



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“ESTUDIO DEL DESEMPEÑO DE UN NEUMÁTICO REENCAUCHADO TIPO 3 MEDIANTE EL ENSAYO DE CARGA Y VELOCIDAD DETERMINADO EN LA NORMA NTE INEN 2616:2018”

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

RONALD PATRICIO PEREZ GUEVARA

FABIAN ALEXIS ROMAN CABRERA

Riobamba – Ecuador
2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“ESTUDIO DEL DESEMPEÑO DE UN NEUMÁTICO REENCAUCHADO TIPO 3 MEDIANTE EL ENSAYO DE CARGA Y VELOCIDAD DETERMINADO EN LA NORMA NTE INEN 2616:2018”

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: RONALD PATRICIO PEREZ GUEVARA

FABIAN ALEXIS ROMAN CABRERA

DIRECTOR: Ing. JOHNNY MARCELO PANCHAS RAMOS

Riobamba – Ecuador
2021

© 2021, **Ronald Patricio Pérez Guevara & Fabián Alexis Román Cabrera**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimientos, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Ronald Patricio Pérez Guevara y Fabian Alexis Román Cabrera, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra auditoria y que los resultados del mismo son auténticos. Los textos que constan en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 02 de diciembre de 2021

Ronald Patricio Pérez Guevara

180538965-5

Fabian Alexis Román Cabrera

070564953-1

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
CARRERA INGENIERIA AUTOMOTRIZ

El tribunal de trabajo de integración curricular certifica que: El trabajo de integración curricular; Tipo: Proyecto de investigación, **ESTUDIO DEL DESEMPEÑO DE UN NEUMATICO REENCAUCHADO TIPO 3 MEDIANTE EL ENSAYO DE CARGA Y VELOCIDAD DETERMIANDO EN LA NORMA NTE INEN 2616:2018**, realizado por los señores: **RONALD PATRICIO PÉREZ GUEVARA, FABIAN ALEXIS ROMÁN CABRERA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de integración curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA	FECHA
Ing. Elvis Enrique Arguello PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	2021-12-02
Ing. Johnny Marcelo Pancha Ramos DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR	2021-12-02
Ing. Juan Carlos Rocha Hoyos MIEMBRO DEL TRIBUNAL	2021-12-02

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mi madre quien me ha brindado todo el apoyo incondicional tanto moral como económico para poder alcanzar uno de mis principales objetivos en el ámbito estudiantil, a mi padre por brindarme la confianza necesaria para no decaer en los momentos más difíciles de tan ardua etapa, en deuda con ellos por haberme inculcado valores éticos, morales y por el amor incondicional que me brindaron a la distancia en mi etapa estudiantil los cuales me permitieron cumplir uno de mis más anhelados sueños.

Ronald Patricio Pérez Guevara

Mi trabajo de titulación lo dedico a mi padre Fabian Roman por darme todo su cariño, apoyo moral y económico para llegar hasta esta importante instancia de mi formación profesional, a mi madre María Cabrera por brindarme su amor incondicional, consejos y sabiduría para hacerme una mejor persona, a mi pareja que ha sido mi inspiración para seguir adelante y lograr este sueño tan anhelado.

Fabian Alexis Roman Cabrera

AGRADECIMIENTO

Mi gratitud hacia Dios por la vida de mis padres, por brindarme salud, bendiciones y capacidad para culminar una de las mejores, pero a la vez más complejas etapas estudiantiles. Infinitamente a mis padres por todo el apoyo recibido, por guiarme por el camino correcto y ayudarme a tomar las mejores decisiones en el transcurso de vida.

Agradecido con mi tutor Ing. Johnny Pancha Ramos y asesor Ing. Juan Carlos Rocha por la dedicación y la paciencia que supieron brindarme en la etapa final de mi carrera. A mi compañero de tesis y amigo Fabián Román por haberme brindado una mano de apoyo en etapas complejas de la vida universitaria.

No ha sido sencillo el camino, pero gracias al aporte de familiares, compañeros y amigos cercanos las metas se cumplen, les agradezco y hago presente mi afecto hacia ustedes por haber podido compartir agradables momentos en esta maravillosa etapa de mi vida.

Ronald Patricio Pérez Guevara

Agradezco a mis padres por regalarme su sabiduría y ayudarme a tomar las mejores decisiones por ser mi motivación para continuar. Agradezco a los ingenieros Johnny Pancha y Juan Rocha por su tiempo, paciencia y conocimientos al guiarme en el desarrollo de este trabajo de titulación, a mi compañero de tesis y amigo Ronald Pérez por brindarme su apoyo y ayuda en momentos difíciles de esta etapa universitaria. Agradezco a mi pareja por brindarme su apoyo y compartir su conocimiento en esta maravillosa etapa de mi vida.

Fabian Alexis Román Cabrera

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	x
INDICE DE GRAFICOS.....	xii
INDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
SUMMARY	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I

1. MARCO TEORICO REFERENCIAL	2
1.1. Problematización.....	2
<i>1.1.1. Efectos en el medio ambiente</i>	<i>2</i>
<i>1.1.2. Efectos en la salud</i>	<i>3</i>
1.2. Justificación	3
<i>1.2.1. Justificación teórica.....</i>	<i>3</i>
<i>1.2.2. Justificación metodológica</i>	<i>4</i>
<i>1.2.3. Justificación practica.....</i>	<i>4</i>
1.3. Alcance	5
1.4. Objetivos	5
<i>1.4.1. Objetivo general</i>	<i>5</i>
<i>1.4.2. Objetivos específicos</i>	<i>5</i>
1.5. Marco teórico.....	5
<i>1.5.1. Neumático</i>	<i>5</i>
<i>1.5.2. Funciones del neumático</i>	<i>6</i>
<i>1.5.3. Compuesto de los neumáticos.....</i>	<i>6</i>
<i>1.5.4. Partes de los neumáticos</i>	<i>8</i>
<i>1.5.5. Banda de rodadura</i>	<i>9</i>
<i>1.5.5.1. Partes de la banda de rodadura</i>	<i>10</i>
<i>1.5.5.2. Tipos de bandas de rodadura</i>	<i>10</i>
1.5.6. Tipos de neumáticos	14
<i>1.5.6.1. Neumáticos convencionales.....</i>	<i>14</i>
<i>1.5.6.2. Neumáticos radiales</i>	<i>14</i>
1.5.7. Reencauche de neumáticos	15
<i>1.5.7.1. Tipos de reencauche</i>	<i>15</i>
<i>1.5.7.2. Proceso de reencauche</i>	<i>16</i>

1.5.8.	Características dinámicas de los neumáticos	17
1.5.8.1.	Fuerzas y momentos que actúan sobre los neumáticos	17
1.5.8.2.	Ángulo de deriva (α) y fuerza lateral (F_y).....	20
1.5.8.3.	Fuerza longitudinal	21
1.5.8.4.	Fuerza normal (F_z).....	22
1.5.8.5.	Resistencia a la rodadura.....	23
1.5.9.	Rango de desgaste (treadwear)	25
1.5.9.1.	Relación con el coeficiente de desgaste.....	26
1.6.	Normativa ecuatoriana para neumáticos reencauchados	26
1.6.1.	Normativa NTE INEN 2096	26
1.6.1.1.	Clasificación de los neumáticos por su servicio.....	26
1.6.1.2.	Capacidad de carga en letras y en números.....	27
1.6.1.3.	Índices de carga.....	28
1.6.1.4.	Índice de velocidad.....	28
1.6.2.	Normativa NTE INEN 2616	29
1.6.2.1.	Preparación del neumático para ensayo de aguante de carga y velocidad	29
1.6.2.2.	Procedimiento para el ensayo de carga y velocidad.....	30
1.6.2.3.	Procedimiento de pruebas de carga y velocidad para neumáticos con símbolo Q o superiores.....	31

CAPITULO II

2.	MARCO METODOLOGICO	33
2.1.	Tipo de investigación	33
2.2.	Selección de la muestra	33
2.2.1.	Neumático 215/75R17.5	34
2.3.	Características del neumático	34
2.4.	Equipos usados en pruebas de laboratorio	35
2.4.1.	Tambor dinamométrico	35
2.4.2.	Jaula de seguridad.....	35
2.4.3.	Sistema de carga	36
2.4.4.	Sensor de falla.....	37
2.4.5.	Sistema de control de presión hidráulico.....	37
2.4.6.	Motor eléctrico	38
2.4.7.	Interfaz de control.....	38
2.4.8.	Termohigrometro	39
2.4.9.	Manómetro de presión de aire	39
2.4.10.	Recinto de climatización	40
2.5.	Pruebas de laboratorio	40
2.5.1.	Acondicionamiento del neumático	41

2.5.1.1.	<i>Selección del aro</i>	41
2.5.1.2.	<i>Presión de inflado</i>	41
2.5.1.3.	<i>Temperatura de ensayos</i>	42
2.5.1.4.	<i>Velocidad máxima del neumático</i>	42
2.5.2.	Ensayo de neumático	43
2.5.2.1.	<i>Índice de carga</i>	43
2.5.2.2.	<i>Receta para ensayo</i>	44

CAPITULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS	48
3.1.	Descripción del neumático usado para el ensayo	48
3.2.	Descripción del reencauche	48
3.3.	Pruebas de laboratorio	49
3.3.1.	<i>Inicio del ensayo de la muestra</i>	49
3.4.	Resultados de laboratorio	51
3.4.1.	<i>Carga aplicada</i>	51
3.4.2.	<i>Velocidad aplicada</i>	52
3.4.3.	<i>Temperatura de ensayo</i>	52
3.4.4.	<i>Tiempo de ensayo</i>	53
3.4.5.	<i>Comportamiento del neumático</i>	54
3.5.	Análisis de resultados	55
3.5.1.	<i>Análisis de carga</i>	55
3.5.2.	<i>Análisis de velocidad</i>	56
3.5.3.	<i>Análisis de temperatura</i>	57
3.5.4.	<i>Análisis de tiempo</i>	58
3.5.5.	<i>Análisis del comportamiento del neumático</i>	59
3.6.	Fallo del neumático	60
	CONCLUSIONES	62
	RECOMENDACIONES	63
	BIBLIOGRAFIA	
	ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Características de los polímeros para neumáticos	6
Tabla 2-1:	Clasificación de los neumáticos por su servicio	27
Tabla 3-1:	Capacidad de carga en letras y en números	27
Tabla 4-1:	Índices de carga	28
Tabla 5-1:	Índices de velocidad	28
Tabla 6-1:	Programa para el ensayo de carga y velocidad.....	30
Tabla 7-1:	Programa para el ensayo de carga y velocidad con rango de carga C, D o E.....	31
Tabla 8-1:	Programa de ensayo de aguante de carga y velocidad.....	31
Tabla 1-2:	Características de la muestra	34
Tabla 2-2:	Índice de velocidad.....	43
Tabla 3-2:	Índice de carga.....	44
Tabla 4-2:	Receta de ensayo	44
Tabla 1-3:	Características del neumático	48
Tabla 2-3:	Características del reencauche.....	48
Tabla 3-3:	Cargas aplicadas	51
Tabla 4-3:	Velocidad aplicada	52
Tabla 5-3:	Temperatura de ensayo.....	53
Tabla 6-3:	Tiempo real.....	54
Tabla 7-3:	Comportamiento del neumático	54
Tabla 8-3:	Análisis de ensayo	55
Tabla 9-3:	Análisis de velocidad.....	56
Tabla 10-3:	Análisis de velocidad.....	57
Tabla 11-3:	Análisis de velocidad.....	58
Tabla 12-3:	Comportamiento del neumático	59

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Quema de llantas al aire libre.....	3
Figura 2-1:	Neumático	6
Figura 3-1:	Distribución de compuestos	7
Figura 4-1:	Partes del neumático	8
Figura 5-1:	Banda de rodadura	9
Figura 6-1:	Partes de la banda de rodadura.....	10
Figura 7-1:	Rodadura asimétrica.....	11
Figura 8-1:	Rodadura direccional	11
Figura 9-1:	Rodadura de bloques.....	12
Figura 10-1:	Rodadura mixta.....	12
Figura 11-1:	Rodadura repetitivo.....	13
Figura 12-1:	Rodadura de costillas	13
Figura 13-1:	Neumático diagonal	14
Figura 14-1:	Neumático radial.....	14
Figura 15-1:	Reencauche de neumáticos	15
Figura 16-1:	Sistema de referencia SAE para neumáticos.....	17
Figura 17-1:	Distribución de presiones en el neumático	19
Figura 18-1:	Deformación en función de la carga	19
Figura 19-1:	Angulo de deriva.....	20
Figura 20-1:	Etapas del ángulo de deriva	21
Figura 21-1:	Fuerzas longitudinales	21
Figura 22-1:	Relación fuerza-deslizamiento.....	22
Figura 23-1:	Deformación por carga normal	22
Figura 24-1:	Distribución asimétrica de cargas verticales	23
Figura 25-1:	Distribución asimétricas de cargas verticales	24
Figura 26-1:	f_r en función de la velocidad	24
Figura 27-1:	f_r en función del suelo y el diámetro	25
Figura 28-1:	Factor de desgaste Treadwear	26
Figura 1-2:	Tambor dinamométrico.....	35
Figura 2-2:	Jaula de seguridad.....	36
Figura 3-2:	Sistema de carga	36
Figura 4-2:	Sensor de fallo.....	37
Figura 5-2:	Sistema de control hidráulico.....	37
Figura 6-2:	Motor eléctrico.....	38
Figura 7-2:	Interfaz de control	38
Figura 8-2:	Termohigrometro	39

Figura 9-2: Manómetro de presión	39
Figura 10-2: Recinto climatizado	40
Figura 11-2: Ensayo de aguante.....	41
Figura 12-2: Presión máxima de inflado.....	42
Figura 13-2: Índice de velocidad	43
Figura 14-2: Índice de carga	44
Figura 15-2: Etapa 1 de ensayo.....	45
Figura 16-2: Etapa 2 de ensayo.....	46
Figura 16-2: Etapa 2 de ensayo.....	46
Figura 1-3: Neumático para prueba	49
Figura 2-3: Medición de presión de inflado.....	50
Figura 3-3: Configuración de dinamómetro	50
Figura 4-3: Desprendimiento de banda de rodadura.....	60
Figura 5-3: Desprendimiento de banda de rodadura.....	61

INDICE DE GRAFICOS

Grafico 1-3:	Cargas durante el ensayo	51
Grafica 2-3:	Velocidad de ensayo.....	52
Grafica 3-3:	Temperatura del recinto durante el ensayo.....	53
Grafico 4-3:	Tiempos de ensayo	54
Grafico 5-3:	Comportamiento del neumático	55
Grafico 6-3:	Cargas durante el ensayo	56
Grafica 7-3:	Velocidad de ensayo.....	57
Grafica 8-3:	Temperatura de ensayo.....	58
Grafico 9-3:	Tiempos de ensayo	59
Grafico 10-3:	Ensayo real vs ensayo teórico.....	60

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A: EQUIPOS DE LABORATORIO

ANEXO B: PREPARACION DEL NEUMATICO PARA ENSAYOS

ANEXO C: NEUMATICO EN FASE DE ENSAYOS

ANEXO D: INFORME DE LABORATORIO DE ENSAYOS INEN 2616:2018

RESUMEN

El objetivo del presente proyecto de investigación fue estudiar del desempeño de un neumático reencauchado tipo 3 mediante el ensayo de carga y velocidad determinado en la norma NTE INEN 2616:2018. Para ello se utilizó un neumático reencauchado con características 215/75R17.5 considerado por la norma INEN 2096 de tipo III, con un reencauche en frío producido en la empresa Cauchosierra. Los estudios realizados al neumático se desarrollaron en el laboratorio acreditado de la Escuela Politécnica Nacional. Los ensayos se llevaron a cabo en tres diferentes etapas con velocidad y temperatura constante durante todo el tiempo de ensayo equivalente a 48 km/h y 25 °C respectivamente. Cada una de las etapas de análisis tiene diferentes valores de cargas y tiempos como los determina la normativa INEN 2616, para la primera etapa se aplicó una carga total de 1439 kg durante un tiempo de 7 horas, en la segunda etapa se modificó la carga a un valor de 1831 kg durante un tiempo de 16 horas y finalmente en la etapa 3 se colocó una carga de 2202 kg durante 24 horas. Como resultado, se obtuvo que el neumático soportó las velocidades y cargas aplicadas hasta el final de la etapa 2, luego de transcurridos 11 minutos de la etapa 3 el neumático produjo un fallo originando un desprendimiento dentro de la banda de rodadura del mismo. Se concluye que el neumático produjo el fallo debido a la antigüedad del mismo ya que estos no pueden ser reencauchados luego de 5 años de su fabricación y la muestra tomada llevaba 7 años de fabricación. Por lo que se recomienda que se reduzcan los años de fabricación para futuros estudios.

Palabras clave: <INGENIERÍA AUTOMOTRIZ> <NEUMÁTICOS REENCAUCHADOS> <ESTUDIO DE NEUMÁTICOS> <ENSAYO DE CARGA> <BANDA DE RODADURA>.



Firmado electrónicamente por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

0272-DBRA-UPT-2022

2022-02-14

Summary

The objective of this research was to study the performance of a type 3 retread tire through the load and speed test determined in the NTE INEN 2616:2018 standard. For this, it was used a retreaded tire with 215/75R17.5 characteristics considered by the INEN 2096 type III standard, a cold retread produced in the company Cauchosierra. The studies done to the tire were carried out in the accredited laboratory of Escuela Politecnica Nacional. The tests were carried out in three different stages by using constant speed and temperature throughout the test time, 48 km/h and 25 °C, respectively. Each analysis stage has different values of loads and times as the INEN 2616 regulations determine. For the first stage, a load of 1439 kg was applied during 7 hours. In the second stage, the load was modified to a value of 1831 kg for a time of 16 hours. Finally, in stage 3 a load of 2202 kg was applied for 24 hours. As a result, the tire withstood the speeds and loads applied until the end of stage 2, after elapsed 11 minutes of stage 3 the tire produced a failure causing a detachment within its tread. It is concluded that the tire produced the failure due to its age, since these cannot be retreaded after 5 years of manufacture and the sample taken had been manufactured for 7 years. Therefore, it is recommended that the years of manufacture be reduced for future studies.

Keywords: <AUTOMOTIVE ENGINEERING> <RETREADED TIRES> <TIRE STUDY> <LOAD TEST> <TREAD>.

SANDRA
LETICIA
GUIJARRO
PAGUAY



Firmado
digitalmente por
SANDRA LETICIA
GUIJARRO PAGUAY
Fecha: 2022.02.20
22:24:35 -05'00'

INTRODUCCIÓN

Las llantas son implementos usados ampliamente en el campo automotor, presentan una estructura compleja formada por diversos materiales como caucho natural y sintético (40-45%), un encordado de acero y negro de carbón (27-33%), vulcanizado con azufre (1.5-2.5%), fibra textil y algunos otros químicos (Ardila y Arriola, 2017).

En el Ecuador la búsqueda de neumáticos reencauchados se ha incrementado en los últimos años puesto que únicamente “el 6% de los usuarios prefieren adquirir neumáticos nuevos” (Ayala Yandún, 2015). Así como también surgió la preocupación de reducir las importaciones y mitigar los desechos de los neumáticos usados, es por esto que se implementó la creación de las normas NTE INEN 2581 y NTE INEN 2582 que son normas que rigen para los neumáticos reencauchados mediante sus clasificaciones, definiciones y tipos, y las condiciones del proceso que se deben realizar en el proceso de recauchutado de neumáticos con prestaciones tipos 2, 3, 4, 5 y 6, con el fin de proteger la vida de las personas que utilizan los neumáticos (INEN, 2017).

Hasta el término del año 2011 según el Ministerio de Industrias y Productividad no dicen que las importaciones de neumáticos al Ecuador abordaban los 450 000 neumáticos nuevos y después de su vida útil 70% de estos no eran reutilizados mientras que en el 2015 el 93% de los transportistas optan por el reencauche y esto indica un beneficio del producto frente a la opción de adquirir solo neumáticos nuevos (Ayala Yandún, 2015). Es por esto que para fomentar la reutilización de neumáticos se implementó una industria nacional con programas como REUSA LLANTA del MIPRO incentivan el reencauche de llantas de vehículos para minimizar la contaminación producida al desecharlas y disminuir las importaciones, mejorando así la economía del país (Acreditacion, 2011).

Por lo mostrado se puede demostrar que el proceso de recauchutado de neumáticos se ha incrementado con referencia a los datos de importación, la idea es reducir la importación de neumáticos y salvar de alguna manera a los consumidores de estos productos que vendrían a ser los mantenimientos vehiculares, por tal motivo existe la necesidad de realizar “el estudio de un neumático reencauchado en el país con prestaciones 8.5R17.5 en condiciones de temperatura baja (frio) con los ensayos según la normativa NTE INEN 2016:2018” (INEN, 2018).

CAPITULO I

1. MARCO TEORICO REFERENCIAL

1.1. Problematización

La asociación nacional de distribuidores de llantas (Andellac) manifiesta que en el territorio ecuatoriano cada año se desechan aproximadamente 25 millones de llantas que no son reutilizadas, esto sin considerar que 9 de cada 10 neumáticos que ingresan al país provenientes de Estados Unidos son trasladados a los tiraderos que trabajan bajo cielo abierto o a su vez a depósitos que funcionan clandestinamente convirtiéndose así en una bomba de tiempo que afecta al medio ambiente y a la salud (Quintero, 2014).

Actualmente se tiene el desconocimiento de que los neumáticos reencauchados de baja comercialización tengan valores máximos de velocidad y carga por falta de información técnica sobre los esfuerzos que estos manejan, debido a que las características frente a los neumáticos nuevos más comerciales son distintas.

Un desconocimiento del proceso de reencauche en cuanto a durabilidad y materiales de fabricación, pueden ser un punto en contra para los dueños de vehículos que prefieren adquirir neumáticos nuevos dejando de lado la reutilización de los mismos contribuyendo así a la economía y conservación del medio ambiente del país.

El uso de los neumáticos reencauchados podría generar un factor determinante en los conductores debido a la falta de criterios profesionales sobre el límite de operación, cargas y velocidades permisibles. Si bien los neumáticos son una de las partes más importantes de los vehículos durante los viajes largos, es por eso que existe una cierta divergencia entre el uso de neumáticos reencauchados y neumáticos nuevos debido a la falta de pruebas y documentación que garanticen que las empresas reencauchadoras brinden el 100% de seguridad al momento de usar un neumático.

1.1.1. Efectos en el medio ambiente

La quema de neumáticos que no son reutilizados en el proceso de reencauche emiten ciertos contaminantes primarios y secundarios a la atmosfera producto de la combustión que se realiza, los principales elementos dañinos para el medio ambiente son el material particulado, el CO o

monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno o conocidos como NOx, Óxidos de azufre o SOx (Reisman J. y Pechan, 1997). Así también el humo negro proveniente de esta combustión influye en el efecto invernadero causado en el ecosistema, los HC o hidrocarburos aromáticos policíclicos, dioxinas, furanos, cromo, vanadio, mercurio, zinc, níquel, cadmio, arsénico, bifenilos policlorados, benceno y ácido clorhídrico son elementos que influyen y afectan en la salud de las personas (PNUMA, 2011).



Figura 1-1: Quema de llantas al aire libre
Fuente: (Tribuna de San Luis, 2019)

1.1.2. Efectos en la salud

Las emisiones que son producto de la combustión de neumáticos sin las debidas precauciones ocasionan graves problemas a la salud, los contaminantes mencionados anteriormente deben ser estudiados de manera más específica puesto que las personas que a las estén expuestas a este tipo de contaminación pueden “inducirles daños genéticos causando un incremento en la incidencia de enfermedades genéticas en las generaciones futuras y contribuir a enfermedades somáticas de células, inclusive cáncer, en la generación actual” (Reisman J. y Pechan, 1997).

1.2. Justificación

1.2.1. Justificación teórica

Según el ministerio de ministerio de industrias y Productividad en el Ecuador existen 12 empresas reencauchadoras con un total de 17 plantas a nivel nacional, las cuales operan a el 50% de su capacidad debido a que la mayoría del mercado nacional de carcasas no cumplen con las condiciones mínimas para ser reencauchadas y además que existe un desconocimiento del producto del reencauche por la poca cultura de reciclaje en el país (Producción, 2012).

De enero a octubre de 2019 se han importado 181.635 neumáticos para vehículos por USD 683.990, de los cuales 95,75% son chinos, según el Servicio Nacional de Aduana del Ecuador (Mercurio, 2019). Esto genera un descenso en la economía local debido a que las importaciones generan egresos para los usuarios, con el conocimiento de las propiedades del reencauche se podría generar empleos en el país con la producción local de esta tecnología y evitar la importación excesiva de neumáticos nuevos.

Los ensayos de un laboratorio de llantas proporcionan servicios a neumáticos reencauchados de tipo 2 y tipo 3, específicamente acudiendo a los lineamientos de un sistema gestionado que va acorde con las normativas NTE INEN y expuesto a mejoras continuas (Nacional, 2011).

1.2.2. Justificación metodológica

Para el desarrollo de la investigación planteada y a fin de lograr los objetivos establecidos está planificada la aplicación de los siguientes métodos de estudio.

Método Bibliográfico:

La primera fase de la investigación permitirá la orientación necesaria con el conocimiento acerca de la normativa y procesos de rencauche, así como también el tipo de ensayos que se van a realizar en el proceso.

Método Experimental:

Los ensayos que se han propuesto permitirán obtener los datos necesarios para el análisis del comportamiento y causas que puedan traer consigo los neumáticos reencauchados.

Método Aplicado:

Analizando los datos obtenidos para posteriormente implementar las conclusiones a los objetivos y problemas planteados.

1.2.3. Justificación practica

Con los resultados de los ensayos obtenidos se podrá determinar si el reencauche del neumático cumple o no con las exigencias de dicha normativa, y a su vez analizar ciertas variables de estudio con datos reales como tiempo de la prueba, velocidad y presión del neumático en el intervalo de tiempo descrito por la normativa, en caso de que el neumático no cumpla con pruebas realizadas se interpretara los resultados y el límite de falla al que está expuesto.

1.3. Alcance

El primer paso para realizar la investigación es adquirir un neumático reencauchado de tipo 3 con las características 215/75R17.5 que en su banda de rodadura se le haya implementado un reencauche no muy comercial en la empresa Cauchosierra S.A, posteriormente con la probeta de ensayos, se aplicaran las pruebas determinados en la norma NTE INEN 2016:2018 para neumáticos reencauchados en el laboratorio acreditado de llantas de la EPN.

Con dicho ensayo se pretende interpretar los resultados teniendo en cuenta la carga a la cual el neumático reencauchado está sometido y a la velocidad con la que este opera, así también determinar si el neumático cumple con los estándares de calidad establecidos por la normativa.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el desempeño de un neumático reencauchado tipo 3 mediante ensayos propuestos bajo la normativa NTE INEN 2616:2018 para verificar su resistencia a carga y velocidad.

1.4.2. Objetivos específicos

- Examinar el proceso de rencauche, características de los neumáticos y parámetros según la norma NTE INEN 2616:2018
- Identificar los parámetros expuestos en la normativa y equipos necesarios para verificar el desempeño de los neumáticos
- Desarrollar el ensayo a un neumático reencauchado tipo 3 en el laboratorio acreditado de la Escuela Politécnica Nacional
- Analizar los resultados de desempeño de los neumáticos y compararlo con la normativa

1.5. Marco teórico

1.5.1. Neumático

Neumático es el recubrimiento realizado a partir de caucho sometido a presión interior montada sobre el aro que forman un recinto estanco, utilizado en todo tipo de vehículos y maquinaria. Estos son de gran importancia en el comportamiento dinámico del vehículo y en sus prestaciones, todas

las resistencias exteriores que se ejercen sobre el vehículo son aplicadas mediante el neumático, con excepción de las aerodinámicas.



Figura 2-1: Neumático
Fuente: (Advanced Fleet, 2020)

1.5.2. Funciones del neumático

Las funciones principales de los neumáticos son: transmitir y soportar cargas, desplegar los esfuerzos de tipo longitudinal para los procesos de frenado y de tracción, proveer esfuerzos de tipo laterales para crear estabilidad y control en la trayectoria, además de actuar como amortiguador de las irregularidades originadas por la interacción dinámica del neumático con la pista (Aparicio, Vera y Díaz, 2001).

1.5.3. Compuesto de los neumáticos

“Los compuestos de los neumáticos son mezclas de caucho artificial y natural, combinados con otros compuestos químicos para llegar a propiedades específicas. Estos procesos termoplásticos son sometidos a un proceso de vulcanización, que los transforman en otros compuestos altamente elásticos, que se unen formando la estructura del neumático haciendo que este sea un conjunto integrado” (Aparicio, Vera y Díaz, 2001).

Los polímeros más usados en las mezclas para la fabricación de neumáticos son: Polibutadieno (PBD), estireno butadieno (SBR), caucho natural (NR), polisopreno (PI). Las características principales de estos polímeros son:

Tabla 1-1: Características de los polímeros para neumáticos

Características	PBD	SBR	NR/PI
Resistencia a la rodadura	Baja	Media	Alta
Temperatura de rodadura	Baja	Alta	Baja

Resistencia al desgaste	Excelente	Buena	Pobre
Resistencia al calor y envejecimiento	Buena	Aceptable	Pobre

Fuente: (Aparicio, Vera y Díaz, 2001)

Realizado por: (Aparicio, Vera y Díaz, 2001)

En la figura 2-2 se muestra la distribución de los compuestos en los neumáticos los cuales hacen que un neumático posea diferentes características.

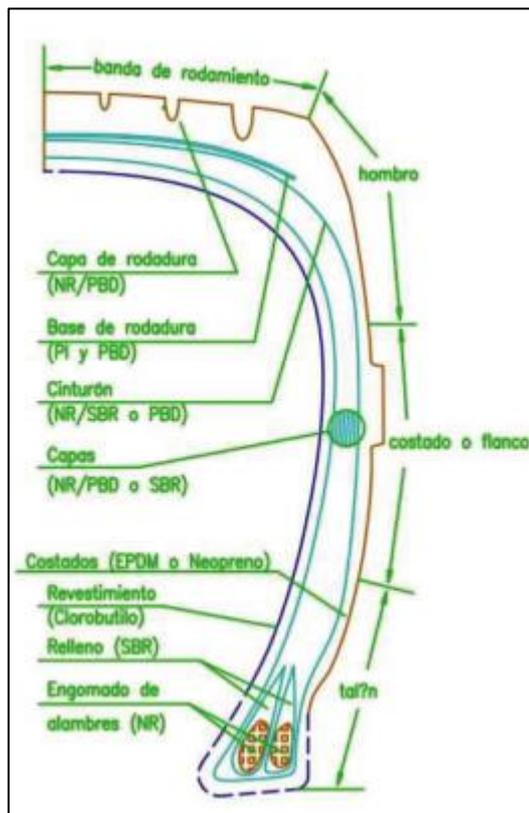


Figura 3-1: Distribución de compuestos

Fuente: (Aparicio, Vera y Díaz, 2001)

El caucho natural es un hidrocarburo obtenido a partir de ciertos árboles que dejan salir una sustancia llamada “látex” cuando se realiza un profundo corte en su corteza. Las propiedades del caucho natural son: Alta resistencia a la tracción, lo que significa que su capacidad para estirarse y luego volver a su forma original es muy alta, resistente todo tipo de desgaste como por corte, rasgado y astillado, moderada resistencia al daño por calor y luz, se degrada rápidamente, especialmente bajo condiciones extremas, composición única, este material no es permisible a variaciones ya que siempre se procesa de la misma forma, dando como respuesta un producto universal (ROSARIO BURLETES Industria del Caucho, 2019).

El caucho sintético es un producto producido a partir de materiales derivados del petróleo. Las propiedades de este caucho son: Gran resistencia a la abrasión, alta resistencia al calor, flexibilidad a temperaturas bajas, su obtención es más sencilla, rinde bien en ambientes y temperaturas extremas, no se altera fácilmente al tener contacto con otros materiales (ROSARIO BURLETES Industria del Caucho, 2019).

El caucho estireno-butadieno es actualmente el caucho sintético más utilizado en la industria minera o entornos industriales debido a que presentan alta resistencia mecánica, altos grados de desgaste y garantizan una vida útil larga siendo posible obtener su máximo rendimiento (Aislamiento y estanqueidad Erica S.L., 2016).

El polibutadieno (PBD) es un caucho sintético muy parecido al caucho natural que se forma a partir del proceso de polimerización del manómetro 1,3-butadieno. Este material posee una alta resistencia a la abrasión, flexibilidad alta, resistencia al envejecimiento y gran resistencia a bajas temperaturas (Tecnología de los Plásticos, 2011).

1.5.4. Partes de los neumáticos

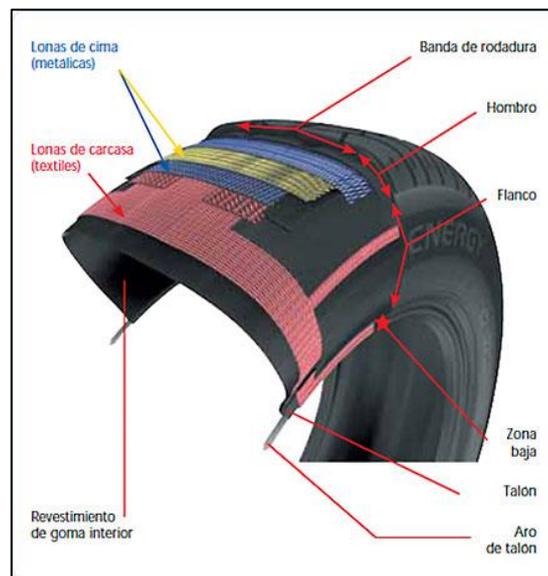


Figura 4-1: Partes del neumático

Fuente: (Euromaster, 2017)

- **Flanco.** Su construcción es en goma flexible con el fin de que se pueda adaptar a todas las deformaciones que el neumático sufre en fase de rodadura, además protege al neumático de golpes laterales.

- **Hombro.** El hombro es una goma mucho más gruesa, debido a que esta soporta todo tipo de golpes y esfuerzos, este además es el encargado de distribuir el calor producido por el neumático durante su movimiento.
- **Lonas de carcasa.** Son fibras textiles en forma de cables dispuestos en arcos con ángulos rectos y pegados al caucho de las cubiertas. Estas lonas permiten que el neumático resista la presión.
- **Lonas de cima.** Estas lonas están constituidas cables muy finos y resistentes de acero pegados unos con otros en forma cruzada oblicuamente de manera que generen triángulos indeformables. Esta estructura garantiza que el neumático tendrá robustez y flexibilidad al mismo tiempo.
- **Talón.** Es la parte que se acopla al aro y se encuentra al interior del neumático, está compuesto por cable trenzado y circular de alambres de acero, siendo esta parte la encargada de que el neumáticos y el aro se acoplen y eviten que se patinen entre ellos.
- **Revestimiento de goma interior.** Esta parte tiene como función retener el aire del neumático, esta es la capa más interna y está constituida por goma

1.5.5. Banda de rodadura

Este es el elemento encargado de dar contacto directo entre la superficie y el vehículo, esta banda está constituida por una mezcla de gomas que son caucho natural, caucho sintético, adición de hollín, además de sílice o elastómero.

La banda de rodadura es parte del neumático que más influye en el rendimiento del mismo, debido a que esta es la responsable de garantizar: asegurar buena maniobrabilidad, adherencia en superficies mojadas, brindar seguridad en el trazado de curvas, reducir la resistencia a la rodadura.



Figura 5-1: Banda de rodadura
Fuente: (AVONTYRES, 2019)

1.5.5.1. Partes de la banda de rodadura

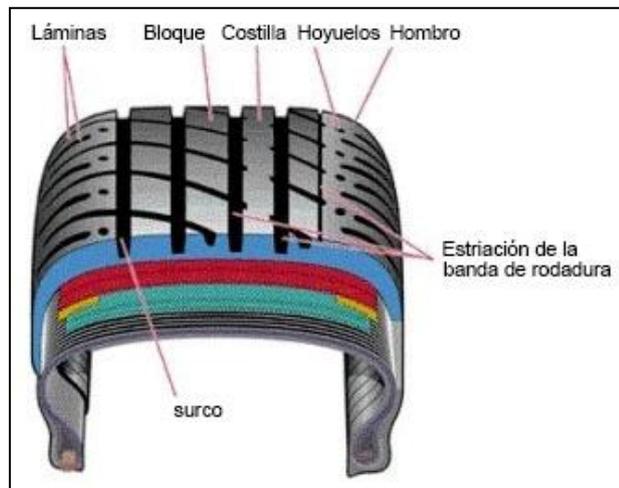


Figura 6-1: Partes de la banda de rodadura

Fuente: (Oponeo, 2019)

- **Bloque.** Esta parte tiene como función primordial asegurar una buena tracción del neumático, y pueden tener diferentes formas y construcción.
- **Costilla.** Esta parte se encuentra en el perímetro del neumático y puede adquirir diferentes formas en función del modelo y sus aplicaciones
- **Laminas.** Las láminas se encuentran dentro del bloque de rodadura y son espacios que se crean para evitar que los neumáticos se deslicen sobre superficies mojadas, haciendo que se mejore la eficiencia al momento del frenado
- **Surcos.** Al igual que las láminas los surcos son espacios que se crean en el bloque de rodadura, son los encargados de mejorar la maniobrabilidad y distancias de frenado más eficientes, además estos pueden adquirir diferentes tamaños y formas. Las formas de estos dependerán de las aplicaciones del neumático
- **Hoyos.** La función de los hoyos en los neumáticos es reducir la temperatura del mismo y estos solo aparecen en ciertos neumáticos

1.5.5.2. Tipos de bandas de rodadura

- **Banda de rodadura asimétrica**

“La banda de rodadura de patrón asimétrico es diferente en los dos lados del neumático. En la parte exterior estos poseen unos bloques mayores, responsables de la estabilidad de la conducción. Los bloques pequeños de la parte interior son los encargados de dispersar el agua” (Oponeo, 2019).

La ventaja de este tipo de banda de rodadura es que posee una superficie del neumático con la carretera muy alto, ofreciendo una mayor adherencia. Su principal uso es en vehículos deportivos y en modelos de vehículos de clase alta.



Figura 7-1: Rodadura asimétrica
Fuente: (Oponeo, 2019)

- **Banda de rodadura direccional**

“La parte central de la banda de rodadura consta de surcos transversales simétricos y con el mismo ángulo desde el centro hacia fuera por los dos lados del neumático. La escultura tiene la forma de un árbol de Navidad o se parece a la letra V” (Oponeo, 2019).

La banda de rodadura direccional tiene como ventaja unas excelentes propiedades de tracción, buena estabilidad sobre pavimento mojado, eficiencia en el frenado, índice de velocidad elevado para circulación rápida.



Figura 8-1: Rodadura direccional
Fuente: (Oponeo, 2019)

- **Banda de rodadura de bloques**

Esta clase de banda de rodadura se compone por bloques libres con ranuras que los conectan entre sí, este tipo de banda de rodadura da una buena maniobrabilidad y seguridad en superficies mojadas o con nieve gracias a su excelente evacuación del agua. Esta banda de rodadura se utiliza en vehículos que circulan en vías urbanas y en autopistas.



Figura 9-1: Rodadura de bloques
Fuente: (Oponeo, 2019)

- **Banda de rodadura mixta**

“La banda de rodadura de rodadura mixta conocida también como patrón mixto o patrón de costillas-repetitivo es la combinación de dos patrones con ranuras perpendiculares y paralelas al eje de calzada. Estos neumáticos son comunes de usar en las ruedas motrices y direccionales de buses y camiones” (Oponeo, 2019).

Las bandas de rodadura garantiza un buen control de la dirección y las ranuras transversales en el hombro del neumático aseguran buena tracción al momento de acelerar y al frenar.



Figura 10-1: Rodadura mixta
Fuente: (Oponeo, 2019)

- **Banda de rodadura repetitiva**

En este tipo de banda de rodadura se encuentran surcos en dirección perpendicular al eje de conducción, su aplicación se da en las llantas motrices de autobuses y camiones (Oponeo, 2019). Estos neumáticos poseen una buena adherencia al frenar y acelerar, además de propiedades de tracción casi perfectas.



Figura 11-1: Rodadura repetitivo
Fuente: (Oponeo, 2019)

- **Banda de rodadura de costillas**

Esta banda de rodadura posee surcos paralelos al eje de conducción, con forma de “S”. Estos neumáticos son comúnmente usados en los ejes direccionales de buses y camiones. Esta banda de rodadura ofrece una baja resistencia a la rodadura, excelente adherencia lateral que se traduce en buena estabilidad de dirección. Gracias a su modelo estos neumáticos están diseñados para un funcionamiento óptimo en largas distancias y a altas velocidades.



Figura 12-1: Rodadura de costillas
Fuente: (Oponeo, 2019)

1.5.6. Tipos de neumáticos

1.5.6.1. Neumáticos convencionales

Estos neumáticos poseen una construcción diagonal, esto se consigue por medio de la colocación de capas de tal manera que las cuerdas de todas las capas queden orientadas con ángulos menores a los 90° en relación a la línea de centro del neumático.

La estructura diagonal posibilita que el neumático ofrezca propiedades de dureza y seguridad que posibilitan el soporte de la carga del automóvil. La desventaja de esta forma es que al tener mucha dureza este no se puede ajustar al lugar por donde se mueve lo que provoca un menor agarre y menor estabilidad en curvas.

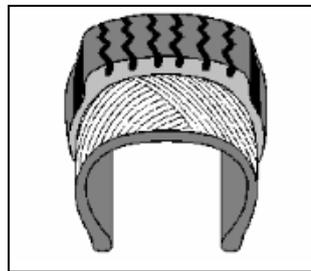


Figura 13-1: Neumático diagonal
Fuente: (Dirección de Transporte Conae, 2000)

1.5.6.2. Neumáticos radiales

En el tipo de neumáticos radiales las cuerdas de las capas que van de ceja a ceja formando ángulos de 90° estas cuerdas son las encargadas de soportar la carga, además en el área de rodamiento se montan capas estabilizadoras. Sus cuerdas corren en sentido diagonal y son ellas las que soportan la carga y mantienen la estabilidad del neumático (Dirección de Transporte Conae, 2000).



Figura 14-1: Neumático radial
Fuente: (Dirección de Transporte Conae, 2000)

1.5.7. Reencauche de neumáticos

“El reencauche de neumáticos es un proceso que se ha incrementado en muchos países del mundo debido a que se puede obtener un mayor tiempo de duración a los neumáticos, con tan solo poner un nuevo modelo de banda de rodadura. Este proceso permite recuperar la carcasa de neumáticos gastados y a través de procesos técnicos se le adhiere una nueva banda de rodadura con características similares a las del neumático original. Gracias a este proceso se puede ayudar a la reducción de contaminantes por desechos de neumáticos usados y reducir los costos de adquirir neumáticos nuevos” (Nuñez y Sanchez, 2017).

Este proceso inicia con el ingreso de los neumáticos donde se incluye el lugar y la fecha de la recepción, serie, medidas, marca, y datos personales del cliente, esto tiene como finalidad identificar el neumático durante todo el proceso y así contribuir con la información de la planta que brinda este servicio, a su vez tomar en cuenta el tipo de labrado que tendrá el neumático y diseños aplicados (AARÓN ORQUEDA, 2015).



Figura 15-1: Reencauche de neumáticos
Fuente: (Ecuaneumáticos, 2019)

1.5.7.1. Tipos de reencauche

- **Reencauche en frío**

En el reencauche de neumáticos en frío o más conocido como el proceso de precurado se aplica una banda que ya posee el diseño del labrado (El Tiempo, 1996). “En la carcasa del neumático se instala una banda de rodadura pre-curada además de un cojín sin curar. El neumático así preparado se vulcaniza en autoclave a una temperatura aproximada de 98°C y a una presión de 120 psi” (Gavilanes Triviño, 2013).

- **Reencauche en caliente**

En este proceso el diseño del labrado se obtiene una vez que la banda de rodadura haya sido aplicada, este proceso es factible gracias a un molde que se encarga de realizar el grabado (El Tiempo, 1996). Para realizar este tipo de reactivación primero se debe eliminar la banda por medio de la técnica conocida como raspado, posteriormente vulcanizarlo con el molde deseado a una temperatura que oscila entre los 155 y 165 grados Celsius (Gavilanes Triviño, 2013).

1.5.7.2. Proceso de reencauche

- **Limpieza:** En este proceso se extraen todas las imperfecciones de la carcasa específicamente del flanco, esto ayuda a reducir la contaminación en las etapas posteriores (AUTOSDEPRIMERA, 2017).
- **Inspección inicial:** Se cumple con una revisión minuciosa a la carcasa para garantizar que en el proceso no se presente un debilitamiento o a su vez después del reencauche (AUTOSDEPRIMERA, 2017).
- **Raspado:** Quitar la banda de rodamiento acabada teniendo en cuenta los perfiles y contornos establecidos por el manual de fabricación, con esto se obtendrá una mejor geometría y precisión en la superficie (AUTOSDEPRIMERA, 2017).
- **Gratado:** En el proceso se eliminan las partes del neumático que se han deteriorado con su uso, esto se realiza únicamente en las partes que se pueden retirar sin alterar la resistencia y calidad del mismo, en este lapso el neumático debe quedar listo para la colocación de la nueva banda (AUTOSDEPRIMERA, 2017).
- **Cementado:** Se aplica un compuesto de caucho a la carcasa para fijar los productos que se colocaran posteriormente (AUTOSDEPRIMERA, 2017).
- **Reparación y relleno:** En este punto se reconstruyen los perfiles de la carcasa donde fueron gratados con parches y goma especial (AUTOSDEPRIMERA, 2017).
- **Preparación de embandado:** Se procede a cortar la banda de rodadura con la longitud especificada en el manual (AUTOSDEPRIMERA, 2017).
- **Embandado:** Para este proceso se utilizan herramientas tecnológicas para que la colocación de la banda sea exacta y garantizar que este centrado definitivamente para su posterior desempeño (AUTOSDEPRIMERA, 2017).
- **Vulcanización:** En este punto los productos crudos, la banda y la carcasa se unen definitivamente, los parámetros que se deben controlar hacen referencia a la presión y temperatura (AUTOSDEPRIMERA, 2017).

- **Inspección Final:** Por último la inspección se la realiza de manera visual, haciendo una revisión minuciosa del neumático para verificar que el proceso se ha realizado correctamente y cumple con las normas de calidad fijadas por la empresa (AUTOSDEPRIMERA, 2017).

1.5.8. Características dinámicas de los neumáticos

En los neumáticos actúan fuerzas de tipo normal y tangencial debido a la interacción que existe entre el neumático y la superficie de rodadura, además estas fuerzas originan momentos respecto a los ejes tanto del vehículo como del neumático.

1.5.8.1. Fuerzas y momentos que actúan sobre los neumáticos

La sociedad de ingenieros automotrices (SAE) recomienda usar el sistema de referencia de la figura 16-1 que muestra las fuerzas y los momentos que se producen en un neumático debido al contacto entre el suelo por donde se mueve y el neumático.

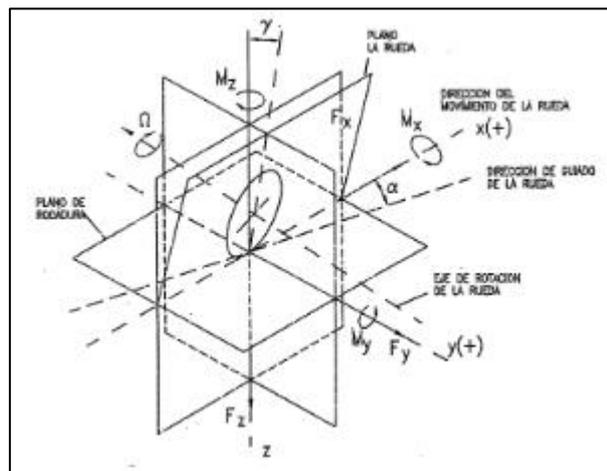


Figura 16-1: Sistema de referencia SAE para neumáticos

Fuente: (Aparicio, Vera y Díaz, 2001)

Para el sistema de referencia recomendado por la SAE se tiene 3 ejes de coordenadas, teniendo como origen el punto de contacto entre el suelo y el neumático. Estos ejes del sistema de referencia se describen de la siguiente manera:

- Eje X. Es la intersección del plano de la superficie de rodadura y el plano medio de la rueda. El avance del vehículo coincide con el sentido positivo del eje.
- Eje Z. Su sentido positivo coincide con el de penetración del suelo y es perpendicular al plano de la superficie de rodadura.

- Eje Y. Es la formación de un sistema ortogonal orientado a derechas formado por la perpendicular entre los ejes Z y X

En la figura 16-1 también se puede evidenciar la existencia de 3 momentos y 3 fuerzas que se producen en el movimiento del neumático, estos son:

- Fuerza longitudinal (F_x). Esta fuerza es la generada por el frenado o la tracción en el movimiento del vehículo
- Fuerza lateral (F_y). Esta fuerza puede ser positiva o negativa y va a depender de la aceleración lateral en curvas. Cuando el giro se produce hacia la derecha la fuerza será positiva y cuando el giro se produce hacia la izquierda la fuerza será negativa.
- Fuerza normal (F_z). Esta fuerza se produce debido al peso del vehículo que se distribuye a todas las ruedas y se genera de forma vertical
- Momento de vuelco (M_x). Es el momento que produce el suelo hacia el neumático.
- Momento de cabeceo (M_y). Este momento se produce por la oposición que tiene la rodadura del neumático con el suelo por donde se desplaza
- Momento de giro (M_z). Luego de una maniobra de giro este momento hace posible que el neumático vuelva a su posición recta

Debido a la relación del neumático con el suelo y para su adecuado comportamiento dinámico es de enorme trascendencia 2 ángulos los cuales son:

- Angulo de caída (γ). Es el ángulo compuesto por el plano de la rueda y el plano X-Z.
- Angulo de deriva (α). Es el ángulo que forma la línea de intersección del plano de la rueda con el área de rodadura y la dirección de movimiento del centro del área de contacto

La huella de contacto se genera gracias a 2 factores que son la flexibilidad del neumático y la existencia de la fuerza normal del peso del mismo automóvil. Esta huella de contacto genera que se distribuyan las tensiones cortantes de la interface y al mismo tiempo se distribuyen presiones normales en la superficie debido a la adherencia del neumático con la calzada. Los momentos respecto a los ejes anteriormente mencionados se producen debido a la distribución no homogénea de presiones haciendo que las fuerzas resultantes no tengan un punto de aplicación en el centro de la huella de contacto.

“En la figura 17-1 se observa cada una de las fuerzas que se ejercen en los neumáticos, estas fuerzas dependen de algunos factores como la velocidad, las cargas, la presión con la que esta inflado, entre otros. Las fuerzas dinámicas así como también las fuerzas producidas por el peso,

son transmitidas a través de la huella de contacto hacia la superficie de rodadura. En esta se produce una presión variable” (Nuñez y Sanchez, 2017).

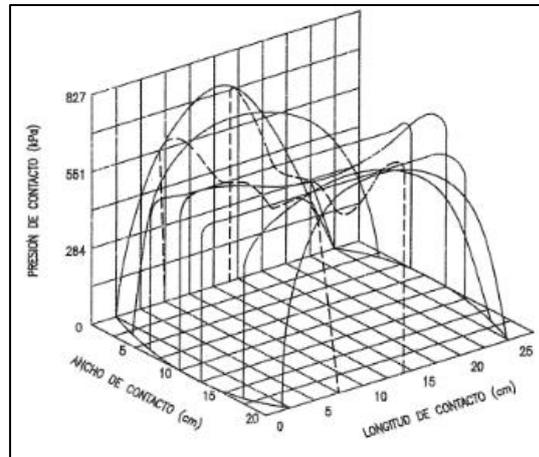


Figura 17-1: Distribución de presiones en el neumático
Fuente: (Aparicio, Vera y Díaz, 2001)

En los neumáticos radiales la presión se distribuye de manera más uniforme debido a que estos poseen una banda de rodadura más consistente y la alta flexibilidad en los costados de este. La presión interna de inflado del neumático y la carcasa son los encargados de soportar las cargas laterales que se producen en el neumático.

La resultante de las fuerzas normales, que se consideran como radiales produce la deformación radial del neumático. La carga a la que el neumático es sometido será la encargada de que esta deformación radial aumente o disminuya.

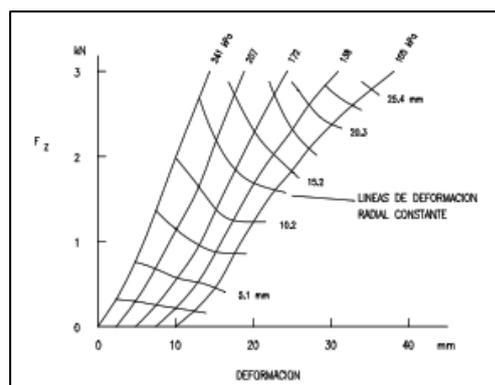


Figura 18-1: Deformación en función de la carga
Fuente: (Mecanica, 2005)

1.5.8.2. Ángulo de deriva (α) y fuerza lateral (F_y)

El neumático es como un resorte que se encarga de transmitir la fuerza del aro al suelo, por lo tanto este está sometido a deformaciones que cambian su estructura en dependencia de las fuerzas que se le aplica. Cuando el vehículo toma una curva presenta una flexión lateral que se convierte en un ángulo de deriva

En la figura 19-1 se muestra este ángulo y su forma exagerada es para su simple representación. El ángulo está compuesto por la dirección en que apunta la rueda y la dirección en la que realmente se está desplazando se conoce como ángulo de deriva.

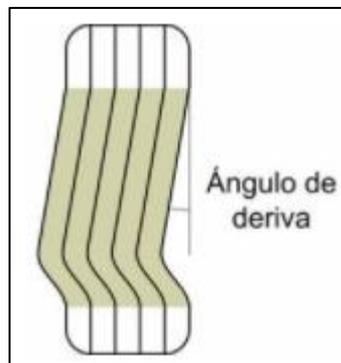


Figura 19-1: Ángulo de deriva
Fuente: (km77, 2005)

“El ángulo de deriva se genera en las ruedas direccionales cuando se gira el volante para tomar una curva. Cuando se tiene un ángulo mayor se provoca una fuerza lateral superior, debido que una mayor flexión requiere una mayor fuerza. Las ruedas posteriores también generan un ángulo de deriva a pesar de que no posee un sistema de dirección y que apunten aproximadamente siempre a la misma dirección” (Nuñez y Sanchez, 2017).

El ángulo de deriva se forma en 3 diferentes etapas. En la primera fase la interacción entre la deriva y la fuerza lateral es aproximadamente lineal, en este periodo el neumático posee un perfecto contacto y por lo tanto adherencia al suelo. En la segunda etapa se desarrolla una mayor fuerza lateral alcanzando el límite de adherencia del neumático con el suelo haciendo que se empiece a deslizar. En la tercera etapa la huella se encuentra completamente saturada haciendo que el neumático no pueda generar más fuerza lateral y genere un deslizamiento inminente.

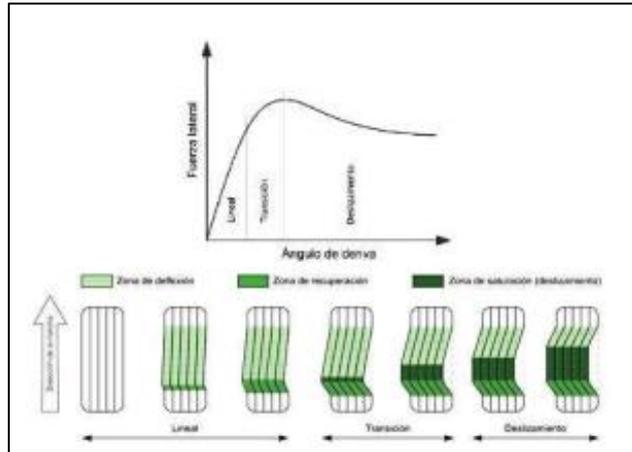


Figura 20-1: Fases del ángulo de deriva
Fuente: (km77, 2005)

1.5.8.3. Fuerza longitudinal

El ángulo de deriva y los esfuerzos longitudinales generados por el grado de deslizamiento hacen que un neumático se deforme por fuerzas laterales. Estas deformaciones se pueden ejemplificar pintando una serie de radios en el flanco del neumático como se muestra en la figura 21-1.

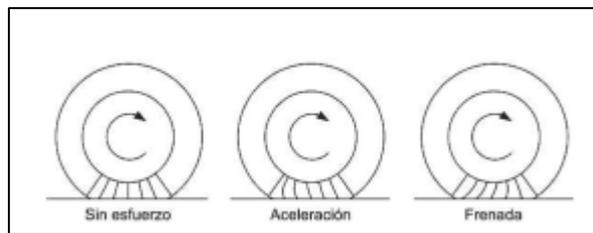


Figura 21-1: Fuerzas longitudinales
Fuente: (km77, 2005)

Cuando el motor y los frenos no transmiten ninguna fuerza a los neumáticos se quitan los efectos de la resistencia a la rodadura por tanto no existirá fuerzas que deformen el neumático tangencialmente y los radios mantendrán una posición perfectamente radial (Figura 21-1, Sin esfuerzo).

Cuando se acelera (Figura 21-1, Aceleración), la potencia del motor es transmitido a las llantas, haciendo que los radios del neumático se muevan en sentido horario intentando que gire más rápido. El efecto se produce en el caso de una frenada (Figura 21-1, frenada) pero los radios giran en sentido antihorario para hacer que se reduzca la velocidad.

La fuerza longitudinal en aceleración o frenada transferida por el neumático varía en función del medio por donde este se mueve o deslizamiento, en la figura 22-1 se presenta de forma

esquemática la fuerza longitudinal en función del deslizamiento. Para el frenado las fuerzas son equivalentes, pero en sentido contrario.

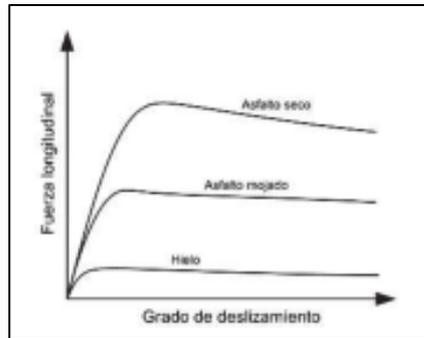


Figura 22-1: Relación fuerza-deslizamiento
Fuente: (km77, 2005)

1.5.8.4. Fuerza normal (F_z)

La carga normal que afecta a un neumático afecta de manera importante a la deriva del mismo. En el análisis de la estabilidad y control de la trayectoria de un automóvil, es considerado el parámetro de mayor trascendencia si se tiene en cuenta el impacto de la carga de unas ruedas a otras, durante la circulación en curvas o en otras acciones laterales como en aceleración y frenado (Nuñez y Sanchez, 2017).

La disminución de la distancia desde el eje de la rueda hasta su superficie de apoyo se expresa como la deformación del neumático. Una carga G_r aplicada en la rueda hace que el radio libre r_0 , produzca una deformación h .

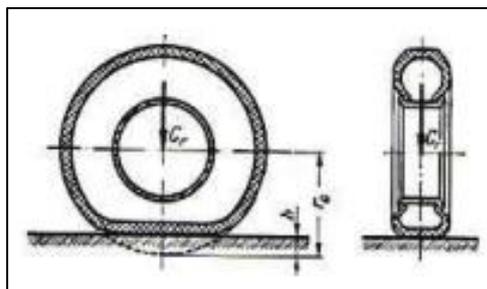


Figura 23-1: Deformación por carga normal
Fuente: (km77, 2005)

Para el análisis de la deformación de un neumático por efecto de carga normal se usa la siguiente ecuación:

$$\lambda_n = \frac{G_r}{h}$$

Donde λ_n es el coeficiente de rigidez del neumático en dirección normal y su unidad es kgf/mm, este es uno de los parámetros más importantes del neumático (Nuñez y Sanchez, 2017).

El valor del coeficiente de rigidez depende de la presión del aire del neumático, mientras menos presión existe dentro del neumático mayor será la deformación y menor el coeficiente λ_n , además este depende de las dimensiones, su estructura y los materiales empleados, cuanto más rígida es la capa exterior mayor será el valor de λ_n (Nuñez y Sanchez, 2017).

1.5.8.5. Resistencia a la rodadura

Una deformación radial se origina debido a una distribución asimétrica respecto al eje Y provocado por una carga vertical cuando el neumático se mueve sobre un piso duro.

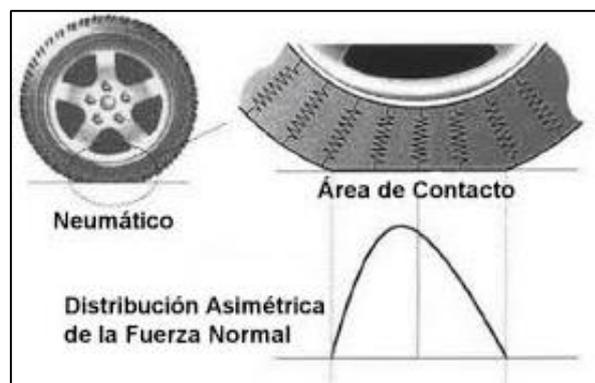


Figura 24-1: Distribución asimétrica de cargas verticales
Fuente: (Di Rado, Presta y Devincenzi, 2013)

La distribución asimétrica de las cargas verticales debido a la presión del contacto neumático-suelo, causan que la resultante de todas las fuerzas que forman esta distribución, se sitúen en una distancia Δ_x del eje de la rueda, que provoca un momento M_y alrededor del eje de rotación que se opone al giro y al desplazamiento del vehículo. A este momento M_y se lo llama momento de resistencia a la rodadura (Nuñez y Sanchez, 2017).

La condición de equilibrio en dirección longitudinal impone la existencia de una fuerza igual y contraria aplicada en la zona de contacto neumático suelo; esta fuerza horizontal resultante es conocida como resistencia a la rodadura (R_r) y la relación entre esta fuerza y la carga normal a la superficie de rodadura (P) aplicada a la rueda, se denomina coeficiente de resistencia a la rodadura (f_r) (Nuñez y Sanchez, 2017).

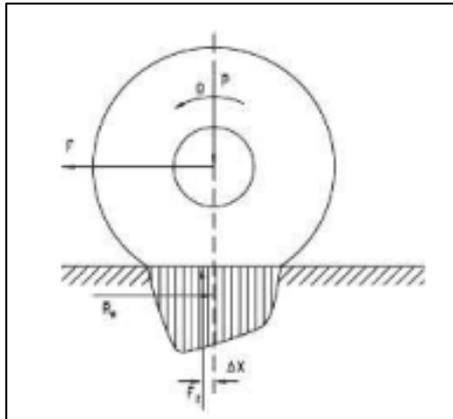


Figura 25-1: Distribución asimétrica de cargas verticales
Fuente: (Aparicio, Vera y Díaz, 2001)

La ecuación de este fenómeno se expresa de la siguiente manera:

$$f_r = \frac{R_r}{P}$$

El coeficiente de resistencia a la rodadura varía en dependencia del tipo de neumático y la velocidad con la que se encuentra circulando, como se observa en la figura 26-1.

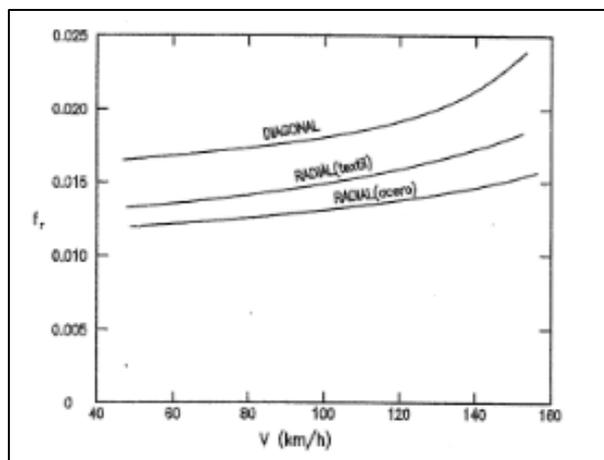


Figura 26-1: f_r en función de la velocidad
Fuente: (Aparicio, Vera y Díaz, 2001)

El coeficiente de resistencia a la rodadura también puede cambiar en función del terreno por donde el vehículo transita además del diámetro de la llanta, como se observa en la figura 27-1.

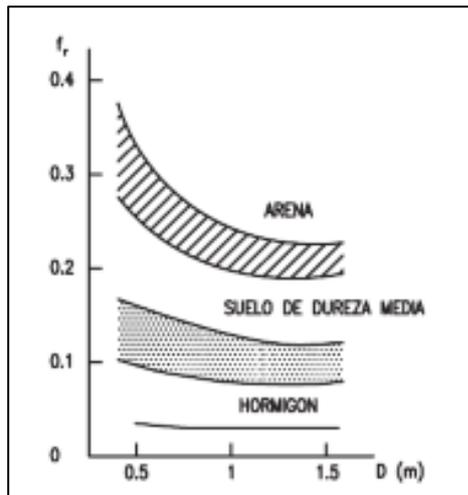


Figura 27-1: f_r en función del suelo y el diámetro
Fuente: (Aparicio, Vera y Díaz, 2001)

1.5.9. Rango de desgaste (treadwear)

Los grados de desgaste (treadwear) establecido por la UTQG de la banda de rodadura se fundamentan en la utilización de una vía real, en el cual el neumático de prueba se realiza en un convoy de vehículos junto con los neumáticos de control del curso estandarizados. El automóvil funciona repetidamente en un bucle de pruebas predeterminado de 400 millas (644 km) al oeste de Texas, con un total de 7200 millas (11587 km). El vehículo debe estar alineado, con la presión de aire verificada y una rotación de llantas cada 800 millas (1287km). Se mide el desgaste del neumático de prueba y de los neumáticos de control, a lo largo de la prueba y finalmente de la misma. Los fabricantes de neumáticos a continuación le asignan un nivel de treadwear en función de los porcentajes de desgaste observados. Al neumático de control se le asigna un nivel y el neumático de ensayo obtiene una calificación que sugiere su desgaste relativo. Un nivel treadwear de 100 sugiere que la banda de rodadura de un neumático durará lo mismo que el neumático de prueba, por lo tanto si se tiene un treadwear de 200 o 300, indican que la llanta podría durar por lo menos el doble o el triple de tiempo, que el neumático de prueba (Nuñez y Sanchez, 2017).

El desgaste treadwear es una durabilidad media de la banda de rodadura, la cual ha sido definifa en condiciones controladas en una pista de pruebas definida por el departamento de transporte estadounidense. El valor numérico que se recibe es un nivel que sugiere la duración de la banda de rodadura de un neumático comparada con una referencia estandar de 100 del neumático de prueba. A medida que el nivel de treadwear (desgaste) es más grande la vida útil del neumático va a ser más grande y viceversa. Debido a que esas pruebas se las hace en condiciones controladas el desgaste real o el rendimiento del neumático puede variar según los hábitos de conducción, las propiedades de la carretera, el clima, entre otras.



Figura 28-1: Factor de desgaste Treadwear
Fuente: (SEBASTIÁN MUÑOZ, 2017)

1.5.9.1. Relación con el coeficiente de desgaste

El coeficiente de fricción medio de un neumático se relaciona con el nivel de desgaste treadwear por medio de la siguiente relación:

$$\mu = \frac{2.25}{TW^{0.15}}$$

Una calificación de treadwear inferior indica un coeficiente de fricción más alto, por lo tanto proporciona una distancia de frenado más corta. En un neumático blando y superblando el material se desvanece más rápido para proporcionar dicho rendimiento. Los neumáticos señalados tienen un grado de treadwear extremadamente bajo o a veces incluso cero, el cual viene marcado por parte del fabricante y estos se utilizan en los vehículos de carreras (Nuñez y Sanchez, 2017).

1.6. Normativa ecuatoriana para neumáticos reencauchados

1.6.1. Normativa NTE INEN 2096

Esta normativa define términos relacionados a los neumáticos y su clasificación.

1.6.1.1. Clasificación de los neumáticos por su servicio

La categorización de los neumáticos por su uso es una categorización en dependencia del uso que se le da al neumático en el sector automotriz y los vehículos que los usan. En la tabla 2-1 se enumera los 4 tipos de neumáticos en detalle.

Tabla 2-1: Clasificación de los neumáticos por su servicio

Tipo	Servicio	Descripción	Características
I	Bicicletas Motocicletas Motonetas Cuadrones (All terrain vehicle, ATV)	Neumáticos con aro de diámetro nominal mayor o igual a 178 mm (aro 7)	Convencionales y radiales
II	Vehículos de pasajeros Vehículos comerciales: Camioneta Utilitarios Camiones livianos (Light Truck, LT)	Neumáticos para vehículos SUV (sport utility vehicle), station wagon, furgoneta (VAN), deportivos	Convencionales y radiales
III	Vehículos de actividades comerciales, de transporte y carga	Camiones, autobuses, remolques, tráileres y otros vehículos para carga pesada	Convencionales y radiales
IV	Vehículos para fuera de carretera	Neumáticos para vehículos de: - minería, maderas y movimiento de tierra, camineros, fuera de carretera (OTR) - motoniveladora (máximo 40 km/h) - grúas móviles (máximo 10 km/h) - equipo liviano - montacargas y elevadores - tractores industriales - agrícolas, forestales	Convencionales, radiales y sólidas

Fuente: (INEN, 2015)

Realizado por: (INEN, 2015)

*1.6.1.2. Capacidad de carga en letras y en números***Tabla 3-1:** Capacidad de carga en letras y en números

Capacidad de carga en letras	Capacidad de carga en números
A	2
B	4
C	6
D	8
E	10
F	12
G	14
H	16
J	18
L	20
M	22
N	24

Fuente: (INEN, 2015)

Realizado por: (INEN, 2015)

1.6.1.3. Índices de carga

Tabla 4-1: Índices de carga

IC	Kg	IC	Kg	IC	Kg	IC	Kg	IC	Kg	IC	Kg
0	45	40	140	80	450	120	1400	160	4500	200	14 000
1	46,2	41	145	81	462	121	1450	161	4625	201	14 500
2	47,5	42	150	82	475	122	1500	162	4750	202	15 000
3	48,7	43	155	83	487	123	1550	163	4875	203	15 500
4	50	44	160	84	500	124	1600	164	5000	204	16 000
5	51,5	45	165	85	515	125	1650	165	5150	205	16 500
6	53	46	170	86	530	126	1700	166	5300	206	17 000
7	54,5	47	175	87	545	127	1750	167	5450	207	17 500
8	56	48	180	88	560	128	1800	168	5600	208	18 000
9	58	49	185	89	580	129	1850	169	5800	209	18 500
10	60	50	190	90	600	130	1900	170	6000	210	19 000
11	61,5	51	195	91	615	131	1950	171	6150	211	19 500
12	63	52	200	92	630	132	2000	172	6300	212	20 000
13	65	53	206	93	650	133	2060	173	6500	213	20 600
14	67	54	212	94	670	134	2120	174	6700	214	21 200
15	68	55	218	95	690	135	2180	175	6900	215	21 800
16	71	56	224	96	710	136	2240	176	7100	216	22 400
17	73	57	230	97	730	137	2300	177	7300	217	23 000
18	75	58	236	98	750	138	2360	178	7500	218	23 600
19	77,5	59	243	99	775	139	2430	179	7750	219	24 300
20	80	60	250	100	800	140	2500	180	8000	220	25 000
21	82,5	61	257	101	825	141	2575	181	8250	221	25 750
22	85	62	265	102	850	142	2650	182	8500	222	26 500
23	87,5	63	272	103	875	143	2725	183	8750	223	27 250
24	90	64	280	104	900	144	2800	184	9000	224	28 000
25	92,5	65	290	105	925	145	2900	185	9250	225	29 000
26	95	66	300	106	950	146	3000	186	9500	226	30 000
27	97,5	67	307	107	975	147	3075	187	9750	227	30 750
28	100	68	315	108	1000	148	3150	188	10 000	228	31 500
29	103	69	325	109	1030	149	3250	189	10 300	229	32 500
30	106	70	335	110	1060	150	3350	190	10 600	230	33 500
31	109	71	345	111	1090	151	3450	191	10 900	231	34 500
32	112	72	355	112	1120	152	3550	192	11 200	232	35 500
33	115	73	365	113	1150	153	3650	193	11 500	233	36 500
34	118	74	375	114	1180	154	3750	194	11 800	234	37 500
35	121	75	387	115	1215	155	3875	195	12 150	235	38 750
36	125	76	400	116	1250	156	4000	196	12 500	236	40 000
37	128	77	412	117	1285	157	4125	197	12 850	237	41 250
38	132	78	425	118	1320	158	4250	198	13 200	238	42 500
39	136	79	437	119	1360	159	4375	199	13 600	239	43 750

Fuente: (INEN, 2015)

Realizado por: (INEN, 2015)

1.6.1.4. Índice de velocidad

Tabla 5-1: Índices de velocidad

Símbolo de velocidad	Velocidad máxima
A1	5
A2	10
A3	15

A4	20
A5	25
A6	30
A7	35
A8	40
B	50
C	60
D	65
E	70
F	80
G	90
J	100
K	110
L	120
M	130
N	140
P	150
Q	160
R	170
S	180
T	190
U	200
H	210
V	240
W	270
Y	300
Z	> 240

Fuente: (INEN, 2015)

Realizado por: (INEN, 2015)

1.6.2. Normativa NTE INEN 2616

Esta norma establece los métodos de ensayo para los neumáticos reencauchados tipos II y III clasificados según la normativa INEN 2096

1.6.2.1. Preparación del neumático para ensayo de aguante de carga y velocidad

- a. Instalar el neumático reencauchado en el aro de prueba especificado por el fabricante del neumático.
- b. Cuando los neumáticos utilicen cámara de aire o tubo se debe usar una cámara de aire nueva o utilizar una combinación de tubo válvula y protector según sea conveniente. Los neumáticos sin tubo deben ensayarse sin tubo y en el aro apropiado.
- c. Infle el neumático a una presión que sea igual a su índice de presión
- d. Antes de la prueba, ajuste el conjunto de neumático-aro a la temperatura del lugar de prueba durante al menos 3 horas.
- e. De ser necesario vuelva a ajustar la presión del neumático a aquella especificada por su índice de presión. (INEN, 2018).

1.6.2.2. Procedimiento para el ensayo de carga y velocidad

- a. Monte el neumático y el aro de ensayo en el eje de prueba y presiónelo contra la superficie exterior de la cara lisa del tambor de prueba accionado por motor eléctrico, de $1,70 \text{ m} \pm 1 \%$ de diámetro, el tambor debe poseer una superficie de al menos igual al ancho de la banda de rodamiento. En algunos casos, se puede utilizar un tambor de $2,00 \text{ m} \pm 1 \%$ del diámetro.
- b. De acuerdo con el procedimiento de prueba dado a continuación, aplique una serie de cargas de prueba al eje de prueba, estas cargas son iguales al porcentaje de la carga indicada en NTE INEN 2096, correspondiente al rango de carga indicado en el neumático. Cuando el neumático tiene un índice de capacidad de carga para un solo uso y dos usos para la prueba, se debe usar la carga correspondiente al rango de carga de la operación unitaria.
 - Para neumáticos con una capacidad de velocidad superior a 150 km/h (Símbolo de velocidad "Q" y superiores, además de "H") el procedimiento de pruebas debe ser el indicado en el punto 1.6.2.3.
 - Para todos los demás neumáticos, el procedimiento de pruebas debe ser como se muestra en la Tabla 5-1.
- c. Para el procedimiento de pruebas de resistencia. Ver la Tabla 5-1.
- d. La presión de los neumáticos no debe corregirse a lo largo de las pruebas y la carga de prueba se debe mantener constante durante cada una de las tres etapas de las pruebas.
- e. Durante las pruebas, a menos que el fabricante del neumático o la reencauchadora solicite utilizar una temperatura más alta, la temperatura del recinto de pruebas debe mantenerse entre $20 \text{ }^\circ\text{C}$ y $30 \text{ }^\circ\text{C}$
- f. Los procesos de prueba de resistencia deben realizarse sin ninguna interrupción (INEN, 2018).

Tabla 6-1: Programa para el ensayo de carga y velocidad

Descripción	Rango de carga	Velocidad		Porcentaje de carga			Total de revoluciones (miles)
		Km/h	RPM	7 horas	16 horas	24 horas	
90 km/h	F,G,H,J,L,..	40	125	66	84	101	352
80 km/H	F,G,H,J,L,..	32	100	66	84	101	282,5
56 km/h	Todos	24	75	66	84	101	211
Otros	F	64	200	66	84	101	564
	G	56	175	66	84	101	493,5
	H,J,L,N,...	48	150	66	84	101	423,5

Fuente: (INEN, 2018)

Realizado por: (INEN, 2018)

Tabla 7-1: Programa para el ensayo de carga y velocidad con rango de carga C, D o E

Rango de carga	Velocidad de ensayo		Tiempo en horas		
	RPM	Km/h	7	16	24
			Carga %		
C, D	250	80	75	97	114
E	200	64	70	88	106

Fuente: (INEN, 2018)

Realizado por: (INEN, 2018)

1.6.2.3. Procedimiento de pruebas de carga y velocidad para neumáticos con símbolo Q o superiores.

a. Este proceso se debe aplicar a:

- Neumáticos que posean un índice de carga individual igual o inferior a 121 (ver Tabla 7-1)
- Neumáticos que posean un índice de carga en un montaje individual mayor o igual a 122 y adicionalmente tiene marcado "C" o "LT" (ver Tabla 7-1).

Tabla 8-1: Programa de ensayo de aguante de carga y velocidad

Índice de carga	Símbolo de velocidad	Velocidad del tambor		Carga en la Rueda según el índice de carga		
		Radial	Diagonal	7h	17h	24h
122 o más	F	100	100	66 %	84 %	101%
	G	125	100			
	J	150	125			
	K	175	150			
	L	200	-			
	M	225	-			
121 o menos	F	100	100	70 %	88 %	106%
	G	125	125			
	J	150	150			
	K	175	175	4h	6h	114%
	L	200	175			
	M	250	200	75 %	97 %	114%
	N	275	-	75 %	97 %	114%
	P	300	-	75 %	97%	114%

Fuente: (INEN, 2018)

Realizado por: (INEN, 2018)

b. La carga en el aro y en el neumático debe ser un porcentaje del índice de carga del neumático, como se muestra a continuación:

- 90 % cuando se prueba en un rodillo con un diámetro de 1,70 m \pm 1 %.
- 92 % cuando se prueba en un rodillo con un diámetro de 2,00 m \pm 1 %.

- c. La velocidad en la fase inicial de pruebas debe ser 20 km/h menor que la indicada en el código de velocidad del neumático.
 - El tiempo necesario para alcanzar la velocidad de prueba inicial debe ser de 10 min.
 - El tiempo de prueba en la primera etapa debe ser 10 min.
- d. La velocidad en la segunda etapa del ensayo debe ser 10 km/h menor a la indicada por el código de velocidad del neumático.
 - La duración de la segunda etapa debe ser 10 min.
- e. La velocidad de la etapa final de las pruebas debe ser igual a la indicada por el código de velocidad del neumático.
 - El tiempo de la etapa final debe ser 30 min.
- f. El tiempo de todas las pruebas debe ser 1 hora.
- g. Para la ejecución de pruebas con neumáticos reencauchados y ya que estos neumáticos cambian el diseño de la banda de rodadura, es importante tomar en cuenta el nuevo diseño. Por ello es necesario que se tome en cuenta un índice de velocidad de al menos un nivel menor al del neumático original
- h. Antes de realizar las pruebas, el laboratorio debe equilibrar dinámicamente el neumático reencauchado (INEN, 2018).

CAPITULO II

2. MARCO METODOLOGICO

2.1. Tipo de investigación

Con los objetivos que se pretenden alcanzar y el problema planteado en la presente investigación se puede decir que es una investigación descriptiva ya que la meta es definir los hechos tal cual como son observados, además es de tipo exploratorio debido a que se va a investigar por primera vez el estudio de los neumáticos reencauchado producidos en nuestro medio local, finalmente se aplicara un método cuantitativo ya que se utilizara como instrumento la experimentación para la obtención de los datos.

Descriptiva

Se considera una investigación descriptiva debido a que los resultados se enfocan a la interpretación de los resultados generados en el ensayo de carga y velocidad para un neumático reencauchado descritos por la normativa NTE INEN 2616:2018.

Exploratorio

Es exploratoria dado que aún no se han realizado investigaciones de este tipo en el sector automotriz, esta investigación podría ser el punto de partida para el análisis de la factibilidad del uso de neumáticos reencauchados en vehículos de carga

Cuantitativa

Se aplica un método cuantitativo porque en la recolección de datos se usa como instrumento la experimentación, además en el análisis de los resultados se emplean variables cuantificables donde se espera presentar cifras numéricas.

2.2. Selección de la muestra

Para el estudio, se selecciona 1 neumático reencauchado en frío que se comercializa en el medio local de la marca CAUCHOSIERRA S.A., el neumático debe ser de la medida 215/75R17.5 en cual es considerado tipo III según la normativa NTE INEN 2096 que son para vehículos de actividades comerciales, de transporte y de carga pesada, usados en camiones y remolques.

2.2.1. Neumático 215/75R17.5

Es un neumático usado comúnmente en camiones de carga semipesada considerado tipo III bajo la normativa INEN 2096 y puede ser usado en carreteras pavimentadas y carreteras de larga distancia.

- **215.** Este número representa el ancho nominal del neumático en milímetros, medido desde el borde de la banda de rodadura hasta el otro borde de la banda
- **75.** Es el porcentaje del ancho del neumático e indica la altura del neumático
- **R.** La carcasa posee una estructura radial
- **17.5.** es el diámetro interior del aro expresado en pulgadas

2.3. Características del neumático

Para el desarrollo de la investigación se usó un neumático reencauchado de tipo III de tamaño 215/75R17.5 de tipo Tubeless, con carcasa de marca WESTLAKE procedente de China y un reencauche en frío con banda de rodadura de tipo costillas de marca CAUCHOSIERRA procedente de la ciudad de Ambato de nuestro país.

Las características principales del neumático se muestran en la tabla 1-2, para mostrar los datos necesarios antes del inicio de los ensayos:

Tabla 1-2: Características de la muestra

Datos del neumático	
Neumático	215/75R17.5
Presión de inflado	850 kPa
Índice de capacidad de carga	135
Capacidad de carga	2180 kg
Índice de velocidad	“J”
Velocidad máxima	100 km/h
Tipo de neumático	Tipo III radial reencauchado
Numero de pliegos	16 PR
Material	Tread: 4 steel plies Sidewall: 1 steep ply
Indicadores de desgaste	6 indicadores espaciados uniformemente
Fecha de fabricación	4214
Numero de reencauche	2

Fuente: Pérez y Román, 2020

Realizado por: Pérez y Román, 2020

2.4. Equipos usados en pruebas de laboratorio

En un laboratorio acreditado por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), todos los equipos que se utilizan deben estar debidamente calibrados para evitar que existan errores en las mediciones, a continuación, se detalla cada uno de estos.

2.4.1. Tambor dinamométrico

Para la realización del presente proyecto de investigación se utilizará un sistema de pruebas que consta de un tambor posicionado de tal manera que actúe emitiendo una fuerza contraria a la de la carga generada en el procedimiento, simulando así las condicionales de funcionamiento a las que está sometido un neumático en su tiempo de vida útil sobre la capa asfáltica, dichos neumáticos pueden ser de dimensiones bajas para vehículos livianos, o neumáticos disponibles en el mercado para vehículos pesados.

El material de construcción del tambor se basa acero de alta resistencia y tiene una forma circular (Figura 1-2), su principal dimensión física se caracteriza por un diámetro de 1.70 metros el cual es impulsado por motores eléctricos y el movimiento se transmite por un sistema de bandas

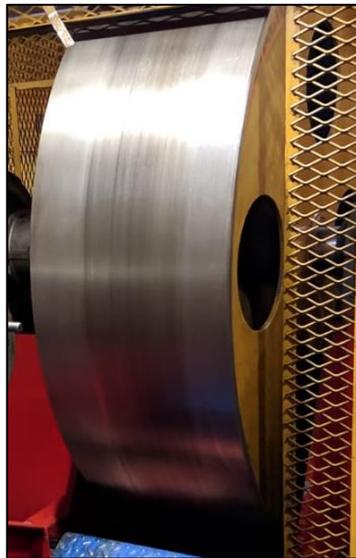


Figura 1-2: Tambor dinamométrico
Realizado por: Pérez y Román, 2020

2.4.2. Jaula de seguridad

El sistema de seguridad de los equipos de prueba en caso de fallo de los neumáticos consta de una jaula protectora de aproximadamente 6 metros cúbicos (Figura 2-2) que impide que los elementos

que se desprendan del neumático causen problemas en los equipos de operación que están dentro de la cámara, o lesiones físicas al personal de operación que se encuentran dentro o fuera de la habitación de prueba.



Figura 2-2: Jaula de seguridad
Realizado por: Pérez y Román, 2020

2.4.3. Sistema de carga

El sistema de carga consta principalmente de un método hidráulicos que actúa ejerciendo fuerzas opuestas al tambor dinamométrico, en este sistema es donde el neumático está posicionado y ubicado de la misma manera como se lo haría en un vehículo convencional, está caracterizado por tener dos cilindros de doble efecto capaces de aportar al sistema una fuerza de 5000kg por cada cilindro lo que satisface las necesidades del ensayo (Figura 3-2).



Figura 3-2: Sistema de carga
Realizado por: Pérez y Román, 2020

2.4.4. Sensor de falla

El sistema de seguridad en caso de que exista una alteración en el movimiento del neumático apuesta por un sensor único que capta la actividad anormal ya sea del casco del neumático o de existir un desprendimiento de la banda de rodadura para posteriormente enviar señales de fallo y así detener la marcha tanto en carga como en velocidad del equipo (Figura 4-2).



Figura 4-2: Sensor de fallo
Realizado por: Pérez y Román, 2020

2.4.5. Sistema de control de presión hidráulico

Al momento de ejercer la carga, esta debe ser controlada de tal manera que no exceda el límite permitido por la normativa, para esto existe el método de control que consta de un banco de conexiones hidráulicas donde los manómetros reflejan las presiones a las que está trabajando el sistema, dichas presiones también son reflejadas en el software del equipo (Figura 5-2).



Figura 5-2: Sistema de control hidráulico
Realizado por: Pérez y Román, 2020

2.4.6. Motor eléctrico

El sistema de tambor dinamométrico es impulsado por el motor eléctrico el cual cumple con la función de facilitar el movimiento circular y de esta manera obtener datos de velocidad, es capaz de brindar al mecanismo un torque de 600Nm en condiciones ideales y aplicar una velocidad de 200 km/h que será transmitidas al neumático (Figura 6-2).



Figura 6-2: Motor eléctrico
Realizado por: Pérez y Román, 2020

2.4.7. Interfaz de control

Puesto que en la cámara de pruebas existe un alto riesgo de accidentes, el interfaz de control permite al operario estar al tanto de todos los cambios a los que está sometiéndose el proceso, de la misma manera le proporciona el control absoluto del ensayo y la lectura de los parámetros en los que se encuentra el lugar destinado a la prueba (Figura 7-2).

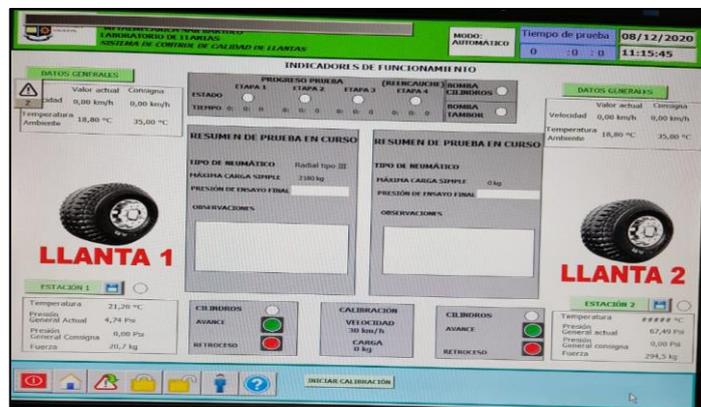


Figura 7-2: Interfaz de control
Realizado por: Pérez y Román, 2020

2.4.8. Termohigrometro

Es un instrumento de medición que permite saber los datos de temperatura y humedad existente en el medio ambiente donde se va a realizar el ensayo, es indispensable debido a que en el transcurso del procedimiento se deben tener lecturas exactas de estos parámetros para acatar la normativa regida (Figura 8-2).



Figura 8-2: Termohigrometro
Realizado por: Pérez y Román, 2020

2.4.9. Manómetro de presión de aire

Debido a que el neumático debe estar en la presión exacta antes de iniciar la climatización y posterior ensayo, se utiliza un manómetro digital para controlar el un exceso o falta de presión (Figura 9-2).



Figura 9-2: Manómetro de presión
Realizado por: Pérez y Román, 2020

2.4.10. Recinto de climatización

Para la realización del ensayo la cámara o habitación debe estar previamente climatizada para evitar la variación de la presión en el neumático, la temperatura establecida en la normativa regida es de 25 grados Celsius con un margen de error de 5 grados (Figura 10-2).

Este recinto mantiene su temperatura gracias a un gran sistema de climatización controlado electrónicamente para evitar grandes fluctuaciones que hagan que la temperatura salga del rango establecido por la normativa.



Figura 10-2: Recinto climatizado
Realizado por: Pérez y Román, 2020

2.5. Pruebas de laboratorio

Las pruebas de laboratorio se desarrollan en el laboratorio de llantas de la Escuela Politécnica Nacional bajo normas técnicas vigentes en Ecuador, por lo cual se aplicara los procesos descritos en la normativa ecuatoriana NTE INEN 2616 del año 2018 la cual hace referencia a los métodos de ensayo para neumáticos reencauchados, la cual permite medir la resistencia que posee la carcasa y la banda de rodadura de estos neumáticos.

El método de ensayo consiste en hacer girar el neumático contra una rueda plana de acero a velocidad constante con incrementos de carga en función de la carga máxima soportada por el neumático, estas cargas son determinadas por el fabricante del mismo y depende del tamaño del neumático.



Figura 11-2: Ensayo de aguante
Realizado por: Pérez y Román, 2020

2.5.1. Acondicionamiento del neumático

2.5.1.1. Selección del aro

Para la selección del aro se debe dirigir al manual Standars Manual 2019 de ETRTO, dicho manual recopila toda la información referente a los neumáticos de todos los fabricantes este contiene las dimensiones del aro que se debe usar además de las dimensiones, la carga que soportan y la presión de inflado a la que estos deben ser sometidos.

Según el manual Standars Manual 2019 de ETRTO, para un neumático 215/75R17.5 se debe colocar el neumático en un aro de dimensiones 6.00x17.5, es decir el aro debe poseer 17.5 pulgadas de diámetro y 6 pulgadas de ancho.

2.5.1.2. Presión de inflado

La presión de inflado para los ensayos de laboratorio de neumáticos es la establecida por el fabricante del mismo y este se encuentra descrito en la carcasa, según la normativa INEN 2616 nos dice que se debe usar la presión máxima soportada por el neumático debido a que el laboratorio debe simular las condiciones habituales de uso. Si este valor numérico no se puede visualizar en la carcasa del neumático este se puede encontrar en el manual Standars Manual 2019 de ETRTO.

Luego de una inspección visual del neumático muestra usado para el ensayo observamos que la presión máxima que se debe usar para el ensayo es de 850 kPa o 123 PSI



Figura 12-2: Presión máxima de inflado
Realizado por: Pérez y Román, 2020

2.5.1.3. Temperatura de ensayos

La temperatura para la realización de las pruebas se establece en la normativa NTE INEN 2616:2018, la cual dice que la temperatura dentro del recinto de prueba debe ser de 25 °C con una tolerancia de ± 5 °C.

Luego de que el neumático es ensamblado con el aro e inflado a la presión indicada este deberá someterse a un acondicionamiento de temperatura dentro del recinto de pruebas durante un periodo de tiempo de 3 horas antes del inicio de los ensayos.

2.5.1.4. Velocidad máxima del neumático

La velocidad de las pruebas la establece la normativa técnica del Ecuador, y se coloca de acuerdo al índice de velocidad del neumático que se puede obtener luego de hacer una inspección visual del neumático.



Figura 13-2: Índice de velocidad
Realizado por: Pérez y Román, 2020

Según la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 2096:2015 un neumático con índice de velocidad “J” tiene una velocidad máxima de 100 km/h.

Tabla 2-2: Índice de velocidad

Índice de velocidad	Velocidad máxima
J	100 km/h

Fuente: (INEN, 2015)

Realizado por: (INEN, 2015)

2.5.2. Ensayo de neumático

La prueba del neumático se lo realiza de acuerdo a lo especificado en la normativa técnica ecuatoriana INEN 2616:2018 métodos de ensayo para neumáticos reencauchados, en esta se especifica los métodos para la realización del ensayo es decir cómo se debe proceder en las pruebas de acuerdo a cada uno de las características del neumático.

2.5.2.1. Índice de carga

Para determinar el índice de carga de un neumático se debe realizar una inspección visual alrededor del mismo este está escrito en el neumático y se representa con números comprendidos entre el 0 y el 279 siendo este valor la carga máxima permisible del neumático y su valor se transforma en una carga en kilogramos.



Figura 14-2: Índice de carga
Realizado por: Pérez y Román, 2020

De acuerdo a la Norma Técnica del Ecuador INEN 2096:2015 dice que para un neumático con índice de carga de 133 la carga máxima permitida es de 2060 kg y para un neumático que posee un índice de carga de 135 la carga máxima permitida es de 2180 kg

Tabla 3-2: Índice de carga

Índice de carga	Carga máxima
133	2060 kg
135	2180 kg

Fuente: (INEN, 2015)

Realizado por: (INEN, 2015)

2.5.2.2. Receta para ensayo

Según la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 2616:2018 para un neumático 215/75R17.5 o de tipo III que presente las características de índice de velocidad “J” y un índice de carga de 135, se debe realizar el ensayo en 3 etapas con una velocidad constante durante todo el proceso que será igual a 48 km/h a diferentes cargas.

Tabla 4-2: Receta de ensayo

Neumático	Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3
215/75R17.5	66% de carga	84% de carga	101% de carga

Fuente: (INEN, 2018)

Realizado por: (INEN, 2018)

- **Ensayo etapa 1**

Para la etapa 1 del ensayo se debe montar el neumático en el tambor dinamométrico, que previamente fue acondicionado en el recinto del laboratorio. En esta etapa el neumático girara a una velocidad constante previamente determinada con una carga igual al 66% de la carga máxima soportada por el neumático.



Figura 15-2: Etapa 1 de ensayo
Realizado por: Pérez y Román, 2020

Para la probeta usada la primera etapa se debe realizar con una carga equivalente a 1439 kg el cual corresponde al 66% de la carga máxima permisible por el neumático. Según la normativa INEN 2616:2018 el periodo de tiempo correspondiente a la primera etapa del ensayo debe ser de 7 horas.

- **Ensayo etapa 2**

En la etapa 2 del ensayo en neumático no debe detenerse luego de la finalización de la etapa 1, este seguirá girando a velocidad constante con la única variante de que finalizado el tiempo de la etapa 1 se aumentara la carga. Para esta etapa la carga que se debe aplicar al neumático será equivalente al 84% de la carga máxima del neumático.



Figura 16-2: Etapa 2 de ensayo
Realizado por: Pérez y Román, 2020

Para la muestra la carga 2 correspondiente a la segunda etapa, se debe usar una carga de 1831 kg que es equivalente al 84% de la carga máxima del neumático. Según la normativa aplicada, el periodo de tiempo el cual durara esta etapa será igual a 16 horas.

- **Ensayo etapa 3**

Para la etapa 3 del ensayo se procede al igual que la etapa 2, el neumático no se debe detener y mantener la velocidad constante de 48 km/h, al finalizar el tiempo de la etapa 2 se aumentara la carga a 101% de la máxima soportada por el neumático y esta se aumentara desde la interfaz de control del dinamómetro.



Figura 16-2: Etapa 2 de ensayo
Realizado por: Pérez y Román, 2020

Para la muestra seleccionada la carga para la etapa 3 será equivalente a 2202 kg y corresponderá al 101% de la carga máxima permisible por el neumático. En esta etapa la normativa usada dice que el tiempo de esta etapa debe durar 24 horas de forma ininterrumpida.

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS

3.1. Descripción del neumático usado para el ensayo

El neumático utilizado en las pruebas de laboratorio es un neumático reencauchado tipo III, de reencauche producido en el medio local el mismo que se describe en la tabla 1-3.

Tabla 1-3: Características del neumático

Descripción	Característica
Marca	WESTLAKE
Tamaño del neumático	215/75R17.5
Construcción del neumático	Radial
Índice de carga	135
Carga máxima	2180 kg
Tipo de rin	17.5x6.00
Etiqueta de nieve	-
Diámetro del neumático	767 mm
Fecha de fabricación	4214
País de origen	China
Índice de velocidad	J
Velocidad máxima	100 km/h
Presión de inflado	850 kPa
DOT	KNLA CN2 4214
Modelo	CR960A

Fuente: Pérez y Román, 2020

Realizado por: Pérez y Román, 2020

3.2. Descripción del reencauche

Tabla 2-3: Características del reencauche

Descripción	Característica
Numero de reencauche	2
Planta de reencauche	Caucho Sierra
Fecha de producción	2020-12-03

Reparaciones	Si
Conserva información	Si
Reencauches anteriores	No evidencia
Observaciones	Parche

Fuente: Pérez y Román, 2020

Realizado por: Pérez y Román, 2020

3.3. Pruebas de laboratorio

Aplicando la metodología y normativa planteada en el presente proyecto se ejecutan las pruebas de laboratorio que nos permiten observar el comportamiento dinámico del neumático en función de su carga y velocidad.

3.3.1. Inicio del ensayo de la muestra

Con la metodología desarrollada para la ejecución de las pruebas de laboratorio en el tambor dinamométrico, se obtuvieron los siguientes resultados en función de las variables de carga, velocidad, temperatura y presión de inflado.

Para obtener los resultados se colocó el neumático de prueba en la máquina de resistencia y velocidad (tambor dinamométrico), para continuar con la aplicación de los parámetros de inicio de pruebas, como se muestra en la figura 4-1.



Figura 1-3: Neumático para prueba
Realizado por: Pérez y Román, 2020

Luego del montaje del neumático en la máquina de pruebas y cumplido el tiempo de acondicionamiento en el recinto de pruebas es necesario verificar la presión del neumático siendo muy importante que el instrumento de medición este correctamente calibrado el cual permite tener menor error en la medición.



Figura 2-3: Medición de presión de inflado
Realizado por: Pérez y Román, 2020

Para una correcta configuración de parámetros de la máquina de pruebas es muy importante considerar los datos descritos en la etiqueta del neumático ya que estos son la base para una prueba exitosa y sin exceder los límites que plantea la normativa.

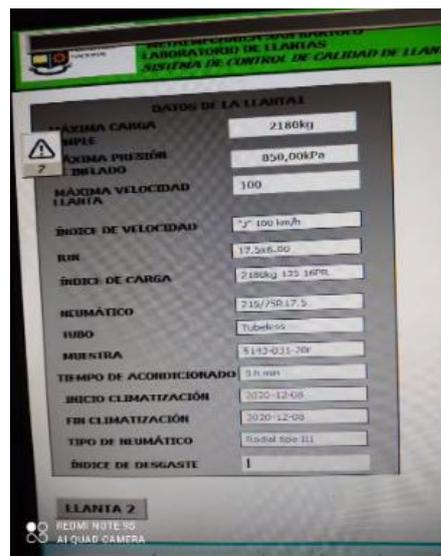


Figura 3-3: Configuración de dinamómetro
Realizado por: Pérez y Román, 2020

3.4. Resultados de laboratorio

3.4.1. Carga aplicada

Según la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 2616:2018 el ensayo está diseñado para llevarse a cabo en 3 etapas con 3 diferentes porcentajes de carga máxima, la primera etapa con un porcentaje de carga del 66%, la segunda etapa con un porcentaje de carga del 84% y la tercera etapa con un 101% de carga (INEN, 2018).

Tabla 3-3: Cargas aplicadas

Etapa	Carga aplicada (kg)
1	1439
2	1831
3	2202

Fuente: Pérez y Román, 2020

Realizado por: Pérez y Román, 2020

Tomando en cuenta estos factores, se ejecuta el ensayo en función de estos valores. En la gráfica 1-3 se puede observar las cargas aplicadas al neumático durante cada una de las etapas del ensayo de aguante de carga y velocidad.

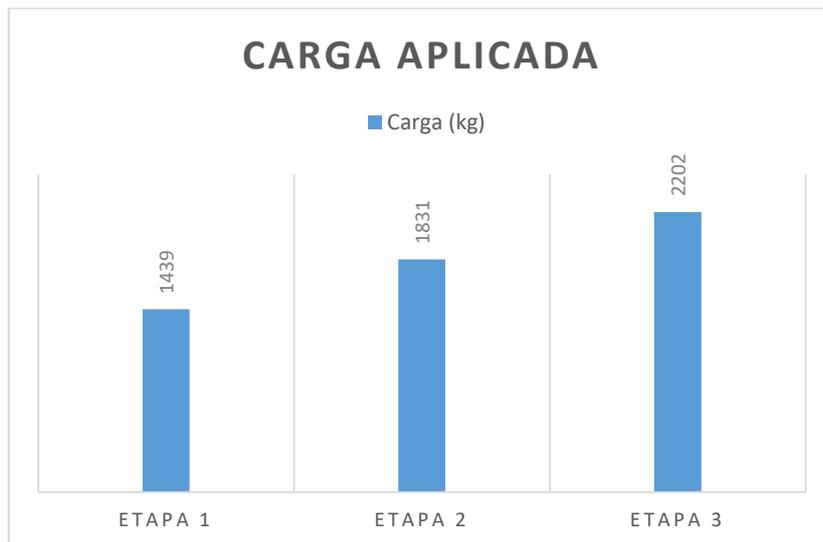


Gráfico 1-3: Cargas durante el ensayo

Realizado por: Pérez y Román, 2020

3.4.2. Velocidad aplicada

Siguiendo la normativa INEN 2616:2018 dice que la velocidad del ensayo debe mantenerse constante durante todo el tiempo del mismo sin realizar ninguna paralización y equivale a 48 km/h (INEN, 2018).

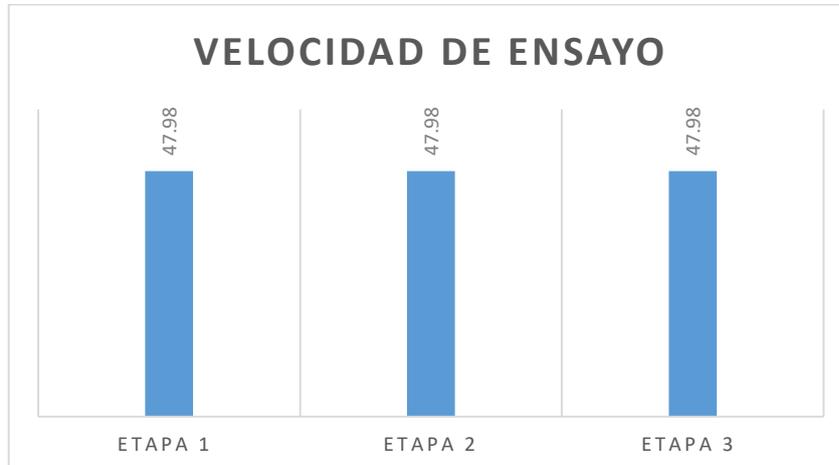
Tabla 4-3: Velocidad aplicada

Etapa	Velocidad (km/h)
1	47.98
2	47.98
3	47.98

Fuente: Pérez y Román, 2020

Realizado por: Pérez y Román, 2020

En la gráfica 2-3 se puede observar la velocidad aplicada en función de la normativa, con la cual el neumático giro durante el tiempo de ensayo de aguante de carga y velocidad en el tambor dinamométrico usado en el laboratorio.



Gráfica 2-3: Velocidad de ensayo

Realizado por: Pérez y Román, 2020

3.4.3. Temperatura de ensayo

Según la normativa INEN 2616:2018 la temperatura se debe mantener a 25°C con una tolerancia de $\pm 5^\circ\text{C}$ por ello es muy importante que el recinto de ensayo tenga un sistema de climatización controlado electrónicamente para evitar que la temperatura salga del rango establecido (INEN, 2018).

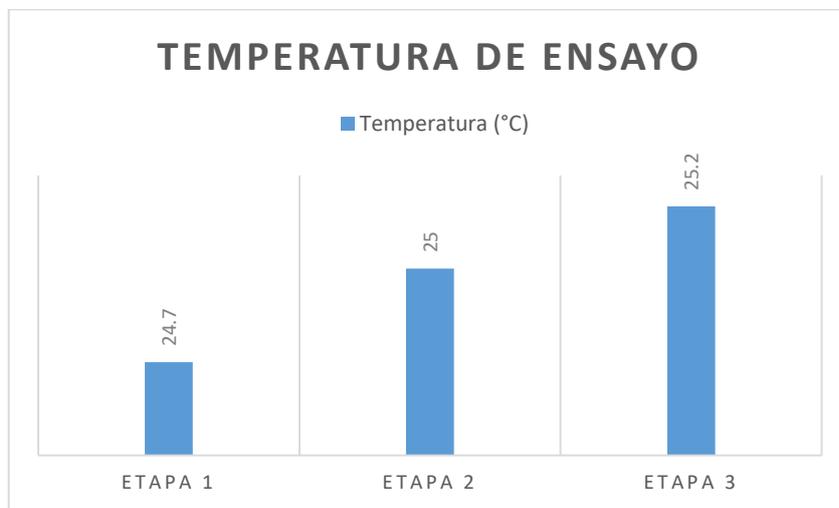
Tabla 5-3: Temperatura de ensayo

Etapa	Temperatura °C
1	24.7
2	25
3	25.2

Fuente: Pérez y Román, 2020

Realizado por: Pérez y Román, 2020

En la gráfica 3-3 se observa la temperatura media real presente durante cada una de las etapas del ensayo realizado.



Gráfica 3-3: Temperatura del recinto durante el ensayo

Realizado por: Pérez y Román, 2020

3.4.4. Tiempo de ensayo

La normativa INEN 2616:2018 dice que el ensayo para la muestra usada se divide en 3 etapas, la primera etapa debe comprender un tiempo de 7 horas (420 min), la segunda etapa debe tener un tiempo de 16 horas (960 min) y la tercera etapa debe llegar al tiempo de 24 horas (1440 min) (INEN, 2018).

En el caso de existir un fallo en el neumático, el ensayo se detendrá automáticamente debido a su sistema de seguridad que evita que se dañen elementos por desprendimiento de material. Por ello cuando la máquina de aguante de carga y velocidad (tambor dinamométrico) se detiene el tiempo de ensayo de igual manera es detenido convirtiéndose en un tiempo real o un tiempo de ensayo. Haciendo que las pruebas no sean completadas al 100%.

Tabla 6-3: Tiempo real

Etapa	Tiempo (min)
1	420
2	960
3	11

Fuente: Pérez y Román, 2020

Realizado por: Pérez y Román, 2020

En la gráfica 4-3 se observa el tiempo real el cual la muestra estuvo sometido a cargas durante las pruebas de aguante de carga y velocidad.



Gráfico 4-3: Tiempos de ensayo

Realizado por: Pérez y Román, 2020

3.4.5. Comportamiento del neumático

En la tabla 7-3 se observa el comportamiento de cada uno de los parámetros de ensayo de aguante de carga y velocidad para neumáticos reencauchados comprendidos en la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 2616

Tabla 7-3: Comportamiento del neumático

Etapa	Carga aplicada (kg)	Tiempo real (min)	Velocidad real (km/h)
1	1439	420	47.98
2	1831	960	47.98
3	2202	11	47.98

Fuente: Pérez y Román, 2020

Realizado por: Pérez y Román, 2020

En el grafico 5-3 se puede observar la gráfica del comportamiento del neumático durante en el ensayo, donde se puede visualizar el tiempo teórico, el tiempo practico y el punto de fallo con el respectivo % de carga en el cual el neumático se encuentra.

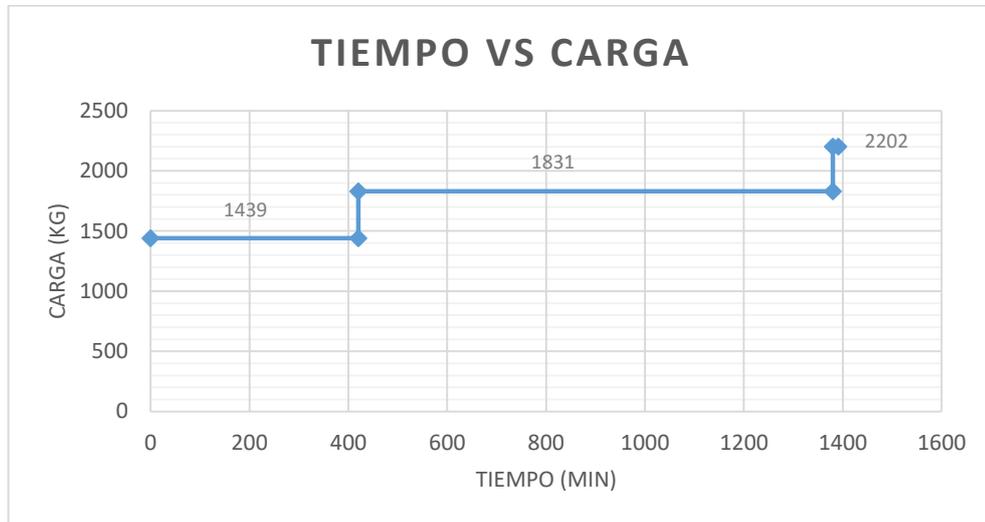


Gráfico 5-3: Comportamiento del neumático
Fuente: Pérez y Román, 2020

3.5. Análisis de resultados

3.5.1. Análisis de carga

En la tabla 8-3 se observa el porcentaje de carga, la carga teórica, la carga real y el margen de error, que se aplicó al neumático durante el ensayo de aguante de carga y velocidad en el tambor dinamométrico del laboratorio.

Tabla 8-3: Análisis de ensayo

Etapa	% de carga	Carga teórica (kg)	Carga real (kg)	Error (kg)
1	66%	1438.8	1439	0.2
2	84%	1831.2	1831	0.2
3	101%	2201.8	2202	0.2

Fuente: Pérez y Román, 2020
Realizado por: Pérez y Román, 2020

En el grafico 6-3 se puede observar la carga aplicada en el ensayo contra la carga real que se debio aplicar. Debido a que el margen de error de la carga es muy bajo este no infiere o causa distorsión en el resultado final de las pruebas.

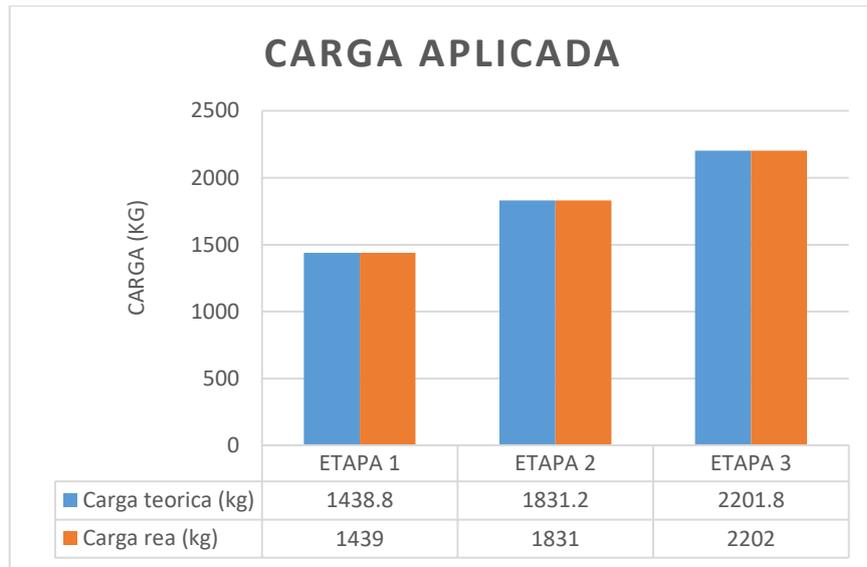


Gráfico 6-3: Cargas durante el ensayo
Realizado por: Pérez y Román, 2020

3.5.2. Análisis de velocidad

Debido a que la máquina de aguante de carga y velocidad (tambor dinamométrico) que es controlado por un motor eléctrico la velocidad aplicada al neumático no es la misma descrita por la normativa. Por ello existe una velocidad teórica que es la descrita por la normativa y una velocidad real que es la aplicada durante las pruebas.

En la tabla 9-3 se muestra la comparativa entre la velocidad real y la velocidad teórica con el margen de error que existen entre ellas.

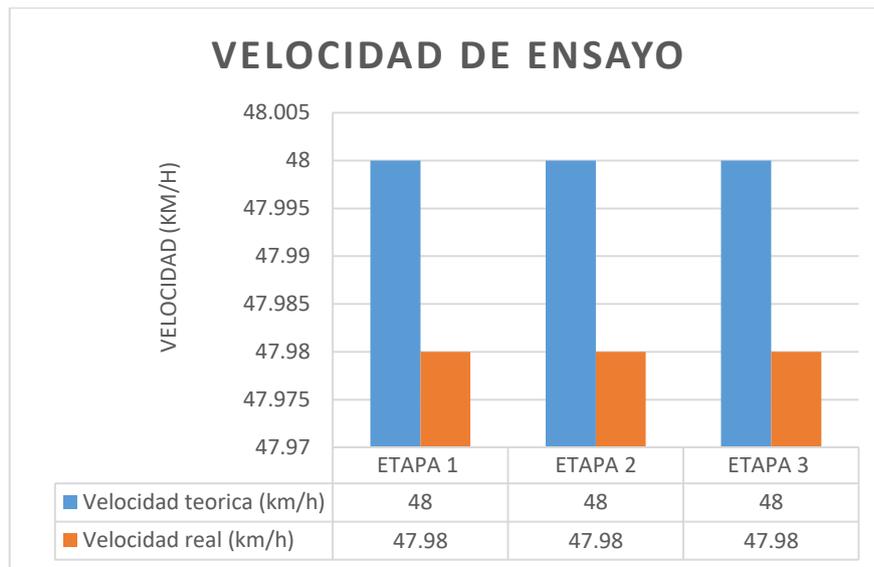
Tabla 9-3: Análisis de velocidad

Etapa	Velocidad teórica (km/h)	Velocidad real (km/h)	Error (km/h)
1	48	47.98	0.02
2	48	47.98	0.02
3	48	47.98	0.02

Fuente: Pérez y Román, 2020

Realizado por: Pérez y Román, 2020

En la gráfica 7-3 se puede observar la velocidad teórica y la velocidad aplicada en el ensayo, con la cual el neumático giro durante el tiempo de pruebas de aguante de carga y velocidad en el tambor dinamométrico del laboratorio.



Grafica 7-3: Velocidad de ensayo
Realizado por: Pérez y Román, 2020

3.5.3. Análisis de temperatura

Durante todo el tiempo de ensayo la temperatura del recinto de pruebas donde se encuentra la máquina de carga y velocidad (tambor dinamométrico), se encontró en el rango establecido por la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 2616:2018

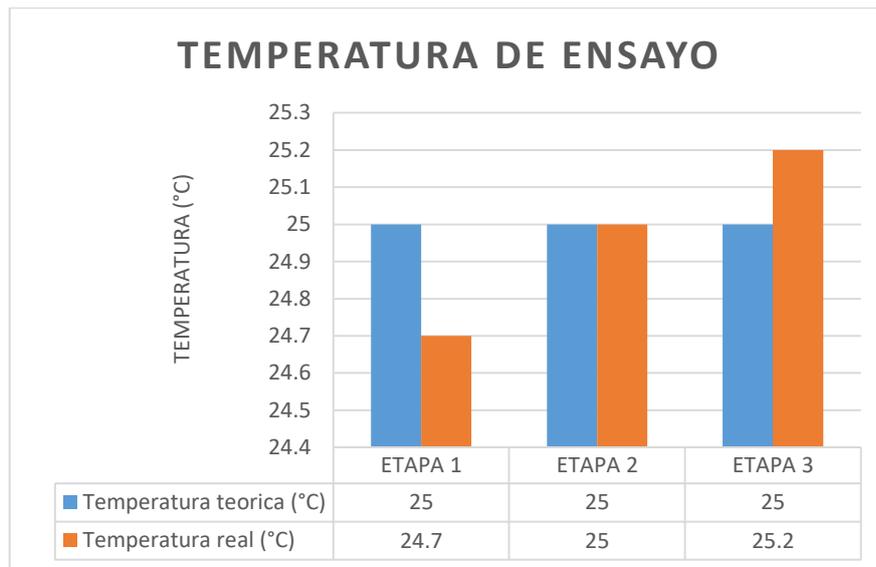
En la tabal 9-3 se observa la temperatura real con la temperatura teórica. Debido a la tolerancia de temperatura de ± 5 °C la temperatura se encontró en el rango determinado por la normativa durante todo el tiempo de ensayo.

Tabla 10-3: Análisis de velocidad

Etapa	Temperatura teórica (°C)	Temperatura real (°C)	Error (°C)
1	25	27.7	0.3
2	25	25	0
3	25	25.2	0.2

Fuente: Pérez y Román, 2020
Realizado por: Pérez y Román, 2020

En el grafico 8-2 se muestra la gráfica de la temperatura con la cual la muestra se ensayó y la temperatura recomendada por la normativa.



Grafica 8-3: Temperatura de ensayo
Realizado por: Pérez y Román, 2020

3.5.4. Análisis de tiempo

Según la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 2616 el neumático debió cumplir las 3 etapas descritas en esta, con un tiempo de 420 minutos en la primera etapa, 960 minutos en la segunda etapa y 1440 minutos en la tercera etapa.

Debido al fallo del neumático los tiempos no fueron completos ya que al presentarse el fallo la maquina se detuvo automáticamente para protección de esta. Por ello los tiempos se transformaron en tiempos teóricos que son los tiempos que el neumático debía cumplir y tiempos reales que son los tiempos con los que el neumático fue ensayado.

En la tabla 10-3 se muestra los tiempos que se cumplieron en cada una de las etapas hasta cuando la muestra presento el fallo.

Tabla 11-3: Análisis de velocidad

Etapa	Tiempo teórico (min)	Tiempo real (min)
1	420	420
2	960	960
3	1440	11

Fuente: Pérez y Román, 2020
Realizado por: Pérez y Román, 2020

En la gráfica 9-3 se observa los tiempos que se cumplieron de cada una de las etapas en el ensayo de carga y velocidad.

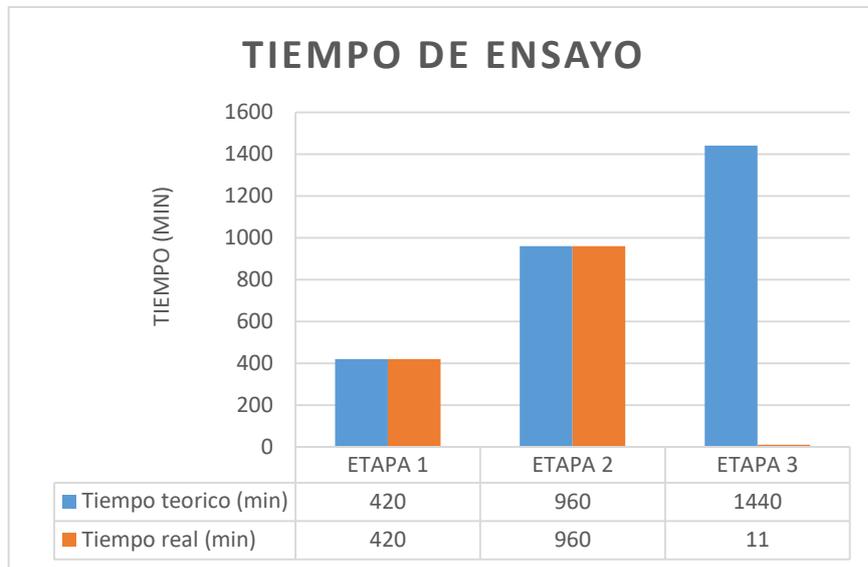


Gráfico 9-3: Tiempos de ensayo
Realizado por: Pérez y Román, 2020

3.5.5. Análisis del comportamiento del neumático

En la tabla 10-3 se muestra el comportamiento de cada una de las variables del neumático reencauchado en el ensayo de aguante de carga y velocidad comprendidos en la normativa INEN 2616:2018.

Tabla 12-3: Comportamiento del neumático

Etapa	Carga en %	Carga teórica (kg)	Carga real (kg)	Tiempo teórico (min)	Tiempo real (min)	Velocidad teórica (km/h)	Velocidad real (km/h)
1	66%	1438.8	1439	420	420	48	47.98
2	84%	1831.2	1831	960	960	48	47.98
3	101%	2201.8	2202	1440	11	48	47.98

Fuente: Pérez y Román, 2020

Realizado por: Pérez y Román, 2020

En la gráfica 10-3 se observa el ensayo teórico contra el ensayo real, tomando en cuenta cada uno de los parámetros comprendidos en la normativa como las cargas teóricas, las cargas reales, los tiempos teóricos y los tiempos reales con el punto donde el neumático presento el fallo.

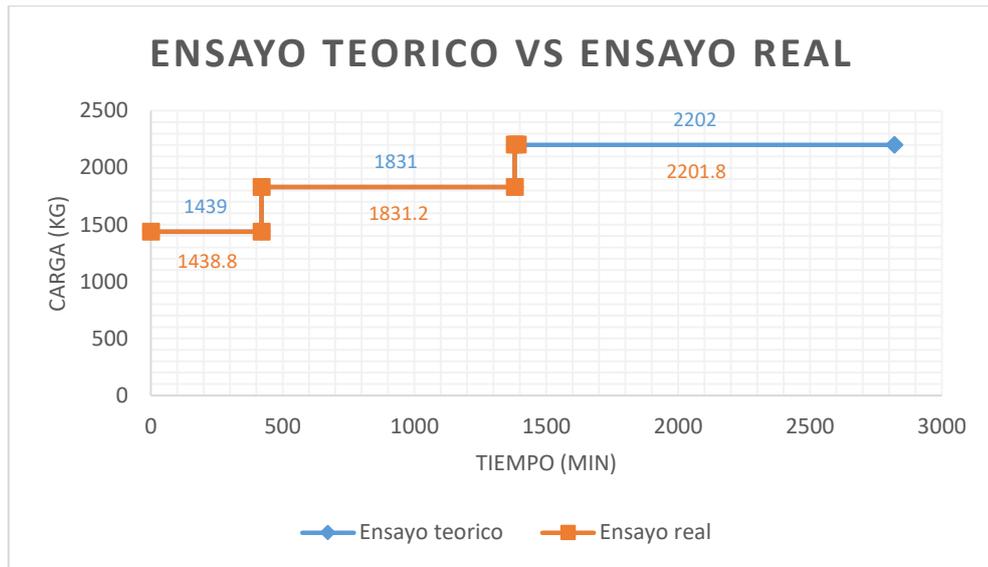


Grafico 10-3: Ensayo real vs ensayo teórico
Fuente: Pérez y Román, 2020

3.6. Fallo del neumático

Según la normativa INEN 2099:2017 para que un neumático apruebe los ensayos descritos en la normativa INEN 2616, este no presentará evidencias visuales de separaciones de la banda de rodamiento, cara lateral, pliegos, cuerdas, forro interno y/o pestaña; ni tampoco deberá presentar cortes, cuerdas rotas y/o expuestas, grietas, empalmes abiertos y otros (INEN 2099, 2017).

El neumático usado en las pruebas de aguante de carga y velocidad en el tambor dinámico presenta evidencias visuales de separación de la banda de rodadura y fragmentación luego de haber sido sometido a los ensayos descritos en la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 2616:2018.



Figura 4-3: Desprendimiento de banda de rodadura
Realizado por: Pérez y Román, 2020



Figura 5-3: Desprendimiento de banda de rodadura
Realizado por: Pérez y Román, 2020

En la figura 4-3 y en la figura 5-3, se observa el desprendimiento de la banda de rodadura del neumático reencauchado usado durante las pruebas de aguante de carga y velocidad en el tambor dinamométrico del laboratorio, después de un tiempo total de ensayo de 23 horas y 11 minutos luego de iniciado el ensayo.

CONCLUSIONES

En la investigación realizada se logró determinar el desempeño que un neumático reencauchado de tipo 3 puede brindar en condiciones de trabajo, variando la carga, velocidad y tiempo de trabajo al que puede estar expuesto.

Se logró inquirir y tener conocimiento sobre el proceso de reencauche del neumático, y los parámetros a tomar en cuenta para dicho desarrollo, durante el procedimiento de reactivación del neumático se pudo constatar que el trabajo de recauche se lo realiza con una combinación artesanal y tecnológica evaluándose así en un 70% y 30% respectivamente, lo que implica que el personal debe estar debidamente capacitado y con la experiencia necesaria para que el trabajo se ejecute sin falla alguna.

La normativa aplicada para el ensayo de un neumático reencauchado en función de su velocidad y carga proporciona ítems que el neumático debe cumplir para poder evaluarse como funcional, se constató que el neumático tenga las características necesarias para su proceso de evaluación como un tipo 3 y posterior prueba de laboratorio.

En el transcurso de la aplicación de carga se pudo evidenciar que el ítem evaluado cumple con los criterios de aceptación y rechazo de la prueba, no obstante, al transcurrir 11 minutos de la etapa 3 del procedimiento el neumático presentó un desprendimiento de la banda de rodadura en diferentes secciones del neumático, el tiempo total que duró la prueba hasta el fallo fue de 23h con 11min.

Por lo expuesto se concluye que se rechaza la hipótesis establecida debido a que la normativa INEN especifica que un neumático puede ser reencauchado únicamente hasta transcurridos 5 años desde su fabricación, la muestra que fue sometida al ensayo para el presente proyecto de investigación se caracteriza por tener un código DOT: 4214, lo que implica que el neumático fue fabricado la semana 42 del año 2014, y hasta la fecha de ensayo han transcurrido aproximadamente 6 años y un mes.

RECOMENDACIONES

Los ensayos de aguante de carga y velocidad se realizan a neumáticos que van a ingresar al mercado comercial, es por esto que el costo del ensayo por cada muestra que se prueba se aproxima a los 1000 usd, es recomendable realizar por lo menos 2 ensayos con muestras que presenten las mismas características para obtener un mejor resultado y evaluar el comportamiento de dicho producto.

Tener en cuenta la normativa NTE INEN 2016:2018 al momento de realizar el reencauche de un neumático que será destinado al uso de carga en vehículos semipesados debido a que el tiempo permitido para reencauchar una carcasa es de 5 años y debe cumplir con los estándares de calidad que se inspeccionan al momento de realizar el reencauche.

Al momento de utilizar un neumático reencauchado en vehículos pesados, semipesados y camionetas que su labor dependa netamente de la carga se recomienda que dicho elemento este ubicado netamente en la posición de carga, mas no de dirección debido a que con el constante movimiento de las ruedas direccionales, la banda de rodadura puede sufrir desprendimientos en sus laterales.

El número de reencauches permitidos en una carcasa no está definido por una normativa, sin embargo es recomendable realizarlo máximo 4 veces según el estado de la carcasa, la muestra seleccionada para el presente proyecto de investigación constataba un único reencauche previo al que se realizó para el ensayo, esto implica que como recomendación se debe tomar en cuenta las especificaciones de vida útil del fabricante, que en el código DOT donde se especifica el tiempo máximo en el que un neumático puede ser útil, en caso de exceder esta especificación el ítem podría sufrir fallos y provocar accidentes.

BIBLIOGRAFIA

ACREDITACION, Ecuador. *Reencauche de Llantas en Ecuador, una alternativa ante las importaciones* [Blog]. Quito, 2011. [Consulta: 2020-11-10]. Disponible en: <https://www.acreditacion.gob.ec/reencauche-de-llantas-en-ecuador-una-alternativa-ante-las-importaciones/>

ADVANCEDFLEET, Management. *La contaminación por el desgaste de neumáticos es mucho peor que los gases de escape* [Blog]. Madrid, 2020. [Consulta: 2020-11-19]. Disponible en: <https://advancedfleetmanagementconsulting.com/blog/2020/03/10/la-contaminacion-por-el-desgaste-de-neumaticos-es-mucho-peor-que-los-gases-de-escape-segun-un-estudio/>

AISLAMIENTO Y ESTANQUEIDAD ERICA, S.L. *SBR Butadieno-Estireno* [Blog]. Barcelona, 2016. [Consulta: 2020-11-20]. Disponible en: <http://www.eric.es/web/sbr-butadieno-estireno/>

APARICIO IZQUIERDO, Francisco; & VERA ALVAREZ, Carlos. *Teoría de Los Vehículos Automóviles*. Segunda edición. Madrid, España: ETSII, 2001, pp 13-113.

ARDILA, Alaba; & ARRIOLA, Erasmo. “Efecto de la quema de llantas en la calidad del agua de un tramo de la quebrada Piedras Blancas”. *Tecnología y Ciencias del Agua* [En línea], 2017, (Colombia), pp. 7-10. [Consulta: 2020-11-18]. ISSN 0187-8336. Disponible en: <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-05-03>

AUTOSDEPRIMERA. *Proceso de reencauche* [blog]. Colombia, 2017. [Consulta: 2020-11-28]. Disponible en: <https://autosdeprimera.com/noticias/noticias-nacionales/michelin-proceso-reencauche-colombia/>.

AVONTYRES. *Tipos de banda de rodadura* [blog]. España, 2019. [Consulta: 2020-11-20]. Disponible en: <https://www.avontyres.com/es-es/cuidado-de-neumaticos/cuidado-de-neumaticos-para-coche/tipos-de-banda-de-rodadura/>.

AYALA YANDUN, Diana Karolina. “Estudio de factibilidad para la implantación de una reencauchadora y comercializadora de neumáticos renovados para satisfacer la demanda insatisfecha del sector de transporte pesado de la Provincia del Carchi”. *Vision Empresarial* [En línea], 2015, (Ecuador), pp. 4-9. [Consulta: 2020-11-21]. ISSN 1390-6852. Disponible en: <https://doi.org/10.32645/13906852.419>

BENITO, Guillermo. *Angulo de deriva y agarre lateral* [blog]. España, 2005. [Consulta: 2020-11-23]. Disponible en: <https://www.km77.com/tecnica/bastidor/angderiva/t01.asp>

DI RADO, Gustavo; PRESTA, Daniel; & DEVINCENZI, Gustavo. “Análisis de las fuerzas que actúan en la interface neumático – carretera. modelos de simulación de aceleración”. *Asociacion Argentina de Mecanica Computacional*, 2013, (Argentina), pp. 4-10.

DIRECCION DE TRANSPORTE CONAE. “Manual de información técnica de neumáticos”. CONAE [en línea], 2000, (Mexico), pp. 4-26. [Consulta: 2020-11-25]. Disponible en: https://www.fivi.cat/archivos_fivi/manual_llantas.pdf

ECUANEUMATICOS. *Reencauche Ecuador* [blog]. Ecuador: 2019. [Consulta: 2020-11-29]. Disponible en: <http://www.ecuaneumaticos.com/servicios/reencauche-ecuador/>.

EL MERCURIO. “De 181.635 llantas importadas para autos, el 95,75% son chinas”. El Mercurio [en línea], 2019, (Ecuador), pp. 1-1. [Consulta: 2020-11-10]. Disponible en: <https://www.elmercurio.com.ec/2019/11/18/de-181-635-llantas-importadas-para-autos-el-9575-son-chinas>

EL TIEMPO. *La verdad sobre el reencauche* [blog]. Colombia:1996. [Consulta: 2020-11-28]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-591959>

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL. *Laboratorio de llantas* [blog]. Quito: 2011. [Consulta: 2020-11-10]. Disponible en: <https://www.epn.edu.ec/laboratorio-de-llantas/>

EUROMASTER. *Partes de un neumático* [blog]. Madrid: 2017. [Consulta: 2020-11-20]. Disponible en: <https://www.euromaster-neumaticos.es/neumaticos/informacion/partes-de-un-neumatico>

GAVILANES, Josue; & BRAUSENDORFF, Federico. “Proyecto para implementación de una planta reencauchadora de neumáticos para transporte pesado”. Escuela Superior Politécnica del Litoral [en línea], 2013, (Ecuador), pp. 1-8. [Consulta: 2020-11-25]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/24310>

MINISTERIO DE PRODUCCION. *Registro de Empresas Reencauchadoras* [blog]. Ecuador: 2012. [Consulta: 2020-11-10]. Disponible en: <https://www.produccion.gob.ec/registro-de-empresas-reencauchadoras>

MUÑOZ, Sebastian. *¿Qué es el «Treadwear» de tus llantas?* [blog]. Colombia: 2017. [Consulta: 2020-11-24]. Disponible en: <https://www.neumarket.com/blog/treadwear-tus-llantas>

NTE INEN 2096. *Neumáticos. definiciones y clasificación*

NTE INEN 2616. *Neumáticos reencauchados. métodos de ensayo*

NTE INEN 2099. *Neumáticos. Neumáticos tipo II y tipo III requisitos*

NUÑEZ MOSCOSO, Alex Stalin; & SANCHEZ CRUZ, Santiago Javier. Análisis comparativo del comportamiento dinámico de neumáticos nuevos radiales rin 15, con respecto a neumáticos reencauchados en frío y en caliente del mismo rin (Trabajo de titulación) (Maestría). Escuela Politécnica Nacional, Quito – Ecuador. 2017. pp. 21 - 60

OPONEO. *Tipos de la banda de rodadura: ¿Qué banda de rodadura tiene un neumático nuevo?* [blog]. España: 2019. [Consulta: 2020-11-20]. Disponible en: <https://www.oponeo.es/blog/dibujo-construccion-y-tipos-de-banda-de-rodadura>

ORQUEDA CHASIN, Isaac Aarón. Optimización del proceso de producción para una planta de reencauche de neumáticos (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Industrial. Guayaquil. 2017. Pp. 38 – 40 [Consulta: 2020-11-19]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/23940?mode=full>

PNUMA. “Directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de neumáticos usados y de desecho”. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [en línea], 2011, (Colombia), pp. 6 – 15. [Consulta: 2020-11-26]. Disponible en: <http://www.basel.int/Portals/4/download.aspx?d=UNEP-CHW.10-06-Add.1-Rev.1.Spanish.pdf>.

QUINTERO SAN MARTIN, Higia Lidice. Plan de negocio en el diseño de un centro de acopio de llantas usadas para convertirlas en material reutilizable (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Espíritu Santo. Guayaquil – Ecuador. 2014. 20 – 25.

REISMAN, Joel; & LEMIEUX, Paul. “Emisiones al Aire de la Combustión de Llantas Usadas”. EPA [en línea], 1997, (Mexico), pp. 32 – 38. [Consulta: 2020-11-27]. Disponible en: https://www3.epa.gov/ttnecat1/cica/files/tire_esp.pdf

ROSARIO BURLETES INDUSTRIA DEL CAUCHO. *Caucho Natural vs Caucho Sintético* [blog]. Argentina: 2019. [Consulta: 2020-11-20]. Disponible en: <https://www.rosarioburletes.com.ar/website/novedad-item/caucho-natural-vs-caucho-sintetico>

RTE INEN 067. *Proceso de reencauche de neumáticos*

TECNOLOGIA DE LOS PLASTICOS. *Polibutadieno (PB)* [blog]. Argentina: 2011. [Consulta: 2020-11-20]. Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>

TIBUNA DE SAN LUIS. *Afecta salud la quema de llantas* [blog]. Mexico: 2019. [Consulta: 2020-11-28]. Disponible en: <https://www.tribunadesanluis.com.mx/local/afecta-salud-la-quema-de-llantas-san-luis-rio-colorado-4129302.html>

ANEXOS

ANEXO A: EQUIPOS DE LABORATORIO



ANEXO B: PREPARACION DEL NEUMATICO PARA ENSAYOS



ANEXO C: NEUMATICO EN FASE DE ENSAYOS



ANEXO D: INFORME DE LABORATORIO DE ENSAYOS INEN 2616:2018