.co/>

Fleetrite tambores de freno. (2021). *Manual de referencia para la identificación y prevención de las principales fallas en tambores de freno.*
<https://www.internationalrefacciones.com/assets/international/>

Gus W y Owen C.D. (2020). *Fundamentals of Medium/Heavy Duty Commercial Vehicle Systems. 2 ed.* [Fundamentos de los sistemas de vehículos comerciales de servicio mediano/pesado. 2ª edición]. Burlington, MA 01803.: Jones & Bartlett Learning. ISBN 978-443-5000

Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (2012). Bogotá D.C.: ICONTEC. *Norma Técnica Colombiana NTC 4788 Tipología para vehículos de transporte de carga por carretera.*

Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (2012). Bogotá D.C.: ICONTEC. *Norma Técnica Colombiana NTC 5375 Revisión técnico – mecánica y de emisiones contaminantes en vehículos automotores.*

Kerry V.N. (2016). *Standard of care Expert, Evidence Solutions, Inc. Formerly D&A Consultants.* <https://www.linkedin.com/pulse/truck-safety-expert-brake-fade-what-happens-when-brakes-kerry-elson#>

Las pérdidas por el cierre del túnel Quebrada Blanca en la vía al Llano. (18 de octubre de 2023). *El Espectador.* <https://www.elespectador.com/economia/las-perdidas-por-el-cierre-del-tunel-quebrada-blanca-en-la-via-al-llano-noticias-hoy/>

Manual de la técnica del automóvil. (2005). Alemania.: Editorial Reverte. ISBN 9783934584822, 3934584829

Nueva tragedia en Arcabuco: otra vez una tractomula sin frenos causa grave accidente. (5 de octubre de 2023). *Boyacá 7 días.* <https://boyaca7dias.com.co/2023/10/05/>

Pradnya K, y Chittaranjan M. (2011). *Characterization of Fade and Recovery Behavior of Brake Friction Material* [Caracterización del comportamiento de desvanecimiento y recuperación del material de fricción de frenos]. Ahmedabad, Guyarat, India.: Institute of Technology, Nirma University.

Registro único nacional de tránsito. (2023). *Cantidad de vehículos activos; edad del parque automotor.*: <https://www.runt.com.co/>

Resolución 2502 de 2002 [Ministerio de transporte]. Por la cual se define, reglamenta y fija los requisitos para el reconocimiento de la transformación o repotenciación de los vehículos destinados al Servicio Público de Transporte Terrestre Automotor de Carga. Febrero 22 de 2002.

Resolución 3752 de 2015 [Ministerio de Transporte]. Por la cual se adoptan medidas en materia de seguridad activa y pasiva para uso en vehículos automotores, remolques y semirremolques. Octubre 06 de 2015.

Resolución 3768 de 2013 [Ministerio de transporte]. Por la cual se establecen las condiciones que deben cumplir los centros de diagnóstico automotor para su habilitación, funcionamiento y se dictan otras disposiciones. Septiembre 26 de 2013.

Resolución 4100 de 2004 [Ministerio de transporte]. Por la cual se adoptan los límites de pesos y dimensiones en los vehículos de transporte terrestre automotor de carga por carretera, para su operación normal en la red vial a nivel nacional. Diciembre 28 de 2004.

Sabó. diafragmas. (2022). *Nomenclatura de cámara de freno.*: <https://www.sabo.com.br/es/diafragmas/>

State of new brunswick. (2015). Canadá. *Department of motor Vehicles. Air brake manual* [Departamento de Vehículos de motor: manual de frenos de aire]. <https://www.gnv.ca./publicsafety/>

State of california. (2015). Estados Unidos de Norte America. *Department of motor Vehicles. Commercial driver handbook*. [Departamento de Vehículos de motor. Manual del conductor comercial]. https://www.dmv.ca.gov/web/eng_pdf/comlhdbk.pdf

Wabco. manual de mantenimiento. (2019). *Sistema antibloqueo de frenos (abs) y de control electrónico de estabilidad (esc)*.

Waza muluken, T. y Zang, L. (febrero 2020). *Design and Analysis of Heavy Duty Truck Brake Drum and Shoe* [Diseño y Análisis de Tambor y Zapata de Freno para Camiones de Servicio Pesado]. Tianjin University of Technology & Education. ISSN: 2278-0181. <https://pdfs.semanticscholar.org/3cd7/c28b8ad593d683c1a795ac8749b1ab00f29f.pdf>

Apéndices

Apéndice A: Formato Inspección preliminar al mantenimiento

FORMATO DE INSPECCION PRELIMINAR AL MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE FRENADO NEUMATICO					
NOMBRE DEL TALLER:			FECHA DE INSPECCIÓN:		
INSPECCIÓN SENSORIAL					
Componente del sistema	Bueno	Requiere intervención	Malo	Indique el hallazgo y la Intervención requerida	
ASBESTOS Y/O PASTILLAS					
CAMPANAS Y/O DISCOS					
FRENO DE EMERGENCIA					
RODILLOS O RODAJAS					
RACHES AJUSTADORES					
SELLOS Y RETENEDORES					
MANGUERAS					
TUBERIAS					
COMPRESOR					
MANOMETROS					
VÁLVULAS RELAY					
BOMBA DE FRENADO					
SECADOR O DRENAJES					
GOBERNADOR					
CÁMARAS DE FRENO					
DEPOSITOS DE AIRE					
INSPECCIÓN MECANIZADA					
Nota: Diligencie estos ítems si se cuenta con el equipo frenometro ajustado y calibrado o en su efecto transcribir desde el Formato Único de Resultados FUR proporcionado por el centro de diagnóstico automotor CDA.					
EJES	FUERZA LADO DERECHO	FUERZA LADO IZQUIERDO	UNIDAD DE MEDIDA	DESEQUILIBRIO	UNIDAD
EJE 1.			Newton (N)		%
EJE 2.			Newton (N)		%
EJE 3.			Newton (N)		%
EJE 4.			Newton (N)		%
EJE 5.			Newton (N)		%
EJE 6.			Newton (N)		%
EFICACIA DE FRENO DE SERVICIO (%)			EFICACIA FRENO PARQUEO (%)		
Observaciones				Firma del técnico encargado de inspección	
Elaborado por Ing. Mecánico Automotriz Cristian Camilo Sierra Novoa – Universidad Industrial de Santander UIS.					

Apéndice B: Folleto Conociendo y previniendo el efecto Fading en camiones y tractocamiones.



Universidad Industrial de Santander

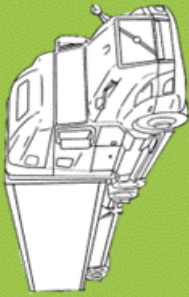


CONOCIENDO Y PREVIENIENDO EL FADING EN CAMIONES Y TRACTOCAMIONES



El efecto Fading es la pérdida de los frenos por sobre calentamiento.

Universidad industrial de Santander
 Ing. Camilo Sierra Novoa
 Esp. Ingeniería Automotriz



¿QUE ES EL FADING...?
 En la industria automotriz el fading es un efecto que genera falla de frenos ocasionada por el sobre calentamiento en los componentes del sistema de frenado de los vehículos, presentando como consecuencia la pérdida de efectividad en el frenado (Se queda sin frenos).

¿Porqué ocurre el Fading?
 Es un efecto que se presenta por diversas razones, las cuales le mostraremos a continuación:

EVITE LA PERDIDA DE FRENOS POR EFECTO FADING



Si desea estudiar mas fondo el efecto fading y el frenado de camiones y tractocamiones: ingrese a: repositorios UIS/ trabajos de grado/ Facultad de Ingenierías Físicomecánicas/ escuela de ingeniería mecánica/ Especialización en ingeniería automotriz/ CARACTERIZACIÓN Y PREVENCIÓN DE LA PERDIDA DEL SISTEMA DE FRENADO NEUMÁTICO CAUSADO POR EFECTO FADING EN VEHICULOS TIPO CAMIÓN Y TRACTOCAMIÓN UTILIZADOS PARA EL TRANSPORTE DE CARGA EN COLOMBIA.

EVITE EL EFECTO FADING

◇ **MANTENIMIENTO**

Un adecuado mantenimiento previene el efecto fading, ya que nos permite identificar componentes deteriorados o averiados que pueden presentar falla.

Recuerde sustituir los repuestos averiados por piezas originales o en su defecto repuestos certificados OEM. Un repuesto defectuoso genera desvanecimiento o pérdida de frenos.



◇ **ADAPTACIONES O MODIFICACIONES**

Recuerde que las condiciones y especificaciones de diseño del vehículo son mejorables. Evite realizar modificaciones al sistema de frenos, recuerde que los componentes están diseñados para prestar la mejor eficiencia y seguridad en su vehículo; y cuando se realizan modificaciones en la mayoría de los casos mejora la eficiencia pero disminuye la seguridad.

El sistema de frenado está diseñado en conjunto y si se realiza modificaciones aunque mejore un componente, es probable que ese mismo genere deficiencia, desgaste o daño a los demás.

◇ **CONDICIONES DE MANEJO SEGURO**

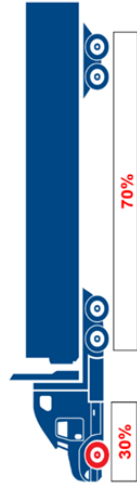
En descensos pronunciados, recuerde asegurar su vehículo en cambios bajos que le permitan generar compresión y frenado por el motor, descienda a baja velocidad controlada y si cuenta con freno de ahogo, motor o retardador utilícelos eficientemente como lo indica el manual de operación del vehículo.

Cuando detecte condiciones anormales como frenado irregular o disparate, sobrecalentamiento de alguna o varias de las ruedas, identifíquelas y solicite servicio mecánico, esta condición se conoce como desequilibrio, el cual además de generar bajo control en el frenado del vehículo, en descensos pronunciados ocasiona desvanecimiento por sobrecalentamiento escalado o fading domino.

Si detecta pérdidas de aire o baja presión de aire evite movilizar el vehículo; solicite servicio mecánico, recuerde que el Sistema de frenado de seguridad se va accionando con la baja de presión de aire y le puede ocasionar una parada repentina o en su efecto puede generar Fading por sobrecalentamiento generado por el freno de parqueo o emergencia.

◇ **LA CARGA Y SU EFECTO**

La distribución adecuada de la carga le proporcionará una acción de frenado constante; Siempre que sea posible evite sobrecargar el vehículo, recuerde que el sistema de frenado está diseñado para las características específicas y capacidades de carga



del vehículo. En caso de requerir sobrecargar el vehículo, recuerde tomar las debidas precauciones. Recuerde que al aumentar la carga también aumenta la energía cinética del vehículo.

◇ **AJUSTE O GRADUE LOS FRENOS CON FRECUENCIA**

Recuerde si su vehículo cuenta con rines de graduación automático revise su estado y ajuste, estos también tienden a presentar falla y dejan de cumplir con su propósito, generando fading por desequilibrio.



Para el caso de los vehículos con rines de graduación mecánica, realice el ajuste de acuerdo a las indicaciones del fabricante; si no está seguro de cómo realizar este procedimiento, solicite ayuda o servicio mecánico.



Recuerde con frecuencia denegar el Agua contenida en los tanques de aire.